notes

Céramiques dentaires et radioactivité*

A. NOEL**, A. GOENGRICH***, J.-P. LOUIS ***

(Manuscrit reçu le 22 février 1988)

RÉSUMÉ

Pour des raisons esthétiques, on incorpore des composés d'uranium à certaines porcelaines dentaires. Dans cette étude, les auteurs ont déterminé la concentration en poids d'uranium contenue dans les poudres céramiques utilisées pour la fabrication des couronnes céramo-métalliques en utilisant la scintillation liquide.

Tenant compte de l'architecture et de la situation en bouche des couronnes céramiques, les doses absorbées à la muqueuse buccale ont été calculées. Nous avons considéré les particules alpha et bêta émises pour calculer l'équivalent de dose annuel à la couche basale de la muqueuse buccale afin d'estimer le risque radique. Les anciennes poudres céramiques étudiées montrent un équivalent de dose annuel supérieur à 100 mSv/an. Pour les céramiques actuellement utilisées, l'équivalent de dose annuel varie de 6 à 25 mSv/an. Si la concentration en uranium dans les céramiques dentaires ne dépasse pas 0,1 % (1000 ppm), les résultats de cette étude suggèrent que le risque d'effet pathologique associé à ces doses est faible.

Les auteurs pensent que la recherche de luminophores non radioactifs serait un progrès.

ABSTRACT

For aesthetic purposes, some porcelain teeth contain uranium compounds. In the present study, the authors determined the concentration of uranium in brands of porcelain teeth widely used in dental clinics, using the liquid scintillation method.

With respect to the design, shape and position of the porcelain teeth, the absorbed doses to oral tissues were calculated. Alpha and beta radiations were considered in order to assess the annual dose equivalent to the basal cell layer of the oral mucosa, in order to estimate radiation risk. Ancient brands of porcelain teeth submitted to the analyses showed annual dose equivalents higher than 100 mSv/yr. For the porcelain teeth presently in use, the annual dose equivalent is varying in the range of 6 - 25 mSv/yr. If the uranium concentration in porcelain teeth does not exceed 0.1 % (1000 ppm), the results of the present investigation suggest that the actual risk for pathological effects is very low.

The authors believe that the development of non-radioactive fluorescent activators is pertinent.

* Communication présentée lors du congrès de la Société française des physiciens d'hôpitaux, Toulouse, 6-7 juin 1986.

** Centre Alexis-Vautrin, Unité de radiophysique, route de Bourgogne, 54511 Vandœuvre-les-Nancy.

*** Faculté de chirurgie dentaire de Nancy, rue du Docteur-Heydenreich, 54012 Nancy Cedex.

AVANT PROPOS

Un sujet à sensation

"Les fausses dents sont radioactives" [4, 5]. Nous devons ce titre choc à un mensuel scientifique qui, dans deux publications successives, fait le point sur les sept sources d'exposition radioactive possibles. Parmi celles-ci, la plus méconnue est entièrement l'œuvre de l'homme. Nombreux sont les objets de tous les jours qui renferment des matières ionisantes, comme les porcelaines dentaires contenant des composés d'uranium et de cérium.

Une explication

Se fondant sur une étude de la Commission scientifique des Nations Unies (1977), l'auteur met en garde sur la pratique qui consiste à incorporer de l'uranium dans la porcelaine, tout en expliquant que, par ce moyen, les fabricants obtiennent une fluorescence de leurs poudres, proche de celle des dents naturelles. L'ensemble des auteurs [1, 7, 15] ainsi que certaines commissions (UNSCEAR, 1982; National radiological protection board NRPB, 1976) confirment cette hypothèse [14]. MOORE et SMITH [10] expliquent, à la suite d'autres auteurs [3], que les dents naturelles "fluorescent" lorsqu'on les irradie aux UV (350 nm).

Une des conditions requises par la porcelaine dentaire est donc de présenter le même comportement optique sous UV que la dent naturelle.

Travaux et recherches

Les Japonais [11-12] ont montré avec beaucoup de rigueur l'existence de proportions non alarmantes d'uranium dans la céramique dentaire.

