

Calcul du Détriment Radiologique Travaux du Groupe de Travail 102 de la CIPR

Dominique LAURIER, Enora CLÉRO,
Ludovic VAILLANT, Wei ZHANG, Nobuyuki
HAMADA, Dale PRESTON, Nobuhiko BAN,
pour le Groupe de Travail 102 de la CIPR

SFRP, Congrès national de Radioprotection
18 Juin 2019, La rochelle

Effets stochastiques

Nature

Cancers (quelques années à décennies)

Effets héritables (survenant chez les descendants de personnes irradiées)

Non spécifiques des rayonnements

Mécanisme

Effets liés à la modification d'une ou de quelques cellules (mutation)

Stochastique: survenant de façon aléatoire au sein d'un groupe exposé

Seuil

Augmentation de la fréquence des effets avec la dose, sans lien avec la gravité

Effets sans seuil

Objectif de la Radioprotection

Considérés depuis 1966

Limiter la survenue de ces effets

Détriment radiologique

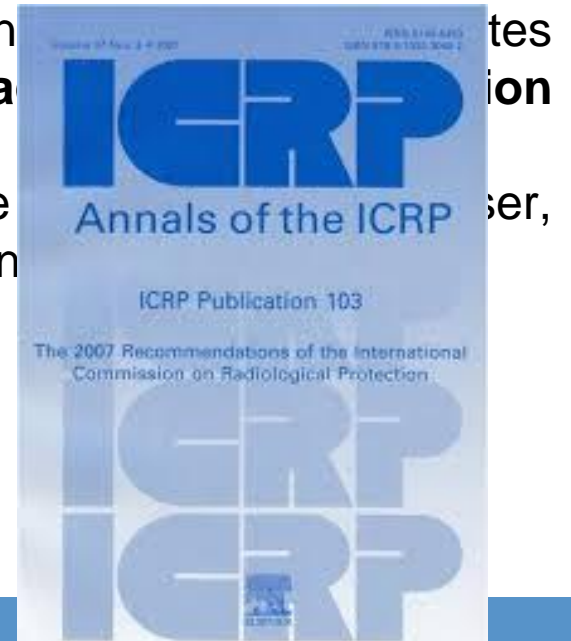
Définition (CIPR Pub 26, 1977)

« Le Détriment dans une population est défini comme l'**espérance mathématique** des dommages causés par une exposition aux rayonnements, en tenant compte non seulement de la **probabilité** de chaque type d'effet délétère, mais aussi de la **gravité** de l'effet »

