LES RECOMMANDATIONS DE LA C.I.P.R. 60

Un bref résumé des points importants

Dr.Nicole Parmentier

Avril 1991

LES RECOMMANDATIONS DE LA C.I.P.R. 60

Un bref résumé des points importants

I - LES BASES : ESTIMATION DES FACTEURS DE RISQUE

Le document passe en revue les données actuellement disponibles concernant les effets "déterministes" (antérieurement appelés non-stochastiques) et les effets "héréditaires" mais aucun changement important n'est à noter. En conséquence, le document considère donc essentiellement l'effet cancer.

Bref rappel des points principaux :

1 - Facteur d'efficacité de la dose et du débit de dose ("Dose and Dose Rate Effectiveness Factor" (**DDREF**)) :

Les données épidémiologiques permettant de dériver les facteurs de risque provenant de populations exposées à des doses relativement élevées pendant un temps court, la **CIPR** reconnait explicitement la nécessité d'un facteur traduisant le fait que, pour les rayonnements à faible **T**ranfert d'**E**nergie **L**inéique (**TEL**), l'effet par unité de dose est moins important à faibles doses et faibles débits de dose.

Pour les rayonnements à faible **TEL**, la **CIPR** adopte un **DDREF** de 2, pour deux raisons :

- la première est basée sur le fait que le risque de leucémie par unité de dose à HIROSHIMA et NAGASAKI est moitié moindre pour les populations ayant reçu moins de 0,5 Gy, que pour celles qui ont reçu 1 à 2 Gy.

- la deuxième raison repose sur l'approche théorique de la relation dose-effet. Si, pour les rayonnements à faible **TEL**, la relation est linéaire-quadratique, on peut écrire que l'effet observé **E** à une dose **D**, sans effet "mort cellulaire", s'écrit :

$$E = \alpha D + \beta D^2$$

Des résultats expérimentaux montrent que les coefficients α et β sont égaux pour des doses supérieures à 1 **Gy**. Ce qui implique qu'à des doses très inférieures à cette valeur, le terme linéaire est dominant et conduit à un effet deux fois plus faible par unité de dose. En fait, le facteur **DDREF** dépend de la qualité du rayonnement, de l'organe considéré, des gammes de dose et du débit de dose. L'utilisation d'une valeur unique de ce facteur est très simplificatrice, mais il n'existe pas de données suffisantes pour pousser plus loin l'analyse. La **CIPR** n'applique pas ce facteur pour le calcul des risques dûs aux rayonnements à fort **TEL**.

2 - Risque de décès par cancer :

Origine des données : principalement les survivants d'HIROSHIMA et NAGASAKI, sauf pour la surface osseuse, la thyroïde, le foie et partiellement le sein.

Dans le cas des données dérivées des survivants d'HIROSHIMA et NAGASAKI, la **CIPR** a essayé de prendre en compte des populations dont le taux "naturel" de décès par cancer est différent puisqu'elle utilise maintenant un modèle de risque relatif.

Le risque de décès par cancer après irradiation du corps entier est :
5% Sv^{-1} pour une population de tous âges
4% Sv^{-1} pour une population de 18 à 65 ans.

3 - Risque d'effet héréditaire

Les facteurs de risque pour toutes les générations à venir sont :
1% Sv^{-1} pour une population de tous âges
0,6% Sv^{-1} pour une population de 18 à 65 ans.

4 - Le détriment (mauvaise traduction française du mot anglais "detriment")

Il prend en compte le risque de cancer non mortel en pondérant la probabilité de décès pour ce type de cancer par des facteurs calculés, en posant comme hypothèse que plus le taux de décès est élevé pour un type de cancer, pire est la qualité de vie de ceux qui survivent. Ce facteur pondéré est ajouté aux facteurs de risque de décès et risque d'effets héréditaires. La somme est ensuite pondérée pour tenir compte du nombre moyen d'années de vie perdues par cancer ou par maladie héréditaire.

Le taux de détriment ainsi calculé est de :
7,2% Sv^{-1} pour une population de tous âges
5,5% Sv^{-1} pour une population de 18 à 65 ans.

Le tableau 1, extrait du supplément au N° 119 de la plaquette **NRPB**, compare les différents facteurs à ceux de la **CIPR 26**.

