

FR 80 00 266 ✓

11. Congrès National sur le contrôle des rayonnements ionisants.

Nantes, France, 18 - 21 Septembre 1979.

CEA - CONF 4857

LES NOUVELLES TENDANCES DE LA RADIOPROTECTION
DEFINIES PAR LA COMMISSION INTERNATIONALE DE PROTECTION
RADIOLOGIQUE (CIPR)
ET LEURS IMPLICATIONS PRATIQUES

H. JOFFRE

*Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay
Service de Protection contre les Rayonnements*

S O M M A I R E

- I - MOTIVATION DES NOUVELLES TENDANCES DE LA CIPR
 - 1.1. EVOLUTION DE LA CLASSIFICATION DES EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS
 - 1.2. DEFINITIONS ET CARACTERISTIQUES DES EFFETS BIOLOGIQUES NON ALEATOIRES ET ALEATOIRES
 - a) *Effets biologiques non aléatoires*
 - b) *Effets biologiques aléatoires*
 - 1.3. IMPORTANCE DES EFFETS BIOLOGIQUES ALEATOIRES

- II - RAPPEL DE LA TERMINOLOGIE PRECEDENTE ET DE SON UTILISATION POUR L'EVALUATION DES RISQUES D'IRRADIATION
 - 2.1. TERMINOLOGIE RELATIVE A L'IRRADIATION EXTERNE OU INTERNE ET NOTATION
 - 2.2. TERMINOLOGIE RELATIVE A LA RADIOACTIVITE DE L'AIR ET EVALUATION DES RISQUES ASSOCIES (*cas des travailleurs exposés*)
 - 2.3. TERMINOLOGIE RELATIVE A LA RADIOACTIVITE DE L'EAU ET EVALUATION DES RISQUES ASSOCIES (*cas des personnes du public*)

III - NOUVELLE TERMINOLOGIE ET NOUVELLES GRANDEURS -
UTILISATION PRATIQUE COMPAREE AVEC LES ANCIENNES GRANDEURS

3.1. LIMITES PRIMAIRES

- a) *Limites fondées sur les effets non aléatoires*
- b) *Limites fondées sur les effets aléatoires*

3.2. LIMITES SECONDAIRES ET LIMITES DERIVEES

- 3.21. *Limites dérivées relatives à l'irradiation externe*
- 3.22. *Evaluation des limites relatives à la radioactivité de l'air (cas des travailleurs exposés)*
 - a) *Limites fondées sur les effets non aléatoires*
 - b) *Limites fondées sur les effets aléatoires*
- 3.23. *Evaluation des limites relatives à la radioactivité de l'eau (cas des personnes du public)*
 - a) *Limites fondées sur les effets non aléatoires*
 - b) *Limites fondées sur les effets aléatoires*

IV - DISCUSSION

- 4.1. TERMINOLOGIE
- 4.2. SIMPLICITE D'EXPLOITATION ET VALIDITE DES NOUVELLES GRANDEURS
- 4.3. SEVERITE DES NOUVELLES LIMITES
- 4.4. FONDEMENTS BIOLOGIQUES DES NOUVELLES LIMITES

BIBLIOGRAPHIE

- TABLEAUX 1 - Classification des effets biologiques des rayonnements
- 2 - Irradiation partielle de l'organisme - Comparaison des limites de dose, anciennes et nouvelles, dans le cas théorique de l'irradiation d'un tissu à l'exclusion de tout autre
 - 3a - Limites pour les travailleurs exposés à la radioactivité de l'air - Cas des effets non aléatoires
 - 3b - Limites pour les travailleurs exposés à la radioactivité de l'air - Cas des effets aléatoires
 - 4a - Limites pour les personnes du public exposées à la radioactivité de l'eau - Cas des effets non aléatoires
 - 4b - Limites pour les personnes du public exposées à la radioactivité de l'eau - Cas des effets aléatoires

- FIGURE 1 - Transfert d'énergie linéique des électrons et des protons en fonction de l'énergie dans l'eau

I - MOTIVATION DES NOUVELLES TENDANCES DE LA CIPR

1.1. EVOLUTION DE LA CLASSIFICATION DES EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS

Dans ses premières recommandations [1]/[2]/, la CIPR a classé les effets biologiques

en *effets somatiques* qui atteignent l'individu irradié
et en *effets génétiques* qui atteignent la descendance de l'individu irradié.