Toutefois, GORBAN [7] dans ses recherches sur les propriétés fluorescentes de la céramique avait trouvé que les poudres Vita en général et, en particulier, l'ancien éventail Vita 1130 et Vita dur contenaient jusqu'à 1,6 % de leur poids en uranium. Il relevait d'autre part que les fortes teneurs en uranium ne donnaient pas les plus fortes luminosités alors que de faibles quantités (0,1 à 0,2 %) éclaircissaient la porcelaine en la rendant plus fluorescente.

La concentration en poids d'uranium est limitée aux USA et en RFA à :

- 0,1 %, soit 1000 ppm en RFA,
- 0,05 %, soit 500 ppm aux USA.

Mais ces limites légales sont-elles respectées par les fabricants ? ont-elles un sens ?

Comme nous n'avons noté à ce jour aucune publication française concernant ce problème, il nous a fallu entreprendre notre propre expérimentation [6], afin de conclure sur l'éventuelle présence de radioactivité dans les poudres utilisées en France.

I. EXPÉRIMENTATION PERSONNELLE

I. MATÉRIEL ET MÉTHODE

I.1. La couronne céramique

La céramique se présente sous la forme d'une fine poudre pigmentée que l'on mélange à de l'eau distillée pour former une pâte. Celle-ci est appliquée en couches successives sur une armature métallique (couronne céramo-métal) jusqu'à obtenir les formes dentaires désirées (fig. 1).

Fig. 1. — Situation intrabuccale d'une couronne céramo-métallique.

M: armature métallique = 0,2 mm; céramique = 1 mm; O: opaque = 0,2 mm;
D: dentine = 0,6 mm; E: émail = 0,2 mm; C: colorant de surface = 0,01 mm.

Le prothésiste commence par recouvrir l'armature métallique (0,2 mm) d'une couche d'apprêt, "l'opaque" (0,2 mm), puis donne le volume par une seconde couche plus épaisse (0,6 mm), "la dentine", qui sera recouverte d'une fine couche "émail" (0,2 mm), sur laquelle sera appliqué le "colorant de surface" (0,01 mm). Puis, la couronne est fondue à température élevée pour former un corps céramique solide insoluble dans les fluides buccaux et de grandes qualités esthétiques.

I.2. Le cocktail de poudres soumises à l'étude

Nous nous sommes fondés sur les travaux de GORBAN [7] pour choisir les poudres céramiques servant comme matériel de base à nos recherches (tableau I).

TABLEAU I

Concentration en uranium naturel des poudres céramiques étudiées

Porcelaine	Qualité de masse	Aspect sous UV	% U nat (en masse)	ppm (1) correspondants
Vita 1130 A4	dentine	jaune intense	1,33	13 300
Vita 1130 A1	opaque dentine émail colorant	jaune intense	0,88 0,42 0,16 0,019	8 800 4 200 1 600 190
Vita dur A3	opaque dentine colorant	blanc	0,09 0,15 0,16	900 1 500 1 600
Vita VMK 68 A2	opaque dentine émail	jaune pâle	0,04 0,03 0,05	400 300 500
Vita dur S Jelenko Luxor Ceramco	émail opaque opaque opaque		0,07 0,017 0,019 0,038	700 170 190 380

(1) ppm = partie par million.

I.3. La technique de comptage

Afin de déterminer la concentration en uranium naturel des céramiques dentaires, nous avons mesuré l'activité des différentes poudres par un comptage en scintillation liquide. Nous avons utilisé un compteur Beckman L.S. 1800.

II. PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL**II.1. Conditionnement des poudres**

Les préparations se font dans des flacons standards. Nous mettons en suspension 32 mg de poudre céramique dans 7 ml d'eau distillée. Nous ajoutons 7 ml de liquide scintillant "ready solv M.P." pour la préparation d'échantillons de comptage en phase gel.

II.2. Étalonnage du compteur

Afin de déterminer l'efficacité de comptage (EC), le compteur Beckman est étalonné à l'aide d'une préparation titrée à 1 g/l d'uranium naturel.

$$EC (\%) = \text{cpm/dpm} \times 100 = 55 \%$$

cpm = activité "mesurée" de la préparation en coups par minute,

dpm = activité "calculée" en désintégrations par minute.

L'activité contenue des poudres céramiques est calculée à partir d'une efficacité de comptage de 55 % après soustraction du bruit de fond.