A partir de tous ces facteurs, la **CIPR** établit les contributions relatives des différents organes au détriment total qui peuvent être utilisées pour dériver les facteurs de pondération W_T utilisés dans le

calcul de la dose effective, considérée comme un bon indicateur du détriment.

Le tableau 2, ci-dessous, donne les valeurs retenues pour W_T.

TABLEAU 2 - FACTEURS DE PONDERATION W_T

TISSUS OU ORGANE	W_T (1)
Gonades	0,20
Moëlle osseuse	0,12
Colon	0,12
Poumon	0,12
Estomac	0,12
Vessie	0,05
Seins	0,05
Foie	0,05
Oesophage	0,05
Thyroïde	0,05
Peau	0,01
Surface osseuse	0,01
Autres	0,05 (2)(3)

Note :

(1) Ces valeurs correspondent à une population de référence, comprenant un nombre égal d'hommes et de femmes, pour une large gamme d'âges. Elles s'appliquent pour le calcul de la dose effective aux travailleurs, aux individus du public, quelque soit le sexe.

(2) Pour les besoins du calcul, les autres organes comprennent :

- les surrénales, l'intestin grêle, les reins, le muscle, le pancréas, la rate, le thymus et l'utérus. Ces organes peuvent être sélectivement irradiés et certains sont connus pour présenter un risque de cancer. Si d'autres tissus ou organes non inclus dans cette liste apparaissent comme présentant un risque significatif de cancer, ils peuvent être inclus avec un W_T spécial, ou pris parmi la liste des autres organes qui peuvent également inclure d'autres tissus ou organes irradiés sélectivement.

(3) Au cas où, exceptionnellement, un des autres tissus ou organes recevrait une dose équivalente supérieure à la plus élevée des doses équivalentes aux douze organes énumérés, un facteur de pondération W_T de 0,025 lui sera appliqué et un facteur de 0,025 sera appliqué à la dose moyenne des autres organes.

II - GRANDEURS DOSIMETRIQUES ET UNITES

- La grandeur dosimétrique fondamentale en radioprotection est la dose absorbée **D**. Elle se définit comme l'énergie communiquée en un point par unité de masse du milieu. Son unité est le *joule par Kg* avec le nom spécial **Gray (Gy)**. Au plan pratique, on utilise la dose moyenne absorbée dans un tissu ou organe, D_T, comme indicateur de la probabilité d'effets stochastiques que l'on considère comme fonction linéaire de la dose, approximation raisonnable dans une gamme limitée de dose. Ceci n'est pas valable pour les effets déterministes sauf dans le cas d'une irradiation homogène.

- **Dose absorbée D pour les effets déterministes**
- **Dose absorbée moyenne dans un tissu ou organe D_T pour les effets stochastiques.**

- Facteurs de pondération de la qualité du rayonnement W_R.

La probabilité d'effets stochastiques dépend non seulement de la dose absorbée, mais aussi de la nature et de l'énergie du rayonnement en cause. Ceci se traduisait par l'application du facteur de qualité **Q** à la dose absorbée **D** en un point, donnant ainsi une grandeur l'équivalent de dose **H**, dont l'unité etait le *joule par kg* avec le nom spécial de **Sievert (Sv)**.

Comme signalé précédemment, la probabilité d'effets stochastiques est en réalité fonction de la dose absorbée moyenne à l'organe ou tissus. Un nouveau facteur de pondération de la qualité du rayonnement W_R est proposé pour les différents types de rayonnements incidents ou émis par un radionucléide incorporé.

La dose pondérée ainsi obtenue, s'appelle la *dose équivalente* H_T. Elle est égale à :

$$H_T = \sum_R W_R \, D_{T,R}$$

où $D_{T,R}$ est la dose absorbée moyenne dans un organe ou tissu due au rayonnement R.

L'unité en est le *joule par kg* avec le nom spécial de **Sievert (Sv)**.

- Choix des valeurs de W_R

Elles sont déduites approximativement des **E**fficacités **B**iologiques **R**elatives (**EBR**) pour les effets stochastiques à faible dose. Les valeurs de

W_R sont grosso-modo compatibles avec les valeurs du facteur de qualité **Q** précédemment utilisées.