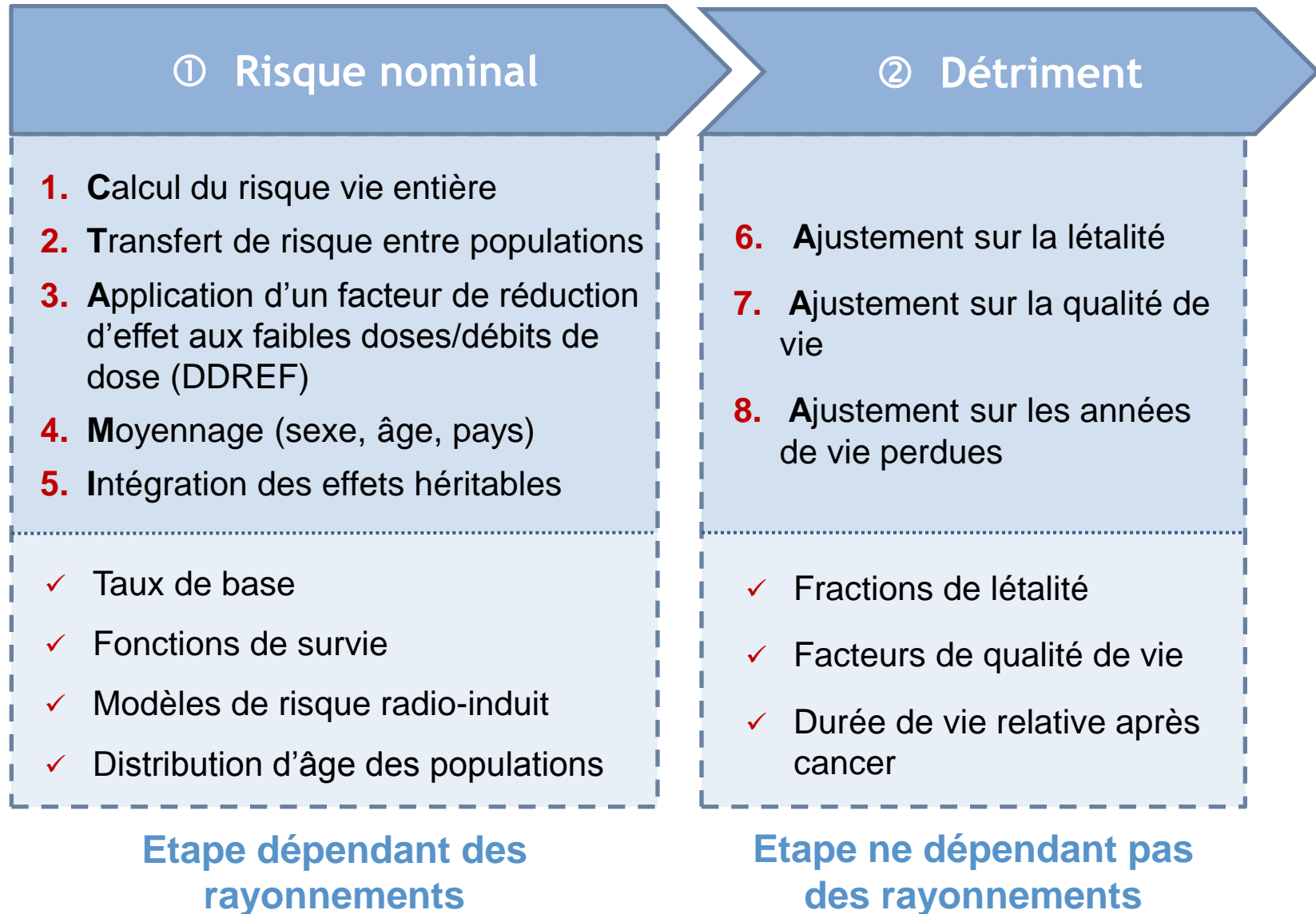
Objectifs (CIPR Pub 60, 1991)

- « Evaluer les conséquences des expositions continues ou cumulatives afin de recommander des **limites de dose**;
- Comparer les conséquences des différentes distribution dans l'organisme et sélectionner un ensemble de **facteurs de pondération tissulaire**;
- Fournir une base pour évaluer la validité d'une unité de dose, par exemple, dans l'**optimisation** de la protection au sein d'une population.

Méthode de calcul actuelle (CIPR Pub 103, 2007)



Etapes et paramètres du calcul du Détriment



Calcul du risque nominal

Populations de référence

- Populations composites Asiatiques et Euro-Américaines, hommes et femmes
- Taux de base de cancer et fonctions de survie (IARC, période 1993-97)

Modèles de relation dose-risque

- Pour 13 types de cancer spécifiques
- Modèles dérivés de la cohorte des survivants des bombardements atomiques Japonais (1958-1998), prenant en compte les variations du risque avec l'âge et le sexe (hormis cancers de la peau et de l'os)
- Modèles de risque d'incidence absolus et relatifs

Risque vie-entière

- Calcul du risque additionnel cumulé jusqu'à l'âge de 90 ans, sur la base d'une exposition à 0,1 Gy à chaque année d'âge (méthode REIC)
- Application d'un facteur de réduction d'effet aux faibles doses et débits de dose de 2 (DDREF)

Moyennage

- Sur les 2 sexes, les différents taux de base, et sur les âges à l'exposition

Intégration des effets héritables

- Risque de maladies génétiques associé à la dose aux gonades
- Basé sur des résultats expérimentaux (Unscear 2001)

