



HAL
open science

La radioactivité du corps humain : Effet des actes médicaux et gestion des dépouilles radioactives

Isabelle Techer

► **To cite this version:**

Isabelle Techer. La radioactivité du corps humain : Effet des actes médicaux et gestion des dépouilles radioactives. 2018. hal-01740687

HAL Id: hal-01740687

<https://hal.science/hal-01740687>

Preprint submitted on 22 Mar 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Document de recherche #2018-02

La radioactivité du corps humain

Effet des actes médicaux et gestion des
dépouilles radioactives

Isabelle Techer



La radioactivité du corps humain

Effet des actes médicaux et gestion des dépouilles radioactives

Groupe de travail pour le book Chrome
Laura Jaeger (MCF Droit privé),
Myriam Janin (MCF Géochimie),
Julien Michon (doctorant psychologie),
Véronique Thireau (MCF HDR Sciences économiques)

Contribution de
ISABELLE TECHER
PR GEOSCIENCES
CHROME (EA 7352) UNIVERSITE DE NIMES

Introduction

Dans son environnement naturel tout individu est soumis à des rayonnements d'origine et de nature très diversifiées, parmi lesquels les rayonnements ionisants qui interagissent avec la matière et peuvent donc la modifier de façon définitive ou transitoire. Les effets sur la santé de ce type de rayonnements sont donc régulièrement décrits et médiatisés. Ces rayonnements ionisants sont générés naturellement lors de la transformation de certains atomes constitutifs de la matière, qui se retrouvent en grande partie naturellement dans l'air, les roches, les sols, l'eau, les aliments ou encore le corps humain.

Ces atomes sont dits radioactifs ou radionucléides et sont à l'origine de la radioactivité, phénomène correspondant à cette libération de rayonnements et d'énergie lors de la transformation des atomes. La nature et la concentration des radionucléides, et donc l'intensité du phénomène de radioactivité, varient dans l'environnement d'un réservoir à un autre, mais il en ressort que l'homme vit au quotidien en présence de ces atomes et de ce phénomène, qu'il est donc quotidiennement exposé aux rayonnements ionisants, qu'il est lui-même radioactif. L'Homme est-il conscient de cette irradiation naturelle qui l'entoure et qui émane de son propre corps ? rien n'est moins sûr... Et pourtant les sources d'irradiation naturelles représentent en moyenne 65% de la part de l'exposition de la population française aux rayonnements ionisants ([IRSN, 2015](#)). La part restant correspond donc à une exposition artificielle liée à la présence de radionucléides produits par l'homme. Cette production relève notamment d'une utilisation des rayonnements et de l'énergie de ces atomes dans le domaine militaire et médical, ou encore dans celui de la production de l'énergie électrique.

Dans certains contextes médicaux ou environnementaux, acte médical individuel ou exposition à une catastrophe nucléaire, l'homme peut être artificiellement exposé à ces sources d'irradiation artificielle et en cas de contamination interne devenir lui-même un émetteur de radioactivité potentiellement dangereux. Dès lors, en cas de décès de cet ou de ces individu(s), se pose la problématique de la gestion de sa dépouille radioactive.

I- Exposition naturelle à l'irradiation

Des rayonnements ionisants sont naturellement produits dans notre environnement au sein des matériaux de l'écorce terrestre qui renferment des radionucléides lourds tels que l'uranium (^{235}U , ^{238}U), le thorium (^{232}Th), le potassium (^{40}K) ou encore le rubidium (^{87}Rb). Ces radionucléides au cours de leur transformation sont eux-mêmes producteurs d'atomes radioactifs solides ou gazeux. Un second flux de rayonnements est également produit naturellement à partir de l'atmosphère au sein de laquelle se mettent en place de nombreuses et complexes réactions entre particules et matières. Ces deux sources induisent respectivement un 'rayonnement tellurique' et un 'rayonnement 'cosmique' auxquels l'Homme est exposé quotidiennement. Il s'agit d'une exposition externe, les radionucléides restant à l'extérieur du corps humain. L'Homme est cependant également soumis à une irradiation naturelle interne, par ingestion et inhalation des radionucléides présents dans l'air, les végétaux, les eaux. La principale source d'irradiation naturelle interne est liée à l'inhalation d'un gaz radioactif, le radon (^{222}Rn), produit naturellement par l'uranium lors de sa transformation dans les roches et concentré dans l'air après diffusion. D'autres radionucléides de l'environnement sont également ingérés via les aliments et les eaux qui les concentrent à partir des roches et sols et viennent se fixer dans les tissus et les os du corps humain où ils vont se désintégrer. Par ingestion de ces radionucléides, l'homme devient donc radioactif. Cependant, de par la composition chimique même de son corps l'homme est source d'une activité radioactive. Composé principalement d'eau et donc d'hydrogène et d'oxygène, le corps humain renferme des éléments tels que le carbone (^{14}C) et le potassium (^{40}K). Ces radionucléides composant les os et les tissus du corps humain sont ainsi responsables d'un rayonnement ionisant auquel tout l'entourage de tout individu est exposé.