FACTEURS DE PONDERATION W_R

NATURE - ENERGIE	W_R
Photons (toutes les énergies)	1
Electrons, muons (toutes les énergies)	1
Neutrons < 10 KeV	5
> 10 KeV - 100 KeV	10
> 100 KeV - 2 MeV	20
> 2 MeV - 20 MeV	10
> 20 Mev	5
Protons > 20 MeV	5
Particules α, fragments de fission, noyaux lourds	20

La **CIPR** reconnait que pour les neutrons, il peut être plus pratique d'utiliser une fonction ajustée que des valeurs par bandes d'énergie. L'approximation ainsi calculée correspond à la relation :

$$W_R = 5 + 17\, e^{-\frac{(\ln 2\ E)^2}{6}}$$

Pour les rayonnements, dont la nature ou l'énergie ne figurent pas dans le tableau, la **CIPR** propose d'utiliser comme approximation de W_R le facteur de qualité $\overline{Q}$ déterminé dans la sphère définie par l'**ICRU** à 10mm de profondeur :

$$\overline{Q} = \frac{1}{D} \int_0^{\infty} Q(L)\ D(L)\ dL$$

où **D(L)dL** est la dose absorbée correspondant au TEL_{α} compris entre **L** et **(L + dL)** et **Q** le facteur de qualité à 10mm dans la sphère **ICRU**. La relation entre le facteur de qualité **Q** et le **TEL** est donnée dans le tableau ci-dessous :

RELATION ENTRE LE FACTEUR Q ET LE TEL,L

TRANSFERT D'ENERGIE LINEIQUE L (KeV μm^{-1})	Q(L)
< 10	1
10 - 100	0,32L - 2,2
> 100	300/$\sqrt{L}$

- *Dose effective* :

Le terme dose effective **E** remplace le terme équivalent de dose effective. Son unité est le *joule par kg* avec le nom spécial de **Sievert (Sv)**. Elle est égale à la somme doublement pondérée des doses moyennes absorbées D_T dans les tissus ou organes :

$$E = \sum_T W_T \sum_T W_R D_{T,R}$$

- *Dose effective engagée* :

Dans le cas d'incorporation de radionucléides, la **CIPR** définit la dose effective engagée comme l'intégrale de la dose effective sur 50 ans pour les travailleurs et sur 70 ans pour les individus du public.

- *Dose effective collective* :

Comme elle est calculée en intégrant la dose effective pour tous les individus exposés et sur toute la période, le terme engagement a été abandonné.

COMMENTAIRES ET CONSEQUENCES PRATIQUES

- Un effort certain de clarification et de simplification est évident. Il a pour conséquence, de mieux mettre en évidence les approximations en général conservatives qui sont faites pour l'établissement des normes ou les calculs des limites dérivées secondaires.

- On peut cependant regretter l'aspect très directif pour les valeurs de W_R à appliquer, ce d'autant plus que pour les neutrons, l'application intégrale des recommandations oblige à revenir à une surveillance d'ambiance (spectrométrie) telle qu'elle était pratiquée 1/4 de siècle plus tôt !! Plus de flexibilité aurait été souhaitable : il faudra peut-être l'introduire dans la règlementation européenne ou nationale.

III - PRINCIPES DE BASE DU SYSTEME

- Les recommandations sont toujours basées sur le principe d'éviter les effets déterministes, en maintenant les doses au-dessous des seuils et de limiter l'incidence des effets stochastiques.

- L'évaluation de l'efficacité d'un système de radioprotection est rattachée, soit à la source responsable des doses individuelles, soit directement à la dose individuelle quand on considère plusieurs sources d'exposition.

- La **CIPR** définit clairement deux types d'activités humaines :

  - les activités qui augmentent l'exposition totale individuelle en introduisant de nouvelles sources, de nouvelles voies d'atteintes ou de nouveaux individus exposés. Ces activités qui ajoutent des expositions ou risques sont appelées en Anglais "practices" et dont la traduction en Français pourrait être "procédés".

  - les activités qui diminuent l'exposition totale en supprimant la source ou modifiant les voies d'atteinte ou en diminuant le nombre d'individus exposés. Ces activités sont appelées "interventions".