Du risque nominal au détriment

Pondération par la **fraction de létalité**

Ratio proche de 1 pour les cancers très létaux (foie, poumon)
et proches de zéro pour les cancers peu létaux (peau, thyroïde)
(données SEER 1980-85, U.S. DHHS, 1989)

Pondération par la **qualité de vie**

Poids donné aux cancers non-létaux selon le degré de souffrance
et la lourdeur du traitement (avis d'experts)

Pondération par la **durée de vie perdue**

Facteur relatif à la perte d'espérance de vie sans cancer moyenne de 15
ans pour l'ensemble des cancers (ICRP Pub 60, 1991)
Varie de plus de 1 pour les cancers survenant jeune (thyroïde, leucémie)
à moins de 1 pour ceux survenant tard dans la vie (vessie, poumon)

Détriment

Détriment pour la population générale (cas pour 10 000 individus par Sv)

(Tables A.4.1 et A.4.5, Publication CIPR 103, 2007)

Tissus/organe	Risque nominal	Fraction de létalité	Pondération sur la qualité de vie	Perte relative de durée de vie	Détriment	Contribution au Détriment
	<i>R</i>	<i>k</i>	<i>q</i>	<i>l</i>	<i>D</i>	
Œsophage	15	0.93	0.935	0.87	13.1	0.023
Estomac	79	0.83	0.846	0.88	67.7	0.118
Colon	65	0.48	0.530	0.97	47.9	0.083
Foie	30	0.95	0.959	0.88	26.6	0.046
Poumon	114	0.89	0.901	0.80	90.3	0.157
Os	7	0.45	0.505	1.00	5.1	0.009
Peau	1000	0.002	0.002	1.00	4.0	0.007
Sein	112	0.29	0.365	1.29	79.8	0.139
Ovaire	11	0.57	0.609	1.12	9.9	0.017
Vessie	43	0.29	0.357	0.71	16.7	0.029
Thyroïde	33	0.07	0.253	1.29	12.7	0.022
Moelle osseuse	42	0.67	0.702	1.63	61.5	0.107
Autres cancers	144	0.49	0.541	1.03	113.5	0.198
Gonades (héritables)	20	0.80	0.820	1.32	25.4	0.044
Total	1715				574.2	1

$$q = (1 - q_{\min}) * k + q_{\min}$$

$$D = [(R * k) + R * (1 - k) * q] * l$$

Conclusion

Concept complet et robuste

- Près de 40 ans d'élaboration
- Evolution dans le temps (1977, 1990, 2007)
- Basé sur les connaissances scientifiques sur les effets des rayonnements ionisants et sur les conséquences des cancers

Indicateur de risque complexe

- Le Détriment ne se mesure pas
- Nombreuses étapes et paramètres sous-jacents
- Incertitudes non quantifiées

Outil de gestion

- Simplifications nécessaires à l'application pratique de la radioprotection
- Suppose une relation directement proportionnelle avec la dose efficace
- Application aux effets stochastiques des rayonnements ionisants dans le domaine des doses faibles à modérées
- Non dédié à l'évaluation quantitative des risques

Pistes de réflexion

Mettre à jour :

- Les données de référence : évolution des taux de cancers et de la durée de vie
- Les modèles de risque : nouvelles connaissances sur les effets des faibles doses
- Les facteurs de pondération : amélioration du traitement des cancers

Améliorer la détermination des facteurs les plus sensibles : Age à l'exposition, facteur de réduction du risque pour les faibles débits de dose, transfert du risque entre populations, prise en compte des conséquences des cancers

Effets non-cancer : Réviser les connaissances sur les effets héréditaires et leur prise en compte; considérer et justifier l'inclusion ou non d'effets non-cancer dans le détriment

Assurer la transparence et la traçabilité du calcul du détriment, et améliorer sa compréhension par des non spécialistes



Base solide pour les prochaines recommandations

Merci de votre attention

dominique.laurier@irsn.fr

Historique des recommandations de la CIPR

1928

Création de la CIPR (IXRPC)
Eviter les effets des sur-expositions (travailleurs)

1958

ICRP 1 Minimiser les effets somatiques (cataracte, fertilité, leucémie...)
Apparition relation linéaire sans seuil – élargissement au public

