

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

Apports des études épidémiologiques sur les travailleurs du nucléaire à la connaissance des effets aux faibles doses

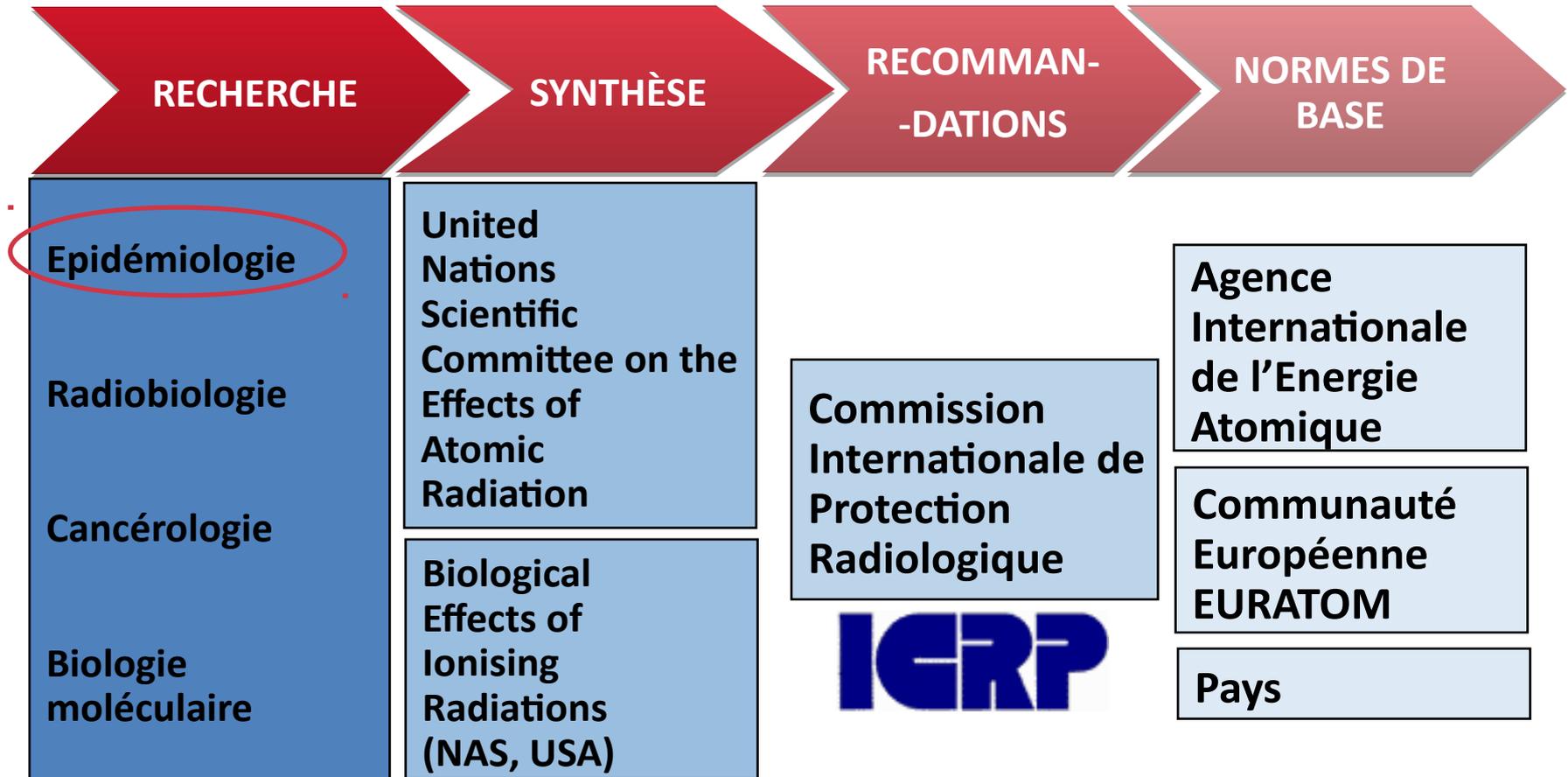
Haut Comité pour la Transparence et l'Information sur le Sécurité Nucléaire