Quelle est la part de cette radioactivité ? L'homme peut-il être dangereux pour l'homme au travers de sa charge radioactive ? Il s'agira alors de pouvoir évaluer ce processus et ses effets sur l'homme et de s'assurer que ces effets ne soient pas modifiés par quelque activité que ce soit.

Radioactivité et évaluation de l'exposition

L'évaluation du ou des risques que peuvent représenter les rayonnements ionisants passe par la compréhension du processus de radioactivité. Lors de ce phénomène, pour des raisons d'instabilité neutronique, un atome va se transformer pour donner naissance à un nouvel atome. Cette transformation s'accompagne de l'émission de particules lourdes, on parle de désintégration ou de rayonnement alpha (α), ou de protons ou de neutrons, il s'agit alors de désintégration ou rayonnements beta (respectivement β^- et β^+). La transformation des radionucléides peut également s'accompagner d'émission de rayonnements électromagnétique : rayonnements gamma ou X. Chacune de ces émissions est associée à une libération d'énergie. Tous les rayonnements n'ont cependant pas la même énergie : l'émission de particules alpha (α) libère une plus grande énergie que l'émission de proton (β^-) ou de neutron (β^+), ou encore que l'émission de rayons gamma ou X. Lors de l'interaction d'un rayonnement avec le corps humain son énergie est transmise à la matière. Cette énergie transmise est communément appelée dose absorbée et est exprimée par unité de masse corporelle, en Joule/kilogramme ou Gray (Gy). Toutefois afin d'exprimer de manière efficace l'impact du rayonnement sur l'organisme, deux paramètres principaux doivent être pris en compte : le pouvoir de pénétration du rayonnement dans la matière, et la sensibilité de cette matière, ou des organes, au rayonnement. Ainsi, les rayonnements α alors que très énergisants, ne peuvent en aucun cas pénétrer la peau ; leur parcours est dit 'court'. Les rayonnements β pénètrent l'organisme de façon très limitée, alors que les rayons gamma ou X, bien que de faible énergie, ont un pouvoir pénétrant important. De plus, chaque organe, chaque tissu, a une sensibilité propre aux rayonnements. La prise en compte de ces deux facteurs permet de pondérer la dose absorbée et de mieux évaluer et quantifier le risque des rayonnements ionisants pour l'Homme au travers d'une unité, la dose efficace, exprimée en Sievert (Sv).

Exposition naturelle de l'homme à l'homme

Le corps humain, composé d'éléments radioactifs, notamment le ^{40}K et le ^{14}C , est donc lui même une source d'émission de rayonnements ionisants. Ces deux radionucléides, principalement émetteurs bêta, sont responsables d'une activité de l'ordre de 8 000 Bq et d'une dose efficace de l'ordre de 0,4 mSv/an calculées pour un individu de poids moyen de 70 kg. Afin d'appréhender cette valeur, il est nécessaire de la corrélérer à l'exposition aux autres rayonnements ionisants naturels. En France, cette exposition est évaluée en moyenne à 2,9 mSv/an (IRSN, 2015). Elle provient pour moins de 35% des rayonnements tellurique (variable suivant les régions géologiques et donc géographiques, en moyenne de 0,62 mSv/an) et cosmique (variable selon l'altitude, en moyenne de 0,32 mSv/an) (IRSN, 2015). Plus de 65% de l'exposition naturelle est inversement une exposition interne, liée à l'inhalation du radon ^{222}Rn (évaluée en moyenne à 1,43 mSv/an soit près de 50% de l'exposition naturelle, et à la consommation d'aliments et d'eau légèrement radioactifs. Les principaux radionucléides ingérés sont le potassium-40 (^{40}K) et le carbone-14 (^{14}C). Ils sont responsables d'une exposition en moyenne de 0,55 mSv/an, laquelle peut fortement varier selon les habitudes de consommation des individus, de 0,4 mSv/an à plus de 3,1 mSv/an (IRSN, 2015).