- les procédés :

le système de protection dans ce cas, est basé sur les principes généraux suivants :

- *justification* = un procédé impliquant une exposition doit apporter un bénéfice net par rapport au détriment radiologique.

- *optimisation* = pour n'importe quelle source, les doses ou la probabilité d'exposition doivent être maintenues aussi basses que raisonnablement possible en tenant compte des limites de dose individuelle et des risques potentiels.

- *limitation des doses et des risques* = les expositions individuelles dues aux sources maîtrisables sont soumises aux limites de doses et les expositions potentielles sont soumises à une limitation du risque.

Commentaire : ces principes impliquent que pour leur application pratique, soient considérés non seulement le fonctionnement normal mais aussi l'exposition éventuelle liée aux accidents possibles.

Comme l'optimisation est un processus relié à la source, alors que les limites de doses s'appliquent à l'individu, la **CIPR** introduit le concept de contrainte au sens mathématique du terme, pour la dose et le risque. Une contrainte est un critère appliqué à une seule source de manière à ce que les limites de dose ou de risque ne soient pas dépassées pour l'individu exposé à plusieurs sources.

- les interventions :

Destinées à réduire les expositions, elles ne s'appliquent qu'à l'environnement et à l'homme, et en général pas à la source. Des situations de ce type sont par exemple, l'exposition aux sources naturelles ou consécutives à un accident une fois qu'il a eu lieu.

Le système de protection dans ce cas repose sur les principes généraux suivants :

- toute intervention doit être bénéfique, c'est à dire, que la réduction du détriment radiologique doit être supérieure au détriment lié à la mesure d'intervention et à son coût social.

- l'importance et la durée des mesures d'intervention doivent être telles que le bénéfice net entre la réduction de l'exposition et le coût de la mesure soit aussi grand que raisonnablement possible.

Ces principes conduisent à des niveaux d'intervention variables en fonction des situations.
Les limites de dose définies pour les procédés ne s'appliquent absolument pas pour décider ou non d'une intervention, mais la **CIPR** n'a pas encore pris de décision sur les niveaux pour lesquels une intervention serait justifiée. Cependant, il est clair que les niveaux de dose prévisibles qui entraîneraient des effets déterministes seront toujours considérés commes inacceptables.

IV - LES LIMITES

- Limites de dose.

Les limites de dose s'appliquent aux expositions professionnelles et aux expositions du public. Pour les travailleurs, la **CIPR** calcule les conséquences d'une exposition pendant la vie professionnelle de 18 à 65 ans (47 ans) à des doses annuelles de 10, 20, 30 et 50 mSv. Elle montre ainsi que le maximum du risque annuel de décès par cancer apparait dans tous les cas à la fin de la tranche d'âge de 70 ans, et que le risque de décès de 10^{-3} par an des industries conventionnelles est dépassé au milieu de la tranche d'âge de 50 ans pour une dose annuelle de 50 mSv et au milieu de celle de 60 ans pour une dose annuelle de 20 mSv. En tenant compte des cancers non létaux et des effets héréditaires, cela conduit la **CIPR** à proposer une dose moyenne annuelle de 20 mSv sur une période de 5 ans avec pas plus de 50 mSv une année.

La même approche est utilisée pour fixer les limites de dose pour les individus du public. En considérant de plus les variations de l'irradiation naturelle (hors radon), cela conduit à 1 mSv par an ou dans des circonstances exceptionnelles 1 mSv par an moyenné sur 5 ans.

Les limites de dose professionnelles sont les mêmes pour les femmes et pour les hommes. Cependant, si une femme est enceinte, le niveau de protection du foetus doit être comparable à celui d'un individu du public. Ceci conduit la **CIPR** à proposer une limite de dose supplémentaire de 2 mSv

à la surface de l'abdomen de la mère une fois la grossesse reconnue, et à limiter l'incorporation à 1/20 des **LAI**.

- Limites de risques.

