



83-21

P - 526

MAURICE GIGNOUX
GRENOBLE CEDEX
TEL. (76) 87.46.43

Datation, par résonance paramagnétique électronique, d'émail dentaire fossile provenant des sites d'Ayusbamba, Pérou, de Saint-Vallier et de la Caune de l'Arago, France.

par

Robert BOUCHEZ¹, Ernesto LÓPEZ CARRANZA², Jean-Luc MA¹, Jean AMOSSÉ³,
Michel PIBOULE³, Aimé CORNU⁴, Jean DIEBOLT⁴, Daniel GALLAND⁵, Paul REY⁵,

et

Henry de LUMLEY⁶, José Angel RAMIREZ PAREJA⁷, Claude GUÉRIN⁸.



- 1 - Université de Grenoble I, Institut des Sciences Nucléaires, Laboratoire de Recherche Archéologique.
- 2 - Univ. Nacional de Ingenieria, Departamento de Fisica, Casilla 1301, LIMA, Pérou.
- 3 - Univ. de Grenoble I, Institut Dolomieu de Géologie et de Minéralogie, Rue Maurice Gignoux, F-38031 GRENOBLE.
- 4 - Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble, Service d'Etudes Analytiques, Ave des Martyrs, 85 X - F-38041 GRENOBLE.
- 5 - Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble, Département de Recherche Fondamentale.
- 6 - Institut de Paléontologie Humaine, 1 rue René Panhard, F-75013, PARIS.
- 7 - Univ. San Antonio Abad del Cusco, CUSCO, Pérou.
- 8 - Univ. de Lyon I, Dép. des Sciences de la Terre, 43, Bd. du 11 Novembre, F-69622 VILLEURBANNE, France.

Datation par RPE d'émail dentaire fossile provenant des sites d'Ayusbamba, Pérou, de Saint-Vallier et de la Caune de l'Arago, France.

Résumé

. La datation d'émail dentaire (épaisseur 0,7 à 4 mm) de mammifères fossiles a été entreprise, par RPE, sur *Equus mosbachensis* (Arago, Tautavel, France) et sur *Cuvieronius hyodon* (Ayusbamba, Pérou) par comparaison avec *Cervus philisi* du site de Saint-Vallier (Drôme, France), daté vers 2 Ma (à 10%) par la méthode des biozones.

. La densité D_s des 'spins' créés par perte d'énergie des rayonnements naturels dans les phases d'hydroxyapatite formant l'émail, a été mesurée à partir de l'intensité du spectre d'absorption RPE, sur des échantillons pesés, d'environ 50 mg, par comparaison avec des étalons de tétraméthyle - 2,2,6,6, pipéridinoxyle, de grande stabilité. L'étude de l'accroissement de l'intensité du signal RPE en fonction de la dose de rayonnements (^{60}Co , ~ 800 k.rad/h), ou d'électrons ($^{90}\text{Sr} + \text{Y}$, ~ 150 k rad/h), ainsi que l'étude du recuit des échantillons jusqu'à 300°C, ont montré que D_s est proportionnelle à la dose d'énergie absorbée des rayonnements, jusqu'à environ 10 Mrads. La dose annuelle d'irradiation par les rayonnements naturels, a été déterminée à partir de la teneur en U, Th et K, mesurée par activation neutronique, dans l'émail, la dentine et le sol.

. La densité D_s de spins a été mesurée pour les différents échantillons d'âge T; elle est vraisemblablement proportionnelle à la dose d'irradiation naturelle $-(T \cdot d_\alpha)$ pour l'irradiation α , $(T \cdot d)$ pour celle des autres particules, électrons, photons et rayons cosmiques - : $D_s = RT (k d_\alpha + d)$; les deux paramètres R et k ont pu être déterminés :

- $R \sim 25 \cdot 10^{16}$ spins par gramme et par M.rad, soit ~ 100 eV/spin,
- $k \sim 3\%$, rendement des α relatif aux autres particules.

Les âges T obtenus, compatibles avec l'ensemble des mesures, en se calant sur 2 Ma pour l'échantillon de Saint-Vallier, sont $\sim 1,25$ Ma pour ceux du Pérou, ~ 650 ka pour celui du sol Q de la Caune de l'Arago et ~ 450 ka pour celui du sol G, dans lequel ont été découverts les ossements fossiles d'*Homo erectus*.

Mots clés

- Hydroxyapatite / Email dentaire fossile.
- Résonance paramagnétique électronique / Datation.
- Sites (paléontologique, préhistorique) / Saint-Vallier/Ayusbamba/Tautavel.

Datation par RPE d'émail dentaire fossile provenant des sites d'Ayusbamba, Pérou, de Saint-Vallier et de la Caune de l'Arago, France.

Abstract.

. Dating fossil mammals, with a relatively thick ($t > 0,5$ mm) dental enamel, can be now performed, using electron spin resonance (ESR) method, in the T age range from ~ 10 ka to ~ 10 Ma.

. Measurements have been made on fossil enamel samples :

- *Equus mosbachensis* (Arago Cave, Tautavel, France), $t \sim 1.2$ mm ;
- *Cuvieronius hyodon* (Ayusbamba, Peru), $t \sim 4$ mm ;
- *Cervus philisi* (Saint-Vallier, Drôme, France), $t \sim 0.7$ mm.

The age of this last paleontological site, $T \sim 2$ Ma (10%) known by the biozone method, has been used as a standard.

. The paramagnetic centers (namely 'spins'), accumulated with time in the different hydroxyapatite phases of the fossil enamel by the effects of α - and electron - particles produced by natural radiations, have been quantitatively measured, using normalised area of natural ESR-signal of weighted sample (~ 50 mg each) by comparison with hi-stability spin standards of 2,2,5,6 - tetramethylpiperidinoxyl.

. Artificial irradiations - using ^{60}Co γ -rays (~ 800 k.rad/h), or $^{90}\text{Sr}+\text{Y}$ electrons (~ 150 k.rad/h) - and annealing experiments of the samples have showed that the spin density D_s vs (T.d), the irradiation dose, seems linear until 10 Mrads, with a proportionality factor $R \sim 25.10^{16}$ spins/g. Mrad ; using an α -to-electron relative efficiency $k \sim 3\%$, the following results have been obtained : $T \sim 2,0$ Ma for St-Vallier samples and $T \sim 1,25$ Ma for Peru samples ; for the Arago Cave, a Q - level sample, near the inferior stalagmitic floor, gave $T \sim 650$ ka, and a sample of the G - level (the level of *Homo erectus* fossil bones) gave $T \sim 450$ ka.

Key words.

- . Hydroxyapatite / Fossil dental enamel. ESR dating method. Saint-Vallier, Ayusbamba/Peru , Arago Cave/Tautavel (paleontological, prehistorical) site.

1 - Introduction -

. Pendant l'Ecole Internationale de Cusco, 'Multiciencias', en 1981, une expédition fut organisée par le paléontologiste, le Dr. Jose Angel Ramirez Pareja, ainsi que par le Dr. Robert Bouchez (qui donnait alors un cours sur les sciences de la nature appliquées à l'archéologie), pour collecter sur le site d'Ayusbamba, étudié par le Dr. Ramirez, des fragments d'ossements fossiles de grands mammifères du Pléistocène.

. La collecte de ces fossiles fut faite dans le but d'en effectuer la datation - au Département de physique de la UNI (Universidad Nacional del Ingenieria de Lima), dirigé par le Professeur Victor Latorre, organisateur de Multiciencias - en utilisant la technique de la résonance paramagnétique électronique développée dans ce département par le Dr. Ernesto Lopez Carranza.