Ces valeurs de dose efficace, de quelques dixièmes à quelques unités de millisievert par an correspondent donc à l'ambiance radiologique naturelle à laquelle l'homme est naturellement exposé et qui *à priori* ne doit pas présenter de danger. Une vigilance doit néanmoins être apportée à des environnements spécifiques pour lesquels, suite à des processus géologiques naturels ou suite à l'intervention de l'homme, la concentration de radionucléides dans un des réservoirs de l'environnement sera concentrée. La radioactivité dans ces milieux sera dite 'renforcée' et une évaluation des doses efficaces devra être réalisée. Sur quoi se base-t-on pour établir la nocivité d'un rayonnement ionisant sur l'homme ? Quelle est la dose efficace au-delà de laquelle des effets significatifs sur la santé ont été démontrés et à partir de laquelle des méthodes de protection devront être mis en œuvre ?

Cette vaste question fait l'objet de nombreuses études et si les effets déterministes des rayonnements ionisants sont bien contraints pour des hautes doses, la compréhension des effets aux basses doses, ou effets stochastiques, imposent de futurs travaux de recherche. Des corrélations fortes entre la fréquence d'apparition des cancers et les doses reçues en une seule fois au-delà de 100 mGy ont ainsi été démontrées (Bourguignon et al., 2017). Une relation linéaire entre les lésions de l'ADN et la dose est reconnue à partir de doses supérieures à 1 mGy (Rothkamm and Lobrich, 2003). Les effets à faible dose restent discutés (Aurengo et al., 2005). Les risques cancérigènes d'une exposition aux rayonnements ionisants ont été estimés par de nombreuses études épidémiologiques entre 0,2 et 5 Sv (Tubiana and Aurengo, 2005). Une valeur seuil de 100 mSv a été choisie pour marquer l'augmentation significative du nombre de cancers sous l'effet des rayonnements ionisants (www.irsn.fr). La connaissance de ces effets, qui comme dit précédemment reste à préciser, a conduit aux recommandations de la commission internationale de protection radiologique de valeurs de 1 mSv/an par an ajouté à l'exposition naturelle pour le public, et de 20 mSv/an pour les travailleurs.

Les secteurs et environnements susceptibles d'être à l'origine d'une exposition ajoutée sont principalement le secteur médical, utilisant les rayonnements ionisants pour le diagnostic et le traitement de certaines pathologies, et celui de l'industrie militaire et nucléaire. En milieu médical, certains diagnostics et traitements reposent même sur une exposition interne du patient avec l'introduction d'une substance ou source radioactive à l'intérieur de l'organisme. Le patient devient alors une source de rayonnements ionisants dont la dangerosité doit être gérée. La problématique relative au corps humain en tant qu'émetteur de radioactivité change alors d'échelle et des modes de gestion spécifiques doivent être mis en œuvre. Ils doivent l'être aussi bien durant la vie du patient

qu'après son décès si celui-ci survient durant la période où sa radioactivité reste supérieure au niveau de référence naturel.

II- Applications médicales et effets sur l'exposition de l'homme à l'homme

Les propriétés des rayonnements ionisants sont utilisées en milieu médical pour visualiser le corps humain et le fonctionnement de ses organes ou encore pour traiter certaines maladies. L'irradiation médicale est ainsi la principale source d'exposition artificielle de la population (IRSN, 2015 ; Bourguignon et al., 2017). Elle est évaluée en moyenne à 1,6 mSv/an (IRSN, 2015). Il est important de préciser que dans ce domaine, la limitation réglementaire des doses ne s'applique pas et que s'applique alors le respect des niveaux de référence diagnostiques (NRD) (arrêté 12.02.2004), valeurs dosimétriques définies et qui ne doivent pas être dépassées sans justification (arrêté 24.10.2011). Selon les individus et les traitements ou examens, la dose annuelle reçue varie de quelques dixièmes de mSv/an à 15 mSv/an. Cependant, dans le cas d'individus devant subir des examens pluriannuels utilisant des rayonnements ionisants, des doses individuelles de 15 à 100 mSv peuvent être enregistrées sur une même année (IRSN, 2015). Quelques cas très ponctuels d'individus ayant été exposés à des doses annuelles supérieures à 100 mSv/an sont également relevés par l'IRSN (IRSN, 2010).

