

14. L'OPTIMISATION DE LA RADIOPROTECTION DU PATIENT EN RADIOLOGIE : UNE APPROCHE DU CALCUL DU RISQUE SPECIFIQUE PAR SEXE ET PAR AGE

M.-C. De Sousa⁽¹⁾⁽²⁾, C. Lefaure⁽¹⁾, J.-P. Degrange⁽¹⁾, B. Aubert⁽²⁾

⁽¹⁾ Centre d'étude sur l'Evaluation de la Protection dans le domaine Nucléaire,
Fontenay-aux-Roses (92)

⁽²⁾ Institut Gustave-Roussy, Villejuif (94)

INTRODUCTION : Le niveau d'exposition du patient pour les procédures de radiologie diagnostique et de radiologie interventionnelle varie de quelques micro sieverts, par exemple en radiologie dentaire, à quelques centaines de milli sieverts rencontrés en radiologie interventionnelle [UNSCEAR, 2000(a)]. Ces niveaux de "dose efficace" qui concernent le domaine de la radioprotection du patient appartiennent au domaine des faibles doses.

La dose reçue par les patients au cours de ces examens est mesurée dans le but d'évaluer le risque radiologique associé à l'exposition aux rayonnements ionisants. La modélisation du risque radiologique pour les effets stochastiques observés aux faibles doses a été construite par divers organismes de radioprotection internationaux et nationaux (UNSCEAR, BEIR, NCRP, NRPB, RERF, ...). Cette modélisation s'appuie sur les connaissances scientifiques acquises en épidémiologie (mise en évidence d'un excès de risque statistiquement significatif) et en radiobiologie (effets des faibles doses et débits de dose, effets héréditaires...), ainsi que sur des hypothèses là où le doute scientifique persiste (relation dose-effet linéaire sans seuil...). Les coefficients de risque établis par la CIPR – Commission Internationale de Protection Radiologique – dans ses publications 60 [CIPR, 1991] et 73 [CIPR, 1996] résultent d'un consensus sur les différents modèles mathématiques de calcul du risque sur la vie entière qui ont été proposés par ces divers organismes de radioprotection.

Deux indicateurs de risque peuvent être évalués d'après les données de la CIPR (tableau I) : le "risque vie entière de décès par cancer radio-induit" et le "détriment agrégatif".

Tableau I : Coefficient de risque "nominal" pour les effets stochastiques dans la "population de référence mondiale générale" exprimé par unité de dose efficace (en % Sv⁻¹) [CIPR, 1991].

Cancer mortel	Cancer non mortel	Effet héréditaire	Total (détriment agrégatif)
5,0	1,0	1,3	7,3

Le "risque vie entière de décès par cancer radio-induit" est défini pour le corps entier par le produit du coefficient de risque égal à 5 % Sv⁻¹ et de la "dose efficace". Par ailleurs le "détriment agrégatif" est

défini comme la somme des probabilités d'apparition d'un cancer mortel, d'un cancer non mortel et d'un effet héréditaire. Cette grandeur est définie pour le corps entier par le produit du coefficient de risque égal à $7,3 \% \text{ Sv}^{-1}$ et de la "dose efficace".

PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIF : Le risque radiologique dépend du sexe et de l'âge de l'individu exposé, ainsi que du type d'exposition. L'exposition du patient en radiodiagnostic est caractérisée par une exposition partielle du corps (seuls certains organes sont dans le champ du faisceau de rayons X) et une répartition des examens qui dépend de l'âge et du sexe. Par exemple la mammographie ne concerne que la femme, et la majorité des examens sont plutôt réalisés chez les sujets d'âge jeune ou bien d'âge avancé (Tableau 14 p.364 ; [UNSCEAR, 2000(a)]). Cependant, le coefficient de risque défini par la CIPR est dit "nominal", c'est-à-dire qu'il ne permet d'effectuer un calcul du risque que pour une population moyenne dite "population générale de référence mondiale". En effet, le coefficient de risque de la CIPR résulte de la moyenne des coefficients de risque obtenus séparément pour les deux sexes, pour des âges à l'exposition allant du nouveau-né à 90 ans, et pour deux méthodes de projection du risque sur la vie entière et de transfert de risque à partir de cinq populations nationales différentes. Par conséquent, le concept de "dose efficace" et celui de "risque nominal" qui lui correspond, ne permettent pas de prendre en compte les spécificités de l'exposition du patient en radiodiagnostic puisque la méthode de la moyenne gomme les effets du sexe, de l'âge et de l'origine démographique du patient. Sur cet aspect, la CIPR elle-même reconnaît que la "dose efficace" n'est pas adaptée à l'exposition des patients en radiodiagnostic et émet la recommandation suivante :

