



## EDITO

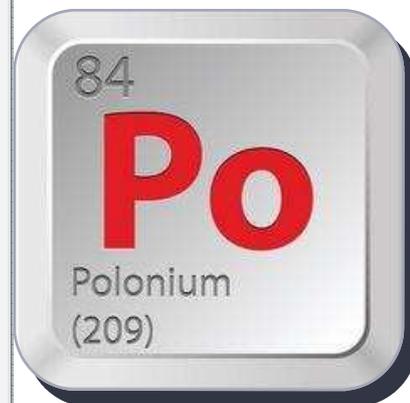
Le polonium a été découvert en 1898 par Pierre et Marie Curie lors de travaux sur un minerai d'uranium. Cette découverte controversée à l'époque, valut à Marie Curie le prix Nobel de chimie en 1911. Cet élément, dont tous les isotopes sont radioactifs, est naturellement présent à l'état de traces dans l'environnement, l'isotope polonium 210 restant le plus abondant. Sa concentration dans les différents milieux est faible, cependant son activité spécifique élevée souligne son importance en protection radiologique. Une bioaccumulation du polonium se produit, notamment dans les feuilles de tabac, mais aussi au niveau des animaux marins : c'est elle qui est à l'origine de l'exposition de l'homme. Même si l'empoisonnement de l'ancien espion russe Alexander Litvinienko en 2006 a suscité un nouvel intérêt pour cet élément, le polonium a été dans l'ensemble assez peu étudié.

Nous vous invitons à découvrir ce numéro de Prosinfo qui fait le point sur les propriétés et les effets toxiques du polonium 210.

Eric Ansoborlo

CEA / Direction de l'énergie nucléaire

Expert international



## DANS CE NUMÉRO

Editorial d'Eric Ansoborlo

Regard sur... :

AIEA TECDOC N° 1731,

CNE2 Rapport n°7,

CIPR n° 123,

UNSCEAR : Effects of radiation exposure of children,

DIRECTIVE 2013/59/EURATOM

Actualité

Info +: **POLONIUM**

Agenda des prochains mois

Nota bene : les rendez-vous à ne pas manquer

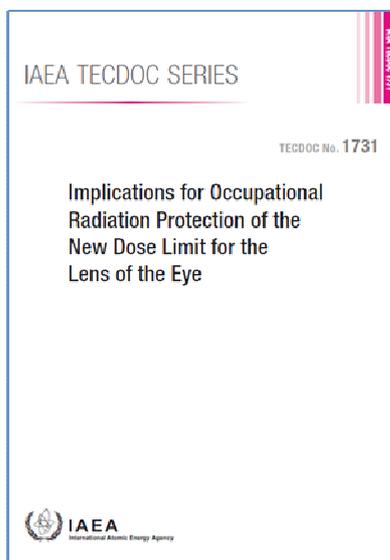
## REGARD sur ...

### Implications for occupational radiation protection of the new dose limit for the lens of the eye.

AIEA TECDOC N° 1731 (décembre 2013)

Ce rapport technique TECDOC N°1731 fournit des conseils pour la mise en application des limites de dose au cristallin modifiées par les nouvelles Normes de Base (BSS GSR Part 3 Interim) pour la radioprotection des travailleurs. Il constitue également une base pour l'établissement d'un consensus international sur la transposition par les autorités compétentes de ces limites que ce soit en cas d'expositions habituelles, planifiées ou accidentelles. Cette analyse prend en compte les éléments techniques et opérationnels utiles à la dosimétrie du cristallin dans les situations d'expositions identifiées, tels que les types d'indicateur(s), de dosimètres, y compris l'étalonnage et les performances à atteindre.

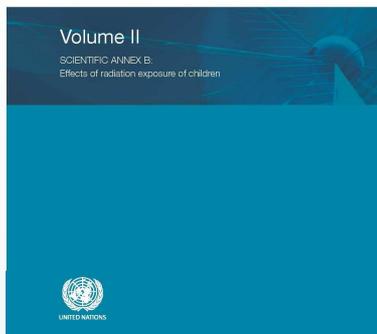
[http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE-1731\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE-1731_web.pdf)



## UNSCEAR : Effects of radiation exposure of children

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION  
UNSCEAR 2013 Report



L'UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) a récemment publié un rapport très attendu sur les effets des rayonnements ionisants chez l'enfant. En effet, depuis les accidents nucléaires de Tchernobyl et de Fukushima, et en raison de l'accroissement non négligeable des expositions médicales, le public s'interroge à ce sujet, et, à juste titre, puisque les enfants ont toujours été considérés comme une population particulièrement radiosensible.

Au travers d'une réponse nuancée, ce rapport aussi exhaustif que possible constitue le premier du genre : il rassemble à la fois les aspects anatomiques et dosimétriques, ainsi qu'une analyse des effets déterministes et stochastiques, spécifiques à l'enfant, liés à une exposition aux rayonnements ionisants.

Pour le consulter : [http://www.unscear.org/docs/reports/2013/UNSCEAR2013Report\\_AnnexB\\_Children\\_13-87320\\_Ebook\\_web.pdf](http://www.unscear.org/docs/reports/2013/UNSCEAR2013Report_AnnexB_Children_13-87320_Ebook_web.pdf)

## Commission Nationale d'Evaluation (CNE2) des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs - Rapport n°7 – novembre 2013

Le rôle de la CNE2 est d'évaluer l'état d'avancement des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs. Un rapport synthétisant cette évaluation est publié chaque année. Il est alors transmis à l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. Le rapport fait également état des recherches effectuées à l'étranger.

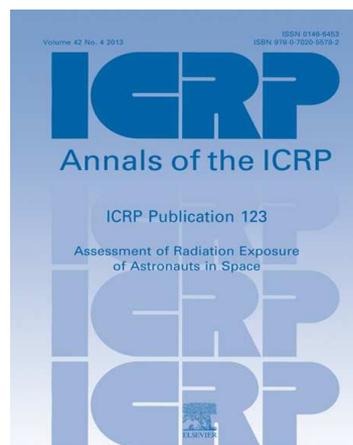
Dans le domaine des études sur la séparation et la transmutation, piloté par le CEA, la Commission recommande que la priorité soit donnée à la réalisation du démonstrateur industriel Astrid, réacteur à neutrons rapides, ainsi qu'à celle de l'atelier de fabrication de son combustible. En effet, Astrid devrait permettre de réduire le stock de plutonium tout en continuant à produire de l'électricité. Cependant, son fonctionnement reste à être démontré au cours de différentes étapes.