. Les premières mesures montrèrent que les échantillons osseux et ceux de dentine de mastodonte(21) qui avaient été collectés, étaient très contaminés par des ions paramagnétiques (Fe^{3+} , Mn^{2+} ..); les spectres intenses de ces ions masquaient le signal RPE ($g \sim 2,0$) dû aux centres paramagnétiques créés par l'irradiation des particules α et des électrons secondaires (des radioéléments naturels U, Th, K notamment) sur la fraction minérale des tissus osseux. Par contre, l'émail dentaire d'un fragment de molaire apparaissait d'un blanc mat, très pur, à l'examen du microscope optique et donnait un diagramme de rayons X caractéristique de l'hydroxyapatite; cet émail dentaire fossile a permis d'obtenir un signal RPE, $g \sim 2,0$, qui est caractéristique de l'émail dentaire irradié qui est exempt de toute contamination.

. Cette première étude, en l'absence de détermination de la teneur en U, Th, K des échantillons et du sol environnant, et en adoptant une dose annuelle de l'ordre de 1 rad/an, avait permis d'estimer (1) pour le fossile collecté un âge T au moins égal à un million d'années (Ma). En outre l'accroissement de l'intensité du signal RPE apparaissait (1) proportionnel à la dose d'irradiation artificielle par les rayons γ de ^{60}Co ou par les électrons de $^{90}(Sr+Y)$, jusqu'à une valeur de plusieurs M.rads.

. Ce résultat, préliminaire, montrait que l'émail dentaire fossile se révélait, pour la datation, un matériau plus propice que les fragments de tissu osseux ou de dentine; cet émail ne semblait pas contaminé par les ions de l'environnement qui restent concentrés dans la dentine sous-jacente. L'émail apparaissait former un milieu plus fermé que le tissu osseux ou la dentine. Enfin, les centres paramagnétiques (électrons non appariés) qui sont à l'origine du spectre RPE, semblaient s'accumuler quasi-linéairement dans les phases d'hydroxyapatite (HA) de l'émail sous l'effet de doses considérables (plusieurs M.rads); cet effet permettait d'envisager d'atteindre des âges de plusieurs millions d'années.

. Ce résultat encourageant nous incita à lancer, dès Octobre 1981, une nouvelle étude (2) sur la datation de la Caune de l'Arago, à Tautavel, en utilisant l'émail dentaire de grands mammifères fossiles qui sont découverts dans le site préhistorique de Tautavel; l'âge de ce site était en effet apparu plus grand que l'âge limite expérimental (~ 350 ka) que la méthode du déséquilibre radioactif U-Th permet d'obtenir.

. Les résultats de datation RPE présentant en priorité la Caune de l'Arago sont publiés dans les Actes du Colloque de Tautavel (3).

. Devant les difficultés des premières mesures faites à Lima (1) pour déterminer le nombre de centres paramagnétiques ('spins') produits dans l'émail par unité de dose d'irradiation artificielle, il fut décidé d'utiliser une méthode comparative à partir d'émail provenant de fossiles d'âge bien connu; le premier site de référence choisi a été celui de Saint-Vallier, dont l'âge (~ 2 Ma) avait été déterminé par la méthode des biozones, avec intercalibration par la méthode radioactive $^{40}\text{K}-\text{Ar}$ (4).

2 - Les échantillons d'émail dentaire fossile. Leur teneur en U, Th, K -

. La présente étude a été faite sur des échantillons de fossiles provenant des sites suivants : Site paléontologique d'Ayusbamba (5,6), situé à 3800 m. d'altitude, dans la province de Paruro, à 50 km. de Cusco (Pérou), entre les gorges profondes de l'Apurimac et du Chipura. Au cours de l'expédition d'Août 1981, puis de celle de Novembre 1982 avec les Drs. Ramirez et Jean Amossé, dans les sédiments d'un ancien bassin lacustre, des restes de rotule, de défense et de molaire fossiles ont été collectés en surface, ou à faible (≤ 30 cm) profondeur ; ils se trouvaient à une altitude un peu plus élevée (~ 10 m) qu'une couche blanche (épaisseur ~ 20 cm) de diatomées (formation 'Tripoli'). Des prélèvements (~ 1 kg) du sol environnant furent aussi effectués autour des restes fossiles collectés.

. L'examen microscopique ($\times 2.000$) a montré que l'émail dentaire fossile possède une structure de fibres rubannées, orientées suivant une direction privilégiée, perpendiculaire à la dentine ; sa couleur, d'un blanc mat, laiteux, est caractéristique de HA de grande pureté : aucune trace visible d'impuretés ne fut observée. En outre, la limite émail-dentine est nette, la coloration blanche devenant brusquement ocre jaune ou noire, caractéristique des ions Fe^{3+} et Mn^{2+} (ce qui fut confirmé par les spectres RPE). L'épaisseur de l'émail est environ 4mm.

. Une dizaine d'échantillons furent prélevés, pesés au 1/10 de mg, de poids compris entre 10 et 100 mg environ ; ils ne furent pas réduits en poudre pour conserver l'information de direction des fibres de l'émail.

. Leur teneur en U, Th, K fut déterminée (Tableau 1) par activation neutronique, par comparaison avec des étalons géologiques internationaux. La détermination du profil de U dans l'émail et la dentine est en cours par la méthode des traces de fission, en collaboration avec le Laboratoire de Tectonique Physique, de l'Institut des Sciences de la Nature, de l'Université de Nantes.

	U ppm	Th ppm	K %
Email	5,0	< 0,1	0,02
Dentine	85	< 0,3	0,03
Terre	2,5	8	2

Tableau 1 - Teneurs en U, Th, K dans un fragment de molaire de mastodonte fossile, et dans la terre environnante, du site de Ayusbamba (Pérou).

. L'absence d'ions Fe^{3+} et Mn^{2+} dans l'émail, indiquée par les mesures RPE, est à mettre en parallèle avec l'absence de Th (environ 100 fois moins dans l'émail que dans la terre environnante), indiquée par les résultats (Tab. 1) de l'activation neutronique. Les ions K^+ sont également pratiquement absents : réduction de leur teneur dans l'émail et la dentine d'environ cent fois relativement à celle dans le sol.

. Mais le fait le plus remarquable concerne l'uranium qui se trouve piégé dans l'émail et, surtout, dans la dentine : il est bien connu que les carbonates et les phosphates constituent souvent d'excellents 'pièges' pour l'uranium ; des ions uranyles $(U^{VI}O_2)^{2+}$, présents dans les eaux acides carbonatées, ont dû, dès la mort de l'organisme, cheminer et se fixer dans les cristallites des phases de HA. Ce fait important permet d'expliquer les doses d'irradiation très élevées reçues par l'émail dentaire fossile. Un certain gradient de dose doit exister à l'intérieur de l'émail, dû à l'inhomogénéité de l'irradiation naturelle, entre le côté 'dentine' et le côté 'sol'. La dentine apparaît en effet comme une source radioactive intense d'uranium (et de ses dérivés) qui doit irradier surtout le premier millimètre d'émail (au contact de la dentine) ; cette irradiation est due pratiquement aux électrons d'énergie moyenne (≈ 1 MeV), produits par les radioéléments β ainsi que par les électrons de conversion interne. Ainsi, sur une épaisseur d'environ 1 mm, la couche d'émail, côté dentine, doit contenir une plus grande concentration de centres paramagnétiques (et donc un signal RPE plus intense) que la couche extérieure ; la mesure de ce gradient de concentration est en cours. Toutefois dans la présente étude c'est la concentration moyenne qui a été mesurée sur les prélèvements d'émail qui furent effectués sur toute l'épaisseur, perpendiculairement à la dentine, en prenant soin, par observation microscopique, de ne pas prélever un petit fragment de dentine. Les calculs de dose ont tenu compte de cette inhomogénéité, qui doit être surtout grande pour un émail relativement épais, comme celui (~ 4 mm) du mastodonte des Andes, CUVIERONIUS hydon.