Pour l'étalonnage, le comptage est réalisé sur une solution en phase liquide contrairement au comptage effectué sur les suspensions figées en phase gel de nos préparations. Ayant tenu compte de cette différence nous avons, par la suite, vérifié la valeur de cette efficacité de comptage à partir de poudres céramiques dont la concentration était connue.

RÉSULTATS

I. CONCENTRATION EN URANIUM DES POUDRES CÉRAMIQUES ÉTUDIÉES

Les résultats des mesures (tableau I) font apparaître que, pour une même marque, les différentes composantes d'une couronne céramique ont des concentrations en poids d'uranium très différentes.

II. ESTIMATION DES ÉQUIVALENTS DE DOSE ABSORBÉE

II.1. Architecture et dimensions d'une couronne céramo-métallique type

La figure 1 résume la situation, en bouche, d'une couronne en céramique et les épaisseurs respectives de chacune des composantes du matériau cosmétique, ainsi que les rapports directs de cette prothèse avec les tissus environnants.

II.2. La muqueuse buccale

LEJOYEUX et OGOLNIK [8] signalent l'existence de préjudices irréversibles de la muqueuse lorsque la couche basale germinative est détruite. Pour engendrer une lésion irréversible il est donc nécessaire que les rayonnements ionisants alpha et bêta atteignent cette couche. SAIRENJI [11, 12] donne la situation de la couche basale pour les lèvres (10 à 470 μm), la langue (10 à 160 μm) et les gencives (23 à 140 μm).

Pour nos mesures de la dose absorbée, nous nous plaçons dans le cas le plus défavorable en considérant la présence de la couche germinative à une profondeur minimale de 15 μm dans la muqueuse buccale.

Nous ajouterons à cette valeur, 10 μm supplémentaires correspondant à la valeur minimale de l'écran formé par la salive et la plaque dentaire, soit 25 μm au total.

II.3. Résultats: Équivalents de dose (ED) au niveau de la couche basale

Pour mener à bien le calcul des équivalents de dose reçus par la muqueuse, nous avons:

- mesuré la concentration en uranium des différents constituants,
- précisé l'architecture d'une couronne céramo-métallique,
- défini la situation en bouche,
- considéré les six nucléides radioactifs contribuant de façon significative à la dose:

* série de l'uranium:

${}^{234}\text{U}$ est en équilibre séculaire avec ${}^{238}\text{U}$. Ils sont obtenus, tous les deux ensemble, par la séparation chimique, mais les produits de filiation, ${}^{234}\text{Th}$ et ${}^{234}\text{P}$ seront à nouveau en équilibre avec ${}^{238}\text{U}$ au bout de quelques mois.

* série de l'actino-uranium:

L'énergie maximale des particules alpha émise par l'uranium est d'environ 4,8 MeV. Le parcours maximal de ces particules dans la céramique de densité 2,42 est d'environ 25 μm . En conséquence, seule la concentration en uranium de la couche superficielle (colorant) est à prendre en compte pour le calcul de la dose délivrée à la muqueuse buccale.

En ce qui concerne les particules métastables bêta dues essentiellement au thorium 234 et au protactinium 234, l'énergie maximale du spectre est égale à 2,29 MeV. Le parcours maximal des particules bêta de 2,29 MeV dans la céramique est d'environ 4 mm. L'épaisseur totale d'une couronne n'excédant pas 1 mm, le calcul des doses effectué dans l'hypothèse d'une source semi-infinie devra être corrigé.

Pour le calcul de la dose délivrée à la couche basale germinative de la muqueuse buccale, nous utilisons les tables de débit de dose absorbée annuellement calculées par SAIRENJI [11].

Afin de nous placer dans les conditions les plus défavorables, nous estimons à 25 μm la profondeur de la couche de cellules basales devant les couronnes dentaires. Dans ces conditions, le débit de dose alpha par an [11] à 25 μm de profondeur en fonction de la concentration en uranium est égal à:

Débit de dose α (mGy/an) = $4,15 \cdot 10^{-3}$ x concentration d'uranium mesurée en ppm.