Dans le domaine des études sur le stockage géologique, piloté par l'Andra, le dossier de demande d'autorisation de création du Centre industriel de stockage géologique (CIGEO) sera déposé en

2014. Les progrès réalisés en matière de modélisation des processus hydrauliques, de transport des solutés en présence ou non de gaz donneront la possibilité d'évaluer les performances du stockage. Des optimisations de CIGEO devront permettre d'avoir une certaine flexibilité dans le cadre de la prise en charge des déchets de moyenne activité à vie longue (MAVL), dans leur diversité, et de l'adaptation aux évolutions de la politique énergétique.

En dehors de la France, l'AIEA et l'Union européenne considèrent que le stockage géologique des déchets radioactifs est la solution de référence garantissant la sûreté à long terme des déchets de haute activité à vie longue (HAVL) et des combustibles usés. Des recherches sont aussi en cours dans d'autres pays européens comme l'Allemagne, la Belgique, la Finlande, la Suède et la Suisse. Différentes options relatives à la gestion du combustible usé sont décrites dans ce 7<sup>ème</sup> rapport.

<http://www.cne2.fr>



### CIPR Publication n° 123

#### "Assessment of radiation exposure of astronauts in space"

Dans l'espace, les spationautes sont exposés à diverses sources naturelles de rayonnements ionisants, et particulièrement lors des sorties extravéhiculaires. Cependant, ce type d'exposition professionnelle, du fait qu'elle n'a pas lieu sur Terre, n'est pas pris en compte au niveau du système de radioprotection des travailleurs, recommandé par la Commission Internationale Protection Radiologique (CIPR).

La CIPR a toutefois récemment publié un rapport qui décrit les termes et les méthodes spécifiques permettant de déterminer l'exposition des spationautes. Par ailleurs, il fournit des données dosimétriques, telles que les doses reçues par les spationautes lors des missions spatiales. Ces doses mesurées sont comparées à celles estimées grâce à des codes de calcul utilisés pour des champs de rayonnements ionisants de haute énergie. Enfin, ce rapport possède une annexe contenant les coefficients de conversion et les facteurs de qualité moyens des différents types de rayonnements ionisants présents dans l'espace (protons, neutrons, ions lourds...).

<http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20123>

Directive fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants et abrogeant les directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom et 2003/122/Euratom

Journal officiel de l'Union Européenne du 17/01/2014

La présente directive établit des normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant des rayonnements ionisants, aussi bien pour les personnes soumises à une exposition professionnelle ou médicale que pour les membres du public. Elle s'applique à toute situation d'exposition planifiée, existante ou d'urgence comportant un risque résultant de l'exposition à des rayonnements ionisants. La prise en compte de ce risque englobe la protection à long terme de l'homme contre les rayonnements et celle de l'environnement.

[http://resalor.fr/images/Download/L\\_01320140117fr00010073.pdf](http://resalor.fr/images/Download/L_01320140117fr00010073.pdf)

## ACTUALITE

### Assessment Of Biodosimetry Methods For A Mass-Casualty Radiological Incident: Medical Response And Management Considerations

Les auteurs font le point sur les techniques opérationnelles de dosimétrie biologique à mettre en œuvre dans le cadre d'un accident radiologique impliquant un grand nombre de victimes. Dans un premier temps, un tri doit être effectué sur la base d'examens cliniques et d'évaluation de l'exposition en fonction de leur position au moment de l'accident et du temps passé en zone contaminée. Cette étape d'évaluation rapide reste limitée à des doses supérieures à 2 Gy. Pour affiner ces estimations, il sera nécessaire dans un deuxième temps d'effectuer un tri plus fin à l'aide de me-

sures biodosimétriques.

Dans le cadre de la préparation à des interventions en cas d'accident radiologique et de leur planification nationale, il est indispensable de prévoir plusieurs tests pour quantifier la dose reçue. Les auteurs ont donc passé en revue les différentes techniques de dosimétrie biologique afin de déterminer leurs critères de performance (limites de détection en dose, justesse et précision, robustesse...), les capacités en nombre d'échantillons traitables des laboratoires agréés (exigences logistiques, personnel et équipements) et leurs limites

en termes de délais d'obtention des résultats.

Le **tableau 1** ci-dessous résume les performances des diverses méthodes utilisables dans le cadre du tri d'un grand nombre de victimes impliquées dans un accident à caractère radiologique.

Les estimations rapides permettent ensuite aux autorités d'évaluer l'ampleur de l'évènement, et aux équipes médicales d'affiner leur diagnostic et de lancer au plus tôt des traitements adaptés.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24162058>

**Table 1. Comparison of biodosimetry method properties.**

Method	Dose range (Gy)	Time before sample can be taken	Time to dose estimate	Time period when assay will give results
Dicentric Chromosome Assay	0.1–5 0.5–5 (triage)	Immediately	55+ h 52+ h	3–6+ mo
Cytokinesis Block Micronucleus $\gamma$ -H2AX	0.3–5	Immediately Immediately	3+ d	6 mo–1 y 24–48 h
Microscope	0.5–5		4–6 h	
FACS	0.5–10		2 h	
Lymphocyte Depletion Kinetics Assay	0.5/1–10	Immediately for baseline, time needed for depletion to occur	< 1 h per test. Serial testing requires 8–48 h.	12 h–7 d
Premature Chromosome Condensation	0.2–20	Immediately	CHO fusion: 2–3 h Chemical stimulation: 51 h	At least 1 wk, likely 6+ mo
Gene Expression	0.1–5	Immediately, depending on when gene is upregulated	9–36 h	Through 48–72 h
EPR (tooth)	1–30	Immediately	5–25 min	Lifetime and longer

# « Polonium »

## Caractéristiques du polonium 210

Le polonium a été découvert en 1898 par Pierre et Marie Curie, qui cherchaient la cause de la radioactivité résiduelle de la pechblende, un minerai d'uranium, après extraction des principaux constituants. Le polonium possède une quarantaine d'isotopes de masse atomique variant entre 187 et 227. Sept isotopes sont présents dans les trois familles radioactives naturelles : celle du thorium 232 (Po-212, Po-216), de l'uranium 235 (Po-211, Po-215), et de l'uranium 238 (Po-210, Po-214, Po-218). Aucun de ces isotopes ne s'accumule dans les milieux naturels en raison de leur courte période radioactive ([Ansoborlo, 2014](#)).

Le Po-210 est le plus abondant dans la nature avec une période de 138 jours. Seuls deux isotopes du polonium ont des périodes plus longues que le Po-210 (Po-208: 2,9 ans et Po-209: 115 ans), mais ils n'existent pas à l'état naturel.

Le Po-210 fait partie de la chaîne de désintégration de l'U-238, qui compte également parmi ses fils le radon-222 (cf [Figure 1](#)). Il se désintègre par émission alpha (5,3 MeV) en se transformant en plomb-206 stable (cf [Tableau 1](#)). Ce rayonnement est accompagné d'un

rayonnement gamma de très faible intensité.