Paris, 07 Décembre 2017

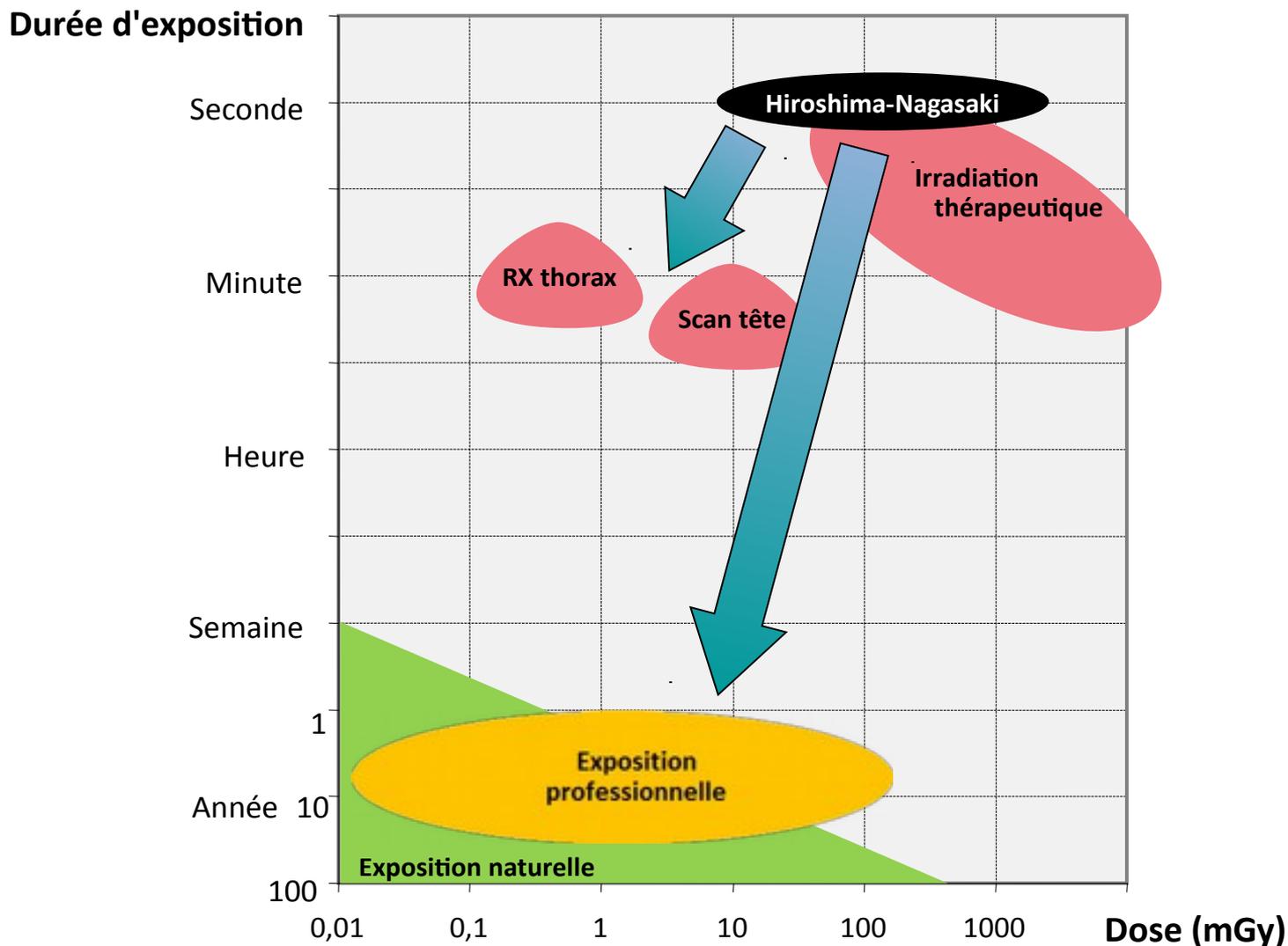
Klervi Leuraud (klervi.leuraud@irsn.fr)

IRSN - Laboratoire d'épidémiologie

Organisation de la Radioprotection



Différentes populations, différents schémas d'exposition



Etudes épidémiologiques conduites à l'IRSN

Industrie nucléaire

- Travailleurs du nucléaire (exposition externe)
- Mineurs d'uranium (exposition interne + externe)
- Travailleurs du cycle de l'uranium (exposition interne + externe)



Expositions médicales

- CT scans et cardiologie interventionnelle chez les enfants
- Cardiologues interventionnels (opacités cristalliniennes)
- Autres travailleurs du secteur médical
- Conséquences de la radiothérapie



Expositions environnementales

- Radioactivité naturelle et leucémies infantiles
- Proximité des installations nucléaires et leucémies infantiles
- Préparation à l'épidémiologie post-accidentelle



Les travailleurs de l'industrie nucléaire

Personnes pouvant être exposées dans le cadre de leur travail dans l'industrie nucléaire ou dans la recherche

- recherche
- applications militaires
- enrichissement et conversion du combustible nucléaire
- production d'énergie nucléaire



Intérêt des études de travailleurs

Population bien définie, depuis les années 40

Effectifs importants

Population stable, bonne qualité de suivi

Surveillance individuelle pour l'exposition externe aux rayonnements ionisants et, lorsque nécessaire, pour les contaminations internes par des radionucléides

➤ **Bonne capacité de quantification de la relation dose-risque pour des expositions faibles répétées de façon chronique**



Boitier PS1 avec une plage nue et 6 filtres

Cohorte française des travailleurs surveillés pour une exposition externe

- Mise en place dans les années 1990
- Salariés du CEA, AREVA NC et EDF ayant porté un dosimètre → exposition externe
- Plus de 59 000 travailleurs
- Suivi de la mortalité sur 25 ans en moyenne
- Age à la fin du suivi de 56 ans
- Dose cumulée moyenne de 18 mSv

➔ Participation à l'étude internationale « INWORKS »

Apport des études sur les travailleurs du nucléaire à la radioprotection : L'étude INWORKS

International Agency for Research on Cancer



INWORKS : Objectifs

Quantifier les risques de décès par cancer et maladies non cancéreuses associés à des doses faibles répétées de RI

- ? Quelle est la relation dose-risque entre les doses cumulées par les travailleurs du nucléaire et la mortalité par cancer solide et par leucémie
- ? Les relations dose-risque observées chez les travailleurs sont-elles cohérentes avec celles observées chez les survivants d'Hiroshima et Nagasaki
- ? Quel est l'apport de ces résultats par rapport au système de radioprotection actuel

INWORKS : Méthodes



National cohort

n = 59 003



UK NRRW

n = 147 866



US combined cohort

n = 101 428

Workers employed at least 1 year and monitored for external exposure to ionizing radiation (individual dosimeters)

- CEA civil
- AREVA NC
- EDF

- UK Atomic Energy Authority
- British Nuclear Fuels plc
- British Energy Generation and Magnox Electric Ltd
- Atomic Weapons Establishment
- Ministry of Defence