Les limites maximales admissibles étaient considérées comme établies de façon à éliminer tout dommage somatique et à rendre négligeable le risque génétique. Cette formulation implique qu'il existe des seuils de dose au-dessous desquels les effets somatiques sont nuls et que le risque génétique n'est jamais nul, même aux très faibles doses.

Dans les recommandations de la CIPR de 1965, la distinction franche entre effets somatiques et génétiques s'estompe :
"Des recherches récentes ont montré que le dommage somatique pouvait résulter de la perturbation de mécanismes génétiques dans les cellules somatiques"
[3 (p.5)].

Les études effectuées depuis plusieurs décennies sur les effets biologiques des rayonnements et, en particulier, les études statistiques relatives aux conséquences à long terme [4(361 à 654)] ont conduit la CIPR [5] à adopter une nouvelle classification faisant apparaître à nouveau deux classes d'effets, mais qui ne coïncident pas avec celles de la précédente classification. Les effets biologiques sont maintenant considérés comme étant *stochastiques* ou *non stochastiques*, c'est-à-dire *aléatoires* ou *non aléatoires* (tableau 1).

1.2. DEFINITION ET CARACTERISTIQUES DES EFFETS BIOLOGIQUES NON ALEATOIRES ET ALEATOIRES

a) Effet biologique non aléatoire (altération de la formule sanguine, érythème, cataracte,...)

Un effet biologique est dit *non aléatoire* lorsque son apparition est systématique pour une dose suffisante.

Le degré de gravité d'un effet non aléatoire est une fonction croissante de la dose.

Les effets biologiques non aléatoires présentent généralement un seuil de dose au-dessous duquel l'effet est nul. Au-dessous d'un second seuil, plus élevé que le précédent, les effets biologiques non aléatoires sont en général réversibles.

b) Effet biologique aléatoire (mutations, leucémies et cancers)

Un effet biologique est dit *aléatoire* lorsque sa fréquence d'apparition statistique sur un grand nombre d'individus présente un caractère de probabilité, cette probabilité étant une fonction croissante de la dose.

Pour un individu, pris en particulier, un effet biologique aléatoire peut donc ne pas apparaître, même pour une dose subie importante et inversement.

Lorsqu'un effet biologique aléatoire apparaît, son degré de gravité est indépendant de la dose subie.

Le caractère aléatoire est indépendant de la notion de seuil ; un effet biologique aléatoire peut être avec ou sans seuil suivant le type d'effet considéré, compte tenu du rayonnement en cause (importance du transfert d'énergie linéique et des possibilités de réparation biologique [4(489)]).

1.3. IMPORTANCE DES EFFETS BIOLOGIQUES ALEATOIRES

Les dispositions de radioprotection appliquées aujourd'hui dans les différents domaines d'utilisation des rayonnements ont permis de réduire les équivalents de dose subis par les travailleurs à des niveaux suffisamment faibles, sauf accident, pour éliminer totalement toute apparition d'un effet non aléatoire.

Par contre, en l'état actuel de nos connaissances, les études biologiques sur les effets aléatoires [4(594)] conduisent à admettre le principe d'une relation linéaire dose-effet (probabilité d'apparition de l'effet considéré proportionnelle à la dose subie) lorsqu'il s'agit de rayonnements à

transfert d'énergie linéique (TEL) élevé (particules α , neutrons rapides).