Les propriétés physico-chimiques du polonium ont été principalement établies sur des quantités impondérables (de l'ordre de  $10^{-11}$  à  $10^{-6}$  g) selon des méthodes radiochimiques. Des expériences à l'échelle du gramme sont désormais possibles, mais l'activité spécifique élevée du Po-210 ( $1,66 \cdot 10^{14}$  Bq.g<sup>-1</sup>) conduit à de très forts effets de radiolyse et rend l'interprétation des résultats parfois délicate.

Le polonium est un élément du groupe VI du tableau périodique à température de fusion basse (254°C) et est volatil dès 55°C. Il possède plusieurs états d'oxydation (-II, +II, +IV, +VI), l'état tétravalent étant le plus stable en solution. Il forme des sels solubles avec les chlorures, les bromures, les acétates, les nitrates, et d'autres anions inorganiques. Une propriété importante du point de vue biologique est sa tendance à s'hydrolyser et à former des colloïdes (particules en suspension dans un fluide).

Tableau 1 : Caractéristiques atomiques et nucléaires du Po-210

Élément	Polonium 210 (Po-210)
Numéro atomique Z	84
Filiation (alpha)	Pb-206 (100%)
Période radioactive T <sub>1/2</sub>	138,4 jours
Constante radioactive λ	57,9762E-9 s <sup>-1</sup>
Activité spécifique A <sub>m</sub>	1,662577E+14 Bq/g
Emission alpha	énergie: 5 304,33 keV intensité: 99,999%

Référence: LNE-CEA/LNHB – 2008

## Origines, présence dans l'environnement et utilisations

La présence du Po-210 dans l'atmosphère est due à plusieurs phénomènes dont notamment les émissions volcaniques et l'exhalaison du Rn-222, gaz précurseur du Po-210. Sa concentration dans l'air, généralement faible : 50 microBq/m<sup>3</sup> ([UNSCEAR, 2008](#)), peut augmenter localement à proximité de certains sites industriels (activités minières, industrie des phosphates). Le Po-210, comme ses précurseurs le Pb-210 et le Bi-210, se fixent sur les aérosols et retombent à la surface de la terre et des océans. Peu mobile, il se fixe dans les premiers centimètres du sol avec des concentrations entre 10 et 200 Bq/kg de sol sec. Sa concentration peut atteindre 15 000 à 22 000 Bq/kg de sol sec au niveau des résidus d'extraction des mines d'uranium. Les plantes sont alors contaminées par absorption racinaire ou directement par dépôt de particules radioactives atmosphériques sur les parties aériennes. L'utilisation d'engrais phosphatés augmente notablement la concentration en Po-210 dans les plantes. C'est le cas du tabac avec une activité moyenne en Po-210 d'environ 20 mBq dans une cigarette. Dans la fumée inhalée, l'activité en Po-210 varie beaucoup avec une moyenne de  $10 \pm 6$  mBq ([Persson & Holm, 2011](#)).

En milieu aquatique, le Po-210 présente une forte affinité pour les particules en suspension. Dans les océans, la valeur usuelle est de 1 mBq/L ([Fowler, 2011; IRSN, 2004](#)). Les fruits de mer et le poisson accumulent le polonium, et leur

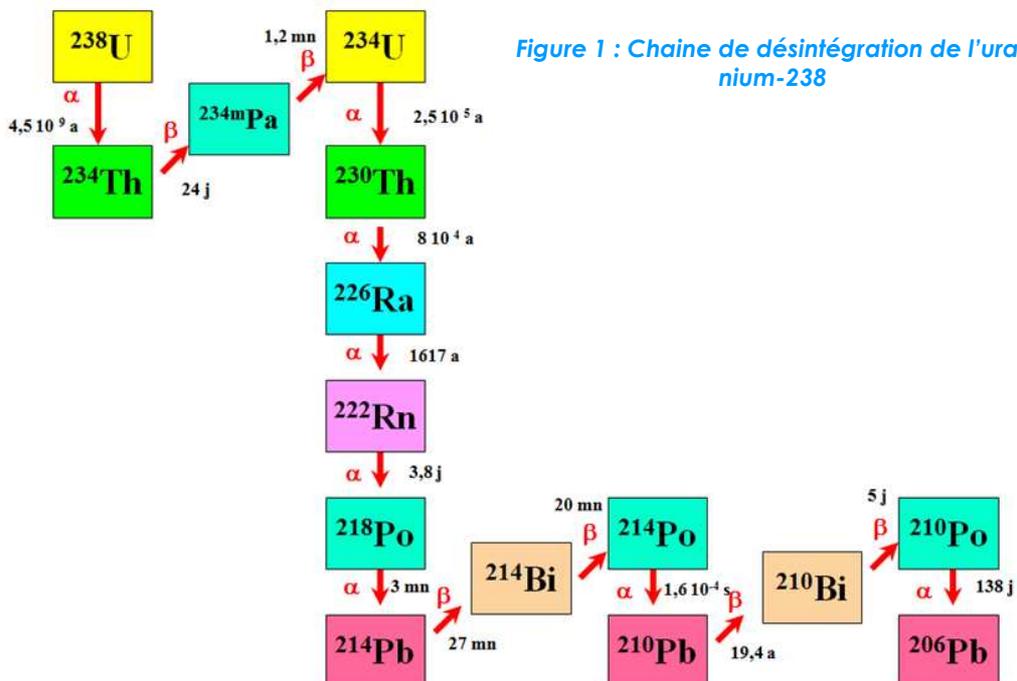


Figure 1 : Chaîne de désintégration de l'uranium-238

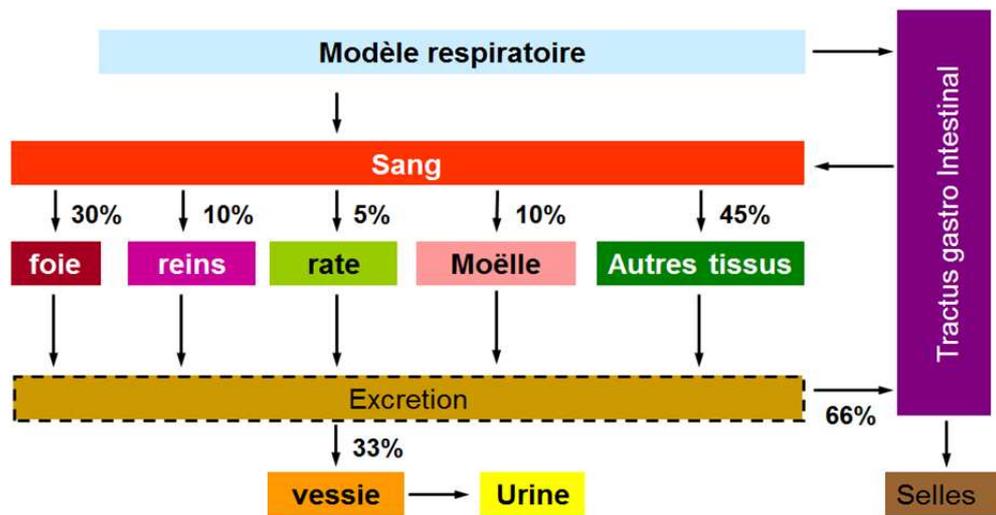


Figure 2 : Modèle biocinétique du polonium

consommation contribue de façon substantielle à la quantité totale de Po-210 ingérée par l'homme.