- Hanford Site
- Idaho National Laboratory
- Oak Ridge National Laboratory
- Portsmouth Naval Shipyard
- Savannah River Site



International Agency for Research on Cancer
Centre International de Recherche sur le Cancer

308 297 workers

Caractéristiques de la cohorte INWORKS, 1943-2005

Nombre de travailleurs	308 297	
Pourcentage d'hommes	87 %	
Durée moyenne d'emploi (années)	15	
Age moyen en fin de suivi (années)	58	
Durée moyenne de suivi (années)	27	
Nombre total de personnes-années (million)	8,2	
Statut vital		
Vivant	236 913	(76,9 %)
Décédé	66 632	(21,6 %)
par cancer solide	17 957	
par leucémie sauf leucémie lymphoïde chronique	531	
par maladies de l'appareil circulatoire	27 848	
Perdu de vue	4 752	(1,5 %)

Distribution des doses dans INWORKS, 1943-2005

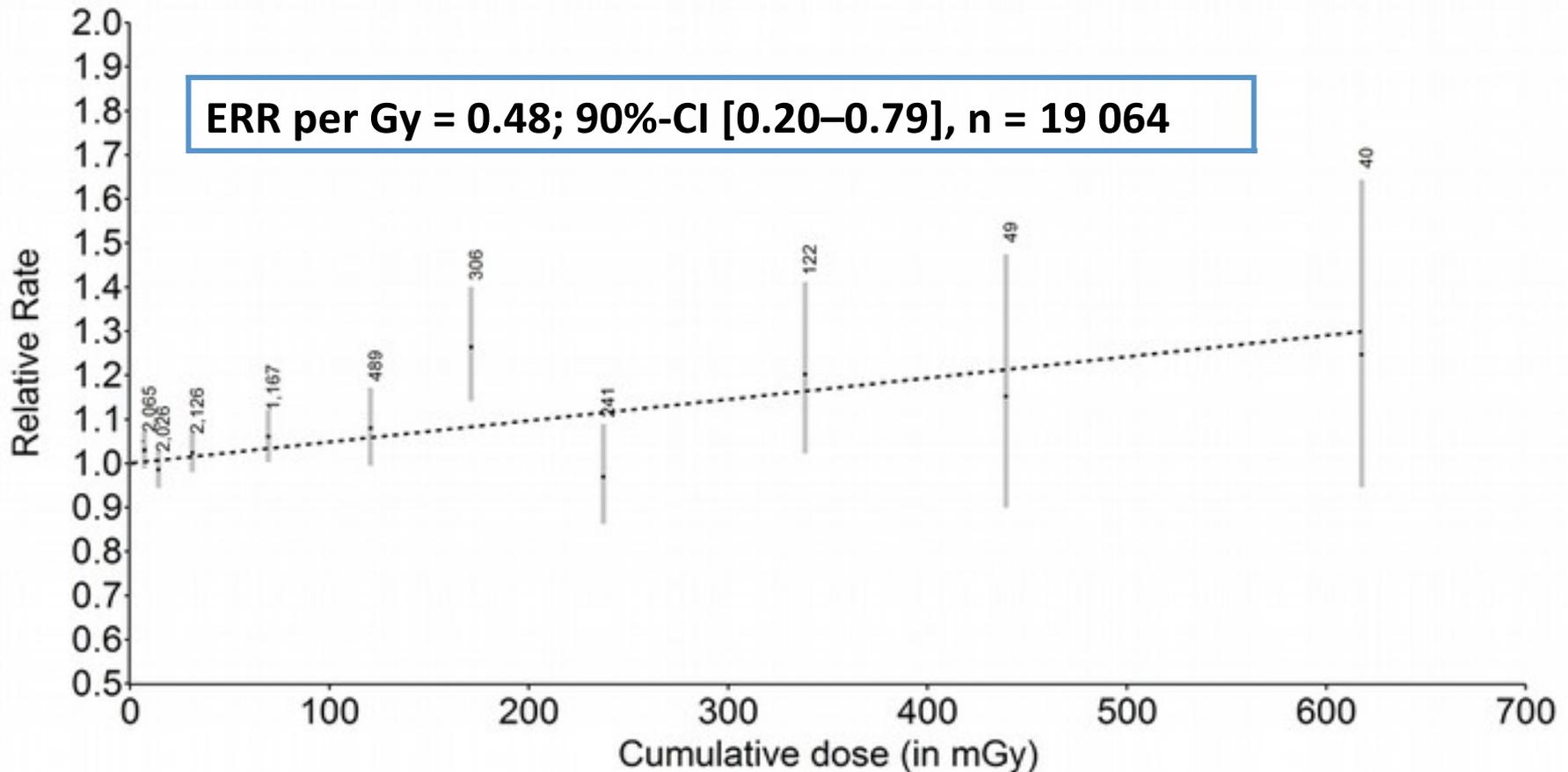
Distribution of individual doses among cohort participants

	$H_p(10)$ dose (mSv)	Colon dose (mGy)	RBM dose (mGy)
Annual doses			
Mean	1.73	1.20	1.09
Cumulative doses			
Mean (range)	25.2 (0.0, 1 932.5)	17.4 (0.0, 1 331.7)	15.9 (0.0, 1 217.5)
Median (IQR)	3.4 (0.4, 18.4)	2.3 (0.3, 12.8)	2.1 (0.3, 11.7)

Values include doses recorded as zero. RBM = red bone marrow. IQR = interquartile range (25th percentile, 75th percentile)

