

Étude publiée dans le British Medical Journal, le 22 Mai 2013

BMJ 2013;346:f2360 doi: 10.1136/bmj.f2360 (Published 22 May 2013)

disponible sur Internet :

<http://www.bmj.com/content/346/bmj.f2360>

Données supplémentaires :

http://www.bmj.com/content/suppl/2013/05/21/bmj.f2360.DC2/matj009041.www_default.pdf

Traduction : Docteur ME Hanne

Risque de cancer chez 680 000 personnes exposées à la tomodensitométrie dans l'enfance ou l'adolescence: étude reliant les données de 11 millions d'Australiens

John D Mathews , *épidémiologiste 1* , Anna V Forsythe , *agent de recherche 1* , Zoe Brady , *physicien médical 1,2* , Zoe Brady , *physicien médical 1,2* , Martin W Butler , *analyste de données 3* , Stacy K Goergen , *radiologue 4* , Graham B Byrnes , *statisticien 5* , Graham G Giles , *épidémiologiste 6* , Anthony B Wallace , *physicien médical 7* , Philip R Anderson , *épidémiologiste 8,9* , Tenniel Un Guiver , *analyste de données 8* , Paul McGale , *statisticien 10* , Timothy M Cain , *radiologue 11* , James G Dowty , *chercheur 1* , Adrian C Bickerstaffe , *informaticien 1* , Sarah C Darby , *statisticien 10*

Affiliations des auteurs

1. École de population et santé mondiale de l'Université de Melbourne, Carlton, Vic 3053, Australie
 2. Département de radiologie, Alfred Health, Prahran, Vic, Australie
 3. Assurance-maladie Section Analytique, ministère de la Santé et du Devenir, Canberra, ACT, Australie
 4. Département d'imagerie diagnostique, Santé Sud, et école clinique Monash University Southern, Clayton, Vic, Australie
 5. Groupe Biostatistique, Centre international de recherche sur le cancer, Lyon, France
 6. Centre d'épidémiologie du cancer, Cancer Council Victoria, Carlton, Vic, Australie
 7. Imagerie diagnostique et section de médecine nucléaire, agence australienne de radioprotection et de sûreté nucléaire, Yallambie, Vic, Australie
 8. Unité de liaison de données de l'Institut australien de la santé et des affaires sociales, Canberra, Australie
 9. Faculté de la santé, Université de Canberra, Canberra, Australie
 10. Unité clinique de première instance et Unité d'études épidémiologiques, Université d'Oxford, Oxford, Royaume-Uni
- Imagerie Médicale, Hôpital Royal des enfants de Melbourne, Parkville, VIC, Australia

Contact : John Mathews : mathewsj@unimelb.edu.au

Notes du traducteur :

Rappel : les anglo-saxons n'utilisent pas la virgule pour les nombres décimaux, mais le point qui a été conservé dans les tableaux.

Abréviations:

TDM : Tomodensitométrie, scanner

RTI : Rapport de taux d'incidence (IRR : *Incidence Rate Ratio*) = Taux d'incidence chez les exposés/Taux d'incidence chez les non-exposés.

TEI : Taux absolu d'excès d'incidence (EIR : *Excess Incidence Rate*) = différence entre le nombre de cas pour une population exposée et le nombre de cas dans une population non exposée. Le TEI est exprimé en nombre de cas.

Par exemple, s'il y a 100 cancers dans les non exposés et 120 dans les exposés, le RTI sera de $120/100 = 1,2$. Le taux absolu d'excès d'incidence ou EIR sera lui de : $120 - 100 = 20$, soit le nombre de cas supplémentaires parmi les personnes exposées.

LSS : *Life Span Study*, soit étude sur la vie entière des irradiés par les bombes atomiques de Hiroshima et Nagasaki. Cette étude sur des victimes d'une irradiation massive et brève est à la base des recommandations de radioprotection actuelles concernant les faibles doses édictées par la CIPR (Commission Internationale de Protection Radiologique, organisme privé)

Bases statistiques

Lors d'une étude épidémiologique, on recherche l'existence d'un risque supplémentaire dû à une

exposition spécifique par rapport au risque dans une population de référence («non exposée» à ce facteur spécifique).

Les résultats sont classiquement rapportés pour 100 000 personnes.

Personnes-années : *En épidémiologie, l'incidence est exprimée en « nombre de nouveaux cas par personne-temps ». La notion de personne-temps désigne la durée totale de suivi des individus à risque dans la population à l'étude : par exemple, si 100 personnes à risque ont été étudiées pendant 2 ans, la durée totale de suivi est de 200 personnes-années.* Si dans cet exemple, il y a eu 5 nouveaux cas de la maladie à l'étude, le taux d'incidence sera de 5 cas par 200 personnes-années, ou plus simplement de 2,5 cas par 100 personnes-années (ou encore 0,025 cas par personne-année).

Intervalle de confiance : *Intervalle construit lors de l'estimation d'un paramètre à partir d'observations sur un échantillon ; il contient naturellement l'estimation centrale de ce paramètre sur l'échantillon et a une certaine probabilité de contenir la valeur réelle du paramètre étudié dans la population.*

Tendance : *c'est une notion statistique et mathématique, correspondant à l'orientation constatée pour une série de données sur une certaine période.*

causalité inverse : *possibilité qu'une cause future ait un effet au passé, ou en d'autres termes remise en cause de l'axiome selon lequel toute cause précède son effet.*

régression de Poisson : *La loi de Poisson est la loi des petites probabilités ou loi des événements rares (= à probabilité faible), qui permet grâce à une équation, de calculer leurs probabilités dans un temps donné. La régression de Poisson permet de modéliser ces données.*

stratification de l'échantillon : *on divise la population en groupes homogènes (appelés strates), qui sont mutuellement exclusifs, puis on sélectionne, à partir de chaque strate, des échantillons indépendants. Ceci rend la stratégie d'échantillonnage plus efficace.*

Valeur p : *c'est la probabilité d'obtenir la même valeur (ou une valeur encore plus extrême) du test si l'hypothèse nulle (soit égalité entre les données comparées) était vraie. Si cette valeur p est inférieure à la valeur du seuil préalablement défini (habituellement 5 % soit 0,05 ou 1 % = 0,01), on rejette l'hypothèse nulle. La valeur p est donc la probabilité d'obtenir un faux positif.*

La valeur p se traduit par un seuil expérimental:

- < 0,01 : très forte présomption contre l'hypothèse nulle (à plus forte raison si $p < 0,001$)
- 0,01 à 0,05 : forte présomption contre l'hypothèse nulle
- 0,05 à 0,1 : faible présomption contre l'hypothèse nulle
- > 0,1 : pas de présomption contre l'hypothèse nulle

Méthode des moindres carrés : *permet de comparer des données expérimentales, à un modèle mathématique censé décrire ces données.*

[Pour l'analyse statistique et ses termes, se reporter à Wikipedia ou au document INVS suivant: http://www.invs.sante.fr/publications/2008/pollution_invs_afsset/rap_pollution_invs_afsset_nov_2007.pdf]

Bases radiologiques :

Dose efficace : En radioprotection la **dose efficace** n'est pas une grandeur physique mais une mesure *estimée* de l'impact sur les tissus biologiques d'une exposition à un rayonnement ionisant, radioactivité ou rayon X. Elle se définit comme la dose absorbée à savoir l'énergie reçue par unité de masse, corrigée de facteurs prenant en compte d'une part la dangerosité relative du rayonnement considéré (rayons X, gamma, bêta = 1; rayons alpha = 20) et d'autre part la sensibilité du tissu irradié estimée par une commission scientifique (CIPR).

L'unité de dose efficace est le Sievert (Sv) et ses sous-unités: milliSievert (mSv) et

microSievert (μSv). L'ancienne unité, le Rem vaut **10 mSv (100 rem = 1 Sv)**. [une dose mortelle en quelques jours représente environ 4 à 5 Sieverts]

En pratique, pour les Rayons X et gamma: 1 Sievert = 1 Gray; 1 milliSievert = 1 milliGray



Résumé

Objectif Évaluer le risque de cancer chez les enfants et les adolescents après une exposition à une faible dose de rayonnements ionisants lors d'une tomodensitométrie diagnostique (TDM).

Conception Basé sur une cohorte de population en lien avec les données étudiées en Australie.

Membres de la cohorte 10,9 millions de personnes identifiées à partir des dossiers australiens *Medicare* [système de Sécurité Sociale australien. Note du Trad.], âgées de 0-19 ans au 1er Janvier 1985 ou nées entre le 1er Janvier 1985 et le 31 Décembre 2005; toutes les expositions à la tomodensitométrie financées par l'assurance-maladie au cours de 1985-2005 ont été identifiées pour cette cohorte. Les cancers diagnostiqués chez les membres de la cohorte jusqu'au 31 Décembre 2007 ont été obtenus par couplage avec les registres nationaux de cancer.

Principales évaluations Taux d'incidence du cancer chez les individus exposés à un scanner plus d'un an avant le diagnostic de cancer, comparé au taux d'incidence de cancer chez les personnes non exposées.

Résultats 60 674 cancers ont été enregistrés, dont 3150 parmi 680 211 personnes exposées à un scanner au moins un an avant le diagnostic de cancer. La durée moyenne de suivi après l'exposition était de 9,5 ans. L'incidence globale de cancer était de 24% supérieure pour les personnes exposées par rapport aux non exposées, après prise en compte de l'âge, du sexe et de l'année de naissance (**rapport de taux d'incidence (RTI)** de 1,24 (95% d'intervalle de confiance 1.20 à 1.29); $P < 0,001$). Nous avons trouvé une relation dose-réponse avec un RTI augmenté de 0,16 (0,13 à 0,19) pour chaque scanner supplémentaire. Le RTI est plus élevé après l'exposition à un plus jeune âge ($p < 0,001$ pour la tendance). Aux âges de 1-4, 5-9, 10-14 et 15 ans ou plus à la première exposition, les RTI étaient de 1,35 (1,25 à 1,45), 1,25 (1,17 à 1,34), 1,14 (1,6 à 1,22), et 1,24 (1,14 à 1,34), respectivement.

Le RTI a augmenté de manière significative pour de nombreux types de cancer solides (organes digestifs, mélanome, tissus mous, appareil génital féminin, voies urinaires, cerveau et glande thyroïde), les leucémies, les myélodysplasies, et d'autres cancers lymphoïdes.

Il y a eu un excédent de 608 cancers chez les personnes exposées à la tomodensitométrie (147 cancers du cerveau, 356 autres cancers solides, 48 leucémies ou myélodysplasies, et 57 autres cancers lymphoïde). Le taux d'incidence d'excès absolu pour tous les cancers confondus était de 9,38 pour 100 000 années-personnes à risque, à la date du 31 Décembre 2007.

La dose de rayonnement effectif moyen par scanner a été estimée à 4,5 mSv.

Conclusions L'incidence accrue de cancer après une exposition au scanner dans cette cohorte était principalement due à l'irradiation. Parce que l'excès de cancer était toujours en cours à la fin du suivi, le risque éventuel pour la vie entière de la tomodensitométrie ne peut pas encore être

déterminé. Les doses de rayonnement des tomodensitométries d'aujourd'hui sont probablement inférieures à celles de 1985-2005, mais une augmentation du risque de cancer est encore probable pour les scanners actuels. Les scanners futurs devraient être limités aux cas où il existe une indication clinique précise, avec chaque scanner optimisé pour fournir une image diagnostique avec la dose d'irradiation la plus faible possible.

Présentation

Bien que la **tomodensitométrie (TDM)** ait un grand intérêt médical, son utilisation croissante depuis les années 1980 a soulevé des inquiétudes au sujet des risques possibles de cancer, en particulier après des expositions dans l'enfance.¹⁻¹² Les doses de rayonnements ionisants de la tomodensitométrie sont généralement de l'ordre de 5 - 50 mGy pour chaque organe exploré,¹⁻⁸⁻⁹⁻¹³⁻¹⁴ et jusqu'à récemment, on croyait impossible d'estimer directement le risque de cancer après ces faibles doses, en raison du grand nombre d'expositions et de résultats nécessaires pour les études de cohorte, ainsi que de la possibilité de biais de certaines études cas-témoins.¹⁵⁻¹⁶ Par conséquent, les risques ont généralement été estimés indirectement, en projetant les risques observés après exposition à des doses plus élevées, comme dans l'étude vie-entière (*Life Span Study*) des survivants japonais des bombardements atomiques.¹⁷⁻²⁰

Les études sur l'exposition professionnelle aux rayonnements ont fourni des estimations directes du risque à de plus faibles doses pour les adultes.²¹ Une étude récente de suivi de 180 000 jeunes qui avaient subi une tomodensitométrie au Royaume-Uni dans la période 1985-2002 a signalé des risques accrus de leucémies et cancer du cerveau avec l'augmentation des doses de rayonnement par un scanner antérieur, et a donné des estimations provisoires de risque pour ces deux cancers.¹² Certains experts en radioprotection ont cependant mis en doute la validité de ces estimations,²² tandis que d'autres ont mis en doute la validité des estimations indirectes antérieures basées sur la projection des risques.²³ Ainsi, il y a actuellement beaucoup d'incertitudes quant à savoir s'il existe un risque réel de cancer du fait des expositions aux scanners.