Le Po-210 peut également être produit artificiellement : soit par bombardement neutronique de Bi-209 dans un réacteur nucléaire, le Po-210 est obtenu par désintégration beta du Bi-210 avec une période de 5 jours ; soit par bombardement alpha (37 MeV) de Bi-209, générant du At-210 qui se transforme en Po-210 par émission beta. Dans l'industrie, le Po-210 est utilisé dans les éliminateurs d'électricité statique, et dans la fabrication de sources de neutrons en association avec le béryllium.

### Exposition et devenir chez l'homme

L'homme est exposé continuellement au Po-210 naturellement présent dans l'environnement par inhalation et par ingestion. Au total, la dose efficace annuelle due à l'ingestion de radionucléides des familles naturelles de l'uranium et du thorium est de 120 microSv ; le Po-210 en est le principal contributeur avec 70 microSv en moyenne pour un adulte. Par inhalation, cette dose due au Po-210 est de 1,2 microSv. Les concentrations dans les tissus varient d'un individu à l'autre ; les valeurs de référence (en mBq/kg) sont de 200 dans les poumons, 600 dans le foie, 600 dans les reins, 2 400 dans le squelette, et de 100 dans les muscles et les autres tissus (UNSCEAR, 2000). Cependant, la présence dans les feuilles de tabac augmente considérablement l'exposition des fumeurs au Po-210 ; la concentration de ce dernier dans le parenchyme de poumons de fumeurs est

environ trois fois supérieure à celle de non-fumeurs (UNSCEAR, 2008).

Après inhalation, la solubilité du composé *in vivo* détermine son temps de rétention au niveau des poumons et son passage dans le sang. Trois catégories sont définies dans la publication 66 de la CIPR (1994) : Type F rapide, M modéré ou S lent. Les données humaines et animales disponibles indiquent que les composés du Po-210 se comportent comme un Type M (modéré), en particulier les chlorures et les formes chimiques similaires.

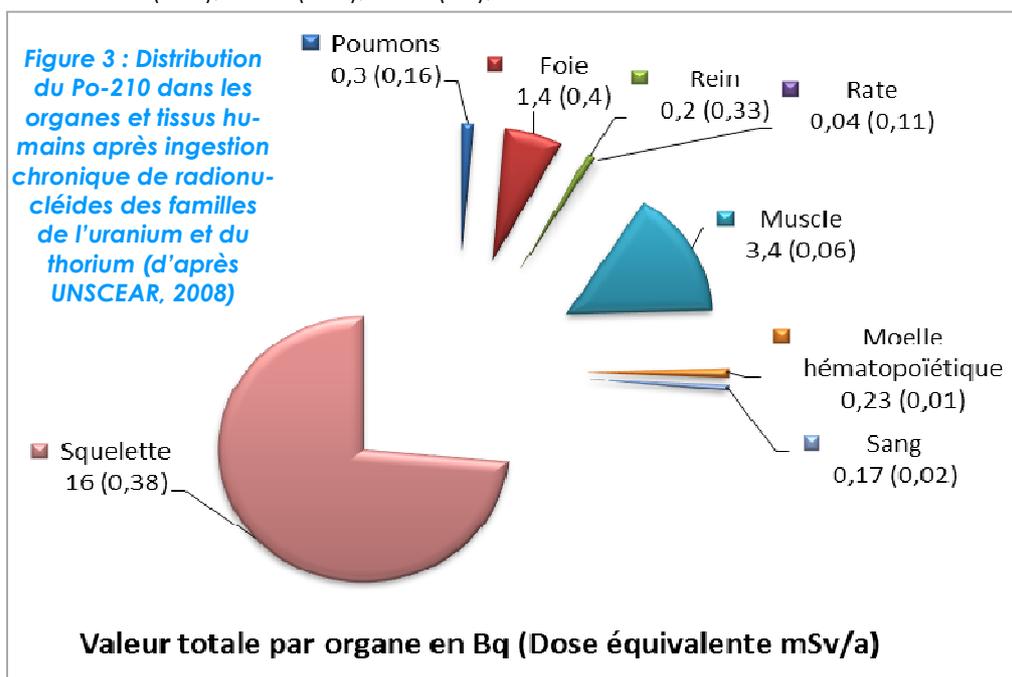
Après ingestion de Po via l'alimentation, le coefficient d'absorption intestinal ( $f_1$ ) retenu par la CIPR est de 0,5 pour un adulte du public (ICRP, 2012). Une fois dans le sang, le Po-210 se lie à l'hémoglobine des globules rouges, ainsi qu'aux protéines plasmatiques, puis est distribué rapidement dans les tissus mous : foie (30%), reins (10%), rate (5%),

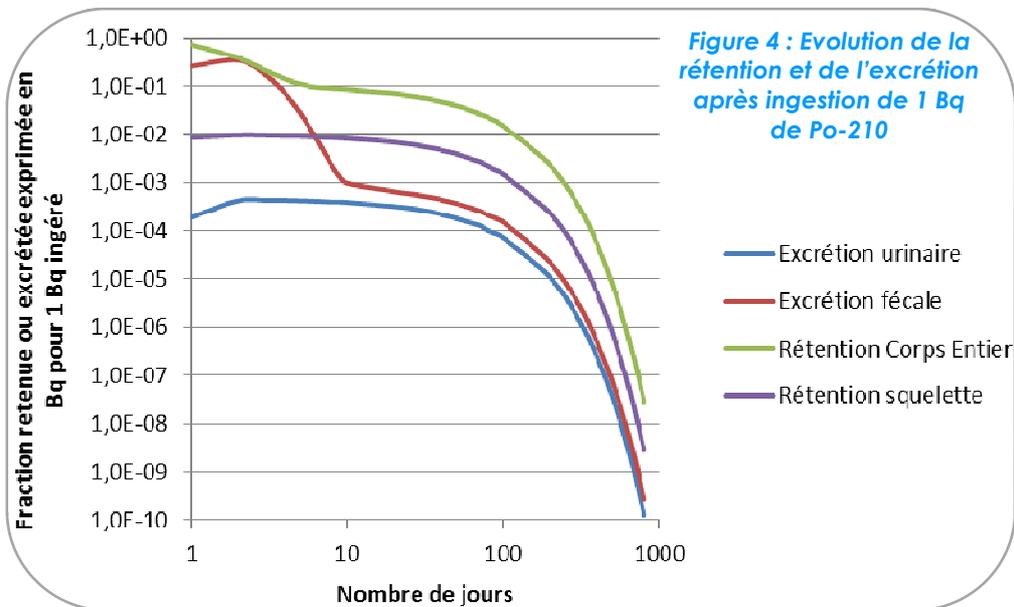
moelle hématopoïétique (10%), autres (45%). Sa période biologique est d'environ 50 jours, et il est éliminé davantage dans les selles que dans les urines (ICRP, 1993) (voir figure 2). Il faut cependant tenir compte de l'origine naturelle de l'exposition, par ingestion ou inhalation de radionucléides des familles de l'uranium et du thorium, qui explique la rétention de Po-210 au niveau des poumons et du squelette, organes cibles de ses pères. Ainsi, les résultats de mesure dans les tissus humains (valeur totale par organe et dose équivalente) sont présentés dans la figure 3.