(§32 ; [CIPR, 1991]) : "la dose équivalente ainsi que la dose efficace sont toutes les deux destinées à être utilisées en protection radiologique, ce qui inclut l'estimation de risques en termes généraux. (...) Pour l'estimation des conséquences probables d'une exposition affectant une population connue, il sera parfois plus approprié d'utiliser la dose absorbée et des données spécifiques liées à l'efficacité biologique relative des rayonnements concernés et les coefficients de probabilité liés à la population exposée."

L'objectif de cette étude est donc de proposer une approche de calcul du risque vie entière qui soit mieux adaptée à l'exposition des patients en radiologie [De Sousa, 2002]. Il s'agit d'effectuer un calcul de risque vie entière spécifique par type de cancer (et donc par organe associé), le risque vie entière total au corps entier étant calculé comme la somme des risques spécifiques par type de cancer. La particularité de cet indicateur est qu'il prend en compte le sexe et l'âge de l'individu exposé, ainsi que son origine démographique.

MÉTHODOLOGIE : Le logiciel ASQRAD [Degrange, 1997] a été utilisé pour élaborer les coefficients de risque vie entière spécifiques par organe, sexe et âge pour la population Française.

Nous avons déterminé les coefficients de risque vie entière spécifiques pour deux indicateurs de risque vie entière. Le "risque vie entière de décès par cancer radio-induit" est noté REID pour l'abréviation

anglaise "Risk of Exposure-Induced Death". Il s'exprime en "nombre de cas pour 100 000 personnes". La "perte d'espérance de vie" est notée LLE pour l'abréviation anglaise "Loss of Life Expectancy". Elle s'exprime en "années pour 100 000 personnes".

Les calculs ont été effectués à l'aide des modèles exposition-excès de risque retenus par l'UNSCEAR en 1994 [UNSCEAR, 1994] pour les cancers des organes suivants : "moelle osseuse", "œsophage", "estomac", "côlon", "foie", "poumon", "vessie", "sein", "ovaire" et "autres cancers solides". Pour le modèle de la thyroïde, c'est le modèle spécifique du NRPB [NRPB, 1993] qui a été retenu dans la mesure où l'UNSCEAR en 1994 ne proposait pas de modèle pour la thyroïde alors que cet organe bien localisé anatomiquement, peut se situer à l'intérieur, en limite ou à l'extérieur du champ du faisceau de rayons X selon le type d'examen qui est réalisé. Les calculs ont été effectués dans le cas de l'homme et dans celui de la femme, pour des âges à l'exposition allant de l'âge du nouveau-né à 70 ans, et avec les données en mortalité par cancer de base que l'on peut supposer caractériser la population Française actuelle (données transversales France 1994). La "dose équivalente à l'organe" a été fixée à 10 mSv quel que soit l'organe ou le groupement d'organes ("autres cancers solides") pour lequel il existe un modèle exposition-excès de risque spécifique. La période de latence et la période d'expression du risque propre à chaque type de cancer, ainsi que le facteur de réduction d'efficacité de la dose et du débit de dose, ont été fixés en retenant les valeurs proposées dans les modèles mathématiques de calcul du risque vie entière de l'UNSCEAR et du NRPB.

RÉSULTATS : En ce qui concerne les résultats obtenus en terme de REID, la figure 1 montre, en fonction de l'âge à l'exposition et pour chacun des deux sexes, les histogrammes cumulés des risques vie entière de décès par cancer radio-induit spécifiques par type de cancer (et donc par organe associé), que nous noterons $REID_{organe}$. A titre de comparaison, l'histogramme cumulé correspondant aux valeurs de la CIPR est également indiqué et on y retrouve une amplitude de l'histogramme cumulé égale au coefficient de risque vie entière total au corps entier, soit $5\% Sv^{-1}$.