Dans le domaine du diagnostic, on distinguera les examens qui reposent sur l'irradiation du corps (radiographie conventionnelle, mammographie, scanographie) de ceux réalisés par administration de substances radioactives (scintigraphie, tomographie). Ces expositions médicales pour le diagnostic représentent en moyenne un tiers des expositions annuelles et augmentent depuis plusieurs années (Bourguignon et al., 2017). Dans le premier cas, l'irradiation du patient n'induit aucune radioactivité ajoutée à l'intérieur de l'organisme. Le corps sera exposé aux rayonnements, aura absorbé une dose, mais ne sera lui-même pas irradiant. Les doses moyennes délivrées lors de ces examens radiologiques conventionnels ou par scanographie varient de quelques dixièmes de mSv à quelques dizaines de mSv au maximum et sont par exemple maximales pour une scanographie de l'abdomen (IRSN, 2010 ; IRSN, 2014). L'intensité des rayonnements émis par un corps humain à l'issue de ces traitements reste néanmoins suffisamment faible pour ne présenter aucun danger pour ceux qui s'en approchent.

Inversement, les examens à visée diagnostic utilisant l'administration de radioéléments dans l'organisme (domaine de la médecine nucléaire) conduisent à augmenter la radioactivité du corps et à en faire une source d'émission de rayonnements. Les examens de scintigraphie s'appuient ainsi sur le principe de l'injection d'un radionucléide émetteur gamma qui a pour propriété de se fixer sur certains tissus ou organes. Cette fixation est passagère car dépendante de la période radioactive du radionucléide (paramètre intrinsèque de l'élément utilisé) et de sa période biologique (liée à l'évacuation par les processus biologiques, fonction du radionucléide et de l'organe). Ces deux périodes permettent de définir une période dite effective correspondant à la durée de vie totale du produit radioactif dans le corps. La fixation du radionucléide et le parcours élevé du rayonnement gamma permet alors un diagnostic localisé et ponctuel. La quantité de radioéléments administrés est variable selon l'examen et selon le patient (âge et poids) mais peut atteindre plusieurs centaines de millions de Becquerel (MBq). La dose efficace reçue lors de ces examens varie de quelques dixièmes de mSv à plusieurs dizaines de mSv (IRSN, 2010 ; IRSN, 2014). L'activité de plusieurs MBq qui vient donc s'ajouter aux 8000 Bq du corps humain générés par les radionucléides naturellement constitutifs de l'organisme est mesurable et demeure significative au moment de l'examen et quelques heures après l'injection. Cependant, du fait de l'utilisation de radionucléides de très courte période effective, cette activité décroît rapidement pour ne plus être mesurable après

quelques heures. Ainsi, dans le cas du technicium 99 métastable (^{99m}Tc), un des principaux radionucléides utilisés en scintigraphie, sa demi-vie radioactive est de 6 heures et son élimination par les urines très rapide.

