

**VOLET 2 : RESULTATS DES CONTROLES EFFECTUES
PAR LE LABORATOIRE DE LA CRIIRAD**

Caractérisation radiologique

Des analyses par spectrométrie gamma ont permis d'identifier et quantifier les produits radioactifs éventuellement présents.

Les pendentifs présentent des concentrations anormalement élevées de produits radioactifs d'origine **naturelle** : les radionucléides détectés appartiennent à la chaîne de désintégration de l'**uranium 238** (chaîne composée de 14 radionucléides) et du **thorium 232** (composée de 10 radionucléides). Les activités de l'uranium 238 et de ses descendants sont de l'ordre **de 100 fois à 1 000 fois** supérieures à la teneur moyenne de l'écorce terrestre ¹. L'écart est encore plus important pour la chaîne du thorium 232 : les activités mesurées sont de l'ordre **de 600 fois à 7 000 fois** la moyenne de l'écorce terrestre².

en Bq/kg	Pendentif n°1	Pendentif n°2	Pendentif n°3	Pendentif n°4	Disque souple
Chaîne de l'uranium 238					
Thorium 234	5 500 ± 900	6 400 ± 1 000	5 400 ± 1 000	30 000 ± 11 000	5 300 ± 800
Radium 226	3 230 ± 380	4 510 ± 500	2 950 ± 500	27 000 ± 8 000	2 560 ± 310
Plomb 214	3 420 ± 400	4 900 ± 500	3 150 ± 500	29 000 ± 9 000	2 740 ± 320
Bismuth 214	3 050 ± 360	4 100 ± 450	2 760 ± 450	25 000 ± 8 000	2 380 ± 290
Plomb 210 *	1 580 ± 350	1 870 ± 320	1 270 ± 320	9 500 ± 3 400	1 190 ± 270
Chaîne du thorium 232					
Actinium 228	17 800 ± 2 000	24 300 ± 2 600	16 500 ± 2 600	180 000 ± 60 000	27 200 ± 2 900
Plomb 212	22 900 ± 2 400	32 800 ± 3 300	21 500 ± 3 300	230 000 ± 70 000	30 300 ± 3 100
Thallium 208	6 700 ± 700	9 400 ± 1 000	6 100 ± 1 000	67 000 ± 20 000	9 100 ± 1 000

* Activités probablement sous-évaluées du fait des phénomènes d'atténuation des rayonnements au sein de la céramique

Dans un communiqué de 2011, l'ASN indiquait que les matières premières utilisées pour la fabrication de céramiques technique « *peuvent, dans certains cas, contenir des traces de minerais naturellement radioactifs.* ». Les mesures du laboratoire de la CRIIRAD démontrent que, dans le cas des pendentifs énergétiques, la notion de « *traces de minerais* » n'est pas adaptée : les matériaux s'apparentent à de véritables **minerais radioactifs** : les activités massiques mesurées sont tout à fait comparables à celle d'un minerai uranifère exploitable.

Les activités massiques totales (somme des activités des 24 radionucléides)³ varient de **230 000 Bq/kg** pour le médaillon le moins actif à **2 400 000 Bq/kg** pour le plus actif. S'il s'agissait de déchets, ils entreraient dans la catégorie des **déchets radioactifs**, et plus précisément dans la catégorie des **déchets radioactifs FA-VL** qui doivent être stockés dans des sites contrôlés spécialement conçus pour garantir leur confinement: FA (faible activité) et non pas TFA (très faible activité) car les concentrations sont systématiquement supérieures à 100 000 Bq/kg ; VL (vie longue) et non pas VC (vie courte) car les radionucléides qui pilotent l'évolution de la radioactivité ont des périodes radioactives extrêmement longues : 4,5 milliards d'années pour l'uranium 238 et 14 milliards d'années pour le thorium 232 !

¹ Activité massique de référence retenue par l'UNSCEAR (rapport 2000) pour l'uranium 238 = 35 Bq/kg. A noter que l'uranium 235 et ses descendants sont également présents dans un rapport de

² Activité massique de référence retenue par l'UNSCEAR (rapport 2000) pour le thorium 232 = 30 Bq/kg

³ Des chaînes de l'U238 et du Th 232 (l'uranium 235 et ses descendants sont également présents mais leur contribution est marginale). **En première approche, nous avons considéré que les chaînes étaient globalement à l'équilibre mais des analyses spécifiques (à réaliser par les autorités) devront déterminer l'activité du thorium 232.**

Les résultats d'analyse peuvent également être comparés aux seuils d'exemption définis par la réglementation. Les objets contrôlés présentent des activités massiques très nettement supérieures au seuil d'activité massique de 1 000 Bq/kg applicable à l'uranium 238 et au thorium 232 (en équilibre séculaire). Le cumul des contributions conduit à des valeurs de l'ordre de 20 fois à 300 fois supérieures au seuil d'exemption (selon le pendentif considéré). En dépit de sa faible masse (20 g), le pendentif n°4 dépasse également (de près de 5 fois) les seuils d'exemption définis pour l'activité totale.