L'Australie a un grand nombre d'appareils de TDM par habitant⁸⁻⁹ et le financement public des services de TDM du fait du régime d'assurance-maladie global (*Medicare*) nous a permis d'étudier une cohorte exposée à la TDM à partir de la population générale.⁹ Dans cet article, nous avons tiré des estimations directes de risque accru de cancer dans la première décennie après exposition par scanner en comparant l'incidence du cancer chez plus de 680 000 personnes exposées à la tomodensitométrie à des âges de 0 à 19 ans avec l'incidence de cancer dans une cohorte de comparaison de plus de 10 millions de personnes non exposées du même âge.

Méthodes

Le système *Medicare* australien dispose des dossiers des services de santé pour tous les Australiens qui ont une couverture médicale du gouvernement fédéral sur une base d'honoraires à l'acte. Les dossiers électroniques de *Medicare* ont été consultés afin d'identifier tous les Australiens âgés de 0 à 19 ans au 1er Janvier 1985 ou nés pendant la période du 1er Janvier 1985 au 31 Décembre 2005.

La cohorte a été suivie jusqu'au 31 Décembre 2007 par lien électronique avec la base de données Australienne des cancers et par l'indice national des décès conservé par l'Institut Australien de Santé et de Prévoyance. Les diagnostics de cancer ont été basés sur la CIM-10 (Classification Internationale des Maladies, 10e révision) codes C00-C96, plus D45, 46, 47.1, et 47.3 pour les myéلودysplasies et désordres de la moelle osseuse rattachés. Le statut socio-économique a été tiré de l'indice SEIFA (indices socio-économiques par zone) basé sur les codes postaux résidentiels et validé par le gouvernement Australien.²⁴

L'indice SEIFA a été utilisé pour classer chaque personne dans l'un des sept groupes de taille à peu près égale, numérotés par l'augmentation de l'indice socio-économique. Si l'indice d'un individu a changé au fil du temps, nous avons utilisé la valeur moyenne.

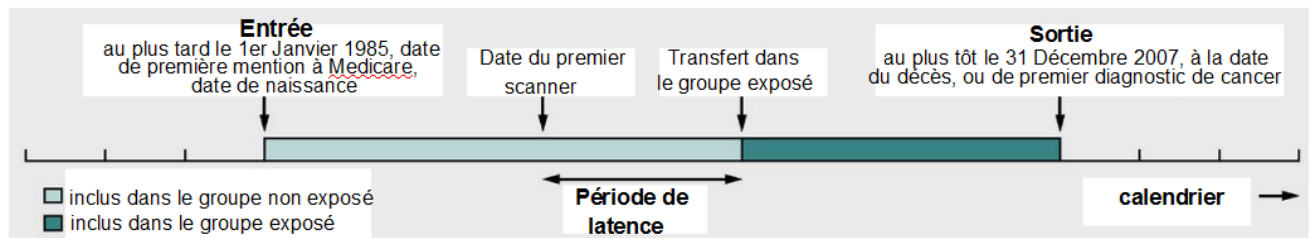
Nous avons utilisé les enregistrements de toutes les expositions tomodensitométrie dans la base de données de *Medicare* pour les personnes âgées de 0-19 ans au cours de la période allant du 1er Janvier 1985 au 31 Décembre 2005. Les tomodensitométrie dans les hôpitaux tertiaires de base de l'état ont généralement manqué, parce que la plupart de ces services ne sont pas financés sur une base d'honoraires à l'acte, et sont donc absents des dossiers d'assurance-maladie. Notre étude aura également ignoré les expositions par scanner des membres de la cohorte ayant eu lieu hors d'Australie, les expositions avant le 1er Janvier 1985 ou après le 31 Décembre 2005 et les expositions dans la cohorte après l'âge de 19 ans. Les dossiers ont été dépersonnalisés avant d'être mis à disposition pour l'analyse épidémiologique.

Chaque individu est entré dans l'étude à la dernière des dates suivantes: 1er janvier 1985, date de naissance, ou date de première mention à *Medicare*. Les membres de la cohorte sont restés dans l'étude

jusqu'à leur date de sortie, qui était la première des dates suivantes: 31 Décembre 2007, date du décès ou date du premier diagnostic de cancer. Un scanner a été défini comme une exposition s'il a eu lieu à la date d'entrée de la personne ou après, avant ou le 31 Décembre 2005, lorsque la personne était âgée de 0-19 ans, avant ou à la date de sortie de la personne, et au moins un an avant un diagnostic de cancer. La période d'exclusion avant un diagnostic de cancer, appelée *période de latence* a été introduite en raison de la possibilité que le scanner fasse partie d'une procédure de diagnostic de cancer. La plupart des analyses étaient fondées sur des périodes de latence d'un an, mais nous avons répété les principales analyses avec des périodes de latence de cinq et dix ans pour explorer la possibilité d'une **causalité inverse*** (*voir ce terme dans l'introduction*).

Pour calculer les années-personnes à risque, nous avons assigné chaque personne au groupe non exposé de la date d'entrée jusqu'à la date de transfert (date du premier scanner plus période de latence), et au groupe exposé de la date du transfert jusqu'à la date de sortie.

Figure 1 Schéma montrant comment les membres de l'étude ont participé aux groupes non exposé et exposé. Tous les membres de l'étude ont été classés comme "non exposé" à l'entrée dans l'étude. Ceux qui ont été exposés à un scanner sont restés dans le groupe non exposé pendant toute la durée de la période de latence (un an dans la plupart des analyses, mais cinq ou dix ans dans certaines). Ils ont ensuite été transférés dans le groupe "exposé", à condition que la date de leur transfert soit avant leur date de sortie de l'étude. Les membres de l'étude qui n'ont pas eu de scanner sont restés dans le groupe "non exposé" pendant toute la durée de l'étude



L'élément principal d'analyse était le rapport de taux d'incidence (RTI) pour les personnes exposées face aux non exposées par une **régression de Poisson*** (*voir ce terme dans l'introduction*), en utilisant le nombre d'années-personnes comme base d'examen (*offset*), et avec une stratification par âge (année simple), sexe et année de naissance (bandes de deux ans). Nous avons utilisé des tests de rapport de vraisemblance pour évaluer l'importance des écarts du RTI à l'unité. Les tests de tendance ont comparé les modèles de régression de Poisson avec et sans la covariable d'intérêt (par exemple, le nombre de scanners ou l'âge à la première exposition). Les intervalles de confiance flottants à 95% pour le RTI classés selon le nombre de tomodensitométrie ont été calculés en utilisant la quantité d'informations dans chaque catégorie.²⁵

Nous avons estimé le nombre de cancers en excès dans la cohorte exposée par $(1 - (1 / \text{RTI}))$ multiplié par le nombre observé de cancers chez les individus exposés, et nous avons divisé cette quantité par le nombre total de personnes-années chez les sujets exposés pour estimer la **taux absolu d'excès d'incidence (TEI)** dans le groupe exposé par rapport au groupe non exposé. Les tendances du TEI ont été testées par [la méthode de] régression des moindres carrés avec pondération inverse de la variance. [Nous avons utilisé] des tests de signification bilatéraux.

Les procédures ont été programmées dans le logiciel statistique Stata, version 12 (StataCorp).

Le nombre d'exams scanner a fourni la mesure la plus simple de l'exposition au rayonnement d'une personne. Parce qu'il était impossible d'obtenir les paramètres individuels de la machine pour toutes les procédures TDM, nous avons estimé les doses²⁶ effectives moyennes par scanner (en mSv) par site et année de scanner et par âge. Les doses efficaces ont été obtenues à partir de la littérature publiée²⁷⁻³³ pour des âges spécifiques (nouveau-né, 1, 5, 10, 15 ans, adultes) et ensuite rapportées à la tranche d'âge correspondante dans les données Medicare. Dans la pratique radiologique australienne, comme au Royaume-Uni,¹² les paramètres de la machine ont été réglés couramment à partir de 2001 pour la taille et/ou l'âge du patient afin de réduire la dose de rayonnement. Nous avons calculé les doses efficaces moyennes dans chaque tranche d'âge pour chaque catégorie de TDM pour les périodes 1985-2000 et 2001-2005. En raison du manque de données disponibles sur les doses efficaces pédiatriques pour la période précédente, nous avons appliqué un facteur d'échelle aux doses efficaces adultes afin de déduire les doses efficaces pédiatriques³⁴ avant 2001, en tenant compte des différences de longueur [d'onde] de balayage³¹ entre les adultes et les enfants et de la variation de l'absorption des rayons X par des corps de différentes tailles.³⁰

Les doses efficaces collectives ont été estimées pour la population exposée en cumulant les doses moyennes par type de scanner, année de scanner, et l'âge de l'individu pour tous les scanners, après exclusion des expositions en rapport avec la période de latence (un, cinq ou dix ans). Nous avons calculé les doses moyennes aux organes pour le cerveau et la moelle osseuse (mGy) à partir de sources locales³³ et internationales.¹³

Résultats

Étude de la population et risques globaux

La cohorte comprenait 10 939 680 personnes. Sur la base d'une période de latence d'un an, 680 211 (6,2%) ont été transférées dans le groupe exposé à la TDM avant leur sortie de l'étude ([tableau 1 ↓](#)), et 18% du groupe exposé a eu plus d'un scanner ([tableau 2 ↓](#)). La durée de suivi moyenne était de 9,5 ans pour le groupe exposé et de 17,3 ans pour le groupe non exposé. Au 31 Décembre 2007, 3150 personnes du groupe exposé et 57 524 du groupe non exposé avaient eu un diagnostic de cancer, ce qui donne un total de 60 674 personnes ayant un cancer. Pour tous les types de cancer combinés, l'incidence était de 24% plus élevée dans le groupe exposé que dans le groupe non exposé (RTI 1,24 (95% d'intervalle de confiance; 1,20 à 1,29) après stratification par âge, sexe et année de naissance, $P < 0,001$), et le RTI augmentait de 0,16 (0,13 à 0,19) pour chaque scanner supplémentaire ($P < 0,001$ pour la tendance; [figure 2 ↓](#)).

Lorsque les calculs ont été répétés en fonction de périodes de latence de cinq et 10 ans, l'incidence du cancer est demeurée plus élevée dans le groupe exposé que dans le groupe non exposé, bien que les augmentations soient proportionnellement plus petites par rapport à celles fondées sur la période de latence d'un an (période de latence de cinq ans : RTI 1,21 (1,16 à 1,26), $P < 0,001$; période de latence de 10 ans : 1,18 (1,11 à 1,24), $P < 0,001$; [tableau 3 ↓](#)). Pour les périodes de latence de cinq et 10 ans, le RTI a augmenté de 0,13 (0,10 à 0,16) et de 0,10 (0,06 à 0,15), respectivement, pour chaque scanner supplémentaire ([web figure A](#)).

Tableau 1

Caractéristiques de la population étudiée par le statut d'exposition final, basé sur une période de latence d'un an.

Caractéristiques	Nombre (et %) de personnes exposées *	Nombre total de personnes de l'étude
Sexe		
Masculin	357 119 (6,4)	5 563 105
Féminin	323 092 (6,0)	5 376 575
Age d'entrée dans l'étude (ans)		
0-4	450 346 (6,8)	6 652 654
5-9	120 957 (9,0)	1 339 527
10-14	80 731 (5,4)	1 489 524
15-19	28 177 (1,9)	1 457 975
Année civile d'entrée dans l'étude		
1985 à 1989	526 488 (8,6)	6 156 422
1990 à 1994	99 466 (6,5)	1 539 278
1995 à 1999	40 931 (2,8)	1 467 602
2000 à 2005	13 326 (0,8)	1 776 378
Groupe socio-économique		
1 (bas niveau)	82 332 (5,3)	1 557 545

Caractéristiques	Nombre (et %) de personnes exposées *	Nombre total de personnes de l'étude
2	97 236 (6,2)	1 556 448
3	95 547 (6,1)	1 557 331
4	101 154 (6,5)	1 556 311
5	103 454 (6,6)	1 558 887
6	102 449 (6,6)	1 557 562
7 (statut le plus élevé)	97 392 (6,3)	1 554 273
Statut inconnu	647 (1,6)	41 323
Nombre total de personnes dans l'étude	680 211 (6,2) †	10 939 680

* Statut d'exposition en fin d'étude. Tous les membres de l'étude ont été classés comme non exposés à l'entrée dans l'étude. Ceux qui ont été exposés à un scanner ont continué à être classés comme non exposés pendant la durée de la période de latence (d'une année ici et dans la plupart des analyses, mais cinq ou dix ans dans certaines analyses). Ils ont ensuite été transférés dans le groupe exposé, à condition que la date du transfert ait été avant la date de sortie de l'étude (figure 1).