1966

ICRP 9 Prévenir les effets aigus, à long terme et héréditaires
Introduction des « effets stochastiques »

1977

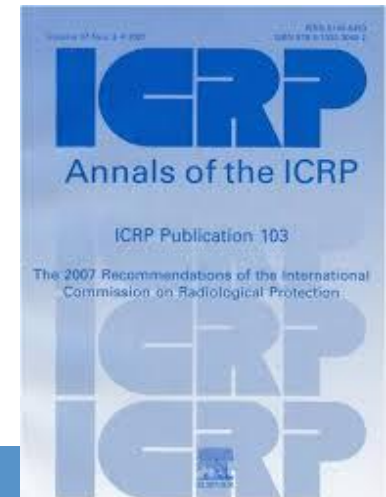
ICRP 26 Apparition du concept de **Détriment** « identifier, et si possible quantifier, l'ensemble des effets stochastiques »

1990

ICRP 60 Eviter les effets déterministes
Limiter les effets stochastiques

2007

ICRP 103 Eviter les effets déterministes
Limiter les effets stochastiques



Travaux en cours à la CIPR

TG91 Radiation Risk Inference at Low-dose and Low-dose Rate Exposure for RP Purposes

TG102 Detriment Calculation Methodology

TG111 Factors Governing the Individual Response of Humans to Ionising Radiation

WP Cardiovascular diseases and ionizing radiation

WP Effects of ionizing radiation in offspring and next generations

WP Risk models used for detriment

WP Detriment Parameters not Related to Radiation



Base solide pour les prochaines recommandations

Risque nominal

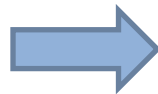
Risque nominal pour la population générale (cas pour 10 000 individus par Gy)
 (Tables A.4.1 et A.4.5, Publication CIPR 103, 2007)

Tissus/organe	Risque nominal
	<i>R</i>
Œsophage	15
Estomac	79
Colon	65
Foie	30
Poumon	114
Os	7
Peau	1000
Sein	112
Ovaire	11
Vessie	43
Thyroïde	33
Moelle osseuse	42
Autres cancers	144
Gonades (héritables)	20
Total	1715

Détriment : domaine d'application

Conditions d'application

- Individu « moyen » (les 2 sexes, taux de base moyen de plusieurs populations)
- Doses $< 0,2$ Gy ou débit de dose $< 0,1$ Gy/h
- Exposition homogène de tous les organes
- 2 populations :
 - public (0-85 ans)
 - travailleurs (18-65 ans)



Outil de gestion

Applicable à toutes les situations

Détriment

Détriment (10^{-2} par Sv)	CIPR 60 1990	CIPR 103 2007
Population générale		
Risque de cancer	6,6	5,5
Effets héréditaires	1,3	0,2
Total	7,3	5,7
Travailleurs		
Risque de cancer	4,8	4,1
Effets héréditaires	0,8	0,1
Total	5,6	4,2

Détriment : interprétation

Détriment dû au cancer

Personne du public

- exposée à 1 Sv
- exposée à 100 mSv
- exposée pendant 70 ans à 1 mSv

Travailleurs

- exposée à 20 mSv
- exposée à 100 mSv
- exposée pendant 70 ans à 2 mSv

OUTIL DE GESTION

4,1 %

0,4 %

0,3 %

Probabilité de base de cancer vie entière

36 % (29 à 42%)

Détriment : population générale et travailleurs

	Population générale		Travailleurs	
	Détriment	Détriment relatif	Détriment	Détriment relatif
Œsophage	13,1	0,023	14,2	0,034
Estomac	67,7	0,118	51,8	0,123
Colon	47,9	0,083	43,0	0,102
Foie	26,6	0,046	19,7	0,047
Poumon	90,3	0,157	120,7	0,286
Os	5,1	0,009	3,4	0,008
Peau	4,0	0,007	2,7	0,006
Sein	79,8	0,139	32,6	0,077
Ovaire	9,9	0,017	6,6	0,016
Vessie	16,7	0,029	19,3	0,046
Thyroïde	12,7	0,022	3,4	0,008
Moelle osseuse	61,5	0,107	23,9	0,057
Autres cancers solides	113,5	0,198	65,4	0,155
Gonades (effets héréditaires)	25,4	0,044	15,3	0,036
Total	574	1	422	1