Une seconde source d'exposition aux rayonnements ionisants dans le milieu médical est la radiothérapie. Elle est utilisée pour traiter environ 50 % des cancers (Bourguignon et al., 2017) et repose sur le principe de l'administration dans le corps de radionucléides délivrant une énergie sur un parcours relativement court de façon à agir de façon ciblée pour détruire les cellules malades tout en préservant les tissus sains (traitement de cancers et d'hyperthyroïdie). Il s'agit principalement de radionucléides émetteurs β ou β/γ (de nouvelles pratiques visant l'utilisation d'émetteurs α sont également à l'étude) particules qui déposent une forte énergie sur une distance courte. La plupart des radionucléides utilisés dans ces thérapies ont des périodes efficaces courtes. Ainsi, l'iode 131, radionucléide majoritairement utilisé pour le traitement de l'hyperthyroïdie, a une période radioactive de 8 jours et une période biologique de 30 jours dans la thyroïde. Sa période dite effective dans le corps humain intégrant ces deux paramètres est alors de 6 jours à compter de son administration. Les quantités injectées, comme dans le cas des diagnostics en médecine nucléaire, varient d'un patient à un autre. Certains niveaux de pathologies imposent des traitements dits 'à forte dose', pouvant aller jusqu'à des valeurs d'activité de 5 000 MBq de radionucléides (Djoumessi et al., 2009). Ces quantités engendrent des doses absorbées de plusieurs centaines de gray (Gy) et des doses efficaces de plusieurs mSv par heure dans l'environnement immédiat du patient (2 mSv/h au contact à 0,5 mSv/h à 1m du lit). Dans ces conditions, le traitement se fait dans une chambre blindée où le temps de séjour du personnel hospitalier est limité et autorisé uniquement avec le port de dosimètres. Le patient y séjourne le temps de la période effective de la radioactivité. Des mesures de dose au contact du patient sont réalisées afin de permettre sa sortie. Tout risque d'irradiation de l'environnement du patient semble écarté et pourtant l'IRSN mentionne sur son site qu'*[après un traitement à l'iode 131 dans le cas d'hyperthyroïdie et de cancers, il est préférable d'éviter les transports en commun. Le médecin nucléaire en charge de l'examen ou du traitement doit donner au patient et/ou à son entourage les consignes adaptées]*.

D'autres approches thérapeutiques peuvent également être discutées en matière d'ajout de la radioactivité au corps humain. Ces pratiques sont celles de la curiethérapie. Il s'agit dans ces traitements de placer des sources radioactives scellées, ou implants, à l'intérieur du corps humain. Les implants peuvent être introduits de façon permanente, exemple du traitement de la prostate par implants d'Iode 125 ou de Palladium 103, ou temporaire, implants d'Iridium 192 en traitement de la prostate à haute dose (Skowronek, 2013 ; Demanes and Ghilezan, 2014 ; Sánchez-Gómez et al., 2017). Dans ce dernier cas, encore appelé brachithérapie haute dose, une fois l'irradiation effectuée, les implants sont retirés et le patient n'est plus radioactif. A contrario, dans le cas des traitements à l'iode-125 ou au palladium-103 (brachythérapie basse-dose) les implants, micro-capsules de titane encapsulant les radionucléides, sont mis en place dans la prostate du patient et maintenus à demeure. Ils délivrent une énergie principalement sous forme de rayonnements X et peuvent représenter une activité totale de 1500 MBq. ^{125}I et ^{103}Pd ont des périodes radioactives respectivement de 60 et 17 jours et perdent donc la totalité de leur activité qu'au bout de 600 à 170 jours, soit plusieurs mois. Sur cette durée, les patients traités sont irradiants.

Dans ce contexte se pose la question du risque que peut représenter cet individu pour son entourage. Risque non seulement au cours de sa vie mais également en cas de décès. Il n'est pas illogique d'envisager qu'un patient traité par implant de la prostate décède avant les 3 ou 6 mois nécessaires pour que la radioactivité de son corps décroît et qu'elle atteigne des niveaux de radioactivité naturelle. Quels risques représente cette dépouille radioactive ? Comment sont ou peuvent être gérés ces risques pour protéger l'homme et l'environnement de la radioactivité représentée par ce corps humain ?

III- Les dangers des dépouilles radioactives

A sa sortie des services de médecine nucléaire, dans certains contextes de diagnostics ou de traitement, le patient peut donc être considéré comme une source radioactive et peut donc être considéré comme un danger pour son entourage. Si cette radioactivité décroît rapidement dans la plupart des cas, elle peut persister pendant plusieurs mois dans le cas des traitements de la prostate par pose d'implants.

Lorsque ce patient décède inopinément pendant cette période, donc avant que le niveau de la radioactivité ne devienne négligeable, les manipulations de la dépouille radioactive (préparation du corps, autopsie, funérailles, embaumement, anatomie, crémation...) pourront comporter des risques aussi bien pour la famille, que pour le médecin légiste ou encore le personnel funéraire. De nombreuses questions se posent quant à la prise en charge de la famille, des recommandations qui lui sont faites afin de pouvoir mettre en place les mesures de radioprotection appropriées. La première mesure consisterait à mesurer la radioactivité de la dépouille et la dose émise. Le médecin légiste devra être informé du risque encouru à l'approche du corps de façon à pouvoir se protéger des rayonnements. La dépouille étant irradiante, il devra être respecté une distance suffisante avec la famille, interdire l'approche des femmes enceintes et des enfants, ou disposer entre la dépouille et la famille des barrières. Il est par exemple possible de former une barrière de fleurs autour du cercueil dans la chambre mortuaire comme le préconise l'agence fédérale de contrôle nucléaire (AFCN) qui s'est saisie de la problématique.