La probabilité d'un évènement correspondant à une exposition potentielle ne peut être déterminée directement. Les analyses probabilistes de risque permettent d'estimer les probabilités de décès qui se définissent comme le produit de la probabilité de recevoir une dose à la suite d'un scénario d'accident donné, et la probabilité conditionnelle de décès si la dose est reçue. Pour une installation donnée, ces probabilités peuvent être additionnées pour tous les scénarios d'accident, donnant ainsi un risque total lié à l'installation. Cependant, un travailleur ou un individu du public peut être exposé à plusieurs sources. La **CIPR** recommande donc l'utilisation d'une limite de risque individuelle. Il est très difficile d'imaginer une limite du risque réglementaire pour toutes les sources et la **CIPR** ne donne pas de valeur.

- L'intervention.

Dans ce domaine, il est impossible de définir un seul niveau. En ce qui concerne les deux exemples principaux (Radon et Accidents) qui relèvent de l'intervention, la **CIPR** ne recommande pas de nouvelles valeurs numériques, et recommande pour l'instant d'utiliser les valeurs recommandées dans les publications antérieures. Il faut savoir que le **Comité 4** a crée des groupes de travail pour préparer des recommandations sur ces deux sujets.

V - APPLICATIONS PRATIQUES

1 - CLASSIFICATION DES LOCAUX

Zone Surveillée :

- La dose individuelle peut excéder la limite du public, mais peut être préévaluée ;

- La surveillance de l'ambiance suffit pour évaluer les doses individuelles, dont la distribution est homogène ;

- Le suivi des travailleurs ne requiert pas de procédures particulières ;

- La dosimétrie individuelle n'est pas nécessaire pour les besoins de la radioprotection.

Zone Contrôlée :

- Les expositions varient d'un individu à un autre ;

- La surveillance de l'ambiance ne suffit pas à évaluer les doses individuelles ;

- Le suivi des travailleurs doit être rigoureux = contrôle de l'exposition ;

- la dosimétrie individuelle est obligatoire (expositions externe + interne)

En dehors de ces zones :

Les travailleurs recoivent des doses inférieures aux limites du public = non exposés professionnellement.

2 - EXEMPTIONS

La **CIPR** reconnait que certains procédés peuvent ne pas être assujettis à la réglementation quand ils n'entrainent que des doses faibles. Cependant, s'il est aisé de définir un niveau de dose individuelle que l'on peut considérer comme négligeable, il est difficile de se mettre d'accord sur ce qui peut être considéré comme une dose collective faible ou négligeable. La **CIPR 60** ne donne pas de valeurs numériques pour les niveaux d'exemption.

Cas particulier de la peau

Quand on considère les effets stochastiques, la dose équivalent moyennée sur toute la surface et déterminée à une profondeur de 7 mg cm^{-2} est donc un bon indicateur. La limite en terme de dose effective est suffisante dans ce cas. Une limite supplémentaire est nécessaire pour les expositions localisées afin d'éviter les effets déterministes. La limite annuelle recommandée est de 500 mSv à une profondeur de 7 mg cm^{-2}, moyennée sur 1 cm^2, quelle que soit la région exposée. Appliquée au niveau de la face, cette limite assure également la protection du cristallin dans le cas d'exposition à des rayonnements peu pénétrants comme les particules β.

TABLEAU 1 - FACTEURS DE RISQUES ADOPTES PAR LA CIPR COMPARES A CEUX DE 1977

	CIPR 1977	CIPR 1990		
	Décès par cancer	Décès par cancer	Rapport mortalité morbidité	Années de vie perdues
Organe ou Tissus	(% Sv^{-1})	(% Sv^{-1})	(%)	(ans)
Vessie	-	0,30	50	9,8
Surface osseuse	0,05	0,05	70	15,0
Sein	0,25	0,20	50	18,2
Colon	-	0,85	55	12,5
Foie	-	0,15	95	15,0
Poumon	0,20	0,85	95	13,5
Oesophage	-	0,30	95	11,5
Ovaire	-	0,10	70	16,8
Peau	-	0,02	0,2	15,0
Estomac	-	1,10	90	12,4
Thyroïde	0,05	0,08	10	15,0
Moëlle Osseuse	0,20	0,50	99	30,9
Autres	0,50	0,50	71	13,7
Sous-total	1,25	5,0	-	-
Effets héréditaires	0,4*	1,0**	-	-
Total	1,65	7,2 (pondéré)		

* Deux premières générations
** Toutes générations à venir