† Le nombre total de tomodensitométries reçues par ces personnes au moins un an avant la date de sortie est de 866 580.

Tableau 2

Caractéristiques des membres de la cohorte dont le statut final a été "exposé", basé sur une période de latence d'un an.

Caractéristiques	Nombre (et %age) de personnes exposées
Sexe	
Masculin	357 119 (52,5)
Féminin	323 092 (47,5)
Age au premier scanner (en années)	
0-4	42 798 (6,3)
5-9	104 618 (15,4)
10-14	202 420 (29,8)
15-19	330 375 (48,5)
année civile du premier scanner	
1985 à 1989	95 249 (14,0)
1990 à 1994	133 528 (19,6)
1995 à 1999	184 463 (27,1)
2000 à 2005	266 971 (39,3)
Nombre final de scanners	
1	557 877 (82,0)
2	86 109 (12,7)
3	23 740 (3,5)
4	6 763 (1,0)
≥ 5	5 722 (0,8)
Site du premier scanner	
Cerveau *	404 105 (59,4)
Os du visage	89 133 (13,1)
Thorax	11 381 (1,7)
Extrémités	64 940 (9,5)

Caractéristiques	Nombre (et %) de personnes exposées
Abdomen ou bassin †	33 870 (5,0)
Colonne vertébrale ou cou	58 677 (8,6)
Autre ou inconnue	18 105 (2,7)
Nombre total (et %) de personnes exposées	680 211 (100,0)

* Comprend le cerveau associé à d'autres sites tels que le thorax.

† Comprend les analyses combinées du thorax, de l'abdomen et du bassin.

Figure 2: Risque Relatif (RTI) pour tous les types de cancers chez les personnes exposées face aux non exposées, basé sur le nombre de scanners pour une période de latence d'un an. Le RTI augmente de 0,16 (95% intervalle de confiance, de 0,13 à 0,19) pour chaque scanner supplémentaire, calculé après stratification pour l'âge, le sexe et l'année de naissance ($\chi^2 = 131,4$ et $P < 0,001$ pour la tendance). Si les gens non exposés sont exclus, la tendance reste significative ($\chi^2 = 5,79$ et $p = 0,02$ pour la tendance). Le nombre moyen d'examen chez les sujets exposés à au moins trois scanners était de 3,5. (La [figure Web A](#) présente les résultats correspondants basés sur des périodes de latence de cinq et dix ans)

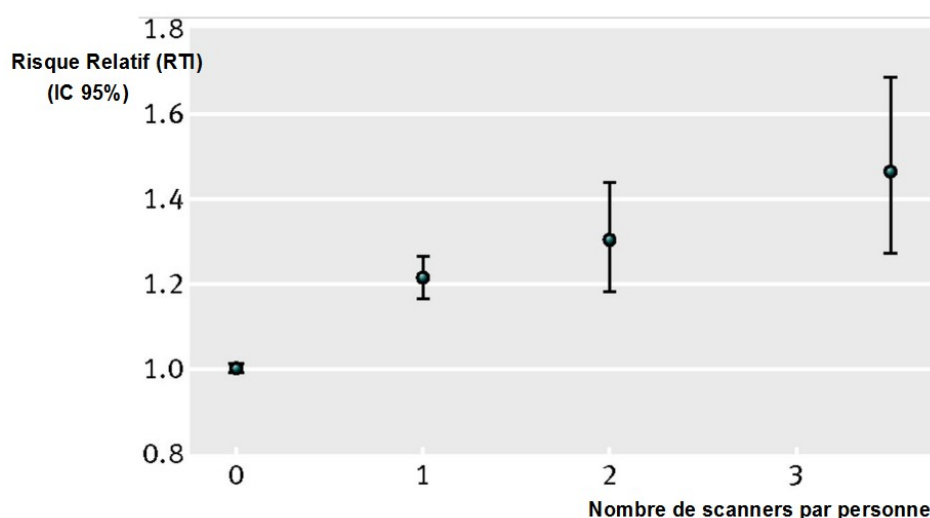


Tableau 3

Nombre de cancers de tous types et rapport de taux d'incidence (RTI), des [patients] exposés face aux non exposés, pour plusieurs périodes de latence.

	période de latence		
	1 an	5 ans	10 ans
Groupe exposé			
Nombre de cancers observé	3150	2365	1405
Nombre de personnes-années	6 486 548	3 971 641	1 808 883
Nombre moyen d'années de suivi	9,5	7,3	5,5
Groupe non exposé			
Nombre de cancers observé	57 524	58 309	59 269
Nombre de personnes-années	177 191 342	179 706 249	181 869 007
Nombre moyen d'années de suivi	17,3	17,3	17,1

	période de latence		
	1 an	5 ans	10 ans
Nombre de cancers attendus dans le groupe exposé *	2542	1963	1196
Nombre de cancers en excès dans le groupe exposé *	608	402	209
RTI (IC à 95%: exposé v non exposés)	1,24 (1,20 à 1,29)	1,21 (1,16 à 1,26)	1,18 (1,11 à 1,24)
χ^2 (1 df) pour l'écart à un du RTI	129,1	74,4	33,8
P pour l'écart à un du RTI	P <0,001	P <0,001	P <0,001

* Calculé à partir des taux dans le groupe non exposé après stratification pour âge, sexe et année de naissance.

Risques de cancers spécifiques

Le RTI pour le groupe exposé par rapport au groupe non exposé est augmenté non seulement pour tous les cancers combinés, mais aussi pour tous les cancers solides et pour tous les cancers lymphoïdes et hématopoïétiques lorsque ceux-ci ont été considérés séparément ([tableau 4](#) ↓). Parmi les cancers spécifiques, le cancer du cerveau a présenté le plus grand RTI, mais l'incidence a aussi été significativement augmentée pour les cancers des organes digestifs, le mélanome, [les cancers] des tissus mous, des organes génitaux féminins, des voies urinaires, de la thyroïde, [les cancers] de sièges mal défini et non précisé, le lymphome de Hodgkin, les autres cancers lymphoïdes, les leucémies et les myélodysplasies, toutes les leucémies: myéloïdes et autres leucémies et myélodysplasies ([tableau 4](#)). Nous n'avons pas vu d'augmentation distincte du RTI pour le cancer du sein ou la leucémie lymphoïde. Le nombre total de cancers en excès estimé pour le groupe exposé était de 608, avec le mélanome, les cancers des tissus mous, le cancer du cerveau, le cancer de la thyroïde, et tous les cancers lymphoïdes et hématopoïétiques contribuant chacun à plus de 50 cas ([tableau 4](#)). Le TEI était de 9,38 pour 100 000 années-personnes pour tous les cancers combinés, et de plus de 1 pour 100 000 années-personnes pour chacun [des cancers suivants] : mélanome, cancer du cerveau, cancer de la thyroïde, et tous les cancers lymphoïdes et hématopoïétiques. Les résultats par type de cancer étaient cohérents [avec ceci] lorsque nous avons répété l'analyse en utilisant des périodes de latence de cinq et dix ans ([tableaux web A et B, respectivement](#)).

Tableau 4

Résultats pour le groupe exposé par type de cancer, basé sur une période de latence d'un an.

(Les [tableaux Web s A et B](#) montrent les résultats basés sur des périodes de latence de cinq et dix ans respectivement).

Type de cancer (code ICD-10)*	Nombre de cancers observés	RTI (IC 95% ; exposés versus non exposés)†	Nombre de cancers en excès†	TEI (IC 95%) pour 100 000 personnes-années†
Tous cancers solides (C00-80)	2507	1.25 (1.20 à 1.31)	503.2	7.76 (6.24 à 9.27)
Bouche et pharynx (C00-14)	87	1.08 (0.87 à 1.35)	6.3	0.10 (-0.18 à 0.38)
Organes digestifs (C15-26)	149	1.29 (1.09 à 1.52)	32.8	0.51 (0.14 à 0.87)
Appareil respiratoire (C30-39)	48	1.31 (0.97 à 1.76)	11.5	0.18 (-0.03 à 0.39)
Os (C40-41)	72	1.15 (0.91 à 1.47)	9.7	0.15 (-0.11 à 0.41)
Mélanome (C43-44)	809	1.12 (1.04 à 1.20)	86.8	1.34 (0.48 à 2.20)
Tissus mous (C45-49)	119	1.78 (1.47 à 2.16)	51.7	0.80 (0.47 à 1.13)
Sein (C50)	145	0.99 (0.83 à 1.17)	-1.8	-0.03 (-0.39 à 0.34)
Organes génitaux féminins (C51-58)	181	1.28 (1.10 à 1.49)	40.1	0.62 (0.21 à 1.02)
Organes génitaux masculins (C60-63)	275	1.08 (0.95 à 1.22)	19.9	0.31 (-0.19 à 0.81)

Type de cancer (code ICD-10)*	Nombre de cancers observés	RTI (IC 95% ; exposés versus non exposés)†	Nombre de cancers en excès†	TEI (IC 95%) pour 100 000 personnes-années†
Tractus urinaire (C64-C68)	51	1.33 (1.00 à 1.78)	13.3	0.21 (-0.01 à 0.42)
<u>Cerveau</u> (C69-72)	283	2.13 (1.88 à 2.41)	147.3	2.27 (1.76 à 2.78)
Cerveau après scanner du cerveau	210	2.44 (2.12 à 2.81)	122.7	2.97 (2.28 à 3.66)
Cerveau après autre scanner	73	1.51 (1.19 à 1.91)	24.6	1.05 (0.33 à 1.76)
Thyroïde (C73-75)	258	1.40 (1.23 à 1.59)	71.4	1.10 (0.62 à 1.59)
Sites mal définis et non spécifiés (C76-80)	30	1.85 (1.27 à 2.71)	14.0	0.22 (0.05 à 0.38)
Tous cancers lymphoïdes et hématopoïétiques (C81-96, D45-46, D47.1, D47.3)	643	1.19 (1.10 à 1.29)	105.3	1.62 (0.86 à 2.39)
Lymphome Hodgkinien (C81)	228	1.15 (1.01 à 1.32)	30.4	0.47 (0.01 à 0.92)
Autres lymphomes (C82-83)	104	1.01 (0.82 à 1.23)	0.2	0.00 (-0.30 à 0.31)
Autres cancers lymphoïdes (C84-90)	65	1.70 (1.31 à 2.20)	26.8	0.41 (0.17 à 0.66)
Leucémies et myélodysplasies (C91-96, D45-46, D47.1, D47.3)	246	1.23 (1.08 à 1.41)	47.8	0.74 (0.26 à 1.21)
<u>Leucémies</u> (C91-96)	211	1.19 (1.03 à 1.37)	34.3	0.53 (0.09 à 0.97)
Leucémie lymphoïde (C91)	84	0.96 (0.77 à 1.20)	-2.1	-0.03 (-0.31 à 0.24)
Leucémie myéloïde et autres leucémies (C92-96)	127	1.41 (1.18 à 1.70)	36.4	0.56 (0.22 à 0.90)
Myélodysplasie (D45-D46, D47.1, D47.3)	35	1.60 (1.13 à 2.27)	13.5	0.21 (0.03 à 0.39)
Tous cancers	3150	1.24 (1.20 à 1.29)	608.4	9.38 (7.68 à 11.08)
Tous cancers solides, sauf cancer du cerveau après TDM cerveau	2297	1.20 (1.15 à 1.25)	380.4	5.86 (4.35 à 7.38)
Tous cancers, sauf cancer du cerveau après TDM cerveau	2940	1.20 (1.15 à 1.24)	485.7	7.49 (5.79 à 9.18)

RTI =rapport de taux d'incidence, exposés sur non-exposés

TEI =excès absolu de taux d'incidence par comparaison avec le taux chez les non exposés

* Les codes ICD reflètent plus précisément les types de cancer des tableaux 4-9. Les noms utilisés se réfèrent aux types de cancer les plus fréquents dans chaque rubrique (par exemple, la rubrique C69-72 appelée cancer de l'œil et autres cancers du système nerveux central ainsi que cancer du cerveau; la rubrique C73-75 appelée cancer de la thyroïde et autres cancers endocriniens). Le code C97 n'a pas été inclus dans ce tableau, car il n'a pas été utilisé pour les enregistrements d'incidence de cancers.

† RTI, TEI, et nombre de cancers excédentaires sont calculés après stratification pour l'âge, le sexe et l'année de naissance.