A notre connaissance, il n'existe actuellement pas de recommandations internationales ou nationales pour la prise en charge des dépouilles radioactives du secteur médical. Et pourtant, comme la population mondiale vieillit et que le risque de cancer croît avec l'âge, le nombre de traitements par curiethérapie va augmenter (Bourguignon, 2017). L'occurrence de décès pendant la période d'activité importante du corps humain peut également suivre cette tendance. Des dispositions pour éviter toute contamination ou dissémination radioactive lors de la prise en charge de la dépouille radioactive, de la sortie de l'hôpital jusqu'à l'enterrement du patient, mériteraient d'être mises en place tant à l'échelle des questionnements de santé publique que des questionnements réglementaires ou encore psycho-sociétaux.

IV- Références

- Arrêté du 12 février 2004 relatif aux niveaux de référence diagnostiques en radiologie et en médecine nucléaire, Journal officiel de la République Française du 16 mars 2004.
- Arrêté du 24 octobre 2011 relatif aux niveaux de référence diagnostiques en radiologie et en médecine nucléaire.
- Aurengo, A., Averbeck, D., Bonnin, A., Le Guen, B., Masse, R., Monier, R., Tubiana, M., Valleron, A-J., De Vathaire, F. (2005) Dose-effect relationships and estimation of the carcinogenic effects of low doses of ionizing radiation. Academy of Sciences.
- Bourguignon M., Bérard, P., Bertho, J.M., Farah, J., Mercat, C., (2017) Radioprotection : quel avenir ? Radioprotection, 52(1), 13–20.
- Bourguignon, M. (2017) Radiodiagnostic et Imagerie médicale : quels besoins de radioprotection pour les patients ? généralités, rappels et enjeux. Journée Technique SFRP, 26 septembre 2017, Paris.
- Demanès, D.J., Ghilezan, M.I. (2014) High-dose-rate brachytherapy as monotherapy for prostate cancer. State of the Art Review. Brachytherapy, 13, 529-541.
- Djoumessi, C.F., Bramouille, C., Prunier, C., Baulieu, J.L., Besnard, J.C. (2009) Évaluation et gestion du risque radioactif suite au décès d'un patient ayant reçu une dose thérapeutique d'iode-131 dans le cadre d'un traitement en radiothérapie métabolique. Radioprotection, 44, n° 3, 319-328.
- IRSN, Rapport DRPH/SER n°2010-12 (2010) Doses délivrées aux patients en scanographie et en radiologie conventionnelle, 53 pp.
http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/radioprotection/IRSN-Rapport-dosimetrie-patient-2010-12.pdf
- IRSN, Rapport 2015-0001 (2015) Exposition de la population française aux rayonnements ionisants, 22 pp.
http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/radioprotection/IRSN-Exposition-Population-Rayonnements-Ionisants_2015-00001.pdf
- IRSN, Rapport PRP-HOM N°2014-6 (2014) Exposition de la population française aux rayonnements ionisants liée aux actes de diagnostic médical en 2012, 81 pp.
http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/radioprotection/IRSN-PRP-HOM-2014-6_Exposition-France-rayonnements-diagnostic-medical-2012.pdf
- Rothkamm K., Lobrich, M. (2003) Evidence of a lack of DNA doublestrand break repair in human cells exposed to very-low X-ray doses. PNAS 100(9), 5057–5062.
- Sánchez-Gómez, L.M., Polo-deSantos, M., Rodriguez-Melcon, J.I., Angulo, J.C., Luengo-Matos, S. (2017) High-dose rate brachytherapy as monotherapy in prostate cancer: A systematic review of its safety and efficacy. Actas Urol Esp, 41(2), 71-81.
- Skowronek, J. (2013) Brachytherapy in the therapy of prostate cancer – an interesting choice. Contemporary Oncology, 17 (5), 407-412.
- Tubiana M., Aurengo, A. (2005) La relation dose-effet et l'estimation des effets cancérigènes des faibles doses de rayonnements ionisants. Rapport au nom d'un groupe de travail mixte de l'académie nationale de médecine.