La comparaison des TEL de protons de 2 MeV et d'électrons de 1 keV (fig. 1) montre que ces derniers, ainsi que les rayonnements X de basse énergie susceptibles de les produire en quantité notable (plusieurs pour-cent), doivent être considérés comme des rayonnements à TEL élevé.

Pour ce qui concerne les rayonnements (β, γ) à TEL faible, l'expérimentation semble devoir conduire fréquemment à une forme curviligne (quadratique, sigmoïde..) pour la relation dose-effet [4(366)/5(7)] ; l'effet biologique considéré peut présenter, dans ce cas, un *seuil pratique* et un comportement se rapprochant de celui caractérisant les effets non aléatoires (en particulier, un effet réversible aux faibles doses résultant des possibilités de réparation biologique). Pour les rayonnements à TEL faible, l'expérimentation a montré aussi que le risque par rad diminuait lorsque la dose et également le débit de dose diminuaient (l'efficacité biologique des photons relativement à celle des neutrons peut descendre à 10^{-2} pour une dose de l'ordre de 0,1 rad [4(598)]).

Cependant, par mesure de prudence, la CIPR a décidé d'étendre l'application de la relation linéaire dose-effet aux rayonnements peu ionisants, leur appliquant, en outre, le même coefficient de risque que celui résultant des études épidémiologiques relatives aux rayonnements à TEL élevé et à dose élevée [5(7)].

Le coefficient de risque, adopté par la CIPR, qui définit le *risque aléatoire* de mortalité, sur la vie entière de l'individu ayant subi une irradiation de l'organisme entier, est (tableau 2, colonne 4) :

$1,4 \cdot 10^{-4}$ par rem pour l'homme
et $1,65 \cdot 10^{-4}$ par rem pour la femme.

A titre de comparaison, le risque résultant des activités humaines (hors rayonnements ionisants) aux U.S.A. en 1973 est d'environ $4,3 \cdot 10^{-2}$; ce risque correspond à une irradiation totale de 290 rem.

Sur les bases de calcul de la CIPR, l'irradiation naturelle en France de 100 mrem pour l'organisme entier entraînerait environ (compte tenu d'une durée de vie moyenne de 70 ans et d'un temps de latence des effets aléatoires de 20 ans)

$$1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,1 \cdot (70-20) \cdot 50 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{70}$$

soit 540 décès par an pour l'ensemble de la population française.

Cependant l'irradiation naturelle de l'organisme entier résulte

tant essentiellement de rayonnement à faible TEL (photons, électrons et muons d'énergies élevées), ce résultat constitue une limite de risque vraisemblablement très supérieure à la réalité.

Par ailleurs, toujours dans le domaine de l'irradiation naturelle, il y a lieu d'attirer l'attention sur l'irradiation des poumons par les particules α de 7,7 MeV émises par le polonium-214 (radionucléide de filiation du radon) qui produit une dose absorbée annuelle d'environ 30 mrad ¹⁾ [4(81)], soit un équivalent de dose d'environ 360 mrem et une dose effective (voir 3.1b) de 43 mrem par an d'un rayonnement à TEL élevé, entraînant environ :

$$1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,043 \cdot (70-20) \cdot 50 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{70}$$

soit environ 230 décès par an pour l'ensemble de la population française.

La précision des études épidémiologiques effectuées jusqu'à présent n'a pas encore permis de faire apparaître statistiquement une influence notable de l'irradiation naturelle.

Il est bon de rappeler ici que l'usage du tabac entraînerait en France environ 15 000 décès par an par cancer du poumon (le nombre total des décès par cancer est d'environ 140 000 par an, dont 60 000 environ seraient imputables à l'alcool et au tabac).

II - RAPPEL DE LA TERMINOLOGIE PRECEDENTE ET DE SON UTILISATION POUR L'EVALUATION DES RISQUES D'IRRADIATION

Seules sont rappelées ici, les grandeurs, leur notation et les relations nécessaires à la compréhension de la suite du texte.