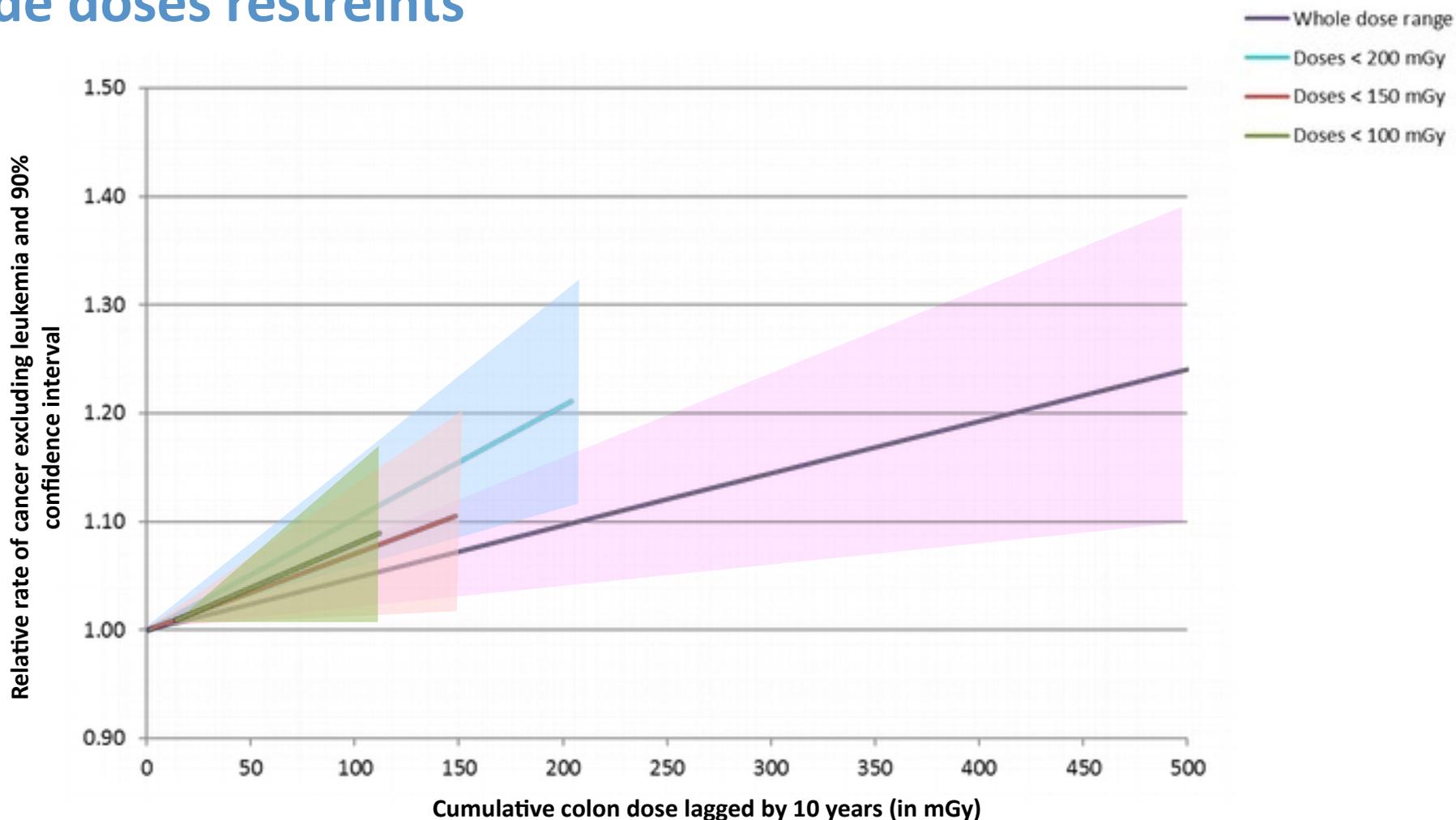
➔ **Faibles doses : 94 % des individus ont cumulé moins de 100 mSv**