- Site paléontologique de Saint-Vallier (4,20).

. Les restes de dents de cervidés fossiles de ce site possèdent un émail assez peu épais ($\sim 0,7$ mm), mais suffisant pour les mesures RPE. Ces restes se trouvaient enfermés dans du loess à banc durci, de couleur ocre jaune. L'examen microscopique et les spectres RPE ont montré que les ions Fe^{3+} , Mn^{2+} sont encore concentrés dans la dentine, tandis que l'émail reste immaculé, d'un blanc mat caractéristique de HA. Des prélèvements de sol, de la 'couche paléontologique' environnante, active au point de vue des rayonnements γ agissant sur l'émail, ont aussi été faits pour permettre l'analyse de U, Th, K.

. Trois échantillons d'émail, soigneusement pesés, de 50 mg environ ont été étudiés. Les teneurs en ^{238}U , ^{232}Th et K, déterminées par activation neutronique au réacteur à haut-flux ILL de Grenoble, sont présentées Tableau 2.

	U ppm	Th ppm	K %
E	25	0,2	0,05
D	96	< 0,3	0,04
T _a	2	6	0,71
T _b	1,2	6	0,62
T _c	1,4	5,4	0,61
\bar{T}	$\sim 1,5$	$\sim 5,8$	$\sim 0,65$

Tableau 2 - Teneurs en U, Th, K dans l'émail E, et la dentine D, ainsi que dans les échantillons (T_a, T_b, T_c) de terre (moyenne \bar{T}) pour le site de Saint-Vallier.

. Il se confirme que Th semble peu ($\sim 3\%$ de la teneur observée dans le sol) pénétrer dans l'émail, ainsi que dans la dentine. Il se confirme aussi que K pénètre assez peu dans l'émail et la dentine : moins de 10% de la teneur observée dans le sol pour ce site et $\sim 1\%$ pour celui d'Ayusbamba. Par contre, la fixation de l'uranium dans la dentine apparaît encore considérable (~ 100 ppm !), analogue à celle observée pour le site d'Ayusbamba ; remarquable est aussi la grande fixation de U dans l'émail (~ 25 ppm !), bien plus grande encore que pour le site précédent.

- Site de la Caune de l'Arago (7), Tautavel (France).

. Parmi les prélèvements en cours d'étude, les résultats sur deux dents de cheval, *Equus mosbachensis*, (Tableau 3) sont présentés.

Référence	Zone	Séquence	Ensemble	Sol	Couche	n°	X/Y /Z	dimensions mm
JLM7	I 18	Supérieure	III	G	-	2395	72/45/565	fragment ~ 25
JLM12	B 11	Inférieure	I	Q	ENS1	179	50/42/612	60.30.20

Tableau 3 - Caractéristiques des deux dents de cheval (Caune de l'Arago) utilisées pour la datation de leur émail par RPE.

. Le fragment dentaire JLM12 était de dimensions suffisantes pour pouvoir être identifié comme appartenant à une molaire M3, supérieure, droite, de *Equus mosbachensis*.

. Des sédiments furent aussi prélevés pour JLM7, (6 x 30 g.) dans un rayon de 20 cm, et pour JLM12, ~ 400 g. au voisinage de la dent.

. Plusieurs échantillons d'émail furent prélevés sur la partie externe de la dent (et non à l'intérieur des 'plis caballins'), dans le but de simplifier le calcul du débit de dose (rad/an) d'irradiation de l'émail par les radioéléments de la dentine. L'épaisseur d'émail dentaire d'*Eq. mosbachensis* est $\sim 1,2$ mm. La limite dentine - émail est toujours aussi nette, et les impuretés paramagnétiques restent concentrées dans la dentine.

. La teneur en U, Th, K de ces échantillons a été déterminée par activation neutronique, et est présentée Tableau 4.

. A noter qu'une teneur, élevée ($> 5\%$), de Na a été observée par activation neutronique dans l'émail et dans la dentine ; en conséquence les raies γ dues à Na ont limité la sensibilité de la détection de K à environ 100 ppm. Il est évident qu'une minéralisation sodique, d'un degré aussi élevé, pose le problème de son origine (guano ?) ; son étude est en cours.

. Ces résultats montrent que la teneur en U est relativement faible dans l'émail, surtout dans la dentine de JLM7 : la fixation de U dans HA de l'émail ne semble donc pas avoir été aussi forte à Arago que dans les autres sites. Il existe même une tendance à la non-fixation de U dans la dentine de JLM7 (sol G) - 1,5 contre 3,7 ppm U dans le sol -, ce qui pourrait correspondre à une certaine décarbonatation ultérieure de la dentine. Cette décarbonatation pourrait avoir été produite par un ruissellement acide ; un tel ruissellement aurait pu provenir de la paroi (JLM7 ayant été prélevé en I 18

où les effets de la paroi pourraient encore se faire sentir), par contre le ruissellement provenant de la poche décarbonatée du sol G a dû être négligeable, I 18 se trouvant assez éloigné de cette poche.

	JLM7 Arago G			JLM12 Arago Q		
	U ppm	Th ppm	K %	U ppm	Th ppm	K %
E	3,0	2,5 !	<0,019	4,3	< 0,3	< 0,04
D	1,5 !	0,1	<0,015	25	< 0,2	<0,013
T _o	3,5	4,7	0,71	-	-	-
T _c	4,0	3,0	0,44	-	-	-
T _d	3,6	5,6	0,85	-	-	-
\bar{T}	3,7	4,43	0,67	6,2	5,5	0,84

Tableau 4.- Teneurs en U, Th, K dans l'émail E, la dentine D de fragments des dents de cheval JLM7 et JLM12 de la Caune de l'Arago dans des sédiments environnants : pour JLM7, T_o est celle du sédiment prélevé avec la dent, T_c celle du milieu du sol G à 20 cm, T_d celle du sol également à 20 cm mais sur la surface de la base du sol G ; pour JLM12, T est la teneur d'une partie aliquote (~ 10 g) prélevée dans ~ 400 g de sédiments autour de la dent.