Effets de la durée de temps depuis l'exposition, de l'année de l'exposition, de l'âge à l'exposition, du sexe, du statut socio-économique et d'autres facteurs de biais potentiels

Pour le cancer du cerveau, l'augmentation proportionnelle à la fois du taux d'incidence et de l'excès absolu de taux d'incidence dans le groupe exposé était plus élevée 1-4 ans après la première exposition au scanner, après quoi elle diminuait (P <0,001 pour la tendance du RTI, P = 0,03 pour la tendance du TEI).

Néanmoins, l'incidence du cancer du cerveau était encore nettement augmentée 15 ans ou plus après la première exposition ([tableau 5 ↓](#)). Pour les autres cancers solides, il n'y avait pas de tendance significative

à l'augmentation proportionnelle du taux d'incidence avec le temps depuis la première exposition (P = 0,88 pour la tendance du RTI), bien que le taux d'excès absolu d'incidence augmente avec le temps depuis la première exposition (P = 0,01 pour la tendance du TEI). Pour les leucémies et les myélodysplasies et pour d'autres cancers lymphoïdes et hématopoïétiques, il n'y avait pas de tendances significatives liées à la durée depuis la première exposition ni dans l'augmentation proportionnelle (RTI) ni dans l'augmentation absolue (TEI) du taux d'incidence. Pour tous les cancers combinés, l'augmentation proportionnelle du taux d'incidence a diminué avec les années depuis le premier scanner (P = 0,009 pour la tendance RTI), mais le taux d'incidence de tous les cancers combinés dans le groupe exposé était encore augmenté 15 ans ou plus après la première exposition (RTI 1,24, intervalle de confiance à 95% 1,14 à 1,34). Nous n'avons vu aucune tendance significative dans le TEI pour tous les cancers combinés (P = 0,43 pour la tendance).

Tableau 5

Résultats du groupe exposé par type de cancer et nombre d'années après la première exposition au scanner, basés sur une période de latence d'un an

Type de cancer	Nombre d'années depuis la première exposition				P pour la tendance
	1-4	5-9	10-14	≥15	
Nombre de cancers observés dans le groupe exposé, RTI (IC 95%)*					
Cancer du cerveau	121, 2.82 (2.34 à 3.39)	83, 2.03 (1.62 à 2.54)	46, 1.50 (1.11 à 2.01)	33, 1.67 (1.18 à 2.36)	<0.001
Après scanner du cerveau	87, 3.24 (2.61 à 4.02)	62, 2.42 (1.88 à 3.12)	36, 1.80 (1.29 à 2.51)	25, 1.74 (1.17 à 2.59)	<0.001
Après autre scanner	34, 2.08 (1.47 à 2.92)	21, 1.34 (0.87 à 2.07)	10, 0.93 (0.50 à 1.73)	8, 1.47 (0.73 à 2.94)	0.06
Tous cancers solides sauf cancer du cerveau	438, 1.23 (1.12 à 1.35)	646, 1.17 (1.09 à 1.27)	611, 1.14 (1.05 à 1.24)	529, 1.24 (1.14 à 1.35)	0.88
Leucémies et myélodysplasies	95, 1.20 (0.98 à 1.48)	85, 1.40 (1.13 à 1.74)	39, 1.07 (0.78 à 1.47)	27, 1.19 (0.81 à 1.75)	0.82
Autres cancers lymphoïdes et hématopoïétiques	131, 1.25 (1.05 à 1.49)	146, 1.27 (1.08 à 1.50)	76, 1.00 (0.79 à 1.25)	44, 1.02 (0.76 à 1.38)	0.44
Tous cancers	785, 1.35 (1.25 à 1.45)	960, 1.25 (1.17 à 1.34)	772, 1.14 (1.06 à 1.22)	633, 1.24 (1.14 à 1.34)	0.009
Tous cancers solides, sauf cancers du cerveau après scanner du cerveau	472, 1.26 (1.16 à 1.38)	667, 1.18 (1.09 à 1.27)	621, 1.14 (1.05 à 1.23)	537, 1.24 (1.14 à 1.36)	0.72
Tous cancers, sauf cancer du cerveau après scanner du cerveau	698, 1.25 (1.16 à 1.35)	898, 1.21 (1.13 à 1.29)	736, 1.12 (1.04 à 1.20)	608, 1.22 (1.13 à 1.32)	0.30
Nombre de cancers en excès dans le groupe exposé, TEI pour 100 000 personnes-années (IC 95%)*					
Cancer du cerveau	77.6, 3.09 (2.23 à 3.94)	41.4, 1.91 (1.09 à 2.74)	15.1, 1.25 (0.15 à 2.34)	13.2, 2.21 (0.32 à 4.10)	0.03
Après scanner du cerveau	60.1, 3.97 (2.76 à 5.18)	36.1, 2.66 (1.52 à 3.79)	15.9, 1.95 (0.51 à 3.38)	10.6, 2.40 (0.19 à 4.60)	0.05
Après autre scanner	17.6, 1.75 (0.61 à 2.89)	5.3, 0.66 (-0.46 à 1.78)	-0.8, -0.20 (-1.77 à 1.37)	2.5, 1.67 (-1.98 à 5.32)	0.11
Tous cancers solides sauf cancer du cerveau	81.2, 3.23 (1.60 à 4.86)	95.3, 4.40 (2.10 à 6.71)	76.3, 6.29 (2.30 à 10.29)	103.0, 17.29 (9.72 à 24.86)	0.01
Leucémies et myélodysplasies	16.4, 0.65 (-0.11 à 1.41)	24.5, 1.13 (0.30 à 1.97)	2.6, 0.21 (-0.80 à 1.22)	4.3, 0.73 (-0.98 à 2.44)	0.78
Autres cancers lymphoïdes et hématopoïétiques	25.9, 1.03 (0.14 à 1.92)	31.2, 1.44 (0.35 à 2.54)	-0.5, -0.04 (-1.45 à 1.37)	0.8, 0.14 (-2.05 à 2.32)	0.54
Tous cancers	201.2, 8.00 (5.81 à 10.18)	192.4, 8.90 (6.09 à 11.70)	93.6, 7.71 (3.22 à 12.20)	121.3, 20.36 (12.09 à 28.64)	0.43
Tous cancers solides, sauf cancer du cerveau après scanner du cerveau	98.8, 3.93 (2.09 à 5.77)	100.5, 4.65 (2.20 à 7.10)	75.5, 6.23 (2.09 à 10.37)	105.5, 17.72 (9.92 à 25.52)	0.01

Type de cancer	Nombre d'années depuis la première exposition				P pour la tendance
	1-4	5-9	10-14	≥15	
Tous cancers, sauf cancer du cerveau après scanner du cerveau	141.1, 5.61 (3.43 à 7.79)	156.3, 7.23 (4.42 à 10.03)	77.6, 6.40 (1.91 à 10.89)	110.7, 18.58 (10.30 à 26.86)	0.04

RTI = rapport de taux d'incidence, exposés/ non exposés;

TEI = taux d'excès absolu d'incidence comparé avec taux dans groupe non exposé.

*RTI, TEI et nombre de cancers en excès ont été calculés après stratification pour âge, sexe et années de naissance.

Pour le cancer du cerveau, le RTI pendant une période donnée depuis la première exposition était inférieur si l'exposition avait eu lieu dans une période calendaire tardive ($P < 0,001$ pour la tendance), mais pour tous les cancers solides autres que le cancer du cerveau et pour tous les cancers combinés, les tendances du RTI selon la période calendaire de la première exposition ne présentaient pas [de différences] significatives ($p = 0,68$ et $p = 0,18$, respectivement; [tableau 6](#) ↓ , [web tableau C](#), [web figures B et C](#)).

Tableau 6

Résultats pour le groupe exposé par type de cancer, par année civile du premier scanner, et nombre d'années depuis la première exposition TDM, basés sur une période de latence d'un an

Nombre d'années depuis la première exposition	Année civile du premier scanner			
	1985-89	1990-94	1995-99	2000-05
Cancer du cerveau				
1-4	38, 5.09 (3.60 à 6.99)	25, 2.51 (1.63 à 3.71)	25, 2.06 (1.34 à 3.05)	33, 2.38 (1.64 à 3.35)
5-9	38, 3.81 (2.70 à 5.23)	22, 1.64 (1.03 à 2.48)	20, 1.31 (0.80 à 2.02)	3, 1.12 (0.23 à 3.27)
10-14	18, 1.48 (0.88 à 2.34)	23, 1.48 (0.94 à 2.21)	5, 1.66 (0.54 à 3.88)	—
≥15	26, 1.55 (1.02 à 2.28)	7, 2.46 (0.99 à 5.07)	—	—
Toutes les années depuis la première exposition	120, 2.61 (2.17 à 3.13)	77, 1.84 (1.47 à 2.32)	50, 1.65 (1.24 à 2.19)	36, 2.16 (1.53 à 3.04)
P<0.001 pou la tendance du RTI avec l'année civile du premier scanner, après comptage des années depuis la première exposition				
Autres cancers solides				
1-4	91, 1.23 (1.00 à 1.51)	140, 1.20 (1.01 à 1.42)	208, 1.29 (1.13 à 1.48)	225, 1.19 (1.04 à 1.36)
5-9	171, 1.10 (0.95 à 1.28)	301, 1.32 (1.18 à 1.48)	325, 1.14 (1.02 à 1.28)	80, 1.38 (1.10 à 1.72)
10-14	279, 1.12 (1.00 à 1.26)	363, 1.11 (1.00 à 1.23)	84, 1.19 (0.96 à 1.48)	—
≥15	506, 1.22 (1.12 à 1.34)	94, 1.20 (0.98 à 1.47)	—	—
Toutes les années depuis la première exposition	1047, 1.17 (1.10 à 1.25)	898, 1.20 (1.12 à 1.28)	617, 1.20 (1.10 à 1.30)	305, 1.24 (1.10 à 1.39)
P=0.68 pour la tendance du RTI avec l'année civile de premier scanner, après comptage des années depuis la première exposition				
Tous les cancers				

Nombre d'années depuis la première exposition	Année civile du premier scanner			
	1985-89	1990-94	1995-99	2000-05
1-4	129, 1.58 (1.33 à 1.88)	165, 1.30 (1.12 à 1.52)	233, 1.35 (1.18 à 1.53)	258, 1.27 (1.13 à 1.44)
5-9	209, 1.26 (1.10 à 1.45)	323, 1.34 (1.20 à 1.49)	345, 1.15 (1.04 à 1.28)	83, 1.36 (1.10 à 1.69)
10-14	297, 1.14 (1.01 à 1.27)	386, 1.12 (1.02 à 1.24)	89, 1.20 (0.98 à 1.48)	—
≥15	532, 1.24 (1.14 à 1.35)	101, 1.24 (1.02 à 1.51)	—	—
Toutes les années depuis la première exposition	1167, 1.24 (1.17 à 1.32)	975, 1.23 (1.15 à 1.31)	667, 1.22 (1.13 à 1.32)	341, 1.29 (1.16 à 1.44)

P=0.18 pour la tendance en RTI avec l'année civile de premier scanner, après comptage des années depuis la première exposition.

Les chiffres indiqués sont le nombre de cancers observés dans le groupe exposé, le rapport de taux d'incidence (RTI) des exposés versus non-exposés, (l'intervalle de confiance à 95%), calculés après stratification pour l'âge, le sexe et l'année de naissance.

Pour le cancer du cerveau et pour tous les cancers combinés, le RTI était plus élevé pour les expositions TDM chez les enfants de moins de 5 ans, et diminuait avec l'augmentation de l'âge à la première exposition ($P = 0,001$ pour la tendance pour le cancer du cerveau, $P < 0,001$ pour la tendance pour tous les cancers; [tableau 7](#) ↓). Pour tous les cancers solides autres que le cancer du cerveau, le RTI a également eu tendance à diminuer avec l'âge à la première exposition ($P = 0,06$ pour la tendance). Malgré ces réductions, le RTI est resté sensiblement augmenté dans le groupe le plus âgé à la première exposition, pour les cancers du cerveau, tous les cancers confondus, et tous les cancers solides autres que le cancer du cerveau. Pour les cancers lymphoïdes et hématopoïétiques autres que les leucémies et les myélodysplasies, le RTI a également diminué avec l'augmentation de l'âge à la première exposition ($P = 0,04$ pour la tendance). Pour les leucémies et les myélodysplasies, cependant, le RTI a tendance à augmenter avec l'âge à la première exposition ($P = 0,06$ pour la tendance). Près de la moitié du groupe exposé a eu son premier scanner ([tableau 2](#)) entre 15 et 19 ans. Par conséquent, malgré la diminution du RTI avec l'augmentation de l'âge à la première exposition pour tous les cancers combinés, plus de la moitié des cancers en excès (338 sur 608) sont survenus chez des exposés pour la première fois aux âges de 15-19 ans.