Figure 1 : Histogrammes cumulés des risques vie entière de décès par cancer radio-induit spécifiques par type de cancer en fonction de l'âge à l'exposition.

Deux remarques peuvent être faites sur ces histogrammes, qui s'appliquent aussi bien dans le cas de l'homme que celui de la femme. D'une part, le risque vie entière total décroît de manière exponentielle en fonction de l'âge à l'exposition. D'autre part, le classement des organes à risque dépend de l'âge à l'exposition. Sur ce dernier point, dans le cas particulier de la femme, la contribution du risque vie entière spécifique au cancer du sein et celle du risque vie entière spécifique à la catégorie des autres cancers solides sont importantes aux âges à l'exposition jeunes et diminuent quand l'âge à l'exposition augmente. C'est le cas également, dans une moindre mesure, des risques vie entière spécifiques aux cancers du côlon et de l'ovaire. A l'inverse, la contribution du risque vie entière spécifique au cancer du poumon est faible aux âges jeunes et augmente quand l'âge à l'exposition augmente.

Les coefficients de risque primaires utilisés par l'UNSCEAR en 1994 pour la modélisation du risque vie entière sont issus du suivi des survivants Japonais des bombes atomiques envoyées en 1945 à Hiroshima et Nagasaki. A défaut d'avoir quantifié l'incertitude associée au calcul du risque vie entière spécifique par organe, nous avons étudié l'influence de certains paramètres qui interviennent dans le calcul du risque vie entière et pour lesquels il est nécessaire de faire des hypothèses (type de transfert de risque entre la population Japonaise pour laquelle les coefficients de risque primaires ont été établis et la population Française pour laquelle on veut estimer un risque, type de projection du risque sur la vie entière, type de taux de base de mortalité par cancer, forme du modèle exposition-excès de risque relatif...). Dans le cas particulier du cancer du sein chez le nouveau-né, il apparaît que le risque vie entière estimé selon la méthode présentée ci-dessus pourrait être surestimé d'un facteur compris entre 2 et 4, selon le paramètre étudié et les hypothèses alternatives utilisées.

CONCLUSION : Ce travail a permis de proposer un indicateur de risque vie entière qui tient compte des spécificités de l'exposition du patient en radiologie, et qui est donc mieux adapté que le concept de la "dose efficace" défini par la CIPR. Le jeu de valeurs des coefficients de risque vie entière, spécifiques d'une origine démographique donnée, et tabulées par sexe, par âge à l'exposition et par type de cancer (et donc par organe correspondant) constitue un outil opérationnel d'aide à l'optimisation de la radioprotection du patient en radiologie. Toutefois, le gain en spécificité obtenu avec cette approche de calcul du risque vie entière spécifique par type de cancer est sans doute contrebalancé par une perte de précision sur son estimation. C'est pourquoi, il serait utile de quantifier les incertitudes associées à l'estimation du risque vie entière spécifique afin de déterminer la précision de leur estimation. Enfin, les données épidémiologiques concernant la population Japonaise des survivants d'Hiroshima et Nagasaki ne sont pas les mieux adaptées pour évaluer le risque radiologique de patients appartenant à des populations occidentales, notamment pour des sièges de cancer (sein, estomac...) dont l'incidence

très différente entre ces populations rend l'estimation du risque très sensible au type de transfert du risque retenu entre ces deux populations. C'est pourquoi, il serait intéressant de faire le point sur les données épidémiologiques disponibles concernant les expositions médicales de patients appartenant à des populations occidentales, et d'étudier la possibilité d'établir sur la base de ces données, des modèles de calcul du risque vie entière mieux adaptées.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[CIPR, 1991] CIPR, Commission Internationale de Protection Radiologique. Recommandations 1990 de la Commission Internationale de Protection Radiologique. CIPR Publication 60. Pergamon Press, Oxford, Grande-Bretagne. 1991.

[CIPR, 1996] CIPR, Commission Internationale de Protection Radiologique. Protection et Sécurité Radiologiques en Médecine. CIPR Publication 73. Pergamon Press, Oxford, Grande-Bretagne. 1996.

[Degrange et al., 1997] Degrange J.P., Schneider T., Muirhead C., Haylock R. ASQRAD : un logiciel pour l'évaluation du risque radiologique, Produit nouveau. Radioprotection. 32(2):237-244.1997.