2.1. TERMINOLOGIE RELATIVE A L'IRRADIATION EXTERNE OU INTERNE ET NOTATION

H_T : Equivalent de dose à un tissu

HMA : Equivalent de dose maximal admissible annuel

Les valeurs des HMA aux différents tissus, figurant dans les précédentes recommandations de la CIPR [2/3], sont reproduites tableau 2, colonne 2.

¹⁾ Cette dose peut atteindre une valeur environ 5 fois plus élevée dans les régions granitiques et même environ 100 fois plus pour les personnes vivant dans des locaux d'habitation non aérés dont le renouvellement horaire peut descendre à 0,1 [4(12)].

2.2. TERMINOLOGIE RELATIVE A LA RADIOACTIVITE DE L'AIR ET EVALUATION DES RISQUES ASSOCIES (cas des travailleurs exposés)

CMA_{air} : Concentration maximale admissible d'un radionucléide dans l'air.

La valeur de la CMA pour les travailleurs exposés, exprimée en curies par mètre cube d'air, est désignée par C_a dans la suite du texte

$$1 CMA_{air} \cong C_a \quad Ci/m^3$$

$CMA.h$: Unité d'exposition à la contamination atmosphérique.

Un travailleur inhale $10 m^3$ d'air par 8 h de travail, soit $1,25 m^3/h$, d'où :

$$1 CMA.h \cong 1,25.C_a \quad Ci \text{ inhalés}$$

QMA_{air} : Activité maximale admissible d'un radionucléide absorbable annuellement par inhalation.

Elle résulte d'une exposition de 2 000 h à un niveau de contamination de 1 CMA, soit une exposition totale de 2 000 CMA.h ; l'activité totale inhalée est donc :

$$1 QMA_{air} \cong 2\,500.C_a \quad Ci \text{ inhalés}$$

L'inhalation de cette activité entraîne pour le type de tissu considéré, après décroissance effective totale ou après 50 ans pour les radionucléides à période effective très longue, un équivalent de dose ²⁾ égal à l'équivalent de dose maximal admissible annuel [7].

2.3. TERMINOLOGIE RELATIVE A LA RADIOACTIVITE DE L'EAU ET RISQUES ASSOCIES (cas des personnes du public)

CMA_{eau} : Concentration maximale admissible d'un radionucléide dans l'eau.

$$1 CMA_{eau} \cong C_e \quad Ci/m^3$$

2) Cet équivalent de dose est appelé dose engagée [8(171)]

QMA_{eau} : Activité maximale admissible absorbable annuellement par ingestion.

Une personne absorbe 2,2 l d'eau par jour, soit 0,80 m³ par an, d'où

$$1 QMA_{\text{eau}} \hat{=} 0,8.C_e \quad \text{Ci ingérés}$$

L'ingestion de cette activité entraîne, de même que dans le cas de l'air, un équivalent de dose égal à l'équivalent de dose maximal admissible annuel.

Nota : L'incorporation de radioactivité à partir de l'air ou de l'eau conduit toujours à une irradiation interne concernant plusieurs types de tissu ; pour chacun d'eux, la CIPR a donc établi les valeurs de C_a et C_e [2/[6]. Dans la législation française, la valeur de C_a (et de C_e) la plus restrictive a seule été retenue, sans mention du type de tissu concerné.

III - NOUVELLE TERMINOLOGIE ET NOUVELLES GRANDEURS - UTILISATION PRATIQUE COMPAREE AVEC LES ANCIENNES GRANDEURS

3.1. LIMITES PRIMAIRES

Les nouvelles recommandations de la CIPR, faisant une distinction franche entre les effets non aléatoires et les effets aléatoires, définissent deux catégories distinctes de *limites de dose* qui devront toutes deux être respectées [5(21)/ :

a) *Limites fondées sur les effets non aléatoires*

Les limites de dose annuelles LH_T sont fixées à

30 rem pour le cristallin,

50 rem pour tous les autres types de tissu.