Tableau 7

Résultats pour le groupe exposé par type de cancer et par âge à la première exposition TDM, basés sur une période de latence d'un an

	Age à la première exposition (année)				P pour la tendance
	0-4	5-9	10-14	15-19	
Nombre observé de cancers dans le groupe exposé, RTI (IC 95%)*					
<u>Cancer du cerveau</u>	31, 3.01 (2.11 à 4.30)	53, 3.03 (2.30 à 3.99)	68, 1.93 (1.51 à 2.46)	131, 1.82 (1.53 à 2.18)	0.001
Après scanner du cerveau	27, 3.10 (2.12 à 4.54)	40, 2.93 (2.14 à 4.01)	48, 2.08 (1.56 à 2.78)	95, 2.29 (1.86 à 2.82)	0.09
Après autre scanner	4, 2.52 (0.94 à 6.72)	13, 3.37 (1.95 à 5.83)	20, 1.63 (1.04 à 2.53)	36, 1.17 (0.84 à 1.63)	0.002
Tous cancers solides sauf cancer du cerveau	53, 1.76 (1.34 à 2.31)	152, 1.30 (1.10 à 1.52)	520, 1.16 (1.06 à 1.26)	1499, 1.18 (1.12 à 1.24)	0.06
Leucémies et myélodysplasies	20, 0.95 (0.61 à 1.48)	32, 1.04 (0.73 à 1.48)	72, 1.26 (1.00 à 1.60)	122, 1.36 (1.14 à 1.64)	0.06
Autres cancers lymphoïdes et hématopoïétiques	22, 1.83 (1.20 à 2.79)	49, 1.29 (0.97 à 1.71)	118, 1.17 (0.98 à 1.41)	208, 1.10 (0.95 à 1.26)	0.04
Tous cancers	126, 1.72 (1.44 à 2.05)	286, 1.40 (1.25 à 1.58)	778, 1.21 (1.13 à 1.30)	1960, 1.21 (1.16 à 1.27)	<0.001
Tous cancers solides, sauf cancer cerveau après scanner	57, 1.80 (1.39 à 2.33)	165, 1.36 (1.17 à 1.59)	540, 1.17 (1.07 à 1.27)	1535, 1.18 (1.12 à 1.24)	0.01
Tous cancers, sauf cancer après scanner du cerveau	99, 1.53 (1.26 à 1.86)	246, 1.29 (1.14 à 1.47)	730, 1.18 (1.10 à 1.27)	1865, 1.18 (1.13 à 1.24)	0.03
Nombre de cancers en excès chez groupes exposés, TEI pour 100 000 personnes-années (IC 95%)*					
Cancer du cerveau	20.7, 4.37 (2.07 à 6.68)	35.4, 3.50 (2.09 à 4.91)	32.6, 1.71 (0.86 à 2.56)	58.6, 1.89 (1.17 à 2.62)	0.16
après scanner du cerveau	18.3, 4.58 (2.03 à 7.13)	26.3, 3.36 (1.77 à 4.94)	24.9, 2.06 (0.94 à 3.18)	53.3, 3.05 (1.96 à 4.15)	0.41
après autre scanner	2.4, 3.26 (-2.04 à 8.55)	9.2, 4.01 (0.91 à 7.11)	7.7, 1.10 (-0.16 à 2.35)	5.4, 0.40 (-0.47 à 1.27)	0.03
Tous cancers solides sauf cancer du cerveau	22.9, 4.83 (1.82 à 7.84)	34.6, 3.42 (1.04 à 5.81)	70.6, 3.70 (1.36 à 6.05)	227.7, 7.36 (4.91 à 9.81)	0.04
Leucémies et myélodysplasies	-1.0, -0.22 (-2.07 à 1.64)	1.3, 0.13 (-0.97 à 1.22)	15.0, 0.79 (-0.09 à 1.66)	32.6, 1.05 (0.35 à 1.75)	0.01
Autres cancers lymphoïdes et hématopoïétiques	10.0, 2.11 (0.17 à 4.05)	11.0, 1.08 (-0.27 à 2.44)	17.6, 0.93 (-0.19 à 2.04)	18.8, 0.61 (-0.31 à 1.52)	0.32
Tous cancers	52.6, 11.10 (6.45 à 15.74)	82.3, 8.14 (4.86 à 11.41)	135.8, 7.12 (4.25 à 9.99)	337.7, 10.91 (8.11 à 13.72)	0.41
Tous cancers solides, sauf cancer cerveau après scanner	25.3, 5.34 (1.55 à 9.13)	43.8, 4.33 (1.55 à 7.10)	78.2, 4.10 (1.61 à 6.60)	233.1, 7.53 (4.98 à 10.09)	0.21
Tous cancers, sauf cancer après scanner	34.3, 7.23 (2.59 à 11.88)	56.0, 5.54 (2.26 à 8.82)	110.9, 5.82 (2.95 à 8.69)	284.5, 9.19 (6.39 à 12.00)	0.22

RTI = rapport de taux d'incidence, exposés *versus* non exposés; TEI = taux d'incidence de l'excès absolu par rapport aux taux de non exposé.

* RTI, TEI, et le nombre de cancers excédentaires sont calculés après stratification pour l'âge, le sexe et année de naissance.

Pour le cancer du cerveau, les leucémies et myélodysplasies, les autres cancers lymphoïdes et hématopoïétiques, ainsi que tous les cancers combinés, ni le RTI ni le TEI ne différaient significativement entre les sexes (*internet tableau D*). Toutefois, pour les cancers solides autres que le cancer du cerveau, le RTI était supérieur chez les femmes par rapport aux hommes (1,23 (intervalle de confiance à 95%: 1.16 à 1.31) *versus* 1,14 (0.107 à 0.122), P = 0,07 pour la différence), le TEI était également significativement plus élevé chez les femmes que chez les patients de sexe masculin (7,59 (5,35 à 9,82) *versus* 3,57 (1,76 à 5,37), P = 0,006 pour la différence). Le statut socio-économique n'était que faiblement lié à l'exposition au scanner (*tableau 1*), et l'effet de l'exposition ne diffère pas significativement en fonction du statut socio-

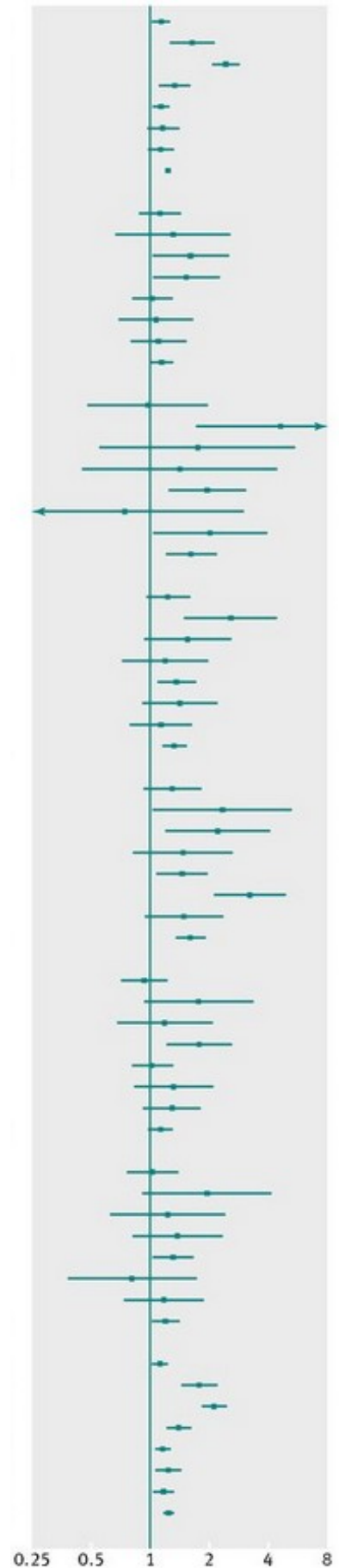
économique ([web tableau E](#)). Aucune information n'était disponible pour les facteurs de confusion potentiels tels que l'alcool, le tabac, l'exposition au soleil, ou pour le syndrome de Down (trisomie 21) ou d'autres marqueurs de susceptibilité au cancer. Toutefois, du fait que l'augmentation du risque de cancer liée au scanner varie très peu selon le statut socio-économique, il est peu probable que nos résultats soient sensiblement biaisés par des facteurs de confusion tels que ceux-ci.

Risque de cancer par site de tomodensitométrie

Pour tous cancers confondus, le RTI du groupe exposé par rapport au groupe non exposé a été augmenté de façon significative ($P < 0,05$) pour chaque site anatomique de scanner considéré (figure 3 ↓). Les RTI différaient selon le site de la tomodensitométrie ($P < 0,001$ pour l'hétérogénéité), avec des augmentations plus importantes après tomodensitométrie du thorax (1,62) et de l'abdomen ou du bassin (1,61), et des augmentations moindres après tomodensitométrie des os du visage (1,14) de la colonne vertébrale ou du cou (1,13). Pour certains sites de scanner, le RTI varie également entre les différents types de cancer ($P < 0,001$ pour l'hétérogénéité après scanner de la tête ou du cerveau; $P = 0,02$ après scanner de l'abdomen ou du bassin). Après tomodensitométrie du cerveau, le plus grand RTI était celui du cancer du cerveau (2,44, intervalle de confiance à 95% 2,12 à 2,81), mais il était également significativement augmenté ($P < 0,05$) pour le mélanome, les cancers des tissus mous, le cancer de la thyroïde et d'autres cancers solides. Après scanner de l'abdomen ou du bassin, le plus grand RTI concernait les leucémies et les myélodysplasies (3,24, 2,17 à 4,84); il y avait aussi une augmentation significative des cancers des tissus mous, cancers du cerveau, et tous les autres cancers solides en dehors de mélanome et de cancer de la thyroïde. La Figure Web D montre les résultats correspondants basés sur une période de latence de cinq ans.

Figure 3: rapports de taux d'incidence (RTI) pour les exposés par rapport aux non exposés par site du scanner et type de cancer, basés sur une période de latence d'un an.

Type de cancer par site de scanner	Nbre de cancers chez les exposés	RTI (IC 95%)
Cerveau		
mélanome	511	1,14 (1,04-1,24)
tissus mous	69	1,64 (1,28-2,09)
cerveau	210	2,44 (2,12-2,81)
thyroïde	155	1,33 (1,13-1,57)
autres cancers solides	633	1,13 (1,05-1,23)
leucémies et myélodysplasies	149	1,16 (0,99-1,37)
lymphoïdes,hématopoïétiques	237	1,13 (0,99-1,29)
tous cancers	1964	1,23 (1,18-1,29)
Os de la face		
mélanome	76	1,12 (0,89-1,40)
tissus mous	9	1,30 (0,67-2,52)
cerveau	21	1,60 (1,04-2,47)
thyroïde	28	1,53 (1,05-2,22)
autres cancers solides	83	1,02 (0,83-1,27)
leucémies et myélodysplasies	22	1,07 (0,70-1,62)
lymphoïdes, hématopoïétiques	41	1,10 (0,81-1,49)
tous cancers	280	1,14 (1,01-1,28)
Thorax		
mélanome	8	0,97 (0,49-1,95)
tissus mous	4	4,64 (1,74-12,4)
cerveau	3	1,74 (0,56-5,41)
thyroïde	3	1,41 (0,45-4,38)
autres cancers solides	20	1,96 (1,26-3,04)
leucémies et myélodysplasies	2	0,74 (0,18-2,95)
lymphoïdes,hématopoïétiques	9	2,02 (1,05-3,89)
tous cancers	49	1,62 (1,22-2,14)
Extrémités		
mélanome	68	1,24 (0,97-1,57)
tissus mous	14	2,57 (1,51-4,37)
cerveau	16	1,56 (0,95-2,55)
thyroïde	16	1,19 (0,73-1,94)
autres cancers solides	92	1,36 (1,11-1,67)
leucémies et myélodysplasies	22	1,42 (0,93-2,16)
lymphoïdes,hématopoïétiques	33	1,13 (0,80-1,60)
tous cancers	261	1,33 (1,18-1,50)
Abdomen, bassin		
mélanome	37	1,30 (0,94-1,79)
tissus mous	6	2,33 (1,04-5,21)
cerveau	11	2,21 (1,22-4,00)
thyroïde	12	1,47 (0,83-2,59)
autres cancers solides	49	1,45 (1,10-1,92)
leucémies et myélodysplasies	24	3,24 (2,17-4,84)
lymphoïdes,hématopoïétiques	20	1,48 (0,96-2,30)
tous cancers	159	1,61 (1,38-1,88)
Colonne vertébrale et cou		
mélanome	61	0,93 (0,72-1,20)
tissus mous	10	1,78 (0,95-3,32)
cerveau	13	1,19 (0,69-2,05)
thyroïde	29	1,78 (1,24-2,58)
autres cancers solides	81	1,02 (0,82-1,27)
leucémies et myélodysplasies	20	1,31 (0,85-2,04)
lymphoïdes,hématopoïétiques	38	1,29 (0,94-1,77)
tous cancers	252	1,13 (1,00-1,28)
Autres et inconnus		
mélanome	48	1,03 (0,77-1,36)
tissus mous	7	1,95 (0,93-4,10)
cerveau	9	1,23 (0,64-2,37)
thyroïde	15	1,38 (0,83-2,29)
autres cancers solides	80	1,30 (1,05-1,62)
leucémies et myélodysplasies	7	0,81 (0,38-1,69)
lymphoïdes,hématopoïétiques	19	1,17 (0,75-1,84)
tous cancers	185	1,19 (1,03-1,38)
Tous scanners		
mélanome	809	1,12 (1,04-1,20)
tissus mous	119	1,78 (1,47-2,16)
cerveau	283	2,13 (1,88-2,41)
thyroïde	258	1,40 (1,23-1,59)
autres cancers solides	1038	1,16 (1,09-1,24)
leucémies et myélodysplasies	246	1,23 (1,08-1,41)
lymphoïdes,hématopoïétiques	397	1,17 (1,06-1,30)
tous cancers	3150	1,24 (1,20-2,09)



Les RTI ont été calculés après stratification pour l'âge, le sexe et l'année de naissance.