Les risques liés à l'exposition externe

En se désintégrant, les radionucléides présents émettent des rayonnements particulaires alpha ou bêta. Ces désintégrations sont souvent accompagnées de l'émission de rayonnements électromagnétiques très pénétrants, dits rayonnements gamma.

La masse des pendentifs est faible (20 g) et la présence d'un seul objet n'induit des risques qu'à faible distance : au-delà de 30 cm, le flux de rayonnement n'est plus mesurable. En atteste le résultat des mesures effectuées à l'aide d'un DG5 (résultats en coups par seconde) et d'un LB 123 (résultats en microSieverts par heure). La présence d'un stock important, en magasin ou pendant le transport, entraînerait une intensité de rayonnement nettement supérieure. Des contrôles in situ devraient permettre de déterminer les risques d'exposition des professionnels concernés.

Appareil	LB123	DG5
BF	0,08 µSv/h	62 c/s
Contact	2,19 µSv/h	572 c/s
5 cm		187 c/s
10 cm	0,21 µSv/h	123 c/s
15 cm		95 c/s
20 cm	0,14 µSv/h	79 c/s
		77 c/s
30 cm	0,11 µSv/h	64 c/s
40 cm	0,12 µSv/h	60 c/s
50 cm	0,12 µSv/h	63 c/s
60 cm	0,10 µSv/h	61 c/s
70 cm		63 c/s

Débit de dose à la peau

La présence de concentrations élevées de radionucléides émetteurs de rayonnement bêta impose de contrôler le débit de dose à la peau. Ces rayonnements ont généralement une énergie suffisante pour franchir les couches superficielles de l'épiderme et irradier les cellules très radiosensibles qui constituent la couche basale.

Désintégrations, rayonnements et lésions moléculaires

Une activité de **1 Bq** correspond à **1 désintégration par seconde**. Une activité de **300 000 Bq/kg** signifie donc qu'à chaque seconde, dans un kilo de matière, se produisent 300 000 désintégrations qui génèrent tout autant de rayonnements particulaires (alpha ou bêta) auxquels s'ajoutent des rayonnements gamma électromagnétiques. Dans un pendentif dont la masse est de **20 g**, se produisent donc, à chaque seconde, **de l'ordre de 4 000 à 50 000 désintégrations** (selon les modèles). Près de **46%** de cette activité est imputable à des radionucléides qui se désintègrent en mode **bêta** (électrons). Une partie de ces rayonnements est absorbée dans la masse du pendentif mais les mesures de débit de dose effectuées au contact des objets montrent qu'ils émettent un flux de rayonnement bêta intense.

Une seule particule bêta peut provoquer des milliers d'ionisations dans la matière vivante qu'elle traverse (plusieurs dizaines de milliers dans le cas d'une particule de 1 MeV). Les tissus qui se trouvent à proximité immédiate des pendentifs sont soumis à un bombardement de radiations intense et permanent. Pendant tout le temps de contact entre l'objet et l'organisme de celui qui le porte ou le manipule, les cellules de l'épiderme sont soumises à un flux d'irradiation qui génère en permanence des milliers de **lésions**, en particulier dans la molécule d'ADN. Les cellules disposent de puissants mécanismes de réparation mais plus le temps de contact est élevé, plus le risque de réparations fautive augmente et avec elles le risque de **mutations** susceptibles d'initier ou de promouvoir un processus de cancérisation. Rappelons que les rayonnements ionisants ont la capacité de créer des lésions complexes, difficiles à réparer.

Certes, les expositions générées par ces objets se situent dans la gamme des faibles doses de rayonnements mais les surcroûts de risque associés n'en sont pas pour autant acceptables, moins encore quand on songe que ceux qui subissent le risque n'en sont pas informés

Les cellules des tissus situés au contact et à proximité du médaillon sont ainsi soumises à un flux intense de rayonnements bêta qui provoquent d'innombrables lésions dans les cellules, en particulier au niveau de l'ADN, et sollicitant en permanence les systèmes de réparation cellulaires. Rappelons que les lésions peuvent conduire à la mort de la cellule et que les réparations fautives (incorrectes) sont à l'origine de mutations qui peuvent initier un cancer ou promouvoir un processus de cancérisation. L'irradiation prolongée de l'épiderme augmente ainsi le risque de développement d'un carcinome⁴.