S'il est fait abstraction des effets aléatoires, ces limites sont, relativement aux anciennes limites, moins sévères d'un facteur $S = LH_T/HMA$ compris entre 2 et 10 suivant le tissu considéré (tableau 2, colonne 3).

b) Limites fondées sur les effets aléatoires

Les limites de dose relatives aux effets biologiques aléatoires utilisent la notion de *dose effective*. La dose effective permet d'évaluer le risque consécutif à une irradiation inhomogène de l'organisme. Par définition, elle a la même valeur en rem que l'irradiation globale de l'organisme entraînant le même risque.

Le tableau 2, colonne 4, indique le risque résultant de l'irradiation d'un seul type de tissu pour un équivalent de dose de 1 rem. Le rapport de ce risque partiel au risque correspondant à une dose d'irradiation globale de l'organisme de 1 rem constitue le *facteur de pondération* W_T relatif au type de tissu considéré (tableau 2, colonne 5).

Par exemple, dans le cas du poumon, le risque est de $0,20 \cdot 10^{-4} \text{ rem}^{-1}$, d'où un facteur de pondération

$$W_T = \frac{0,20 \cdot 10^{-4}}{1,65 \cdot 10^{-4}} \text{ ou } W_T = 0,12$$

Une irradiation de 1 rem au poumon présente donc le même risque qu'une irradiation globale uniforme de 0,12 rem.

Dans le cas d'un équivalent de dose H_T à un seul type de tissu, la dose effective H_E est

$$H_E = W_T \cdot H_T$$

et dans le cas de l'irradiation de plusieurs types de tissus §(21) :

$$H_E = \sum_T W_T \cdot H_T$$

Pour que le risque résultant des effets biologiques aléatoires pour les travailleurs les plus exposés soit acceptable devant le risque moyen résultant des autres activités humaines, la dose effective annuelle LH_E est limitée à 5 rem. En fait, l'application de cette limite conduit à un niveau de protection très supérieur pour la moyenne des travailleurs car, dans de nombreux cas où le système de la CIPR pour la limitation des doses a été appliqué, la dose moyenne résultante n'a pas été supérieure au dixième de la limite annuelle fixée §(§ 99). Dans ces conditions, le risque associé à l'utilisation des rayonnements ionisants est comparable au risque moyen dans d'autres industries sûres §(§ 100).

Pour les femmes susceptibles de procréer et affectées à des travaux en présence de rayonnements ionisants où l'exposition se fait à rythme à peu près régulier, il est improbable que l'embryon reçoive une dose supérieure à 0,5 rem au cours des deux premiers mois de son développement. La CIPR estime

ainsi que la limitation de la dose effective à 5 rem par an assure une protection suffisante durant cette période essentielle d'organogenèse [5 (§ 115)].

Dans le cas théorique d'une irradiation partielle concernant un seul type de tissu à l'exclusion de tout autre, la notion de dose effective autoriserait, pour ce qui concerne les seuls effets aléatoires, une limite de dose $LH_T = 5/W_T$ (tableau 2, colonne 6) et ces limites seraient, relativement aux anciennes limites, moins sévères d'un facteur

$$K = LH_T/HMA$$

compris entre 2 et 8 suivant le tissu considéré (tableau 2, colonne 7).

Cependant, excepté lorsque les conditions d'irradiation ont été déterminées dans ce but particulier, il est très rare qu'une irradiation ne concerne qu'un seul type de tissu ; en particulier, l'examen des *limites secondaires d'incorporation* montre qu'une irradiation interne concerne souvent plusieurs types de tissu (voir ci-dessous aux paragraphes 3.22 et 3.23).