3. Spectrométrie RPE de l'émail dentaire fossile.

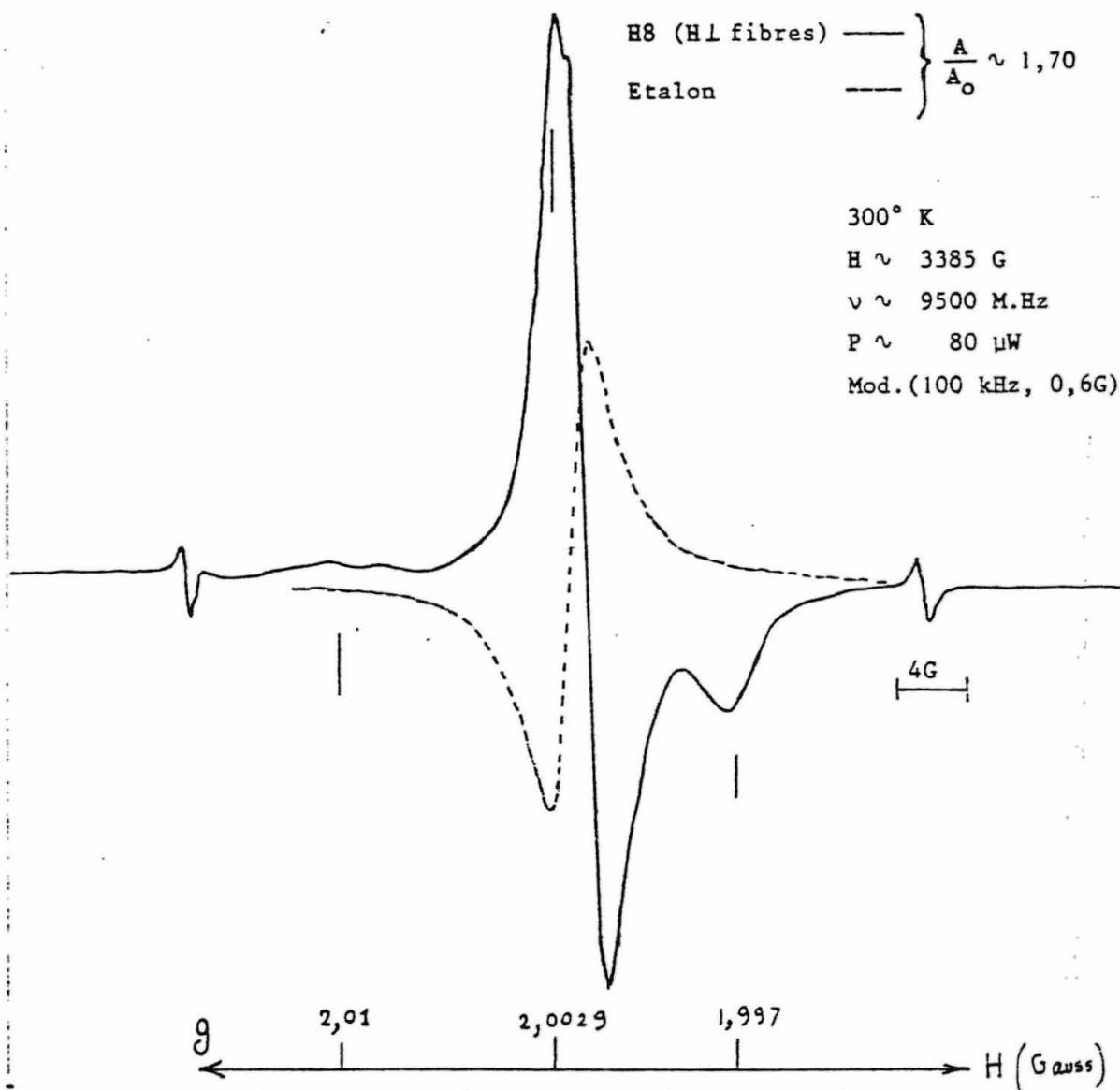


Fig.1 - Signal RPE de l'échantillon d'émail dentaire fossile H8 ($\sim 54,3$ mg) d'Ayusbamba comparé à celui d'un étalon de $\sim 3,5 \cdot 10^{15}$ spins, $g \sim 2,002$.

. Le signal RPE présenté Fig.1. est caractéristique de l'ensemble (~ 20) des échantillons d'émail dentaire fossile qui furent analysés. Il a été obtenu avec le spectromètre Varian (Section de Résonance Magnétique au Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble), à grand volume de champ magnétique (pour réduire les effets d'inhomogénéité du champ sur le bord des échantillons), utilisant des ondes électromagnétiques incidentes dans la bande X (~ 9500 M.Hz). Une double cavité résonante permettait de mesurer, à la fois, le signal de l'échantillon et celui d'un étalon de référence, de manière à éliminer les effets de variation de sensibilité du spectromètre. Tout signal RPE a été obtenu avec la même faible puissance ($P \sim 80 \mu$ W) de l'onde

incidente, de manière à éviter les effets de saturation. Chaque échantillon fut placé dans un tube de quartz ($\phi_i \sim 5$ mm), préalablement contrôlé pour son absence de signal RPE.

. Le signal (Fig.1) est le signal 'naturel' de l'échantillon H8, lequel n'a été soumis à aucune irradiation artificielle mais avait subi, uniquement, l'irradiation naturelle (surtout due à U, Th) depuis la mort de l'organisme vivant, il y a T années. Il est bien connu (8) que l'émail dentaire prélevé sur un organisme vivant, non irradié, ne contient pas d'uranium et, par conséquent, ne présente aucun signal RPE.

. Ce signal de résonance (Fig.1) a été obtenu avec les fibres alignées verticalement, perpendiculaires ($\theta \sim 90^\circ$) à la direction \vec{H} du champ magnétique de l'aimant. A noter que le signal conserve sa forme et son intensité par rotation de \vec{H} autour de l'axe vertical, qui est l'axe de fibres ; cette propriété de symétrie de rotation, autour de l'axe des fibres de l'émail, indique que cet axe correspond vraisemblablement à l'axe \hat{c} des différentes phases cristallines de HA pouvant constituer l'émail fossile : HA monoclinique, HA hexagonal, HA carbonaté (9,10,11).

. Le spectre d'absorption RPE d'émail fossile, tel qu'il apparaît Fig.1, est dû aux différentes espèces de centres paramagnétiques qui ont été créés, par irradiation naturelle, dans les différentes phases de HA. Relativement étroit ($\Delta H \sim 25$ Gauss), il est complexe et centré autour de ($H \sim 3385$ Gauss, $\nu \sim 9500$ M.Hz) correspondant à $g \sim 0,7145$ $\nu/H \sim 2,002$, valeur du facteur g spectroscopique qui caractérise une population de spins d'électrons quasi-libres, et non couplés par paire.

Densité de spin. - Le nombre total de centres paramagnétiques (spins), présents dans les différentes phases de HA de l'émail fossile, a été mesuré pour six échantillons (Tableau 5). Pour connaître le nombre de spins présents dans chaque échantillon, il a été nécessaire d'intégrer la courbe d'absorption RPE. Or le signal (Fig.1) donné par un spectromètre RPE représente la dérivée de cette courbe d'absorption ; il a donc été nécessaire de procéder à une double intégration. Ceci a été réalisé soit automatiquement, en utilisant un calculateur en ligne convenablement programmé (12), soit directement sur un signal RPE (Fig.1), par digitalisation du signal suivie de deux sommations successives (ce qui permettait d'ajuster, à volonté, la 'fenêtre' de sommation. Ainsi le nombre relatif de spins correspondant au signal H8 est environ 1,7 fois celui correspondant à l'étalon (Fig.1) : $A/A_0 \sim 1,70$.

. Le nombre absolu de spins a été déterminé par inter-comparaison avec deux étalons primaires de tétraméthyle 2,6,6,6, pipéridinoxyle (13), de poids connu, contenant respectivement 2,78 et $16,7 \cdot 10^{15}$ spins ($\pm \sim 1\%$). Ces valeurs encadrent celle $5,30 \cdot 10^{15}$ spins ($\pm \sim 5\%$) de l'échantillon H83 d'Ayusbamba qui fut ensuite utilisé comme étalon secondaire, et dont la densité D_s de spins est alors égale à $(5,30 \cdot 10^{15}/44,9 \sim 11,8 \cdot 10^{13}$ spins/mg).