Risque de cancer autre que leucémie et dose au côlon



➔ Augmentation du risque relatif avec la dose cumulée

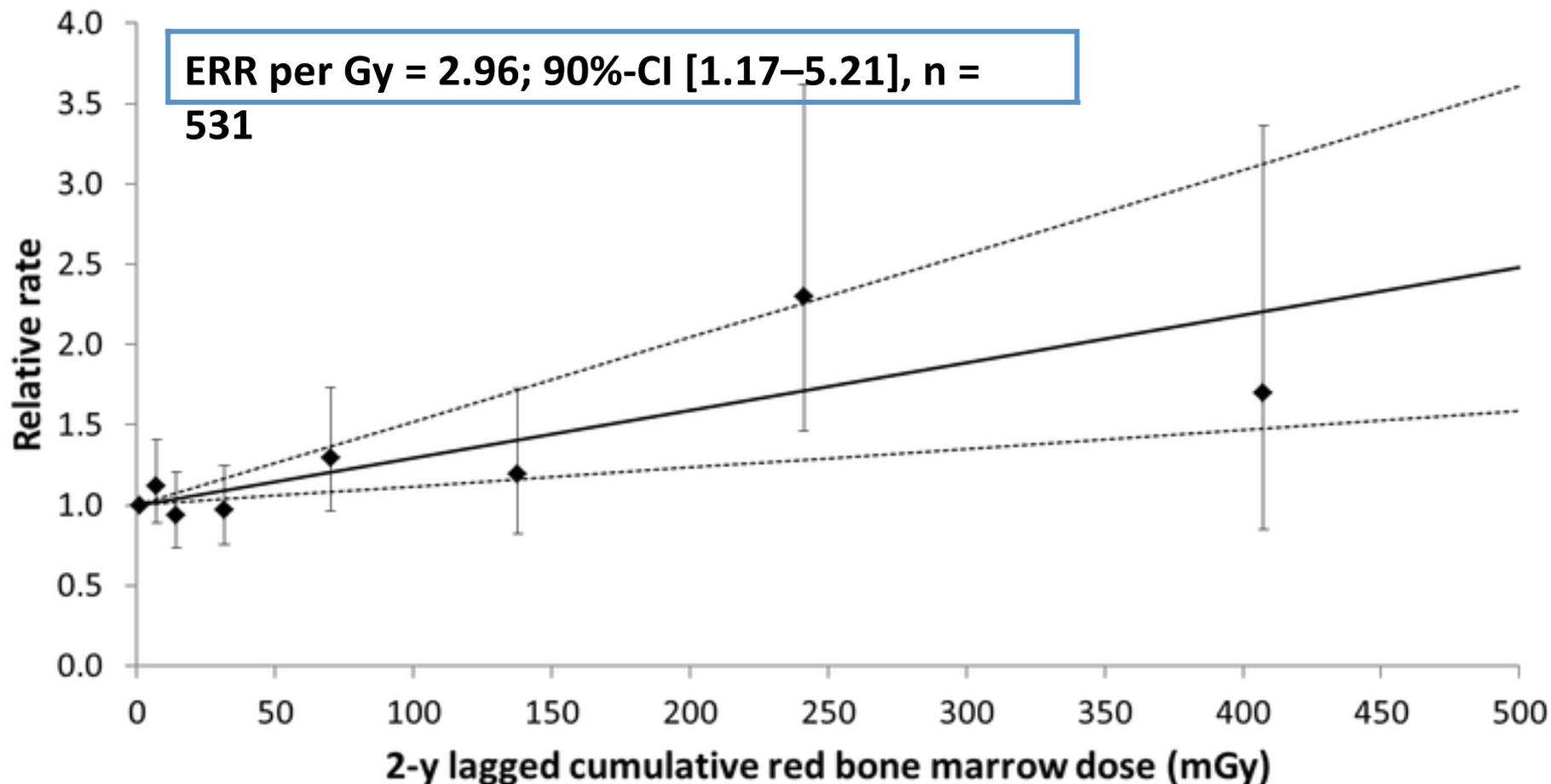
Risque de cancer autre que leucémie pour des intervalles de doses restreints