Hétérogénéité entre les différents types de cancer selon le site d'exposition au scanner: tous sites, $\chi^2 = 23,58$

(6 df), $P = 0,001$; cerveau, $\chi^2 = 104,1$ (6 df), $P < 0,001$; abdomen ou bassin: $\chi^2 = 15,7$ (6 df), $P = 0,02$. Hétérogénéité entre les sites d'exposition au scanner, par type de cancer: tous les cancers, $\chi^2 = 111,1$ (6 df), $P < 0,001$; cerveau, $\chi^2 = 13,9$ (6 df), $P = 0,03$; leucémie, $\chi^2 = 24,81$ (6 df), $P < 0,001$.

Risques après exclusion des cancers du cerveau après un scanner du cerveau

Près de 60% des tomodensitométries étaient des scanners du cerveau (**tableau 2**), et certains cancers de bas grade du cerveau peuvent donner lieu à des symptômes qui vont être étudiés plusieurs années avant d'être finalement diagnostiqués (c'est le cancer du cerveau qui peut avoir causé l'analyse, plutôt que l'inverse). Pour explorer dans quelle mesure nos résultats auraient pu être affectés par cette causalité inverse, nous avons répété nos analyses principales en excluant tous les cancers du cerveau survenus après un scanner cérébral. Pour tous les cancers autres que les cancers du cerveau suite à un scanner cérébral, l'augmentation du RTI avec l'augmentation du nombre de tomodensitométries s'est maintenue (**web figure E**). Le RTI pour les cancers du cerveau après un scanner pour un site autre que le cerveau est resté élevé (1,51 (intervalle de confiance à 95% 1,19 à 1,91), **tableau 4**), tout comme les RTI pour tous les cancers solides (1.20, 1.15 à 1.25) et pour tous les cancers (1.20, 1.15 à 1.24). Le RTI pour les cancers du cerveau restants tend à diminuer avec l'augmentation de durée après la première exposition, bien que la tendance ne soit pas significative ($P = 0,06$ pour la tendance, **tableau 5**). La tendance du RTI selon la durée après la première exposition pour tous les cancers (sauf le cancer du cerveau après scanner cérébral) était également non significative ($P = 0,30$ pour la tendance, **tableau 5**). Dans une période donnée après l'exposition, il n'y avait pas d'association significative entre le RTI pour tous les cancers solides (sauf le cancer du cerveau après un scanner du cerveau) et l'année civile de la première exposition ($P = 0,68$ pour la tendance, **web tableau C**). La diminution du RTI pour tous les cancers solides (sauf le cancer du cerveau après scanner cérébral) avec l'augmentation de l'âge à l'exposition était hautement significative ($P = 0,01$ pour la tendance, **tableau 7**), mais il n'y avait pas de tendance significative dans le TEI avec l'augmentation de l'âge lors de exposition ($P = 0,21$ pour la tendance).

Risques approximatifs à ce jour par unité de dose

Basée sur une période de latence d'un an, la dose efficace* collective de tous les scanners combinés a été d'environ 3900 Sv, et la dose efficace moyenne de tous les organes du corps était d'environ 4,5 mSv par examen. Dans l'hypothèse où tous les excès de cancers, à l'exception des cancers du cerveau après scanner cérébral, sont attribuables à la tomodensitométrie, ceci suggère que chaque Sievert de dose efficace a causé 0,125 cancers au 31 Décembre 2007 (**tableau 8 ↓**) avec une période moyenne de suivi de 9,5 ans. Jusqu'à présent, une tomodensitométrie sur 1800 a été suivie par un cancer en excès, avec un rapport de taux d'excès par mSv de 0,035 (intervalle de confiance de 95% 0,026 à 0,042). Un calcul similaire, ne considérant que les cancers du cerveau après scanner du cerveau, suggère une dose collective d'organe au cerveau de 19 800 Gy à partir d'une dose moyenne au cerveau de 40 mGy par scanner du cerveau. Si les scanners ont causé tous les excès de cancer du cerveau dans ce groupe, chaque Gy au cerveau a entraîné 0.006 cancers du cerveau à la fin du suivi disponible (31 Décembre 2007), un scanner du cerveau sur 4000 ayant conduit à un cancer du cerveau, et le rapport des taux en excès de cancers du cerveau par mGy au cerveau serait de 0,029 (intervalle de confiance 95% de 0,023 à 0,037).

La dose collective estimée à la moelle osseuse, basée sur une période de latence d'un an, est de 4000 Gy, et la dose moyenne estimée à la moelle osseuse est de 4,6 mGy par scanner. Ceci suggère que chaque gray de rayonnement à la moelle osseuse a conduit à 0,012 leucémies ou myélodysplasies en excès à ce jour, et que le rapport des taux d'excès des leucémies et myélodysplasies par mGy à la moelle osseuse est de 0,039 (intervalle de confiance à 95% 0,014 à 0,070). Lorsque ces calculs ont été répétés pour des périodes de latence de cinq et 10 ans, les doses collectives étaient beaucoup plus faibles, et le rapport des taux d'excès par mSv a été légèrement réduit pour tous les cancers sauf le cancer du cerveau après scanner du cerveau, où il a été davantage réduit et les leucémies et les myélodysplasies où il a été sensiblement réduit avec un décalage de 10 ans (**tableau 8**).

Tableau 8

Doses de rayonnement approximatives et risques de cancer par unité de dose pour les périodes de décalage d'un, cinq et 10 ans après la première exposition à la tomodensitométrie

Risque de cancer selon date et type d'exposition	période de latence (en années)		
	1	5	10
Tous les cancers, à l'exception des cancers du cerveau après scanner cérébral (toutes expositions)			
Nombre absolu de cancers en excès à ce jour	486	340	183
Dose efficace collective (Sv)	3900	3100	1900
Nombre d'expositions au scanner	866 580	684 386	401 811
Dose efficace moyenne par scanner (mSv) *	4.5	4.5	4.7
Nombre absolu de cancers en excès à ce jour par Sv	0.125	0.110	0.096
Proportion de TDM à ce jour, suivie d'excès de cancer	1 sur 1800	1 sur 2000	1 sur 2200
Nombre de personnes exposées	680 211	544 354	327 216
Dose moyenne par personne exposée (mSv)	5.7	5.7	5.8
RTI (exposés <i>versus</i> non exposés) †	1.20 (1.15 à 1.24)	1.18 (1.13 à 1.23)	1.16 (1.10 à 1.22)
Rapport des taux d'excès par mSv ‡ ¶	0.035 (0.026 à 0.042)	0.031 (0.022 au 0.040)	0.027 (0.017 à 0.037)
Cancers du cerveau après scanner cérébral (exposition du cerveau)			
Nombre absolu de cancers du cerveau en excès à ce jour	123	62	26
Dose d'organe collective (cerveau; Gy)	19 800	16 200	10 200
Nombre de scanners du cerveau	494 003	405 230	254 010
Dose moyenne au cerveau par scanner (mGy) *	40	40	40
Nombre absolu de cancers du cerveau en excès à ce jour par Gy	0.006	0.004	0.003
Proportion de TDM à ce jour, suivie d'excès de cancer du cerveau	1 sur 4000	1 sur 6500	1 sur 9800
Nombre de personnes exposées	404 105	334 203	212 481
Dose moyenne par personne exposée (mGy)	49	48	48
RTI (exposés <i>versus</i> non exposés) †	2.44 (2.12 à 2.81)	2.02 (1.69 à 2.43)	1.74 (1.35 à 2.25)
Rapport de taux excédentaire par mGy § ¶	0.029 (0,023 à 0.037)	0.021 (0.014 à 0.029)	0,015 (de 0.007 à 0.026)
Leucémies et myélodysplasies (toutes expositions)			
Nombre absolu de leucémies et myélodysplasies en excès à ce jour	48	31	6
Dose collective d'organe (moelle osseuse) (Gy)	4000	3200	1700
Nombre de scanners	866 580	684 386	401 811
Dose moyenne à la moelle osseuse par scanner (mGy) *	4.6	4.7	4.2
Nombre absolu de leucémies et myélodysplasies en excès à ce jour par Gy	0.012	0.010	0.004
Proportion de TDM suivies à ce jour d'un excès de leucémies ou de myélodysplasies	1 sur 18 000	1 sur 22 000	1 sur 67 000
Nombre de personnes exposées	680 211	544 354	327 216
Dose moyenne par personne exposée (mGy)	5.9	5.9	5.2
RTI (exposés <i>versus</i> non exposés) †	1.23 (1.08 à 1.41)	1.25 (1.06 à 1.47)	1.09 (0.85 à 1.40)
Rapport de taux excédentaire par mGy § ¶	0.039 (0.014 à 0.070)	0.042 (0.010 à 0.080)	0.017 (-0.029 à 0.078)

* Les doses efficaces moyennes et doses spécifiques aux organes par type de TMD ont été empruntées à des sources publiées et locales (voir Méthodes) et additionnées selon le nombre d'expositions pour donner les doses collectives indicatives de la population exposée.

† Calculé après stratification par âge, sexe et année de naissance, comme dans les tableaux 3-7.

‡ (RTI-1) ÷ dose efficace moyenne par personne exposée.

§ (RTI-1) ÷ dose d'organe moyenne par personne exposée.

¶ Les coefficients de risque indiqués sont basés sur l'hypothèse qu'aucun des cancers liés aux rayonnements n'ont eu lieu avant la fin de la période de latence supposée, que tous les excès de cancers survenant après la période de latence et pendant la période de suivi ont été causés par l'exposition aux radiations, et qu'aucun des cancers liés aux rayonnements n'ont eu lieu après la fin de la période de suivi en cours. Dans la mesure où ces hypothèses s'avèrent incorrectes, les coefficients donnés ici vont soit surestimer soit sous-estimer le risque.

Discussion

Notre étude est la plus grande étude à ce jour, basée sur la population, de l'exposition diagnostique aux radiations médicales. Elle fournit également davantage d'informations sur les expositions à faible dose que ce qui était disponible à partir de l'étude des survivants de la bombe atomique au Japon.¹⁸⁻¹⁹ Notre étude montre que les tomodensitométries pendant l'enfance et l'adolescence sont suivies par une augmentation de l'incidence de cancers, tous cancers confondus et pour de nombreux types différents de cancers. Nous ne pouvons cependant pas nécessairement supposer que tous les excès de cancers observés au cours de la période actuelle de suivi sont dus au scanner, car les décisions de TDM sont basées sur des indications médicales et ne sont pas prises au hasard. Ainsi, nous ne pouvons pas exclure la possibilité d'une causalité inverse, selon laquelle les symptômes d'un état pré cancéreux (y compris maladies génétiques²⁰⁻³⁵⁻³⁶⁻³⁷) ou les symptômes précoces du cancer lui-même pourraient provoquer le scanner. Une telle causalité inverse est plus susceptible d'être présente pour les cancers du cerveau suite à un scanner cérébral, car les cancers de bas grade peuvent entraîner des symptômes incitant à une enquête plusieurs années avant le diagnostic éventuel de cancer.³⁸ Nous avons donc répété nos analyses principales en excluant les cancers du cerveau survenant après un scanner du cerveau, ce qui n'a pas changé sensiblement les résultats globaux (**tableaux 4, 5 et 7**; *web figure E*). Pour la plupart des cancers autres que le cancer du cerveau, il est peu probable que la phase pré-diagnostique dure plus d'un an chez les jeunes, et il est très peu probable qu'elle dure plus de 10 ans, par conséquent, la causalité inverse ne peut pas expliquer tous les excès de cancer observés dans cette étude.