Le passage percutané du polonium est faible et n'excède pas 2% par jour chez l'homme. En cas de blessure, les particules se fixent dans les tissus sous-cutanés. Le polonium forme alors des colloïdes, limitant son transfert vers la circulation générale (Ansoborlo et al., 2012).

### Dosimétrie – méthodes analytiques

La température de sublimation du polonium (< 60°C) empêche ou rend délicate toutes quantifications dans un milieu solide (fèces, organes, etc.) qui nécessitent une calcination de la matrice. La surveillance d'une exposition est possible par prélèvement urinaire, bien que les niveaux d'excrétion urinaire soient faibles (voir figure 4). Par ailleurs, l'apport alimentaire et les habitudes tabagiques modifient la teneur naturelle des urines de personnes non exposées en Po-210. Pour réaliser cette surveillance, les urines de 24 heures sont minéralisées





par voie humide, puis purifiées par chromatographie. Le polonium se dépose spontanément sur un disque d'argent ou d'or qui sera compté à l'aide des transitions alpha. Le rendement chimique en Po-210 de ce protocole est déterminé à l'aide d'un étalon interne, le Po-209. Le **tableau II** résume quelques données publiées.

Tous les auteurs s'accordent pour retenir un niveau d'enregistrement de 30 mBq par jour dans les urines, niveau qui correspond à une dose de 1 mSv (100 jours après ingestion).

**Tableau II : Excrétion urinaire naturelle en Po-210**

Excrétion urinaire naturelle en <sup>210</sup> Po		
Origine	non fumeurs	fumeurs
Allemagne	3.5 mBq/j	6.6 mBq/j
Brésil	5.2 mBq/l	9.8 mBq/l
Arabie	1.5 à 10 mBq/l	3.3 à 15.9 mBq/l

### Effets biologiques

Il faut noter que les études expérimentales et les cas de contamination humaine proviennent de publications anciennes reprises dans des revues et que les informations disponibles sont souvent incomplètes.

#### Etudes expérimentales chez l'animal

La toxicité aiguë du Po-210 a été étudiée chez plusieurs espèces animales auxquelles a été administré le radioélément par différentes voies d'entrée. Un transfert dans le sang de l'ordre de 1 à 4 MBq/kg est fatal sous 20 jours. Des modifications de la formule

sanguine caractéristiques d'une atteinte de la moelle osseuse ont été mises en évidence. Les animaux présentaient également des lésions au niveau d'autres organes dont le foie, les reins, la rate, la peau et la muqueuse intestinale après administration par voie orale. Il semble que la mort soit due aux atteintes de plusieurs organes et tissus plutôt qu'à celle d'un organe critique ([Harrison et al., 2007](#)).

#### Cas de contamination chez l'homme

Le temps de survie dépend de la quantité de Po-210 inhalée ou ingérée. Une quantité importante de radioactivité (> 1 MBq/kg), qui correspond à une masse de quelques microgrammes de Po-210, entraîne la mort en un mois environ. En deçà de 0,02 MBq/kg, les effets déterministes ne conduisent pas à la mort. Il faut cependant prendre en compte le risque d'effets potentiels à plus long terme (cancer, diminution de l'espérance de vie).

Quelques cas de contamination aiguë n'ayant pas conduit au décès des individus exposés ont été rapportés. Des travailleurs exposés à des doses comprises entre 0,037 et 0,19 MBq/kg ont eu des modifications de la formule sanguine, des perturbations de la fonction hépatique, rénale et de la reproduction, mais se sont apparemment rétablis. Deux incidents d'exposition à une source de Po-Be ont impliqué des adolescents qui ont présenté des modifications des fonctions hépatiques et rénales, sans dégradation de l'état général. Les doses estimées variaient de 0,0074 à 0,41 MBq/kg ([Scott, 2007](#)).

#### Cas d'intoxication par inhalation chez un travailleur russe, (d'après Ilyin, 2001 dans Harrison et al., 2007)

Le décès est survenu 13 jours après l'accident. Lors de l'admission à l'hôpital, 2 à 3 jours après l'accident, le patient présentait des vomissements sévères, une forte fièvre, mais pas de diarrhée. Le taux des plaquettes sanguines était de 150 000 mm<sup>-3</sup> à J+6 et de 80 000 mm<sup>-3</sup> à J+8 (valeurs normales : 150 000-400 000 mm<sup>-3</sup>). L'excrétion urinaire était d'environ 0,4 MBq par jour. Les rétentions totale et par organe mesurées lors de l'autopsie sont présentées dans le **tableau III**. L'activité de Po-210 inhalée a été estimée par reconstitution à 530 MBq.

**Tableau III Mesures de Po-210 dans les tissus après autopsie**

Site de rétention	Activité mesurée à l'autopsie (MBq)
Poumons	13
Reins	4,5
Foie	21
Corps entier	100

#### Cas d'empoisonnement par ingestion – A. Litvinienko

Le décès d'Alexander Litvinienko est survenu 23 jours après le jour probable de son empoisonnement par ingestion de Po-210. D'après les informations disponibles, sa mort serait liée à une défaillance de plusieurs organes combinée à une atteinte de la moelle osseuse.

Pour reconstituer la dose de Po-210, Li et al. (2008) ont considéré la moelle osseuse, le foie et les reins comme étant les organes critiques et se sont basés sur des données animales de doses létales 50 et 100% à ces organes. Ainsi, des doses absorbées létales de 5 Gy à la moelle, 6 Gy aux reins, et 8 Gy au foie ont servi de données de départ à l'estimation de la dose ingérée. Selon le modèle biocinétique et le coefficient d'absorption utilisé, A. Litvinienko a été contaminé par une quantité de Po-210 estimée entre 27 et 1 408 MBq, soit 0,2 à 8,5 µg de Po-210.