➔ Relation plus statistiquement significative en dessous de 100 mGy

Risque de leucémie* et dose à la moelle osseuse

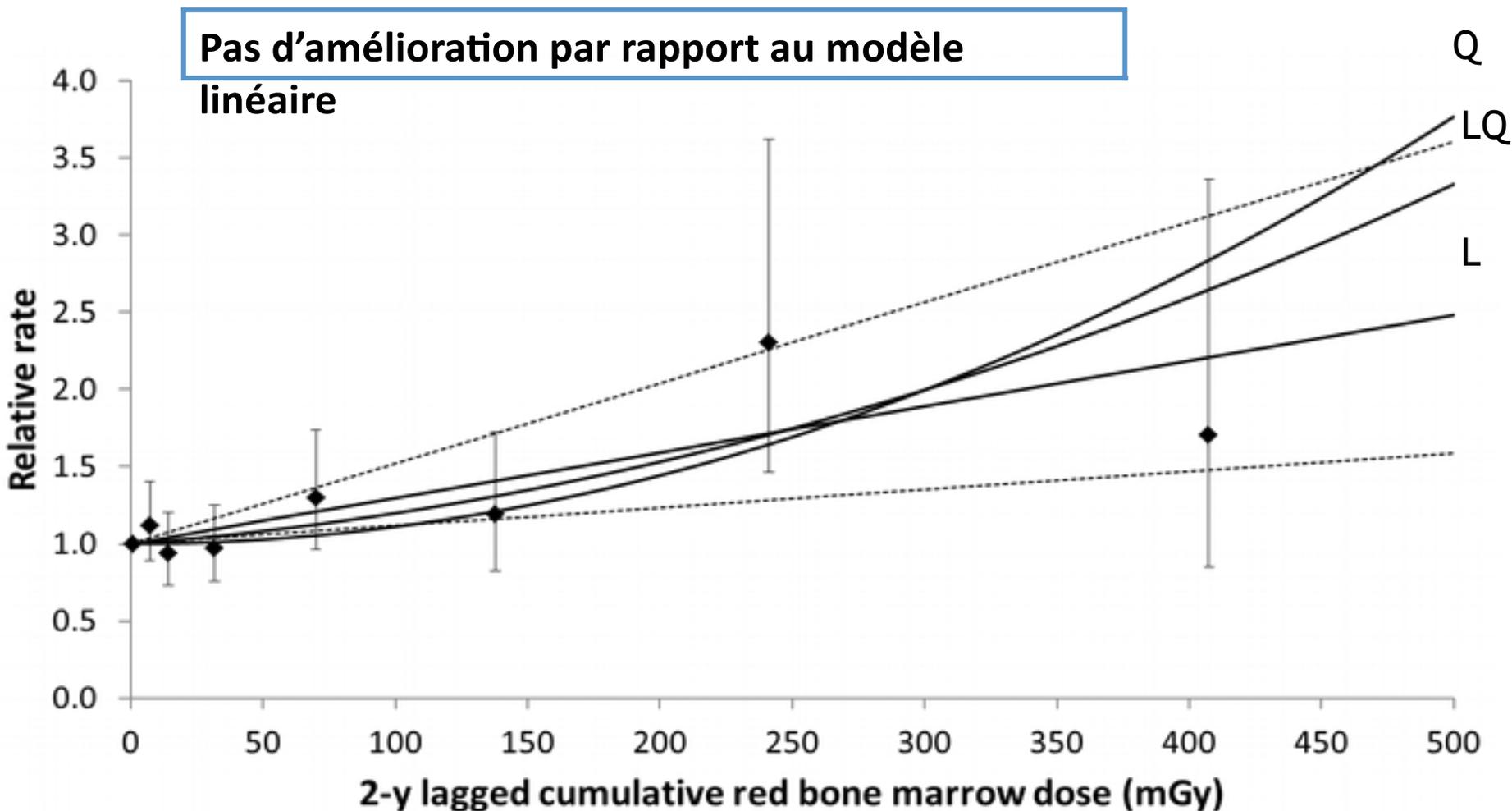
* non lymphoïde chronique



➔ Augmentation du risque relatif avec la dose cumulée

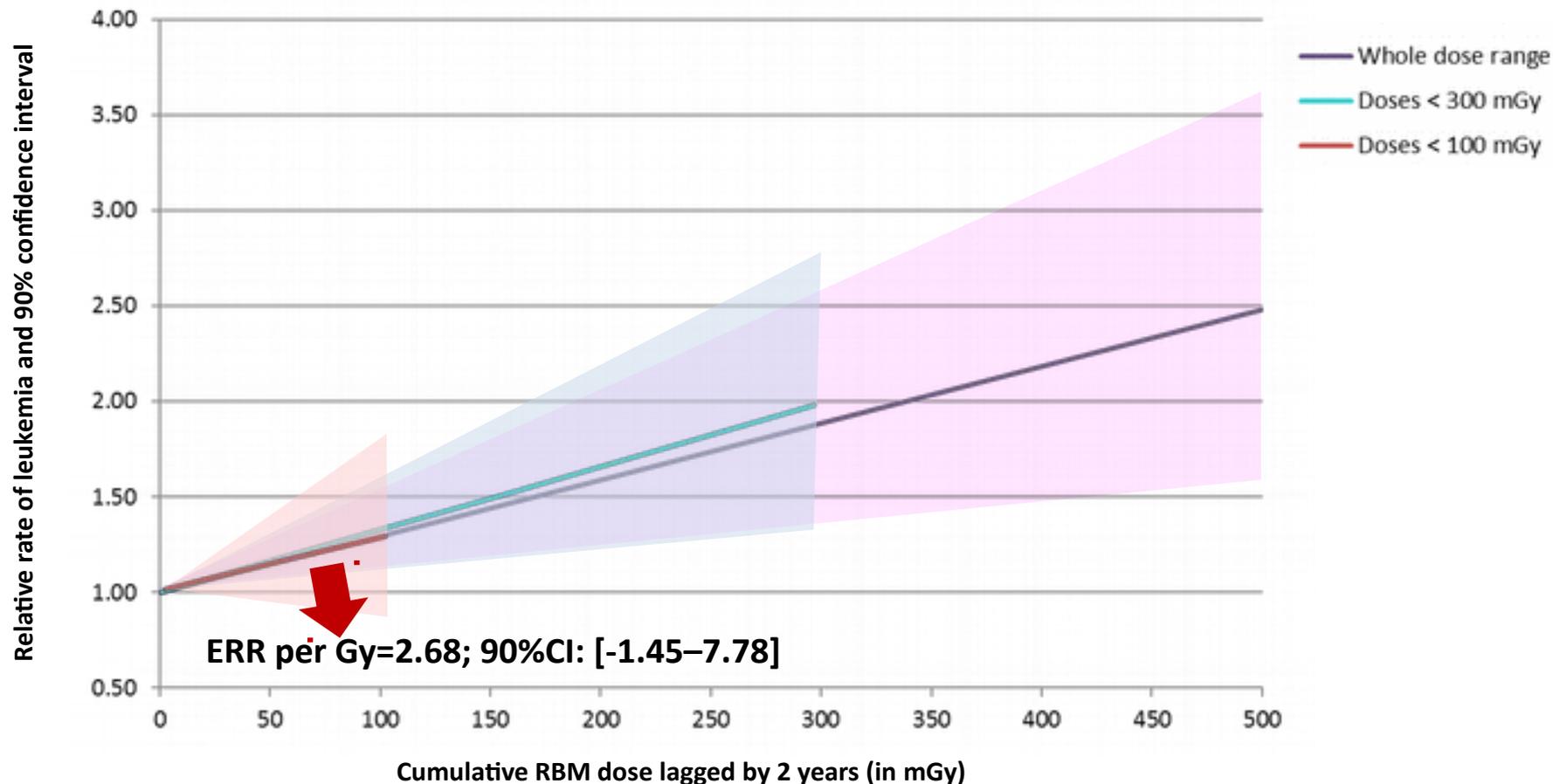
Risque de leucémie* et dose à la moelle osseuse