L'évaluation de la dose équivalente à la peau, dite dose Hp(0,07) a été effectuée à l'aide d'un dosimètre étalonné (Siemens EPD).

Le débit de dose au contact varie de 9 µSv/h à 55 µSv/h, soit de 90 fois à 500 fois de bruit de fond.

Pour les personnes du public, la réglementation a défini une **limite de dose équivalente à la peau de 50 mSv/an** (en dose moyenne pour toute surface de 1 cm², quelle que soit la surface totale exposée). Les pendentifs que nous avons contrôlés ont typiquement une surface de 13 cm² (4 cm de diamètre).

Contrôles CRIIRAD sur des Pendentifs Quantum Science	Débit de dose équivalente à la peau : Hp(0,07)	Dose équivalente à la peau cumulée sur un an			Temps de port quotidien pour une dose de 50 mSv	
		maximum théorique 24h/24	port quotidien de 7h à 22h 15h/24	port quotidien de 8h à 18h 10h/24		port quotidien sur 2 mois de 7h à 22h
Pendentif le moins actif	9 µSv/h	78 mSv/an	49 mSv/an	33 mSv/an	8 mSv/an	15 h/j
Pendentif "non radioactif"	22 µSv/h	196 mSv/an	123 mSv/an	82 mSv/an	20 mSv/an	6 h/j
Pendentif le plus actif	55 µSv/h	481 mSv/an	301 mSv/an	200 mSv/an	50 mSv/an	2,5 h/j

La dose reçue sur l'année par une personne est évidemment fonction de la **durée de l'exposition**. Le tableau ci-dessus propose des évaluations de dose pour différents scénarios. Les calculs ont été effectués à partir des valeurs Hp(0,07) après déduction du bruit de fond (0,07 µSv/h).

La plupart des notices associées aux objets précisent que les pendentifs peuvent être portés en permanence, y compris la nuit et pendant le bain. Des calculs conservatoires peuvent donc être effectués pour un port permanent, 24h/24, 365 jours/an (les niveaux de dose varient alors de 78 à 481 mSv/an !). Il est toutefois peu probable qu'en position couchée le médaillon se maintienne sur la même zone de peau. En journée, sauf modification de la longueur du cordon, on peut considérer que le médaillon irradie toujours les mêmes tissus. Si le pendentif est porté **tous les jours, du lever au coucher**, les doses varient **de 49 à 301 mSv/an** : la limite de dose équivalente à la peau est quasiment atteinte avec le pendentif le moins irradiant et dépassée de 6 fois dans le cas du pendentif le plus radioactif. Il suffit de porter celui-ci 2 heures et demi par jour (ou tous les jours pendant 2 mois) pour que le niveau d'irradiation atteigne la limite réglementaire.

Précisons que ces niveaux d'exposition se situent dans la gamme des faibles doses d'exposition et ne sont pas susceptibles de provoquer l'apparition d'érythème, a fortiori d'inflammation ou de nécrose.

L'incidence des vêtements

Les textes et illustrations invitent plutôt à porter les pendentifs à même la peau. Des contrôles ont cependant été effectués afin d'évaluer l'incidence des vêtements.

Les mesures effectuées à l'aide du matériel étalonné montrent que l'interposition d'un tee-shirt ne réduit l'irradiation que de 15%. Une épaisseur d'aluminium de 0,8 mm réduit la dose d'environ 40%.

Des tests effectués à l'aide d'un radex donnent, pour 100% au contact, un débit de dose résiduel de :

- 88% à 96% au-dessus du tee-shirt ;
- 74% à 75% au-dessus du tee-shirt + pull-overt
- 47% au-dessus du tee-shirt + pull-over + manteau.

Dose sur pendentif n°4 - 2015		
Mesure Hp(0,07) par EPD		
Au contact de la peau	55 µSv/h	100%
Sur un tee-shirt	47 µSv/h	85%
0,8 mm d'aluminium	31 µSv/h	56%

⁴ Une irradiation plus profonde, atteignant le derme, augmenterait le risque de sarcomes et d'angiome.

L'exposition des yeux

Il faudra étudier de plus près les doses équivalentes que pourrait recevoir le cristallin, un tissu particulièrement radiosensible, situé sur la face antérieure de l'œil, derrière la rétine. Diverses notices mettent en effet en avant les bénéfices de l'application des pendentifs sur les paupières, un « traitement » censé remédier au problème des yeux bouffis et des paupières gonflées. Les futurs acheteurs sont invités à placer les médaillons sur les paupières (en les fixant par exemple à l'aide d'un masque de sommeil ou de relaxation).