[De Sousa, 2002] De Sousa M.C. Contribution à l'Optimisation de la Radioprotection du Patient en Radiologie : de la Mesure en Temps Réel de la Dose en Radiologie Conventiennelle au Calcul du Risque Vie Entière de Décès par Cancer Radio-Induit Spécifique par Sexe et par Age. Thèse. Centre d'Etude sur l'Evaluation de la Protection dans le domaine Nucléaire, Fontenay-aux-Roses. 2002.

[NRPB, 1993] National Radiological Protection Board. Board statement on diagnostic medical exposures to ionising radiation during pregnancy and estimates of late radiation risks to the UK population. Documents of the NRPB, Chilton, UK. 4(4). 1993.

[UNSCEAR, 1994] United Nations. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1994 Report to the General Assembly, with scientific annexes. United Nations sales publication E.94.IX.11. United Nations, New York. 1994.

[UNSCEAR, 2000(a)] United Nations. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2000 Report to the General Assembly, with scientific annexes. Volume I: Sources. United Nations sales publication E.00.IX.3. ISBN: 9211422388. United Nations, New York. 2000.

[UNSCEAR, 2000(b)] United Nations. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2000 Report to the General Assembly, with

scientific annexes. Volume II: Effects. United Nations sales publication E.00.IX.4. ISBN: 9211422396. United Nations, New York. 2000.

L'OPTIMISATION DE LA RADIOPROTECTION DU PATIENT EN RADIOLOGIE : UNE APPROCHE DU CALCUL DU RISQUE SPECIFIQUE PAR SEXE ET PAR AGE

M.-C. De Sousa , C. Lefaure, J.-P. Degrange, B. Aubert

Gestion du risque radiologique

- Principes fondamentaux de la C.I.P.R. -

↳ Justification des pratiques

- générique d'un examen radiologique donné
- d'un examen pour un patient individuel

↳ Optimisation de la radioprotection

Réduction
du risque



Maintien de la
qualité d'image

↑
Évaluation du risque

Évaluation du risque radiologique

le "risque vie entière de décès par cancer radio-induit"
et le "détriment agrégatif" de la C.I.P.R.

Coefficient de risque "nominal" pour les effets stochastiques chez la
"population générale" - par unité de "dose efficace (E)" (en % Sv⁻¹)

Cancer mortel	Cancer non mortel	Effet héréditaire	Total (détriment agrégatif)
5,0	1,0	1,3	7,3

- ↪ Risque vie entière de décès par cancer radio-induit au corps entier = 5% Sv⁻¹ x E
- ↪ Détriment agrégatif au corps entier = 7,3% Sv⁻¹ x E
- ↪ Évaluation "approximative" du détriment agrégatif par type de cancer = 7,3% Sv⁻¹ x W_T x D_T

Problématique

- ↪ **risque = fonction (sexe, âge, type d'exposition)**
- ↪ **exposition du patient en radiodiagnostic :**
 - **exposition partielle du corps**
 - **répartition des examens = fonction (sexe, âge)**

ET POURTANT

Coefficient de risque "nominal" de la C.I.P.R.



calcul du risque pour

**la "population générale de référence mondiale"
(moyenne : 2 sexes, âge 0-90 ans, 2 modèles, 5 pays)**

Objectif

Approche de calcul
C.I.P.R.

Approche de calcul
"spécifique"

Dose à l'organe : D_T

W_T indépendant âge et sexe

$$E = \sum_T W_T \times D_T$$

Coef. = 5% Sv⁻¹

Coef. = 7,3% Sv⁻¹

Risque vie entière
de décès par cancer
radio-induit
au corps entier

Détriment
agrégatif
au corps
entier

pour la population générale
de référence mondiale

Coef_T(s,a)

Risque vie entière de décès par cancer
radio-induit **spécifique par organe**

$$\text{risque}_T(s,a) = \text{coef}_T(s,a) \times D_T$$

Risque vie entière de décès par cancer
radio-induit **total au corps entier**

$$\text{risque}_{\text{total}}(s,a) = \sum_T \text{risque}_T(s,a)$$

pour la population Française

Méthodologie

$$\text{risque}_{\text{total}}(s, a) = \sum_{\text{organe}} \text{risque}_{\text{organe}}(s, a)$$

$$\text{risque}_{\text{organe}}(s, a) = \text{coef}_{\text{organe}}(s, a) \times D_{\text{organe}}$$

Logiciel ASQRAD
(CEPN/NRPB
fin des années 90)



Logiciel
(PCXMC,
ImPACT...)