Le rendement radio-paramagnétique électronique (rpe) pour la création de spins, peut se définir par analogie (12) avec le 'rendement radiochimique' G pour la création, sous irradiation, de radicaux libres. Dans une première approche, un rendement 'global' R a été ainsi défini :

$$D_s \sim R (k D_{\alpha} + D) \quad (1)$$

Site	Echant.	Poids mg	$D_s \times 10^{16}$ spins g
Ayusbamba	H 83	44,9	11,8
	H 7	67,7	12,0
	H 8	54,3	11,0
Saint-Vallier	V 2	48,7	4,6
Arago - Sol Q	JLM 12/2	59,2	6,2
Arago - Sol G	JLM 7/2	59,2	2,0

Tableau 5.- Densité D_s de spin mesurée pour six échantillons des différents sites étudiés.

- $D_s \equiv \Delta N_s / \Delta m$, densité de spin ou nombre total de spins par gramme; D_s a été mesurée par comparaison avec des étalons de spin,
- D_α (ou D), dose, en rads, des différents rayonnements α (ou e et cosmiques) à laquelle HA fossilisé a été exposée; l'unité est le rad: 1 rad = 10^7 ergs absorbés dans un gramme d'air (NTP).
- R, rendement 'global' (sans distinguer les différents rendements de création des différents centres paramagnétiques); R contient un facteur correspondant au pouvoir d'arrêt (dT/dx) dans HA, pour les différents rayonnements concernés, relatif à celui dans l'air.
- k, rendement des particules α relatif à celui des électrons; il varie de 5 à 30% environ, soit dans les mesures de TL pour les céramiques anciennes (14,15) - il peut même être aussi faible que 2% pour certains types de quartz - soit dans celles de RPE pour les ossements fossiles ou les concrétions de calcite (15,16,17).

. Une irradiation naturelle, supposée constante dans le temps depuis la mort de l'organisme il y a T années, conduit à la relation :

$$D_s \sim R.T (k d_\alpha + d) \quad (2)$$

$$d \equiv d_\beta + d_e$$

- D_s/T , densité annuelle de spins, créée sous irradiation naturelle,
- d_α ($\frac{\text{rad}}{\text{an}}$), dose annuelle d'irradiation naturelle due aux particules α
- d_β (rad/an), dose annuelle d'irradiation naturelle due aux électrons; elle provient principalement des électrons émis par la dentine sous-jacente, lorsque celle-ci, c'est le cas qui semble le plus fréquent, contient une teneur élevée en U,
- d_e (rad/an), dose annuelle d'irradiation externe due aux rayonnements β et γ de K, aux rayonnements γ du sol et aux rayons cosmiques.

. Lorsque l'âge T du fossile n'est pas assez grand par rapport à la constante de temps (~ 80 ka, la période du ^{230}Th) nécessaire pour que l'équilibre radioactif de U s'établisse dans l'émail, une correction ($\sim 20\%$ pour $T \sim 350$ ka) doit être évidemment appliquée pour la dose d'irradiation de U.

. L'émail ne contenant pas d'uranium à la mort de l'organisme, il a été admis que la fixation de U dans l'émail s'effectue lors de la fossilisation - comprenant, vraisemblablement, une carbonatation (9) - ; ce processus a lieu dès la mort de l'organisme et dure un temps t probablement petit ($t \ll T$) devant les âges élevés T qui sont ici en cause. D'autres études devront être entreprises pour analyser le processus de fossilisation associé à la fixation de U et d'autres éléments (Na, ...) ou groupements (Co_3 , SiO_4 ...) ainsi que pour préciser dans quelles conditions l'émail une fois fossilisé (minéralisé) pourrait 's'ouvrir' de nouveau et échanger des ions avec le milieu environnant. Une telle ouverture ultérieure est vraisemblablement moins probable pour l'émail que pour des systèmes moins minéralisés, à l'origine, comme la dentine ou l'os (30% de minéralisation contre $\sim 100\%$ pour l'émail).

4 - Dose annuelle d'irradiation naturelle -

. Les différentes composantes de la dose annuelle (d_α , d_β , d_e) d'irradiation naturelle des échantillons d'émail fossile, ont été calculées (Tableau 6), à partir des valeurs mesurées (Tableaux 1,2,4) de la teneur en U, Th et K, ainsi que des doses spécifiques admises (18) en datation par TL, en utilisant la méthode suivante :

- L'irradiation α , d_α , est uniquement produite par U et Th qui sont contenus dans l'émail ; celle due à U et Th de la dentine et du sol est négligeable. En outre, toute fuite de Rn hors de l'émail est négligeable.
- L'irradiation β , d_β , est produite par U et Th contenus à la fois dans l'émail, la dentine et le sol, en négligeant les fuites de Rn. La fraction principale dans d_β correspond, le plus souvent, à l'uranium de la dentine (~ 100 ppm pour Saint-Vallier et pour Cusco) ; c'est l'effet dentine qui donne souvent à d_β une valeur élevée.
- L'irradiation externe, d_e , est produite par les autres rayonnements : les rayons γ de U et Th du sol, les rayons β et γ de K, les rayons cosmiques ; l'irradiation γ de U et Th dans la dentine et l'émail est négligeable.

. L'irradiation α apparaît avoir été environ 5 à 10 fois plus grande que l'irradiation due aux électrons, pour les différents sites. Ce fait est dû, en général, à la grande quantité d'uranium piégé dans l'émail.

. L'irradiation due à Th est en général (sauf pour Arago - G) négligeable ; toutefois il n'est pas impossible que l'échantillon d'émail analysé par activation neutronique contenait en surface (bien qu'il ait été nettoyé) une certaine contamination d'oxydes (riches en Th) provenant du sol ; dans ce cas la dose d_α ne comporterait pas de contribution Th et devrait être diminuée d'environ 20% (il en a été tenu compte dans la suite des calculs).

Site \ $\frac{\text{m.rad}}{\text{an}}$	d_α		d_β		d_e	
	U	Th	U	Th	Env	C
Saint-Vallier	6957	15	~ 600	~ 0	75	~ 15
Arago - Q	1200	~ 0	~ 200	~ 0	130	~ 10
Arago - G	835	185	~ 40	~ 10	100	~ 10
Ayusbamba	1400	~ 0	~ 200	~ 10	130	~ 30

Tableau 6.- Débit moyen de dose (m.rad/an) d'irradiation naturelle due aux particules α (d_α) et aux électrons (d_β) de U et Th, ainsi que la dose externe (d_e) due à l'environnement (Env) et aux rayonnements cosmiques (C).

5 - Détermination de l'âge par la méthode comparative RPE -

. La comparaison entre les sols Q et G du site de la Caune de l'Arago et le site de Saint-Vallier a conduit aux relations (3) suivantes :

$$\text{Saint-Vallier} : D_v = RT_v (k d_\alpha^v + d_v)$$

$$\text{Arago - Q} : D_Q = RT_Q (k d_\alpha^Q + d_Q) \quad (3)$$

$$\text{Arago - G} : D_G = RT_G (k d_\alpha^G + d_G)$$

dans lesquels les densités de spin (D_v , D_Q et D_G), ainsi que les différentes doses d'irradiation naturelle, déduites des tableaux 5 et 6, sont présentées Tableau 7. Le rendement rpe (R pour les électrons, kR pour les α) a été pris égal pour les différents échantillons d'email fossile.