## Etudes épidémiologiques

Quelques études épidémiologiques ont intégré le risque de mortalité par cancer due à l'exposition au polonium chez les travailleurs. Beral et al (1988) s'est intéressé aux 22 552 travailleurs de l'installation de fabrication d'armes atomiques au Royaume-Uni entre 1951 et 1982. Parmi les 9 389 travailleurs suivis pour leur exposition aux rayonnements ionisants, 638 (7%) étaient potentiellement exposés au Po-210. Seule la mortalité par cancer du rein était significativement augmentée (Standard Mortality Ratio, SMR=5,8; intervalle de confiance (IC) non précisé). Sur les 3 cas recensés, 2 étaient également exposés à l'uranium. Les doses dues à la contamination interne ne sont pas disponibles dans cette étude.

Le suivi d'une cohorte des 4 402 travailleurs de l'installation nucléaire de Mound (USA) n'a pas montré de corrélation significative entre leur exposition au polonium et la mortalité par cancer quel qu'en soit le type (Wiggs et al., 1991). Le SMR pour le cancer du rein était de 0,63 (IC 90% : 0,11-1,98) pour 2 cas recensés. Dans cette installation, le polonium associé au béryllium a servi de source de neutrons pour l'amorce des armes atomiques de 1944 à 1972.

Cette cohorte a fait l'objet d'une analyse récente, elle a été élargie et totalise 7 269 personnes. 3 681 décès ont été recensés pour l'ensemble de la cohorte au 31 décembre 2009 contre 4 074 attendus (SMR 0,90; IC 95% : 0,88-0,93). 4 977 étaient surveillés quant à leur exposition aux rayonnements ionisants, parmi lesquels 2 295 étaient exposés au polonium avec des doses moyennes de 159,6 mSv au poumon, 10,6 mSv au foie, 21,6 mSv au rein, et 0,45 mSv au cœur. Les doses ont été estimées à partir des résultats des mesures urinaires. Chez ces travailleurs, la mortalité par cancer n'est pas augmentée de façon significative pour l'ensemble des cancers, ou pour chaque type de cancer, y compris le cancer du poumon. D'après les auteurs, ces résultats demandent à être vérifiés sur une population plus large de travailleurs exposés (Boice et al., 2014).

## Traitement

Le traitement d'une contamination aiguë et massive par le Po-210 a deux objectifs (Jefferson et al., 2009) :

• un traitement symptomatique, visant à soutenir les fonctions de la moelle osseuse (transfusion sanguine, plaquettes, facteurs de croissance hématopoïétiques) et des autres organes (foie, rate, reins), ainsi qu'à prévenir les infections et la douleur ;

• un traitement décorporant, visant à favoriser l'élimination du Po de l'organisme par l'administration d'un agent chélatant.

L'efficacité de plusieurs agents chélatants a été démontrée chez le rat avec une amélioration de la survie : DMPA, DMSA (Aposhian et al., 1987; Bogdan & Aposhian, 1990), DMPS (Dimaval®) (Aposhian et al., 1987; Volf et al., 1995), HOEtTC (Rencova et al., 1997; Rencova et al., 1994). Ces traitements n'ont jamais été administrés chez l'homme lors d'une contamination par du Po et leur effet est difficile à extrapoler à partir des données animales. Dans ces études, les antidotes sont utilisés à des doses généralement supérieures à celles utilisées en cas d'intoxication par des métaux chez l'homme, et leur administration est très précoce.

Le traitement recommandé en France par l'ASN (2009) et l'ANSM (2010) est le dimercaprol (BAL, British Anti-Lewisite) (indication hors AMM) et doit être débuté le plus tôt possible. La posologie est de 2 à 3 mg/kg/injection. Les deux premiers jours, une injection intramusculaire profonde doit être réalisée toutes les 4h ; le troisième jour, une injection toutes les 6h ; puis 2 injections par jour pendant 10 jours. Le BAL présente des effets indésirables et doit faire l'objet de précautions d'emploi (seringue en verre, débuter le traitement par ¼ d'ampoule pour rechercher la sensibilité individuelle du malade).

Abréviations :

DMPA : acide N-(2,3-dimercaptopropyl) phtalamidique

DMSA : acide dimercaptosuccinique

DMPS : acide 2,3-dimercapto-1-propanesulfonique

HOEtTC : N,N'-di(2-hydroxyethyl)éthylène-diamine-N,N'-biscarbodithioate

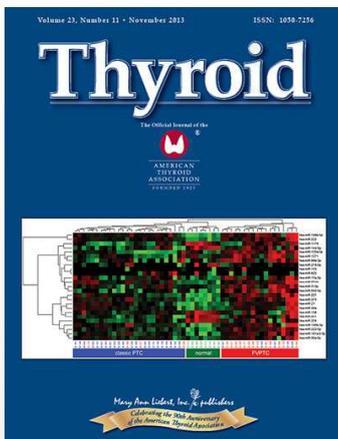
ASN : Autorité de Sûreté Nucléaire

ANSM : Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des produits de santé

## Références

- ANSM (2010). Fiches Piratox/Piratome de prise en charge thérapeutique
- Ansoborlo, E., et al. (2012). *Chem Res Toxicol*, 25(8), 1551-1564.
- Ansoborlo, E. (2014). Poisonous polonium. *Nature Chem.* [in press]
- Aposhian, H. V., et al. (1987). *Res Commun Chem Pathol Pharmacol*, 58(2), 157-171.
- ASN (2008). Guide national - Intervention médicale en cas d'événement nucléaire ou radiologique.
- Beral, V., et al. (1988). *BMJ*, 297(6651), 757-770.
- Bogdan, G. M., & Aposhian, H. V. (1990). *Biol Met*, 3(3-4), 232-236.
- Boice, J. D., Jr., et al. (2014).. *Radiat Res.* [epub, ahead of print]
- Fowler, S. W. (2011). *J Environ Radioact*, 102(5), 448-461.
- Harrison, J., et al. (2007). *J Radiol Prot*, 27(1), 17-40.
- ICRP (1993). Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 2 - Ingestion Dose coefficients. ICRP Publication 67
- ICRP. (1994). Human respiratory tract model for radiological protection. ICRP Publication 66
- ICRP (2012). Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. ICRP Publication 119
- IRSN. Fiche radionucléide: Polonium 210 et environnement. [http://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/fiches-radionucléides/Documents/Polonium\\_Po210\\_v4.pdf](http://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/fiches-radionucléides/Documents/Polonium_Po210_v4.pdf),
- Jefferson, R. D., et al. (2009). *Clin Toxicol (Phila)*, 47(5), 379-392.
- Li, W. B., et al. (2008). *Radiat Environ Biophys*, 47(1), 101-110.
- Persson, B. R., & Holm, E. (2011). *J Environ Radioact*, 102(5), 420-429.
- Rencova, J., et al. (1997). *Int J Radiat Biol*, 72(3), 341-348.
- Rencova, J., et al. (1994). *Radiation Protection Dosimetry*, 53(1-4), 311-313.
- Scott, B. R. (2007). *Dose Response*, 5(2), 94-122.
- UNSCEAR (2000). Sources and effects of ionizing radiation.
- UNSCEAR (2008). Sources and effects of ionising radiation.
- Volf, V., et al. (1995). *Int J Radiat Biol*, 68(4), 395-404.
- Wiggs, L. D., et al. (1991). *Health Phys*, 61(1), 71-76.