NOTES

Nous avons estimé à 75 % la dose bêta [11] à la surface de la céramique par rapport à la dose calculée dans l'hypothèse d'une source uniforme semi-infinie. Nous pouvons alors exprimer le débit de dose bêta par an en fonction de la concentration en uranium [11].

Débit de dose β (mGy/an) = $19,5 \cdot 10^{-3}$ x concentration d'uranium mesurée en ppm.

Nous négligeons la contribution insignifiante du rayonnement gamma à la dose délivrée (pics à 67 keV, 95 keV, 180 keV, déterminés en scintillation solide).

Les équivalents de dose (ED) sont calculés en prenant pour facteurs de qualité (FQ) les valeurs recommandées par la CIPR :

FQ = 20 pour les particules alpha

FQ = 1 pour les particules bêta.

Dans ces conditions :

$$ED \text{ (mSv)} = \text{dose absorbée (mGy)} \times FQ$$

Le tableau II précise les équivalents de dose délivrés à la muqueuse buccale pour les couronnes constituées à partir de nos échantillons.

TABLEAU II
Equivalents de dose absorbés à la muqueuse buccale

Equivalents de dose (mSv/an)		
	Contribution alpha + bêta	Contribution bêta
Vita 1130 A4	254	122
Vita 1130 A1	229	97
Vita dur A3/S	156	24
Vita VMK 68 A2	48	6

Nous avons, dans un premier temps, retenu les contributions des rayonnements alpha et bêta, nous plaçant ainsi dans l'hypothèse la plus défavorable. Dans un deuxième temps, nous avons négligé, avant de le justifier, l'équivalent de dose dû aux particules alpha.

DISCUSSION

I. CORRECTION DE L'ÉQUIVALENT DE DOSE DÉLIVRÉ

Notre estimation de l'épaisseur de la couche salivaire (10 μ m) est très nettement insuffisante, même si la plaque dentaire ne trouve pas d'adhérence sur la céramique. L'écran formé par la salive et le mucus en surface

de la muqueuse buccale doit être proche de $100\ \mu\text{m}$. Selon les travaux de la faculté dentaire de Caroline du Nord (USA), cet écran de salive et de plaque dentaire interposé entre la dent et la muqueuse buccale aurait une épaisseur comprise entre 120 et $220\ \mu\text{m}$.

Enfin, situer la couche basale germinative de l'épithélium buccal à moins de $30\ \mu\text{m}$ est abusif, $100\ \mu\text{m}$ de profondeur reste une valeur moyenne pour la situation des cellules nobles de la muqueuse. Par conséquent, $200\ \mu\text{m}$ représentent le parcours moyen que doivent effectuer les particules radioactives pour accéder à la couche basale germinative. Seules, les particules bêta sont capables d'atteindre la couche basale (tableau II), si nous considérons la contribution du rayonnement gamma assez faible pour être négligée.

II. ÉVALUATION DU RISQUE

Sur notre planète, tous les matériaux présentent une radioactivité naturelle aisément mesurable. La radioactivité naturelle est, à la fois, la principale référence pour les comparaisons entre les divers types d'exposition et la preuve qu'à certains niveaux d'exposition il n'est pas possible de mettre en évidence une corrélation significative entre exposition et effet. D'après l'UNSCEAR, l'exposition normale aux sources naturelles serait de $2\ \text{mSv/an}$, ce sera donc notre limite inférieure. Pour ce qui est de la limite supérieure, nous choisirons comme référence la limite fondamentale précisée par la CIPR 26 de $50\ \text{mSv/an}$ au niveau d'un tissu pour la prévention de tout effet non aléatoire.

TABLEAU III

Comparaison des équivalents de dose calculés avec ceux dus aux sources naturelles et avec la limite fixée par la CIPR pour exclure tout risque d'effet non aléatoire

Céramique Vita	Equivalents de dose (mSv/an)		
	exposition naturelle	céramiques	CIPR 26 (tissus, public)
1130 A4 > 1 %	2	122	50
1130 A1 < 1 %		97	
DUR A3 < 0,2 %		24	
VMK 68 A2 < 0,05 %		6	

Nous constatons (tableau III) que les poudres anciennes à forte teneur en uranium présentent un équivalent de dose trop élevé par rapport aux recommandations de la CIPR. Par contre, les poudres de nouvelle génération, en particulier la Vita VMK 68 très employée, semblent peu radioactives.