Bien que la conclusion que la tomodensitométrie cause la plupart des cancers en excès chez les personnes exposées ne puisse être formellement prouvée, elle est soutenue par plusieurs observations:

- L'augmentation du RTI avec un nombre croissant de tomodensitométrie (**figure 2**), même après exclusion des cancers du cerveau suite à scanner du cerveau (*web figure E*)
- L'augmentation proportionnellement plus élevée du taux d'incidence (RTI) après une exposition à un plus jeune âge (**tableau 7**), comme on le voit dans l'étude Vie Entière (LSS) des survivants des bombardements atomiques au Japon et dans d'autres études sur les cancers suite à une exposition à des doses moyennes plus élevées⁸⁻¹⁴⁻¹⁷⁻¹⁸⁻¹⁹⁻²⁰
- L'excès d'incidence absolue (EIR) pour les cancers solides plus important chez les patientes de sexe féminin que chez les hommes (*internet tableau D*), comme on le voit dans d'autres études²⁰
- La corrélation entre le site de la tomodensitométrie et le site du cancer, avec une forte augmentation proportionnelle du taux d'incidence (RTI) pour les leucémies et les myélodysplasies suite à une exposition de la moelle osseuse par scanner de l'abdomen ou du bassin (**figure 3**)
- L'augmentation des risques par tomodensitométrie et par unité de dose de rayonnement pour tous les cancers (autres que le cancer du cerveau après scanner du cerveau), même en tenant compte de périodes de latence de cinq et 10 ans (**tableau 8**).

Points forts et limites de l'étude

L'ensemble de données *Medicare* rassemble toutes [les données] des services de TDM financés par le gouvernement fédéral australien. Certaines personnes dans notre cohorte auront eu des tomodensitométries éligibles que nous n'avons pas été en mesure d'identifier. Ces scanners comprenaient la plupart de ceux pratiqués dans les hôpitaux tertiaires de base de l'État (car ils ne sont pas financés sur une base d'honoraires à l'acte à travers *Medicare*) et tous ceux qui ont eu lieu à l'étranger, avant ou après la période incluse dans notre étude (1985-2005), ou lorsque la personne était âgée de 20 ans ou plus. Pour cette raison, certaines personnes ayant eu un scanner auront été classées comme non exposées dans nos analyses, ce qui conduit à un léger biais à la baisse dans nos estimations des risques de cancer dus à la tomodensitométrie; cette classification erronée aura également un effet plus important sur les analyses fondées sur le nombre de tomodensitométries que sur les comparaisons entre les cohortes exposées et non exposées.

Dans cette étude, il a été impossible de recueillir les protocoles et les paramètres des machines pour l'ensemble des 866 580 tomodensitométries et de les utiliser pour estimer les doses individuelles. Par conséquent, nous avons estimé les doses moyennes à la moelle osseuse et au cerveau, basées sur les doses collectives aux organes, comme mesures de l'exposition en tenant compte du lieu du scanner, de l'âge de l'individu, et de l'année où l'analyse a été effectuée. Établir la moyenne de cette façon pourra réduire l'effet des variations de doses individuelles selon le type de pratique.³² Pour tous les cancers combinés autres que les cancers du cerveau suite à un scanner du cerveau et pour tous les cancers combinés, nous avons mis en place une moyenne similaire, mais basée sur la dose efficace. La dose efficace est une mesure synthétique utilisée en radioprotection quand on considère le préjudice probable après exposition des différents organes du corps à différentes doses.²⁶ Elle représente grossièrement l'ensemble de la dose uniforme au corps qui donnerait lieu au même préjudice que les expositions observées dans la population à risque. Cette mesure n'est pas idéale pour l'évaluation des risques, et n'est pas conçue pour être précise pour chaque personne, mais a été utilisée dans de nombreuses études épidémiologiques comme une mesure moyenne de l'exposition. Nous prévoyons d'incorporer des informations supplémentaires sur les modifications des scanners et des protocoles TDM au fil du temps en Australie pour améliorer nos estimations des doses absorbées spécifiques d'organes pour chaque patient de l'étude selon l'âge, le sexe et l'année civile et le type de scanner.

Les dossiers de scanners répétés (par exemple, parce que le patient avait bougé) n'étaient pas disponibles, ce qui conduit à une certaine incertitude supplémentaire dans nos estimations de dose. Heureusement, des améliorations récentes de la technologie scanner ont réduit la durée totale de l'analyse et réduit la probabilité d'artefacts dus au mouvement.³⁹ Les effets d'analyses répétées seraient donc plus élevés pour les patients exposés dans les premières années après 1985, ce qui pourrait expliquer en partie la tendance à la baisse selon la période du calendrier dans le risque de cancer du cerveau après scanner du cerveau (**tableau 6**, *web figures B et C*). Toutefois, cette tendance pourrait aussi être due à des doses inférieures à la suite d'autres améliorations récentes dans la technologie et les protocoles. L'effet global des expositions répétées non documentées est probablement petit, mais il pourrait introduire un léger biais à la hausse dans nos estimations des risques de cancer par unité de dose. Mais il n'entraînerait pas de biais dans l'absence de tout effet véritable.

Comparaison avec d'autres études

Pour les leucémies et les myélodysplasies, notre estimation de la proportion des taux d'excès par mGy était 0,039 (intervalle de confiance 95% 0,014 à 0,070), basé sur un décalage de un an (**tableau 8**). Ceci est similaire à l'estimation correspondante signalée pour les jeunes exposés à la tomodensitométrie au Royaume-Uni (0,036, intervalle de confiance 95% de 0,005 à 0,120; **tableau 9** ↓).¹² Pour les leucémies, les estimations du rapport de taux d'excès par mGy dérivées d'une façon à peu près comparable (c'est-à-dire excluant les myélodysplasies et les cinq premières années de suivi) étaient également similaires entre la présente étude (0,035 (intervalle de confiance 95% de 0,000 à 0,077)) et l'étude vie entière (*Life Span Study=LSS*) des survivants de la bombe atomique (0,045 (0,016 à 0,188)), basée sur une période de latence de cinq ans; **tableaux 8 et 9** ¹²⁻¹⁸⁻⁴⁰

Tableau 9

Comparaison des risques de cancer associés aux rayonnements, observés dans diverses populations étudiées

Population étudiée et âge à l'exposition	Site de cancer	Période de suivi	Quantité estimée	Estimation (IC 95%) *
Étude présente				
0-19 ans	Leucémies et myélodysplasies	membres de l'étude suivis pendant 9,5 ans en moyenne, après exclusion de la première année	RTI par mGy de dose à la moelle osseuse	0.039 (0.014 à 0.070)
	Leucémies, à l'exclusion des myélodysplasies	membres de l'étude suivis pendant 7,3 ans en moyenne, après exclusion des cinq premières années	RTI par mGy de dose à la moelle osseuse	0.035 (0.000 à 0.077)
	Cancer du cerveau après scanner cérébral	membres de l'étude suivis pendant 7,3 ans en moyenne, après exclusion des cinq premières années	RTI par mGy de dose au cerveau	0.021 (0.014 à 0.029)
	Cancer du cerveau après scanner cérébral	membres de l'étude suivis pendant 5,5 ans en moyenne, après exclusion des 10 premières années	RTI par mGy de dose au cerveau	0.015 (0.007 à 0.026)
	Tous les cancers autres que le cancer du cerveau après scanner cérébral	membres d'étude suivis pendant 9,5 ans en moyenne, après exclusion de la première année	RTI par mSv de dose efficace	0.035 (0.026 à 0.042)
	Cancers solides autres que le cancer du cerveau après scanner cérébral	membres de l'étude suivis pendant 5,5 ans en moyenne, après exclusion des 10 premières années	RTI par mSv de dose efficace	0.027 (0.017 à 0.037)
Jeunes exposés à la tomодensitométrie au Royaume-Uni entre 1985 et 2008				
0-21 ans	Leucémies et myélodysplasies ¹²	membres de l'étude suivis pendant 9,6 années en moyenne, après exclusion des deux premières années	RTI par mGy de dose à la moelle osseuse	0.036 (0.005 à 0.120)
	Cancer du cerveau ¹²	membres de l'étude suivis 6,7 ans en moyenne, après exclusion des cinq premières années	RTI par mGy de dose au cerveau	0.023 (0.010 à 0.049)
Étude vie entière (LSS) des survivants des bombes atomiques au Japon				
0-19 ans	Leucémies, à l'exclusion des myélodysplasies ¹⁸	1950 à 1960	RTI par mGy de dose à la moelle osseuse	0.045 (de 0.016 à 0.188)
	Cancer du cerveau ⁴⁰	1958 à 1965	RTI par mSv de dose au cerveau	0.006 (0,000 à 0,064)
	Cancers solides autres que le cancer du cerveau † ⁴⁰	1958 à 1965	RTI par mSv de dose au côlon	0,003 (0.002 à 0.006)

RTI = rapport des taux d'incidence.

* Pour hommes et femmes confondus.

† M Little (National Cancer Institute), communication personnelle, Mars 2013.

Pour le cancer du cerveau, les estimations des excès de cas par mGy des trois études sont aussi compatibles (présente étude 0,021 (intervalle de confiance 95% de 0,014 à 0,029) *versus* étude britannique ¹² 0,023 (0,010 à 0,049), basé sur cinq ans de période de latence; présente étude 0,015 (0,007 à 0,026) *versus* étude LSS ⁴⁰ 0,006 (0,000 à 0,064), basé sur période de latence de 10 ans). Malgré la similitude des estimations du risque dans les différentes études, il est possible que certains des cancer du cerveau en excès vus dans notre étude dans les quelques premières années après l'exposition soient dus à une causalité inverse, et la diminution de risque avec l'augmentation de temps après l'exposition (**tableau 5**) est compatible avec une telle explication. Toutefois, le très grand RTI du cancer du cerveau de 1 à 4 ans après la première exposition pourrait également être dû au plus grand effet précoce des rayonnements ionisants chez les enfants présentant une susceptibilité génétique au cancer du cerveau radio-génique. ²⁰⁻³⁶⁻³⁷⁻⁴¹ Sur ce modèle, le TEI du cancer du cerveau devrait diminuer après 10 ans de suivi parce que les gens présentant la plus grande sensibilité, et exposés aux radiations plus jeunes, auront déjà été touchés. Si l'effet cancérigène des rayonnements à faible dose est supérieur pour une minorité de gens génétiquement prédisposés, cela aura des implications importantes pour les futures normes de radioprotection, ainsi que pour la responsabilité et l'indemnisation.

Notre étude fournit de nouvelles preuves directes de l'augmentation des cancers autres que les cancers du cerveau, leucémies et myélodysplasies à la suite d'une exposition à des rayonnements ionisants à partir de tomodensitométrie. Le risque est augmenté pour de nombreux types de cancers (affectant les organes digestifs, cutanés (mélanomes), les tissus mous, les organes génitaux féminins, les voies urinaires, la thyroïde, le lymphome de Hodgkin, et autres cancers lymphoïdes (C84-90), **tableau 4**). L'augmentation du risque était présente sur l'ensemble des âges à l'exposition considérés dans notre étude (**tableau 7**), et était déjà apparente dès la période de 1 à 4 ans après la première exposition (**tableau 5**). Dans notre étude, le RTI estimé d'excès par mSv pour tous les cancers excepté le cancer du cerveau après scanner du cerveau, était de 0,035 (intervalle de confiance 95% 0,026 à 0,042), basé sur une période de latence d'un an (**tableaux 8 et 9**). Aucune estimation comparable n'est actuellement disponible à partir de l'étude britannique. A partir de notre étude, nous avons estimé le RTI par mSv soit 0,027 (0,017 à 0,037) (de dose efficace) pour tous les cancers solides autres que le cancer du cerveau, basé sur une période de latence de 10 ans (**tableau 9**). Cette valeur était plus élevée que l'estimation correspondante de l'étude LSS (0,003 (de 0,002 à 0,006), basée sur la dose au côlon; (communication personnelle de Mark Little (National Cancer Institute), Mars 2013). Cette comparaison est toutefois soumise à de nombreuses incertitudes.

Pour les périodes de décalage de un, cinq et dix ans, le taux d'incidence de tous les cancers combinés est augmenté de 24%, 21% et 18%, respectivement, dans le groupe exposé au scanner par rapport au groupe non exposé (**tableau 3**). Les estimations du nombre de cancers en excès attribuables à la tomodensitométrie pour ces trois périodes de latence étaient 608, 402 et 209, respectivement. Ces excès sont, au plus, 1% des 60 674 cancers observés à ce jour dans cette cohorte de 10,9 millions de personnes. Après exclusion des cancers du cerveau suite à scanner du cerveau, nous avons constaté que, au 31 Décembre 2007, il y avait un cancer en excès pour 1800 tomodensitométries sur la base d'une période de latence d'un an, et un cancer en excès pour chaque 2200 tomodensitométrie sur la base d'une période de latence de 10 ans (**tableau 8**).