* non lymphoïde chronique



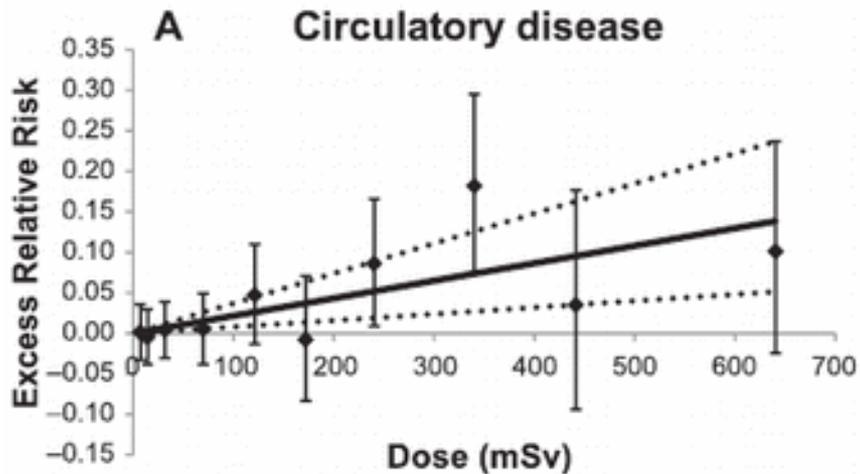
Risque de leucémie* pour des intervalles de doses restreints

* non lymphoïde chronique

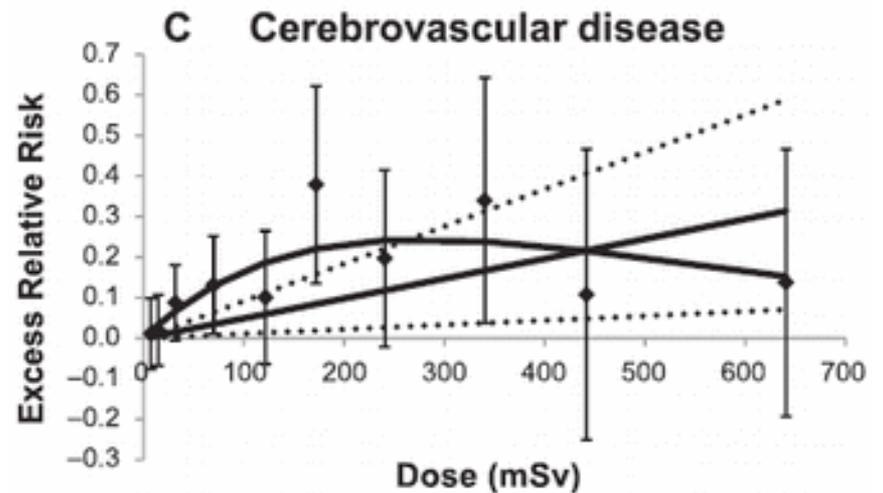
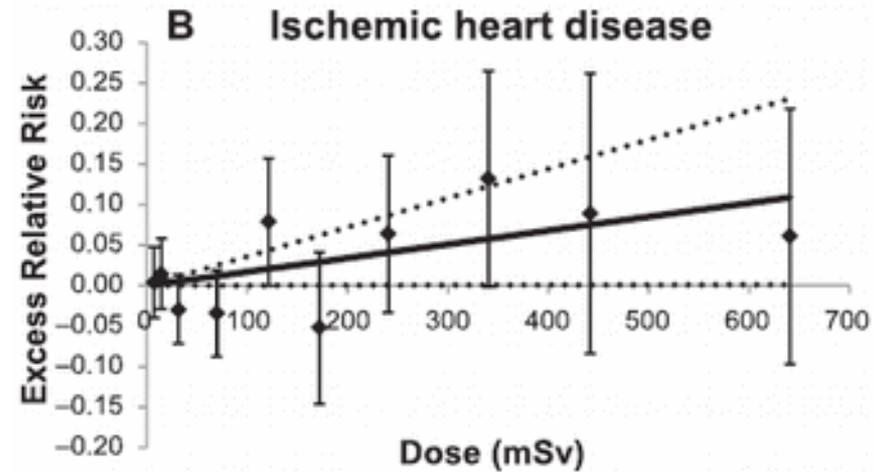