Les limites légales de concentration dans les céramiques fixées aux Etats-Unis (0,05 %) et en RFA (0,1 %) conduisent respectivement à des équivalents de dose de 6 mSv/an et 12 mSv/an. A la lumière de nos résultats, ces limites semblent raisonnables.

CONCLUSION

Nous pouvons certainement conclure à l'innocuité des couronnes en porcelaine contenant un poids en uranium limité à 0,1 % (1000 ppm) ou 0,05 % (500 ppm) et nous pouvons souhaiter la généralisation de ces limites réglementaires. Le danger écarté, on en vient alors à s'interroger sur le véritable intérêt de l'uranium dans la céramique dentaire. La présence de ce fluophore radioactif est essentiellement liée aux problèmes d'obtention des teintes lumineuses (jaune ivoire) dans la porcelaine. On s'est alors aperçu qu'en diminuant la proportion d'uranium dans les poudres (< 1000 ppm pour les poudres Vita actuelles) la teinte était respectée tout en maintenant une certaine fluorescence de la céramique. Cela justifie l'emploi parsemé de particules radioactives dans la porcelaine dentaire.

Que cela ne nous empêche pas de nous employer à rechercher d'autres luminophores et d'autres techniques visant à améliorer les qualités mécaniques et esthétiques des céramiques; ne serait-ce que pour obéir à une loi fondamentale de la CIPR à savoir: limiter, autant qu'il est raisonnablement possible, l'emploi de substances radioactives risquant de nuire à l'organisme humain.

RÉFÉRENCES

- [1] BAIER W. Radioaktivität keramischer Zähne. Hobby, 1975, 11, 8-20.
- [2] BRESSON D. Céramique et radioactivité. Thèse Chir. dent., Paris V, 1977.
- [3] CAITUCOLLI P.F. Luminescence et fluorescence comparées des dents humaines et prothétiques. Rev. Odontol. Stomatol. Midi de la France, 1968, 2, 93-101.
- [4] DENIS LEMPEREUR J. "Des curies et des hommes". Sci. Vie, 1984, 800, 25-36.
- [5] DENIS LEMPEREUR J. "Les fausses dents sont radioactives". Sci. Vie, 1984, 801, 112-115.
- [6] GOENGRICH A. A propos des substances radioactives contenues dans les céramiques à usage dentaire: expérimentation personnelle. Thèse de Chir. dent., Nancy, 1986.
- [7] GORBAN G. Optical behaviour especially under U.V. rays of certain dental porcelains. Schweiz Monatsschr. Zahnheilk, 1972, 465-670.
- [8] LEJOYEUX J., OGOLNIK R. Résorption et édentation totale. Cah. Proth., 1974, N.6, 79-91.
- [9] MOORE B.K., SMITH E., WOZNIAK W.T. Fluorescence spectra of dental porcelains: comparisons with natural teeth. IADR, 1976, Abstract, 500.
- [10] MOORE E. J., MacCULLOCH W.T. The inclusion of radioactive compounds in dental porcelains. Brit. Dent. J., 1975, 5, 101-106.

- [11] SAIRENJI E., ANZAI I., IKÉDA N. Determination of uranium content in dental porcelains by means of the fission track method and estimation of radiation. *Health Phys.*, 1980, 38, 483-492.
- [12] SAIRENJI E., MORIWAKI K., SHIMIZU M., NOGUSHI K. Estimation of radiation dose from porcelains teeth containing uranium compound. *J. Dent. Res.*, 1980, 59, 1136-1140.
- [13] SMITH R. Radioactive choppers ? E.P.A. confirms high dose rates from false teeth. *Nucleonic Week*, 1976, 29, 12.
- [14] UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECT OF ATOMIC RADIATIONS (UNSCEAR) Ionizing radiation: Sources and biological effects, 1982 report Annex C. Ceramic, glassware, alloy, etc. containing uranium or thorium. New York: United Nations, 1982, p. 122.
- [15] VIOHL B. Radioaktivität keramischer Zähne und Bremsmassen. *Dtsch. Zahnartz Th.*, 1976, 2, (31), 860-868.