	D_s 10^{16} spins/g	d_α rad/an	d rad/an
Saint-Vallier	40	7	0,70
Arago - sol Q	6,2	1,2	0,35
Arago - Sol G	2,0	1,0 (sans Th:0,83)	0,16
Ayusbamba	11,8	1,4	0,35

Tableau 7.- Densité moyenne de spin et doses annuelles pour les différents sites et sols étudiés.

Les relations (3) ont permis de tracer la variation de l'âge T_Q du sol Q de l'Arago, en fonction du rendement rpe relatif k (de α par rapport aux électrons), :

$$\frac{T_Q}{T_V} = \frac{D_Q}{D_V} \frac{k d_\alpha^V + d_V}{k d_\alpha^Q + d_Q} \quad (4)$$

l'âge T_V de Saint-Vallier étant pris comme âge de référence ; l'âge (T_Q/T_V) de Arago-Q relatif à celui de Saint-Vallier est alors indépendant du rendement rpe absolu R (spins/g.Mrad), lequel sera déterminé plus loin. La courbe qui représente cette variation de T_Q est une branche d'hyperbole : elle est présentée Fig.2 :

- $T_V = 2,0$ Ma a été adopté comme référence,
- la courbe, quasi-linéaire, qui lui correspond ne peut évidemment conduire à une valeur de l'âge T_Q du sol Q de l'Arago qui soit plus grande que celle (2) donnée par le paléomagnétisme et par la classification chronologique des mammifères (biozones) correspondant au plancher stalagmitique inférieur (un peu en-dessous du sol Q). Une limite supérieure ($T_Q < 700$ ka) a été adoptée (Fig.2).
- l'âge de ce sol Q apparaît alors plus grand que 600 ka, ou 550 ka si l'on prend en compte un écart de $\sim 10\%$ des données de la spectrométrie RPE et des doses d'irradiation naturelle.
- Le rendement rpe relatif k (des α /électrons) apparaît inférieur à 4% environ.

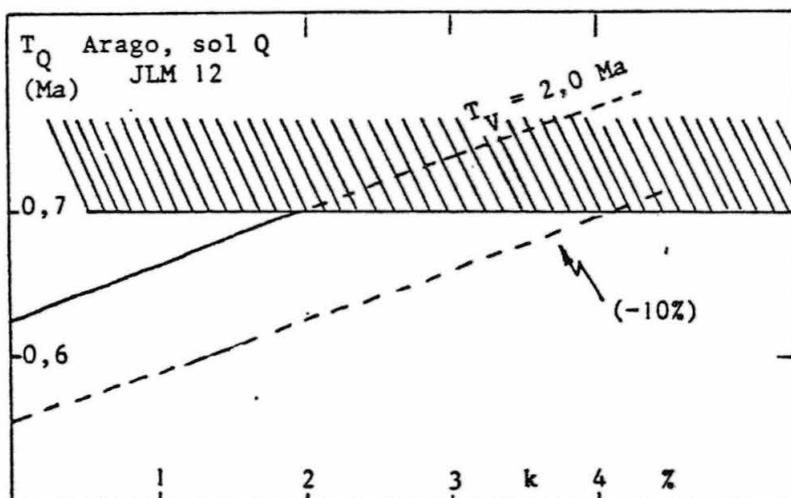


Fig.2 - Variation de T_Q (âge de Arago-Q) en fonction de k , pour $T_V = 2,0$ Ma (âge de Saint-Vallier).

Age de l'Arago, sol G -

. La variation de l'âge T_G du sol G de l'Arago, relatif à celui T_Q du sol Q, en fonction de k a aussi été déduite des relations (3) :

$$\frac{T_G}{T_Q} = \frac{D_G}{D_Q} \cdot \frac{k d_\alpha^Q + d_Q}{k d_\alpha^G + d_G} \quad (5)$$

La branche d'hyperbole, quasi-linéaire, qui représente cette fonction (5) est présentée Fig.3, pour les valeurs de k (< 4%) compatibles (4) avec l'âge de référence de St-Vallier, et avec la limite supérieure de l'âge de la base du remplissage de l'Arago :

- l'âge du sol G de l'Arago apparaît ainsi se trouver, entre environ 450 et 500 ka (suivant qu'une dose α due au Th intervienne ou non dans l'émail de JLM7).
- Un écart dans les données d'environ 10% abaisserait l'âge T_G entre 450 et 400 ka environ.

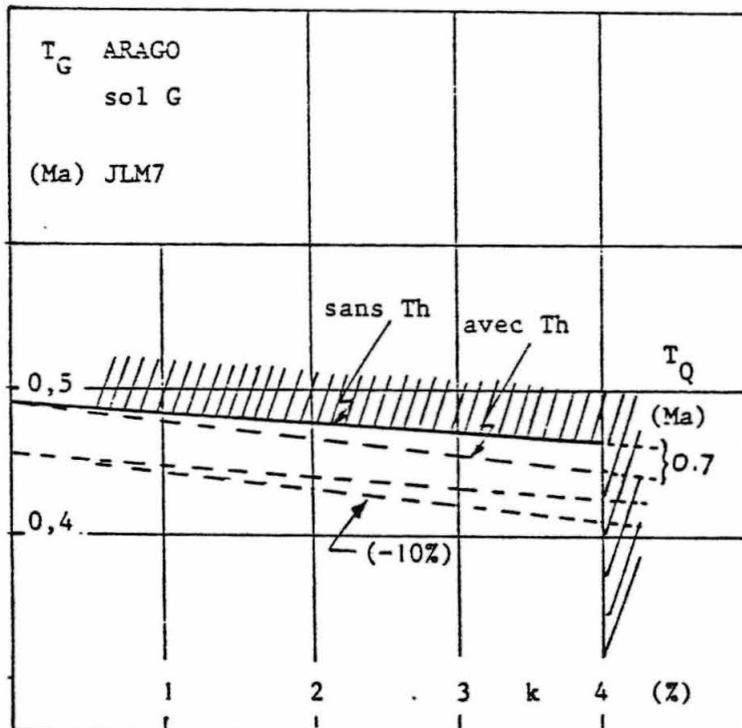


Fig.3 - Variation de l'âge T_G du sol G de l'Arago, en fonction du facteur k , limitée par l'âge de référence $T_V = 2,0$ Ma et par l'âge maximal du remplissage (≤ 700 ka).

Age de Ayusbamba (Pérou) -

. L'étude a porté sur 5 échantillons d'environ 50 mg dont la valeur moyenne de la densité de spin a été mesurée égale à $D_s = 11,8$ (10%) en, unité 10^{16} spins/g et qui a été prise comme étalon secondaire de densité pour les autres échantillons de St-Vallier et de l'Arago. La variation de l'âge T_M de l'émail d'Ayusbamba relatif à celui de St-Vallier, en fonction de k , donnée par :

$$\frac{T_M}{T_V} = \frac{D_M}{D_V} \frac{k d_\alpha^V + d_V}{k d_\alpha^M + d_M} \quad (6)$$

est représentée Fig.4, à partir des données expérimentales (Tab.7) :

- l'âge T_M obtenu se trouve ainsi entre 1,2 et 1,4 Ma.
- Une variation des données expérimentales d'environ 10% abaisse T_M entre 1,1 et 1,25 Ma environ.