D s'exprime en nombre de cas pour 10 000 personnes par Sv

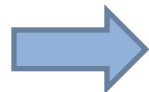
Evaluation du risque de maladies héritables

Probabilité d'effets génétiques nocifs (maladies mendéliennes, multifactorielles et chromosomiques) qui se manifestent chez les descendants d'une population ayant subi des expositions aux rayonnements ionisants

Jamais observé chez l'homme (peu d'études disponibles sur plusieurs générations)

Estimations du risque basées sur les taux moyens de mutations induites par les rayonnements ionisants chez la souris, limitée aux 2 premières générations (UNSCEAR 2001)

Connaissances supplémentaires et nouvelle méthodologie: entraînent une réduction du risque estimé par rapport à la CIPR 60



Risque estimé de 0,2% par Sv aux gonades

Détriment et W_T

	Population générale		W_T
	Détriment	Détriment relatif	
Oesophage	13,1	0,023	0,04
Estomac	67,7	0,118	0,12
Colon	47,9	0,083	0,12
Foie	26,6	0,046	0,04
Poumon	90,3	0,157	0,12
Os	5,1	0,009	0,01
Peau	4,0	0,007	0,01
Sein	79,8	0,139	0,12
Ovaire	9,9	0,017	
Vessie	16,7	0,029	0,04
Thyroïde	12,7	0,022	0,04
Moelle osseuse	61,5	0,107	0,12
Autres cancers solides *	113,5	0,198	0,12
Gonades (effets héréditaires)	25,4	0,044	0,08
Cerveau			0,01
Glandes salivaires			0,01
Total	574	1	1

* Tissus restants (14 au total): glande surrénale, région extra-thoracique, vésicule biliaire, cœur, reins, noyaux lymphatiques, muscle, muqueuse orale, pancréas, prostate, intestin grêle, moelle, thymus, utérus/cervix

Facteurs de pondération tissulaires W_T

W_T	CIPR 60 1990	CIPR 103 2007
moelle osseuse	0,12	0,12
colon	0,12	0,12
estomac	0,12	0,12
poumon	0,12	0,12
sein	0,05	0,12
gonades	0,20	0,08
œsophage	0,05	0,04
foie	0,05	0,04
thyroïde	0,05	0,04
vessie	0,05	0,04
os (surface)	0,01	0,01
peau	0,01	0,01
cerveau		0,01
glandes salivaires		0,01
autres tissus	0,05	0,12*
	1,00	1,00

* glandes surrénales, région extra-thoracique, vésicule biliaire, cœur, reins, ganglions lymphatiques, muscles, muqueuse buccale, pancréas, prostate, intestin grêle, rate, thymus, col et corps de l'utérus

Détriment et W_T

	Travailleurs		Population générale		W_T
	Détriment	Détriment relatif	Détriment	Détriment relatif	
Oesophage	14,2	0,034	13,1	0,023	0,04
Estomac	51,8	0,123	67,7	0,118	0,12
Colon	43,0	0,102	47,9	0,083	0,12
Foie	19,7	0,047	26,6	0,046	0,04
Poumon	120,7	0,286	90,3	0,157	0,12
Os	3,4	0,008	5,1	0,009	0,01
Peau	2,7	0,006	4,0	0,007	0,01
Sein	32,6	0,077	79,8	0,139	0,12
Ovaire	6,6	0,016	9,9	0,017	
Vessie	19,3	0,046	16,7	0,029	0,04
Thyroïde	3,4	0,008	12,7	0,022	0,04
Moelle osseuse	23,9	0,057	61,5	0,107	0,12
Autres cancers solides *	65,4	0,155	113,5	0,198	0,12
Gonades (effets héréditaires)	15,3	0,036	25,4	0,044	0,08
Cerveau					0,01
Glandes salivaires					0,01
Total	422	1	574	1	1