## Comparison of transcriptomic signature of post-chernobyl and postradiotherapy thyroid tumors.



Cette étude est la troisième d'une série visant à identifier une signature des tumeurs de la thyroïde radio-induites. Les auteurs ont analysé le transcriptome\* :

- › de tumeurs post-Tchernobyl, faisant suite principalement à des contaminations internes par de l'iode-131,
- › de tumeurs post-radiothérapie, induites par une irradiation externe à forte dose pour le traitement d'un premier cancer,
- › de tumeurs sporadiques, c'est-à-dire sans cause connue.

Grâce à leurs études antérieures, les auteurs ont annoncé la possibilité de distinguer une tumeur sporadique d'une tumeur radio-induite. Ici, les auteurs ont affiné leur approche des caractéristiques moléculaires qu'ils avaient obtenues pour les tumeurs post-Tchernobyl et post-radiothérapie, dans le but de trouver des points communs ou des différences.

Les auteurs ont identifié 5 gènes communs aux tumeurs induites par une incorporation d'iode-131 et après irradiation externe dans le cadre d'un traitement par radiothérapie.

\* Ensemble des ARN messagers fabriqués au terme de la transcription des gènes en vue de synthétiser les protéines.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23521174>

## ACTUALITE - SUITE

### Impact of Chemical Exposure on Cancer Mortality in a French Cohort of Uranium Processing Workers

Cette étude préliminaire s'est intéressée aux effets d'une exposition aux produits chimiques, associée à celle de l'uranium, sur la mortalité par cancer chez 2 897 travailleurs d'une usine française de traitement du combustible. Cette cohorte, étalée de 1968 à 2006 (durée moyenne de suivi : 27,6 ans) est constituée à 93,5% d'hommes, plutôt jeunes (âge moyen à la fin du suivi : 59,9 ans). La cause du décès a pu être déterminée dans 99,9% des cas. Au total, 460 décès ont été dénombrés dont 214 par cancer.

Les rapports des risques instantanés (ou 'hazard ratios', HR) pour la mortalité par cancer du poumon, du système lymphohématopoïétique, du rein et de la vessie, du système nerveux central (incluant les cancers du cerveau), et de la prostate ont été calculés pour les 7 produits ou familles de produits chimiques\* prédominants. Ainsi, une ex-

position aux solvants aromatiques est associée à un risque accru de cancer du système nerveux central: HR=6,53 (IC 95= 1,14-37,41) après ajustement aux autres produits chimiques considérés. Ce risque est augmenté mais n'est plus significatif (HR=7,26 ; IC 95= 0,90-58,19) après ajustement combiné à l'uranium et aux autres produits chimiques.

Le suivi de cette cohorte et la prise en compte de l'exposition des travailleurs à diverses substances chimiques doivent être poursuivis afin de préciser ces premiers résultats.

\* *amiante, trichloroéthylène, solvants aromatiques, hydrazine et autres carburants, fibres céramiques, fumées et gaz de soudage, et les composés du chrome (VI).*

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24009194>

### Frequency Of Dicentrics And Contamination Levels In Ukrainian Children And Adolescents From Areas Near Chernobyl 20 Years After The Nuclear Plant Accident

Cette étude vise à évaluer la présence de dommages chromosomiques chez des enfants et adolescents ukrainiens (d'âge compris entre 7 et 18 ans pour 85% d'entre eux, entre 19 et 27 ans pour 15%), vivant à moins de 100 km de Tchernobyl dans une région contaminée par du césium-137. Les niveaux de contamination en 1986 étaient compris entre 1 110 et 37 GBq /km<sup>2</sup>.

La recherche de dicentriques a été effectuée sur des cellules sanguines (lymphocytes) de 55 personnes (29 garçons et 26 filles). En parallèle, des mesures anthroporadiométriques et des analyses radiotoxicologiques urinaires ont été réalisées.

Les résultats de l'étude ont abouti au comptage de 36 dicentriques parmi les 53 477 métaphases analysées chez ces enfants soit une fréquence moyenne de 0,0007, ce qui correspond à une fréquence de dicentriques inférieure à celle du bruit de fond de la population non exposée (0,0009), dans la fourchette fixée par l'AIEA (comprise entre 0,0005 et 0,0010).

Les auteurs concluent qu'aucune surexposition aux rayonnements ionisants n'est à déplorer pour ces jeunes dans les 3-5 ans passés, puisque la dose absorbée estimée par dosimétrie biologique et physique est inférieure à la limite de détection.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23718157>

## Radionuclide Decorporation: Matching the Biokinetics of Actinides by Transdermal Delivery of Pro-chelators

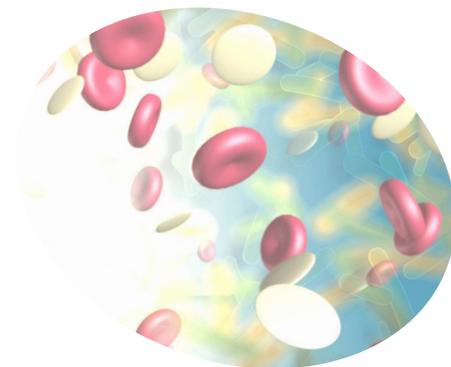
Pour faciliter l'administration d'un traitement décorporant en cas de contamination par des radionucléides, un gel non-aqueux contenant une prodrogue\* du DTPA, le DTPA penta-éthyl ester ou C2E5, a été testé.

Les tests d'absorption et d'élimination ont été réalisés chez le rat par dépôt cutané de gel marqué au C-14 à une concentration de 200 mg/kg de C2E5 pendant 24 h. Environ 60% de la dose appliquée sur la peau des rats est absorbée en 24 h. La moitié est éliminée dans les urines et l'autre dans les fèces en 6 j. La rétention au site d'application est faible avec 1,6% de la dose absorbée restant au niveau cutané 6 j après traitement.