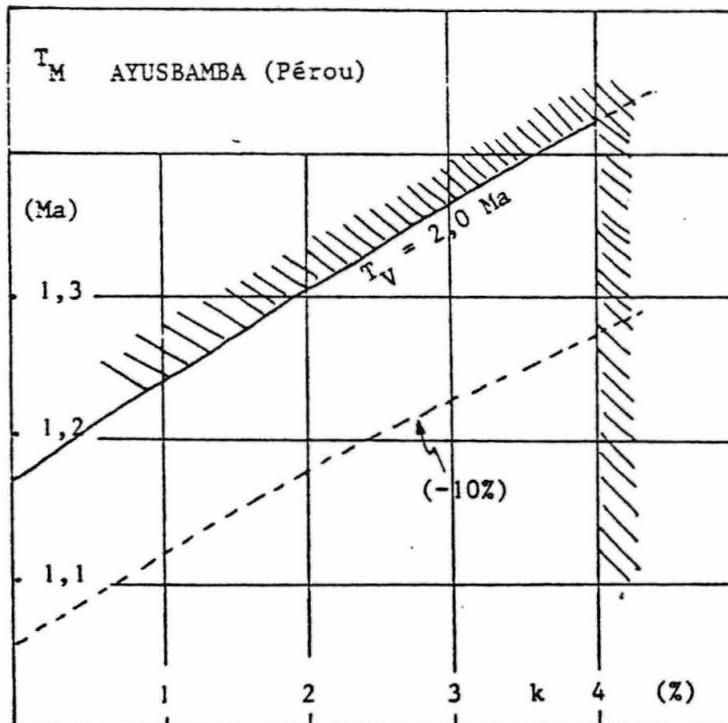


Fig.4 - Variation de l'âge T_M de *Cuvieronius hyodon* (Ayusbamba) en fonction du facteur k , en prenant l'âge du site de Saint-Vallier ($T_V = 2,0$ Ma) comme référence.

Détermination du rendement R -

. A partir de la relation (2), appliquée au site de référence de St-Vallier, $D_V = RT_V(k d_d^V + d_V)$, et en prenant $k \sim 4\%$ donné par l'étude précédente, une irradiation de 1 M.rad $\sim 6,25 \cdot 10^{19}$ eV/g an correspond à la création d'environ $25 \cdot 10^{16}$ spins/g dans les phases de HA fossilisé. Le rendement rpe, défini par R, est alors égal à :

$$R \sim 25 \cdot 10^{16} \text{ spins/g.Mrad soit} \\ R \sim 0,4 P \text{ spins/100 eV} \quad (7)$$

P est le pouvoir d'arrêt de 1 g d'émail fossile relatif à celui de 1 g d'air (NTP), correspondant à l'ensemble des rayonnements naturels. La valeur (7) détermine l'énergie moyenne (~ 100 eV) nécessaire pour produire un centre paramagnétique dans l'émail dentaire fossilisé.

Cette valeur est comparable (12) aux valeurs trouvées pour le rendement radiochimique G pour créer, sous radiation, des radicaux libres.

6 - Irradiations artificielles de l'émail dentaire fossile -

. Les irradiations artificielles qui ont été effectuées ont permis d'obtenir les résultats suivants :

- L'émail fossile, fraîchement irradié, présente une coloration bleutée qui disparaît en 24 heures environ. Cette coloration semble liée aux nouveaux centres qui apparaissent après l'irradiation, au voisinage de $g \sim 2,01$. Il a été observé que ces 'centres colorés' ont une vie moyenne d'environ 10 heures; ils disparaissent après un recuit à 200°C , durant 1 heure.

- L'accroissement de la densité de spins D_s du signal RPE est proportionnel à la dose artificielle reçue par l'échantillon. Cette variation linéaire a d'abord été observée au laboratoire RPE de Lima (1), à la fois pour les rayonnements γ de ^{60}Co (~ 50 k rad/h), et pour les électrons d'une source de 40 m. Curies de $^{90}(\text{Y}+\text{Sr})$ produisant un débit de dose de ~ 150 k.rad/h : cette linéarité existait encore pour une dose totale de 4 M.rads environ sur des échantillons d'émail de mastodonte. Cette linéarité a ensuite été observée jusqu'à une dose totale de 10 M.rads environ sur différents échantillons d'émail, provenant non seulement du site d'Ayusbamba mais aussi du site de Saint-Vallier qui furent irradiés dans la piscine d'irradiation ^{60}Co (~ 800 k.rad/h) du Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble. De nouvelles expériences sont en cours pour étudier les effets de saturation au-delà de 10 M.rads.

- Cette variation linéaire (D_s vs dose artificielle) rend vraisemblablement possible son application à la datation de l'émail dentaire fossile, par la mesure de la dose artificielle 'équivalente', qui produit les mêmes centres paramagnétiques, avec la même densité, que la dose naturelle reçue par l'émail fossile. Toutefois, il a été observé que cette dose artificielle, équivalente à la dose naturelle, varie avec la nature et l'intensité des rayonnements, γ de ^{60}Co ou électrons de $^{90}(\text{Sr}+\text{Y})$, ainsi qu'avec la durée de l'irradiation ; l'étude est en cours pour maîtriser ces effets.

7 - Conclusions -

. La datation du site préhistorique de l'Arago, ainsi que celle du site paléontologique d'Ayusbamba, ont été effectuées par comparaison RPE, avec l'âge du site paléontologique de Saint-Vallier, lequel semble être bien connu et a été pris, comme référence, égal à 2 Ma ; les résultats obtenus sont les suivants :

- Equus mosbachensis/Arago/Sol Q : entre 600 et 700 ka
- Equus mosbachensis/Arago/Sol G : entre 400 et 480 ka
- CUVIERONIUS hyodon/Ayusbamba : entre 1,1 et 1,4 Ma

Cette comparaison a été faite sur la densité de spin, laquelle a été mesurée à partir de l'intensité du spectre RPE obtenue pour un échantillon d'émail dentaire fossile provenant des mammifères de ces sites ; la valeur de la densité de spin D_s d'un échantillon a permis de déduire son âge T, à partir de la relation :

$$D_s = RT (k d_\alpha + d)$$

- le rendement R de production de centres paramagnétiques dans les phases HA de l'émail, sous irradiation β , γ ou cosmique, a été trouvé égal à :

$$R \sim 25.10^{16} \frac{\text{spins}}{\text{g}}/\text{M.rad} \text{ (équivalent air NTP)}$$

d'où on déduit le facteur G, utilisé en radiochimie (12) :

$$G \sim 0,4 \text{ .P. spins}/(100 \text{ eV})$$

P étant le pouvoir d'arrêt des rayonnements dans HA, relatif à celui dans l'air ; il en résulte que la production d'un centre paramagnétique, sous irradiation β , est environ 100 eV.

- le rendement (kR), sous irradiation α , apparaît dans cette étude environ 30 fois plus faible que le rendement β .

. L'utilisation d'émail dentaire fossile, au lieu de tissu osseux, constitue une nouvelle méthode, de même que la comparaison directe de la densité 'naturelle' de spin (sous irradiation naturelle) avec celle d'échantillons d'âge connu, au lieu d'utiliser la méthode habituelle d'irradiation artificielle. Il est donc indispensable de poursuivre l'étude de cette nouvelle méthode de datation pour :

- construire l'échelle chronologique dans le domaine exploré de 0,4 à 2 Ma,
- déterminer la dose minimale mesurable. Une dose de 20 k.rad environ (soit $T \sim 100$ ka pour $d \sim 200$ mrad/an) produit $\sim 20.10^{13}$ spins, pour un échantillon de 50 mg ; celle-ci semble mesurable ($\sim 10\%$) avec un spectromètre RPE dont la sensibilité est 10^{13} spins,
- déterminer la dose maximale mesurable, laquelle semble se trouver dans l'ordre de 10 M.rad, ce qui permettrait d'atteindre la période du Miocène moyen, pour des sites dont l'émail dentaire fossile reçoit un débit de dose d'irradiation de 1 rad/an,
- identifier les différentes espèces paramagnétiques produites non seulement par irradiation naturelle de l'émail fossile, mais aussi celles produites sous irradiation artificielle.