Indicateur de risque vie entière

(1) Le risque vie entière de décès par cancer radio-induit

→ "Risk of Exposure-Induced Death" - REID
(en nombre de cas pour 100 000 personnes)

$$\text{REID}_{s,c}^{\text{mod,pays}}(a_0, D_c) = \int_{a_0}^{\infty} \Delta m_{s,c}^{\text{mod,pays}}(a|a_0, D_c) \times S_s^*{}^{\text{mod,pays}}(a|a_0, D_c) da$$

(2) La perte d'espérance de vie

→ "Loss of Life Expectancy" - LLE
(en années pour 100 000 personnes)

$$\text{LLE}_{s,c}^{\text{mod,pays}}(a_0, D_c) = \int_{a_0}^{\infty} S_s^{\text{pays}}(a|a_0) da - \int_{a_0}^{\infty} S_s^*{}^{\text{mod,pays}}(a|a_0, D_c) da$$

Paramétrage du logiciel ASQRAD

et

choix des modèles de calcul du risque

spécifique par type de cancer

(par organe)

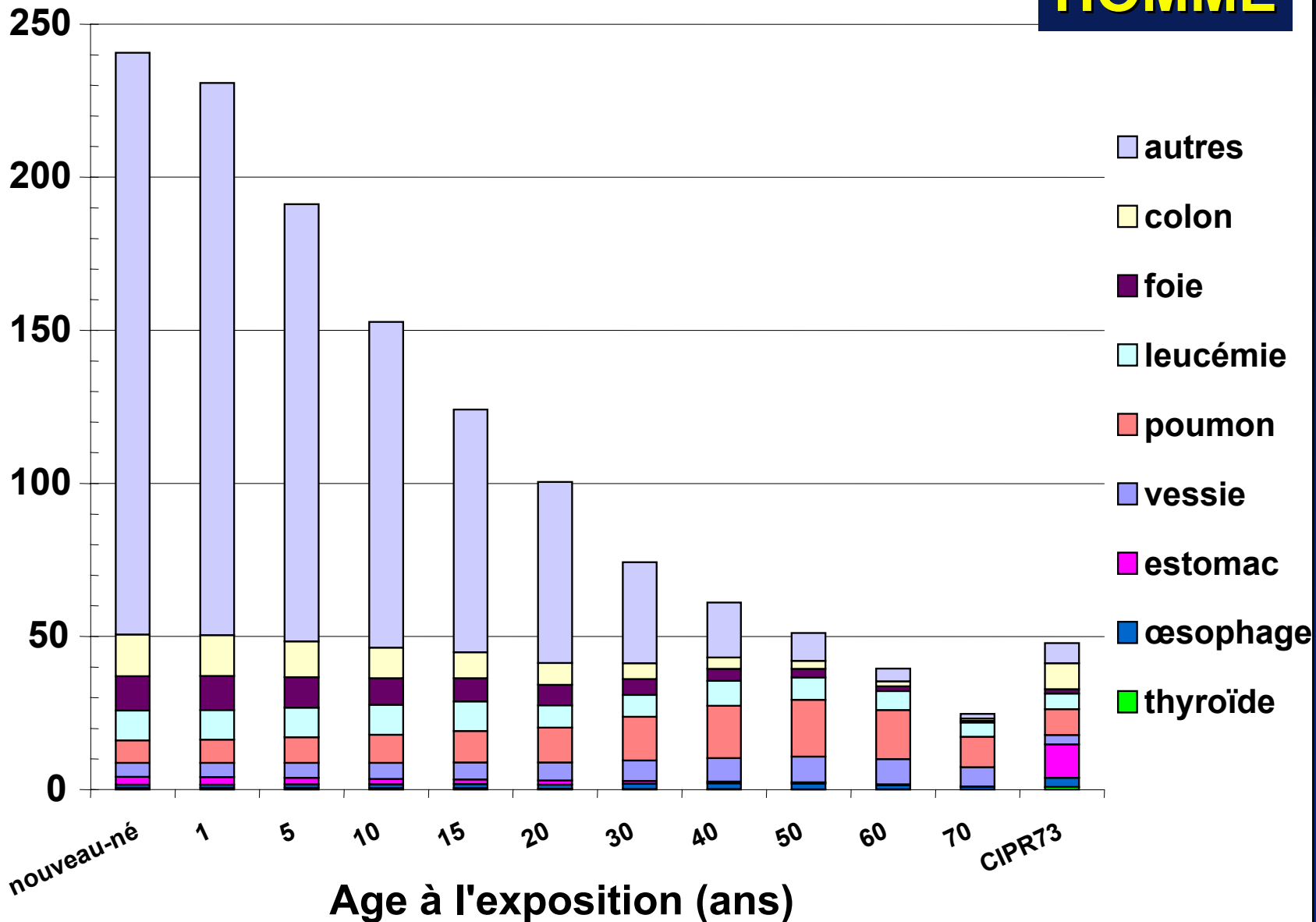
MODELE	UNSCEAR 1994	NRPB 1993	BEIR V 1990	RERF 1988
INDIVIDU	Homme / femme ; âge à l'exposition = 0 à 70 ans ; France 1994			
ORGANE	10 mSv pour tout organe ou groupement d'organes suivants			
	Moelle osseu. Œsophage Estomac Colon Foie Poumon Vessie Sein Ovaire Autres	Moelle osseu. Thyroïde Estomac Colon Foie Poumon Os Sein Peau Autres	Moelle osseu. Sein Syst. digestif Syst. respirat. Autres	Moelle osseu. Œsophage Estomac Colon Poumon Vessie Sein Ovaire Autres
DURÉE ET PLATEAU	10 et 100 ans leuc. : 2 et 100	10 et 100 ans sauf os, leuc, thyr	10 et 100 ans leuc. : 2 et 40	10 et 100 ans leuc. : 2 et 40
INDICE	2 (1 pour leuc.)	2 (1 pour leuc.)	1	2