En application des principes de base de la radioprotection (et si tant est que la vente de ces objets ne soit pas illégale), il faudrait d'abord démontrer 1/ que l'application des pendentifs a un réel effet sur le gonflement des paupières, 2/ qu'il n'existe aucun autre moyen (non radioactif) permettant d'obtenir le même résultat et 3/ que l'effet bénéfique est supérieur aux risques inhérents à l'irradiation provoquée par la radioactivité. La réponse est évidente : cette pratique est aberrante et ceux qui la prônent, et en tirent profit devraient être sanctionnés, (que les niveaux d'exposition conduisent ou non au dépassement des limites réglementaires).

Quels risques pour les autres organes ?

A l'aide de l'EPD, nous avons déterminé la **dose en profondeur Hp(10)**. Les résultats varient de 0,57 $\mu\text{Sv/h}$ à 3 $\mu\text{Sv/h}$ (de 0,5 à 2,93 $\mu\text{Sv/h}$ après soustraction du bruit de fond du laboratoire).

Compte tenu de la géométrie et de la masse limitée des médaillons (une vingtaine de g), ces valeurs ne permettent pas de déterminer la dose au corps entier. Seuls les organes les plus proches sont susceptibles de subir un niveau d'irradiation significatif. Des investigations complémentaires sont nécessaires pour évaluer les doses susceptibles d'être reçues au niveau des poumons, des seins, de l'œsophage (voire d'autres organes selon la localisation du médaillon : intestins, gonades, vessie ... en cas de port dans la poche d'un pantalon, thyroïde dans le cas d'un collier, etc.).

Les risques de contamination interne

Les pendentifs se présentent sous forme de céramiques (matériau obtenu après chauffage à très haute température). Les risques de contamination interne par ingestion ou inhalation de microparticules radioactives peuvent donc paraître *a priori* limités. Des problèmes peuvent toutefois survenir en cours de fabrication et générer des produits beaucoup moins résistants. Il faut également s'interroger sur le comportement à moyen, long et très long terme de la céramique (sachant que les processus de vieillissement sont accélérés par les désintégrations des radionucléides, en particulier en mode alpha).

Reste le risque associé aux émanations de deux gaz radioactif : le **radon 222** (chaîne de l'uranium 238) et le **radon 220** (chaîne du thorium 232). Pour les particuliers qui ne détiennent qu'un très petit nombre de ces objets, cette source d'exposition peut être négligée. Il faut en revanche vérifier les niveaux d'exposition associés à des stocks importants de ces produits, qu'il s'agisse du risque radon ou de l'exposition externe. L'absence de toute mention de radioactivité empêche évidemment la réalisation des contrôles réglementaires et la mise en œuvre des mesures de protection qui seraient, le cas échéant, nécessaires pour assurer la protection des travailleurs concernés.

NB : concernant les travailleurs, les risques les plus importants concernent l'amont de la chaîne, l'extraction des matières premières, leur traitement, la fabrication de la céramique et des objets. Il est d'autant plus important de s'en soucier que la radioactivité de ces matières pourrait être occultée tout au long de la chaîne de production et pas seulement à l'étape de commercialisation. S'agissant d'un produit d'importation, l'Europe n'est théoriquement concernée que par les opérations d'entreposage, de transport et de commercialisation ... mais les circuits sont souvent plus complexes⁵

⁵ Des lots de tourmaline avaient provoqué le déclenchement d'un portique de détection de la radioactivité du port d'Anvers. Les lots provenaient d'Asie et devaient repartir en Chine après transformation en céramique, pour incorporation dans des produits textiles.

Conclusion

D'un point de vue réglementaire, ces objets contiennent des « substances radioactives » et peuvent être qualifiés de « matières radioactives ». Ils génèrent des niveaux d'irradiation inacceptables, susceptibles de conduire au dépassement de la limite de dose équivalente à la peau (voire même au dépassement de la limite fixée pour les travailleurs sous rayonnement de catégorie B !). Or, la vente de ces objets ne se fait pas sous le manteau mais au vu et au su de tous, comme s'il s'agissait d'une activité parfaitement légale. De plus, aucune mention n'alerte les acheteurs sur les risques qu'ils encourent à porter des objets qui les exposent aux radiations au lieu de les en protéger.

Dossier PENDENTIF

Volet n°3 : autres objets « émetteurs d'ions négatifs »

- 1/ les disques (type sous-verre) dits « quantiques » ou « bio-disque »**
- 2/ les autocollants « antiradiation »**

Dossier PENDENTIF

Volet n°4 : l'analyse juridique

L'importation et la commercialisation des pendentifs à l'intérieur des marchés européen et français constituent une violation des prescriptions :

- 1/ du code de la santé publique ;**
- 2/ du code du travail**
- 3/ du code de la consommation.**