3.2. LIMITES SECONDAIRES ET LIMITES DERIVEES

3.21. Limites dérivées relatives à l'irradiation externe

Lorsque la distribution de l'équivalent de dose dans l'organisme n'est pas connue, l'indice d'équivalent de dose profond, défini par la Commission Internationale des Unités de Mesure des Rayonnements (CIUR) [9(6)], constitue une limite supérieure du risque. L'indice d'équivalent de dose profond, H_{Ip} , est l'équivalent de dose maximal dans le volume central sphérique de 28 cm de diamètre, d'une sphère de 30 cm de diamètre constituée d'un matériau équivalent au tissu mou ayant une masse volumique de 1 g/cm³.

La CIUR a également défini un indice d'équivalent de dose superficiel, H_{Is} , qui est l'équivalent de dose maximal dans le volume compris entre 70 μm et 1 cm de la surface d'une sphère de 30 cm de diamètre, constituée d'un matériau équivalent au tissu mou et ayant une masse volumique de 1 g/cm³.

3.22. Evaluation des limites relatives à la radioactivité de l'air (cas des travailleurs exposés)

Les précédentes notations CMA_{air} et QMA_{air} sont remplacées par les notations :

LC_{air} : Limite dérivée de concentration d'un radionucléide dans l'air.

LI_{air} : Limite secondaire d'incorporation annuelle d'activité d'un radionucléide par inhalation.

Ces limites doivent faire l'objet d'une double détermination afin que soient respectées indépendamment :

- . la limite de dose à chaque tissu, $LH_T = 50$ rem, pour éliminer les effets biologiques non aléatoires,
- . la limite de dose effective, $LH_E = 5$ rem, pour rendre acceptable les effets biologiques aléatoires.

a) *Limites fondées sur les effets non aléatoires*

Pour ne pas dépasser la limite de dose LH_T à chaque type de tissu considéré, les valeurs des limites correspondantes LC et LI peuvent être obtenues à partir des relations rappelées au paragraphe 2.2 et du facteur S défini au paragraphe 3.1.a. qui permettent d'écrire :

$$\begin{aligned} 1 LC_{air} &\cong S \cdot C_a \quad \text{Ci/m}^3 \\ 1 LC.h &\cong 1,25 \cdot S \cdot C_a \quad \text{Ci inhalés} \\ 1 LI_{air} &\cong 2\,000 LC.h \\ &\cong 2\,500 \cdot S \cdot C_a \quad \text{Ci inhalés} \end{aligned}$$

Le tableau 3a donne quelques exemples d'application.

b) *Limites fondées sur les effets aléatoires*

La limite de dose effective, $LH_E = 5$ rem, concernant l'organisme entier, il est nécessaire de tenir compte de l'ensemble des tissus recevant un équivalent de dose notable. Les limites correspondantes, LC et LI, peuvent être obtenues à partir des relations rappelées au paragraphe 2.2 et du facteur K défini au paragraphe 3.1.b. qui permettent d'écrire :

$$\begin{aligned} 1 LC_{air} &\cong 1 / \sum_T \frac{1}{(KC_a)_T} \quad \text{Ci/m}^3 \\ 1 LC.h &\cong 1,25 / \sum_T \frac{1}{(KC_a)_T} \quad \text{Ci inhalés} \\ 1 LI_{air} &\cong 2\,000 LC.h \\ &\cong 2\,500 / \sum_T \frac{1}{(KC_a)_T} \quad \text{Ci inhalés} \end{aligned}$$

Le tableau 3b donne quelques exemples d'application.

3.23. Evaluation des limites relatives à la radioactivité de l'eau
(cas des personnes du public)

Les précédentes notations QMA_{eau} et QMA_{eau} sont remplacées par les notations :

LC_{eau} : Limite dérivée de concentration d'un radionucléide dans l'eau³⁾

LI_{eau} : Limite secondaire d'incorporation annuelle d'activité d'un radionucléide par ingestion.