➔ Relation plus statistiquement significative en dessous de 300 mGy

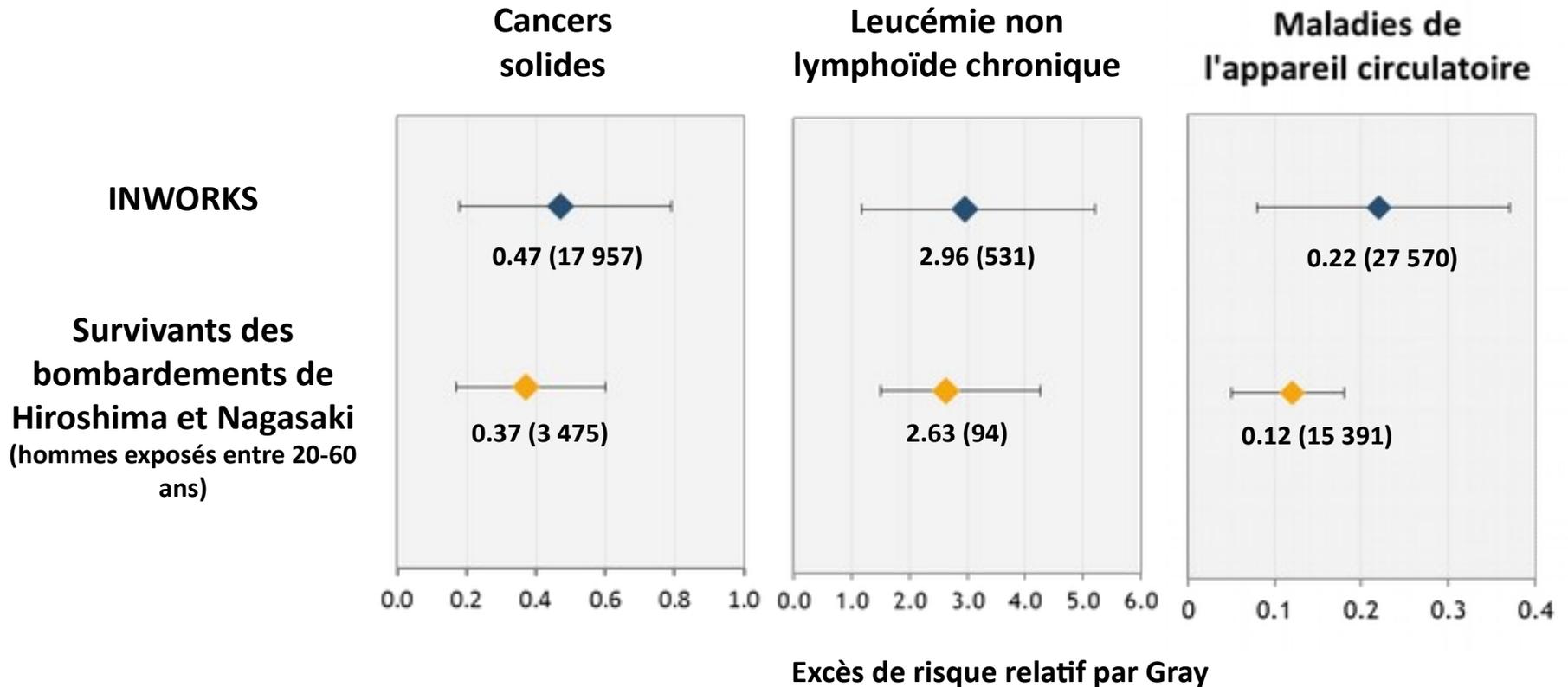
Risque de maladies de l'appareil circulatoire



ERR per Gy = 0.22; 90%-CI [0.08–0.37], n = 27 848



Comparaison des relations dose-risque



➔ Cohérence des coefficients de risque estimés pour les cancers

Discussion (cancers)

- Relations dose-risque observées pour la mortalité par leucémie et par cancers solides associées à une exposition externe chronique aux rayonnements ionisants
- Relation stable (pas d'hétérogénéité entre pays, peu de variation aux analyses de sensibilité)
- Les risques attribuables dérivés sont faibles (1 % de l'ensemble des cancers observés)
- Coefficients de risque cohérents avec ceux dérivés des survivants des bombardement de Hiroshima et Nagasaki
- Résultats compatibles avec l'une des hypothèses sous-jacente au système de radioprotection actuel qui est l'extrapolation du modèle dérivé des survivants des bombardement de Hiroshima et Nagasaki vers des populations exposés de façon répétée à de faibles doses
- Résultats ne sont pas en faveur de l'hypothèse d'un facteur de réduction du risque aux faibles doses / débits de dose (DDREF)

Discussion (non cancers)

- Relations dose-risque observées pour la mortalité par maladies de l'appareil circulatoire (IHD, CeV) associées à une exposition externe chronique aux rayonnements ionisants
- Relation peu stable (hétérogénéité entre entreprises) : nécessité de poursuivre le suivi
- CIPR : considère l'existence d'un seuil à 500 mGy pour l'effet des rayonnements ionisants sur les maladies de l'appareil circulatoires
 - dans INWORKS, effets significatifs sur l'intervalle de doses 0-300 mSv

Limites et avantages de INWORKS

Limites

- Incertitudes dosimétriques (seuil de lecture, neutron, contamination interne)
- Pas d'information sur les autres facteurs de risque (comportements, autres expositions professionnelles...)
- Données de mortalité (pas d'information sur la morbidité)
- Age de fin de suivi limité (moyenne 58 ans)

Avantages

- Protocole standardisé homogène sur les 3 pays
- Homogénéité de qualité des données
- Puissance statistique : 8,2 millions de personnes–années
- Analyses statistiques réalisées par plusieurs partenaires, différentes approches de modélisation, analyses de sensibilité multiples

Conclusions

- Qualité des études de cohortes de l'IRSN : large taille, bonne reconstruction de l'exposition individuelle, longue durée de suivi
- Relation dose-risque observée pour la mortalité par leucémie et par cancers solides associée à une exposition externe chronique aux rayonnements ionisants jusqu'à quelques centaines de mGy
- Résultats importants pour la radioprotection
- Importance de l'implication dans des collaborations aux niveau national
- Nécessité de maintenir le suivi des cohortes sur le long terme
- Nécessité de considérer différentes populations
 - Différentes conditions d'exposition
 - Enfants, adultes, hommes, femmes : radiosensibilité

Merci de votre attention

Ordres de grandeurs des risque attribuables

■ Ordre de grandeur de risque

- Une exposition à 10 mGy multiplie le risque de base par 1.005 pour les cancers autres que leucémies (hypothèse modèle linéaire)
- Une exposition à 10 mGy multiplie le risque de base par 1.03 pour les leucémies (hypothèse modèle linéaire)

■ Nombre de décès en excès attribuables à l'exposition aux RI (estimé sous l'hypothèse d'un modèle linéaire)

- Cancers exc. leucémies : 209 parmi les 19 064 observés ($\approx 1\%$)
- Leucémies : 31 décès en excès parmi les 531 décès observés ($\approx 6\%$)

■ Probabilité additionnelle de décès attribuable à l'exposition aux RI dans la population étudiée

- Pour les cancers exc. leucémies : ≈ 7 pour 10 000 personnes
- Pour les leucémies : ≈ 1 décès pour 10 000 personnes