Références -

- 1 - LÓPEZ CARRANZA (Ernesto) et BOUCHEZ (Robert). - 'Datacion por resonancia de spin electronice de un molar de mastodonte de Ayusbamba, Cuzco, Peru' - Communication présentée à '1982 Symposium on Archaeometry' tenu (30 Mars - 3 Avril 1982) à Bradford (U.K.) ; et, Publication 'Laboratorio de Archaeometria, Universidad Nacional de Ingenieria' Lima, 1982.
- 2 - LUMLEY (Henry de) et LABEYRIE (Georges). - 'Datations absolues et analyses isotopiques en Préhistoire, Tautavel, 1981' - Colloque International du CNRS. - Paris, CNRS, (sous presse).
- 3 - BOUCHEZ (Robert) et MA (Jean Luc). - 'Datation par RPE d'émail dentaire fossile de Equus mosbachensis, de la Caune de l'Arago'. In : Colloque International du CNRS (Tautavel). - Ibid.
- 4 - GUÉRIN (Claude). - 'Première biozonation du Pleistocène européen, principal résultat biostratigraphique de l'étude des Rhinocerotidae (mammalia, périssodactyla) du Miocène terminal au Pleistocène supérieur d'Europe occidentale' - Géobios, n° 15, fasc. 4. - Lyon, 1982. - p. 593-598.
- 5 - GREGORY (E.H) and EATON (F.G.). - 'Geological Reconnaissance of the Ayusbamba (Peru) Fossil Beds, and Vertebrate Fossils from Ayusbamba' - The American Museum Journal of Science XXXVII, New York, 1914.
- 6 - RAMIREZ PAREJA (José Angel). - 'Mamíferos Fósiles del Departamento del Cusco, Perú.' Tesis presentada a la Facultad de Ciencias, para optar al grado de Dr. en Ciencias Biologicas. Univ. Nacional de San Antonio Abad del Cusco, diciembre 1958.
- 7 - LUMLEY (Henry de) et BOONE (Yvonne). - 'Les structures d'habitat du Paléolithique inférieur', la Préhistoire Française. - Paris, 1976. p. 625-643.
- 8 - OSTROWSKI (K.) and DZIEDZIC-GOCLAWSKA (Anna), STACHOWICZ (W.) and MICHALIK (J.). - 'Accuracy, sensitivity, and specificity of electron spin resonance analysis of mineral constituents of irradiated tissues'. Annals New-York Acad. of Science, 238, 1974. p. 186-201.
- 9 - BONEL (Gilbert). - 'Contribution à l'étude de la carbonatation des apatites' - Annales de Chimie. - Paris, 1972. - t7, p. 65-88 et 127-144.
- 10 - ELLIOTT (J.C.), MACKIE (P.E.) and YOUNG (R.A.). - 'Monoclinic Hydroxyapatite' - Science - Vol 180, 1973. - p. 1055-1057.
- 11 - CORBRIDGE (D.E.C.). - 'Apatite Structures' - In : 'The structural chemistry of Phosphorus' - Elsevier Scientific Pub., 1974. - p. 90-96.
- 12 - DESCOURS (Solange), ASSAYRENC (Jacques), BERMAN (Francis), COUDERC (Bernard), CHOUDENS (Henri de), DELARD (René), RASSAT (André), SERVOZ GAVIN (Pierre). - 'Etude par RPE des radicaux libres créés sous irradiation dans certaines substances organiques. Application en dosimétrie de la mesure des radicaux libres créés dans l'alanine'. Rapport CEA R-3913. - CEN-Saclay, Gif-sur-Yvette, 1970. 26 p. 17 fig.
- 13 - BRIERE (Roselyne), LEMAIRE (Henri) et RASSAT (André) - 'Radicaux libres stables pipéridiniques' - Bull. Soc. Chim. France, 1965. - p. 3273-3283.

-
- 14 - AITKEN (M.J.) - 'Physics and Archaeology' - Oxford, Clarendon Press, 1974 (second edition).- p.118.
- 15 - IKEYA (Motoji).- 'Dating a stalactite by electron paramagnetic resonance' - Nature 255, 1975.- p.48-50.
- 16 - HENNING (G.J.), HERR (W.), WEBER (E) and XIROTIRIS (N.I.) .- 'ESR-dating of the fossil hominid cranium from Petralona Cave, Greece'. Nature 292, 1981.- p.533-536.
- 17 - YOKOAMA (Yuji),QUAEGEBEUR (Jean-Pierre), BIBRON(Roland),LEGER (Concèle), NGUYEN (Huu-Van) et POUPEAU Gérard).-Datations par la résonance de spin électronique des ossements de la Caune de l'Arago, Tautavel'.-In:Colloque International du CNRS, (Tautavel, 1981).-Prétirage, CNRS, 1981.-p.457-492.
- 18 - BELL (W.T.) .-'Thermoluminescence Dating : Radiation Dose-Rate Data'. -Archaeometry, 21, 2.-Oxford, 1979.-p.243-245.
- 19 - DOI (Y.), AOBA (T.), OKAZAKI (M.), TAKAHASHI (J.) and MORIWAKI (Y).- 'Analysis of paramagnetic centers in X-Ray— irradiated Enamel, Bone and Carbonate— containing Hydroxyapatite, by Electron Spin Resonance Spectroscopy.' - Calcified Tissue International. 28, 1979.- p.107-112.
- 20 - BOUT (Pierre) .-'The contribution of the volcanic Massif Central of France to European Quaternary Chronology in after the Australopithecians. -Paris, Mouton, 1975.-911 p.
- 21 - RAMIBEZ PAREJA (José Angel).-Communication privée: '*Los sedimentos en los que se encuentran los fósiles de Mastodontes pertenecen al Cuaternario y corresponden a una antigua cuenca lacustre, por lo que todo el espesor de los sedimentos que constituyen esta formación geológica es de estratos de arcillas, arenas, limos y gravas que se intercalan; en donde el tripoli aparece en forma muy marcada. Las arcillas y los limos, así como el tripoli contienen restos de fósiles de gasterópodos, lamelibranquios y diatomeas, que señalan ambiente acuático para dichos sedimentos y los fósiles se encuentran en estratos de limos arcillosos y en asociación con restos fósiles de cérvidos y équidos. La clasificación sistemática de los Mastodontes hallados en Ayusbamba se ha determinado en base a los colmillos y muelas que están bien fosilizados y los caracteres que mejor han servido para dicha determinación han sido el desgaste trifoliar en las muelas y la banda esmaltada en los colmillos, así como otros caracteres del cráneo y de las vértebras. El material fosilífero colectado en diferentes oportunidades se encuentra actualmente en el Museo de Historia Natural y en Gabinete de Paleontología de la Universidad Nacional del Cusco, Perú; material que consiste en numerosos fragmentos de huesos y dientes. El nombre científico de los Mastodontes de Ayusbamba es: CUVIERONIUS hyodon (Fischer, 1814); esta especie se extendió en Sudamérica durante el Pleistoceno, distribuyéndose especialmente en las partes altas a lo largo de la Cordillera de los Andes.'*
-