Comme dans le cas de la radioactivité de l'air, ces limites doivent faire l'objet d'une double détermination afin que soient respectées indépendamment (pour le cas considéré ici des personnes du public) :

- . la limite de dose à chaque tissu $LH_T = 5$ rem
- . la limite de dose effective $LH_E = 0,5$ rem.

a) Limites fondées sur les effets non aléatoires

Pour ne pas dépasser la limite de dose LH_T à chaque type de tissu considéré, les valeurs des limites correspondantes, LC et LI, peuvent être obtenues à partir des relations rappelées au paragraphe 2.3. et du facteur S défini au paragraphe 3.1.a. qui permettent d'écrire :

$$1 LC_{\text{eau}} \hat{=} S \cdot C_e \quad \text{Ci/m}^3$$

$$1 LI_{\text{eau}} \hat{=} 0,8 \cdot S \cdot C_e \quad \text{Ci ingérés}$$

Le tableau 4a donne quelques exemples d'application.

b) Limites fondées sur les effets aléatoires

Pour ne pas dépasser la limite de dose effective LH_E , les valeurs correspondantes, LC et LI, peuvent être obtenues à partir des relations rappelées au paragraphe 2.3 et du facteur K défini au paragraphe 3.1.b. qui permettent d'écrire :

$$1 LC_{\text{eau}} \hat{=} 1 / \sum_T \frac{1}{(KC_e)_T} \quad \text{Ci/m}^3$$

$$1 LI_{\text{eau}} \hat{=} 0,8 / \sum_T \frac{1}{(KC_e)_T} \quad \text{Ci ingérés}$$

Le tableau 4b donne quelques exemples d'application.

3) Cette limite dérivée, non retenue par la CIPR dans le cas de l'eau, est présentée ici pour permettre l'établissement de la limite d'incorporation.

Nota : Les valeurs numériques fournies dans les tableaux 3 et 4, concernant les *limites de concentration* dans l'air et dans l'eau ainsi que les *limites d'incorporation*, sont établies à partir des valeurs numériques C_a et C_e telles qu'elles sont fournies dans les publications 2 et 6 de la CIPR, c'est-à-dire avec un seul chiffre significatif. Les valeurs calculées ici pour LC et LI ne doivent donc être considérées que comme des ordres de grandeurs, d'autant plus que les constantes biologiques de calcul des valeurs C_a et C_e (telles que les coefficients de passage des radionucléides du tube digestif vers le sang et du sang vers le tissu considéré) feront très certainement, de la part de la CIPR, l'objet de corrections résultant de vingt années d'expérience.

IV - DISCUSSION

4.1. TERMINOLOGIE

La nouvelle terminologie présente l'avantage d'être plus simple que la précédente et surtout elle exprime plus exactement les grandeurs en cause. La terminologie précédente définissant des valeurs *maximales admissibles* ne pouvait qu'inciter le lecteur non averti à considérer fatalement que le dépassement d'une LMA ne pouvait avoir que des conséquences graves, alors que le dépassement d'une *limite de tolérance* dans le domaine de la pollution chimique ne semblait pas soulever les mêmes inquiétudes. Cette situation était d'autant plus fautive que les limites fixées dans le domaine de la radioprotection sont environ cent fois plus sévères que les limites utilisées dans le domaine de la pollution classique pour ce qui concerne les effets non aléatoires ; de plus, la prise de conscience des effets aléatoires associés à la pollution chimique est encore si faible que la notion de *rad équivalent chimique* pourra lui être d'un grand secours.

4.2. SIMPLICITE D'EXPLOITATION ET VALIDITE DES NOUVELLES GRANDEURS

Bien que traitant séparément les effets aléatoires et les effets non aléatoires, ce qui est un progrès important, les nouvelles *limites de dose* sont en plus petit nombre que les précédentes. La limite moyenne 5(N-18) et les limites *trois mois* ont été supprimées ; de plus, les limites de dose pour l'irradiation partielle ont la même valeur pour tous les tissus (50 rem), excepté le cristallin (30 rem).