L'efficacité a été démontrée chez le rat sur un modèle de blessure contaminée par du nitrate d'américium (Am). Plusieurs concentrations (200, 600, et 1000 mg/kg de C2E5) ont été testées 24 h après contamination et pendant 24 h sur 6 cm<sup>2</sup> de peau. Le gel transdermique a permis d'augmenter l'élimination de l'Am pendant au moins les 3 j suivants l'application et de réduire les doses dans les organes de dépôts (squelette et foie) par rap-

port au groupe témoin. Une relation dose-effet a été observée en termes de décorporation du corps entier et du foie. Quant au squelette, il est apparu un effet décorporant constant quelle que soit la concentration utilisée. L'application de C2E5 à une concentration de 1 000 mg/kg sur 6 cm<sup>2</sup> (ou 600 mg/kg sur 18 cm<sup>2</sup>) est aussi efficace qu'une injection de Ca-DTPA à une concentration de 14 mg/kg. Le gel semble être bien toléré par les animaux : aucune irritation ou inflammation n'a été mise en évidence au niveau du site d'application.

\* *Prodrogue : composé destiné à l'usage thérapeutique qui doit subir une biotransformation, après administration à un organisme, pour que s'exerce une activité pharmacologique.*



<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23990504>

### The new Basic Safety Standards Directive and its implications for environmental monitoring

La surveillance des niveaux de radioactivité environnementale est un enjeu important du traité EURATOM en particulier au sein de ses articles 35 et 36. La publication des normes de base pour la radioprotection des travailleurs (Directive 2013/59) a consolidé et révisé cette position en définissant les situations d'exposition, exposition normale, existante et accidentelle en raison du retour d'expérience de l'accident de Fukushima.

Les auteurs détaillent les points forts de cette publication en termes de surveillance environnementale et d'exposition des espèces non humaines au radon, aux rejets médicaux et aux activités impliquant des sources radioactives naturelles (NORM). Ces surveillances devront être transposées au niveau de la réglementation nationale des Etats membres.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23380616>

## AGENDA



### 7-9 mai 2014

15th European ALARA Network Workshop and 5th EUTERP Workshop Education and Training in Radiation Protection: Improving ALARA Culture, Rovinj, Croatia  
<http://ean-euterp.ekoteh.hr/>

### 12-16 mai 2014

AOCR-4 : Asian and Oceanic Congress on Radiation Protection, Kuala Lumpur, Malaisie  
[www.irpa.net](http://www.irpa.net)

### 4 au 6 juin 2014

ATSR 2014 - 26<sup>e</sup> congrès de radioprotection – Déchets et rejets – Palais des congrès – Port Santa Lucia, Saint-Raphaël, France

<http://www.alphavisa.com/atsr/2014/index.php>

### 11-12 juin 2014

L'optimisation de la radioprotection dans les domaines électronucléaire, industriel et médical, Saint-Malo, France

<http://www.sfrp.asso.fr/spip.php?article438>

### 23 - 27 juin 2014

Fourth European IRPA Congress - Radiation Protection Culture, Genève, Suisse

[www.irpa2014europe.com](http://www.irpa2014europe.com)

### 26-28 août 2014

Conference on Radiation Effects and Radiation Protection (RERP 2014), Suzhou, Chine

[www.engii.org/workshop/RERP2014august](http://www.engii.org/workshop/RERP2014august)

### 7-12 septembre 2014

International Conference on Radioecology & Environmental Radioactivity, Barcelone, Espagne

[www.icrer.org](http://www.icrer.org)

### 19-24 septembre 2014

AFIRPA04 : 4th Regional African Congress of International Radiation Protection Association, Rabat, Maroc

[www.irpa.net](http://www.irpa.net)

### 13-14 novembre 2014

Neuvièmes rencontres des personnes compétentes en radioprotection, Issy les Moulineaux, France

<http://www.sfrp.asso.fr/spip.php?article452>

### 20-24 avril 2015

International Conference on Individual Monitoring of Ionising Radiation, Bruges, Belgique

<http://www.im2015.org>

## Livres

### Radium Girl

Un thriller inspiré de faits réels dans l'Amérique de la Grande Dépression, où on croise Al Capone, Marie Curie, Sacco et Vanzetti, King Vidor et George Gershwin. Avec du sang, de l'amour... et du radium !

Auteur : JEAN-MARC COSSET— Collection : Odile Jacob THRILLER— Date de parution : 05/09/2013  
Nombre de page : 224 pages— ISBN : 9782738129758

## Exposition

Le Palais de la Découverte dédie une exposition à la Radioactivité, du **3 Décembre 2013 au 8 Juin 2014**. Cette exposition est adaptée au jeune public (dès 10 ans). L'événement permet de découvrir tous les secrets de la radioactivité dans un parcours ludique et pédagogique passant de Homer à Oppenheimer et Pierre et Marie Curie. Questionnant aussi bien l'utilisation du nucléaire que sa découverte, l'exposition nous entraîne, dans des termes adaptés aux plus jeunes, dans l'univers de la physique.

## Conférence

### La Thérapie génique contre la maladie de Parkinson

Philippe Hantraye, directeur de MIRCen (CEA-Fontenay-aux-Roses) fait le point sur les recherches dans le domaine des thérapies géniques pour les maladies neurodégénératives.

*La conférence aura lieu le samedi 5 avril à 15h à la médiathèque de Fontenay-aux-Roses, 6 place du Château-Sainte-Barbe, 92260, Fontenay-aux-Roses.*

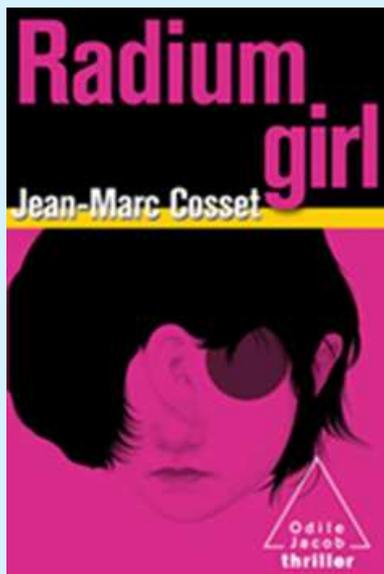
### Le temps existe-t-il ? Des atomes froids pour mesurer le temps

*Mardi 15 avril 2014 à 19h à l'auditorium de la Cité des sciences*

### Les troubles de la mémoire

*Judi 22 mai 2014 à 19h à l'auditorium de la Cité des sciences*

<http://www.cite-sciences.fr/fr/conferences-du-college>



DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea

Directeur de la publication : F. Ménérier

Comité de rédaction : P. Bérard, J. Dias, L. Lebaron-Jacobs, A. Leiterer

Abonnement et questions : [prositon.dsv@cea.fr](mailto:prositon.dsv@cea.fr)

Site web : [www-dsv.cea.fr/prositon](http://www-dsv.cea.fr/prositon)



Conception graphique : Janet Dias