À la fin de notre actuel suivi, les membres les plus âgés de l'étude étaient seulement au début de la quarantaine, alors que de nombreux cancers sont encore rares. Pourtant, le taux d'incidence de l'excès absolu (TEI) pour tous les cancers solides autres que le cancer du cerveau après scanner cérébral augmente avec le temps écoulé depuis l'exposition (**tableau 5**, $p = 0,01$ pour la tendance), suggérant que le nombre de cancers en excès parmi la cohorte exposée va probablement augmenter dans les années à venir, ce qui augmentera le risque final pour la vie entière. Nos résultats sont aussi généralement compatibles avec la théorie linéaire sans seuil (c'est à dire qu'il n'y a pas de dose seuil en dessous de laquelle le risque serait nul). Ainsi, nos résultats justifient les inquiétudes au sujet des risques de l'exposition tomodensitométrie dans l'enfance et l'adolescence, ¹⁻⁴⁻¹⁰⁻¹¹⁻⁴² et étayaient aussi les inquiétudes au sujet des risques dus aux expositions par scanner pendant la vie adulte.

Conclusions et implications pratiques

Les praticiens auront de plus en plus besoin de peser les avantages incontestables de la tomodensitométrie dans la pratique clinique face aux risques potentiels pour justifier chaque

décision de scanner ¹¹⁻⁴³⁻⁴⁴⁻⁴⁵⁻⁴⁶. Heureusement, de nombreux radiologues sont maintenant conscients des risques, et les progrès technologiques ont déjà permis aux doses de tomodensitométrie d'être réduites au dessous de celles utilisées dans les décennies précédentes. ¹²⁻¹³ Cependant, les outils de décision pour évaluer objectivement la nécessité d'un scanner ⁴⁷ ne sont toujours pas utilisés en routine, par exemple, un traumatisme crânien mineur ou une suspicion d'appendicite sont souvent gérés à l'aide d'un scanner plutôt que par l'observation, l'échographie ou l'imagerie par résonance magnétique. ⁴⁸ L'imagerie pour un traumatisme crânien représente encore la plupart des scanners chez les enfants. ⁴⁸⁻⁴⁹ Il est temps de signaler à la communauté au sens large, ainsi qu'aux médecins non radiologistes qui ordonnent la plupart des scanners, les risques potentiels. Toutes les parties, y compris les patients et les familles, ⁵⁰ ont besoin de travailler ensemble pour s'assurer que les tomodensitométries soient limitées aux situations où il y a une indication clinique précise, et que chaque scanner soit optimisé pour fournir une image diagnostique TDM avec la dose d'irradiation la plus faible possible.

Qu'est-ce qui est déjà connu sur ce sujet

- Le nombre de tomodensitométries a considérablement augmenté depuis les années 1980. Bien que de fortes doses de rayonnements ionisants soient connues pour induire le cancer, il existe une incertitude sur les risques à la suite des doses plus faibles des tomodensitométries (5-50 mGy par organe).
- Une étude récente de 180 000 jeunes exposés à la tomodensitométrie au Royaume-Uni a constaté une augmentation du risque de leucémie et de cancer du cerveau [en relation] avec l'augmentation de la dose de rayonnement.
-

Ce qu'ajoute cette étude

- Parmi les 680 000 Australiens exposés à un scanner entre 0 et 19 ans, l'incidence du cancer a augmenté de 24% (intervalle de confiance 95% 20% à 29%) par rapport à l'incidence chez plus de 10 millions de personnes non exposées. L'augmentation proportionnelle du risque était évidente à de courts intervalles après l'exposition et était plus élevée chez les personnes exposées à un plus jeune âge.
- Au 31 Décembre 2007, avec une moyenne de suivi de 9,5 ans après l'exposition, le taux d'incidence de cancer en excès absolu était de 9,38 pour 100 000 personnes-années à risque.
- Les taux d'incidence ont été augmentés pour la plupart des types de cancer solide, et pour les leucémies, myélodysplasies, et d'autres cancers lymphoïdes.
-

Références

- 1 **Brenner DJ**, Elliston CD, Hall EJ, Berdon WE. Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT. *AJR Am J Roentgenol* 2001;176:289-96.
- 2 **Berrington de González A**, Darby S. Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries. *Lancet* 2004;363:345-51.
- 3 **Brenner DJ**, Hall EJ. Computed tomography—an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med* 2007;357:2277-84.
- 4 **Berrington de González A**, Mahesh M, Kim KP, Bhargavan M, Lewis R, Mettler F, et al. Projected cancer risks from computed tomographic scans performed in the United States in 2007. *Arch Intern Med* 2009;169:2071-7.
- 5 **Fazel R**, Krumholz HM, Wang YF, Ross JS, Chen J, Ting HH, et al. Exposure to low-dose ionizing radiation from medical imaging procedures. *N Engl J Med* 2009;361:849-57.
- 6 **Lauer MS**. Elements of danger—the case of medical imaging. *N Engl J Med* 2009;361:841-3.
- 7 **Smith-Bindman R**. Is computed tomography safe? *N Engl J Med* 2010;363:1-4.
- 8 **United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation**. UNSCEAR 2008 report to the General Assembly. United Nations, 2010.
- 9 **Brady Z**, Cain TM, Johnston PN. Paediatric CT imaging trends in Australia. *J Med Imaging Radiat Oncol* 2011;55:132-42.
- 10 **Pearce MS**. Patterns in paediatric CT use: an international and epidemiological perspective.

J Med Imaging Radiat Oncol 2011;55:107-9.

11 **Brady Z**, Cain TM, Johnston PN. Justifying referrals for paediatric CT. *Med J Aust* 2012;197:95-8.

12 **Pearce MS**, Salotti JA, Little MP, McHugh K, Lee C, Kim KP, et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. *Lancet* 2012;380:499-505.

13 **Kim KP**, Berrington de González A, Pearce MS, Salotti JA, Parker L, McHugh K, et al. Development of a database of organ doses for paediatric and young adult CT scans in the United Kingdom. *Radiat Prot Dosimetry* 2012;150:415-26.

14 **World Health Organization**, International Agency for Research on Cancer. Ionizing radiation, part 1: x- and gamma (γ)-radiation, and neutrons. *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum* 2000;75:1-492.

15 **Brenner DJ**, Doll R, Goodhead DT, Hall EJ, Land CE, Little JB, et al. Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation: assessing what we really know. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2003;100:13761-6.

16 **Linnet MS**, Kim KP, Rajaraman P. Children's exposure to diagnostic medical radiation and cancer risk: epidemiologic and dosimetric considerations. *Pediatr Radiol* 2009;39:S4-26.

17 **Shimizu Y**, Kato H, Schull WJ. Studies of the mortality of A-bomb survivors: 9 Mortality, 1950-1985. Part 2. Cancer mortality based on the recently revised doses (DS86). *Radiat Res* 1990;121:120-41.

18 **Preston DL**, Kusumi S, Tomonaga M, Izumi S, Ron E, Kuramoto A, et al. Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part III: leukemia, lymphoma and multiple myeloma, 1950-1987. *Radiat Res* 1994;137:S68-97.

19 **Thompson DE**, Mabuchi K, Ron E, Soda M, Tokunaga M, Ochikubo S, et al. Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part II: solid tumors, 1958-1987. *Radiat Res* 1994;137:S17-67.

20 **National Research Council**, Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII phase 2. National Academies Press, 2006.

21 **Cardis E**, Vrijheid M, Blettner M, Gilbert E, Hakama M, Hill C, et al. Risk of cancer after low doses of ionising radiation: retrospective cohort study in 15 countries. *BMJ* 2005;331:77-80.

22 **National Council on Radiation Protection and Measurements**. Uncertainties in the estimates of radiation risks and probability of disease causation. Report no 171. NCRP, 2012.

23 **Hendee WR**, O'Connor MK. Radiation risks of medical imaging: separating fact from fantasy. *Radiology* 2012;264:312-21.

24 **Socio-economic indexes for areas (SEIFA)**. Technical paper. Cat no 2039.0.55.001. 2006. www.abs.gov.au/AUSSTATS/abs@.nsf/DetailsPage/2039.0.55.0012006?OpenDocument.

25 **Plummer M**. Improved estimates of floating absolute risk. *Stat Med* 2004;23:93-104.

26 **International Commission on Radiological Protection**. The 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. *Ann ICRP* 1990;21:1-201.

27 **Shrimpton PC**, Jones DG, Hillier M, Wall BF, Le Heron JC, Faulkner K. Survey of CT practice in the UK. Part 2-dosimetric aspects. NRPB-R249. National Radiological Protection Board, 1991.

28 **Huda W**, Atherton JV, Ware DE, Cumming WA. An approach for the estimation of effective radiation dose at CT in pediatric patients. *Radiology* 1997;203:417-22.

29 **McLean D**, Malitz N, Lewis S. Survey of effective dose levels from typical paediatric CT protocols. *Australas Radiol* 2003;47:135-42.

30 **Shrimpton PC**, Hillier MC, Lewis MA, Dunn M. Doses from computed tomography (CT) examinations in the UK—2003 review. NRPB-W67. National Radiological Protection Board, 2005.

31 **Galanski M**, Nagel HD, Stamm G. Paediatric CT exposure practice in the Federal Republic of Germany. Results of a nation-wide survey in 2005/06. 2006. www.mh-hannover.de/fileadmin/kliniken/diagnostische_radiologie/download/Report_German_Paed-CT-Survey_2005_06.pdf.

32 **Moss M**, McLean D. Paediatric and adult computed tomography practice and patient dose in Australia. *Australas Radiol* 2006;50:33-40.

33 **Brady Z**. Radiation doses and risks from paediatric computed tomography [Thesis]. Royal Melbourne Institute of Technology University, 2012.

34 **Huda W**, Ogden KM. Computing effective doses to pediatric patients in Computed Tomography. *Pediatr Radiol* 2008;38:415-23.

- 35 **Eden T.** Aetiology of childhood leukaemia. *Cancer Treat Rev* 2010;36:286-97.
- 36 **Gatti RA,** Boder E, Vinters HV, Sparkes RS, Norman A, Lange K. Ataxia-telangiectasia: an interdisciplinary approach to pathogenesis. *Medicine* 1991;70:99-117.
- 37 **Lee Y,** Miller HL, Jensen P, Hernan R, Connelly M, Wetmore C, et al. A molecular fingerprint for medulloblastoma. *Cancer Res* 2003;63:5428-37.
- 38 **Singh G,** Driever PH, Sander JW. Cancer risk in people with epilepsy: the role of antiepileptic drugs. *Brain* 2005;128:7-17.
- 39 **White KS.** Helical/spiral CT scanning: a pediatric radiology perspective. *Pediatr Radiol* 1996;26:5-14.
- 40 **Preston DL,** Ron E, Tokuoka S, Funamoto S, Nishi N, Soda M, et al. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998. *Radiat Res* 2007;168:1-64.
- 41 **Olsen JH,** Hahnemann JM, Børresen-Dale AL, Brøndum-Nielsen K, Hammarström L, Kleinerman R, et al. Cancer in patients with ataxia-telangiectasia and in their relatives in the Nordic countries. *J Natl Cancer Inst* 2001;93:121-7.
- 42 **Frush DP,** Donnelly LF, Rosen NS. Computed tomography and radiation risks: what pediatric health care providers should know. *Pediatrics* 2003;112:951-7.
- 43 **Frush DP.** Responsible use of CT. *Radiology* 2003;229:289-91.
- 44 **Remedios DJ,** Seymour B. Making the best use of clinical radiology. *BMJ* 2011;342:d1951.
- 45 **Brenner DJ,** Hall EJ. Cancer risks from CT scans: now we have data, what next? *Radiology* 2012;265:330-1.
- 46 **Einstein AJ.** Beyond the bombs: cancer risks of low-dose medical radiation. *Lancet* 2012;380:455-7.
- 47 **Osmond MH,** Klassen TP, Wells GA, Correll R, Jarvis A, Joubert G, et al. CATCH: a clinical decision rule for the use of computed tomography in children with minor head injury. *CMAJ* 2010;182:341-8.
- 48 **Nigrovic LE,** Schunk JE, Foerster A, Cooper A, Miskin M, Atabaki SM, et al. The effect of observation on cranial computed tomography utilization for children after blunt head trauma. *Pediatrics* 2011;127:1067-73.
- 49 **Jackson D,** Ditchfield M, Goergen SK. Trans-Tasman CT dose audit. Asian Oceanian Congress of Radiology, Royal Australian and New Zealand College of Radiologists Annual Scientific Meeting, 2 September 2012. Wiley, 2012.
- 50 **Picano E.** Informed consent and communication of risk from radiological and nuclear medicine examinations: how to escape from a communication inferno. *BMJ* 2004;329:849-51.