Résultats

**Histogrammes cumulés
des risques vie entière
de décès par cancer radio-induit
spécifiques par type de cancer
(par organe) - $REID_{organe}$
en fonction de l'âge à l'exposition**

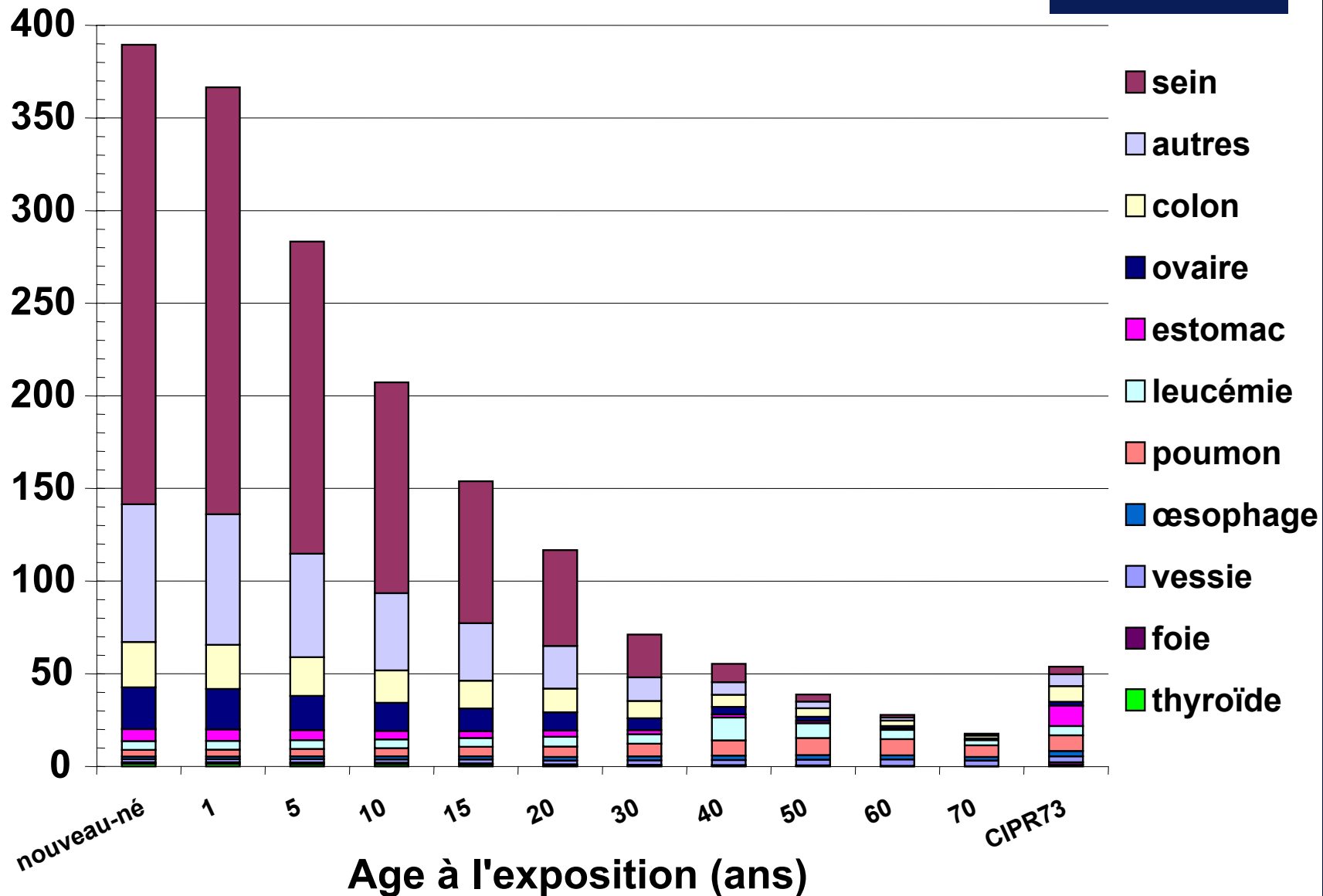
REID_{organe} (pour 100 000 par 10 mSv)

HOMME



REID_{organe} (pour 100 000 par 10 mSv)

FEMME



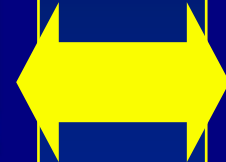
Intérêt du calcul de risque spécifique

AP

PA

LAT_{dte}

LAT_{gche}



Résultats chez l'homme

Age à l'exposition *0an* *10ans* *20ans* *30ans* *40ans* *50ans*

Examen

Abdomen AP/PA

E_{AP}/E_{PA} **1,4** **1,4** **1,6** **1,6** **1,6** **1,6**

$REID_{AP}/REID_{PA}$ **0,97** **0,98** **1,2** **1,3** **1,4** **1,7**

Poumons AP/PA

E_{AP}/E_{PA} **1,4** **1,4** **1,4** **1,4** **1,4** **1,4**

$REID_{AP}/REID_{PA}$ **1,1** **1,0** **0,97** **0,95** **0,93** **0,91**


Poumons LAT_{dte}/LAT_{gche}

$E_{LATdte}/E_{LATgche}$ **1,1** **1,2** **1,2** **1,2** **1,2** **1,2**

$REID_{LATdte}/REID_{LATgche}$ **1,2** **1,2** **1,1** **0,99** **0,93** **0,91**

Conclusion

→ **Élaboration de coefficients de risque vie entière de décès par cancer radio-induit spécifiques par organe, sexe et âge pour la population Française actuelle exposée à un rayonnement externe à faible TEL et de faible dose**

 **Indicateur de risque qui tient compte des spécificités de l'exposition en radiologie = outil opérationnel d'aide à l'optimisation de la radioprotection du patient en radiologie**

 **Gain en spécificité ↔ perte en précision**

Perspectives

- ➔ **Quantification des incertitudes associées à l'estimation du risque vie entière spécifique par organe, par sexe, par âge et pour la population Française**
- ➔ **Le point sur les données épidémiologiques disponibles concernant les expositions médicales des patients pour des populations occidentales**
- ➔ **Réflexion sur un indicateur de risque qui agrégerait le risque d'apparition d'un cancer radio-induit selon son degré de gravité et le risque d'apparition d'effets génétiques**