La notion de *dose effective* correspond à une nécessité logique ; elle permet une interprétation rationnelle de l'irradiation inhomogène de l'organisme, en particulier dans le cas de l'irradiation interne. En effet, l'addition pure et simple des précédentes CMA ou des CMA.m^3 concernant plusieurs radionucléides présents dans l'air ou dans l'eau n'était une opération logique que si l'organe le plus exposé était le même pour tous les radionucléides en cause.

4.3. SEVERITE DES NOUVELLES LIMITES

Les limites d'irradiation globale sont maintenues. Par contre, les limites d'irradiation partielle sont dans l'ensemble moins sévères pour l'irradiation externe et aussi, bien qu'à un moindre degré, pour l'irradiation interne ainsi que le montre la comparaison des anciennes CMA et des nouvelles limites de concentration dans l'air ou dans l'eau (tableaux 3 et 4).

4.4. FONDEMENTS BIOLOGIQUES DES NOUVELLES LIMITES

Le paragraphe 77 de la publication 26 de la CIPR précise :

"Les précédentes limites d'équivalent de dose recommandées par la Commission ont été appliquées durant plus de vingt années. Elles ont été largement utilisées et introduites dans la législation de nombreuses nations. De plus, rien n'indique que le système recommandé pour la limitation des doses n'a pas assuré le degré de sécurité requis. Cependant, la Commission considère qu'il convenait de revoir ces limites d'équivalent de dose à la lumière de nos connaissances présentes, pour déterminer s'il devait en résulter quelques modifications".

Les changements apportés en définitive par la Commission dans les valeurs des limites de dose sont dans l'ensemble assez restreints. Par contre, les fondements biologiques de limitation des doses ont été complètement remaniés ; ils sont mieux définis, en particulier par la distinction des effets biologiques aléatoires et des effets non aléatoires.

La mise en lumière de l'importance des effets aléatoires et les dispositions de prudence adoptées par la Commission devant les difficultés qui demeurent montrent que les nouvelles recommandations représentent une limite supérieure de l'évaluation des risques associés à l'utilisation des rayonnements ionisants, ces dispositions de prudence pouvant constituer un important facteur de sécurité dans le cas des rayonnements à TEL faible.

BIBLIOGRAPHIE

- [1/ Recommendations of the International Commission on Radiological Protection - ICRP Publication 1 - 1958 - Pergamon Press 1959
- [2/ Recommendations of the International Commission on Radiological Protection - ICRP Publication 6 - 1962 - Pergamon Press 1964
- [3/ Recommendations of the International Commission on Radiological Protection - ICRP Publication 9 - 1965 - Pergamon Press 1966
- [4/ Sources and effects of ionizing radiation
United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) - 1977 Report
- [5/ Recommendations of the International Commission on Radiological Protection - ICRP Publication 26 - 1977 - Pergamon Press
- [6/ Recommendations of the International Commission on Radiological Protection - Report of Committee II on Permissible dose for Internal Radiation - ICRP Publication 2 - 1959 - Pergamon Press 1960
- [7/ JOFFRE H.
Détermination des irradiations par contamination interne de l'organisme - Rapport CEA n° 2282 - 1963
- [8/ MORGAN K.Z.
Doses commitments - Congrès International sur la radioprotection dans l'utilisation industrielle des radioéléments - SFRP - Paris 1965 - Edition du SCPRI 1967
- [9/ International Commission on Radiation Units and Measurements - The conceptual Basis for the Determination of Dose Equivalent - ICRU Report 25 - 1976

BIBLIOGRAPHIE

- complément -

- /10/ WAMBERSIE A. - DUTREIX A.
Problèmes dosimétriques posés par la détermination de l'EBR dans
un large domaine d'énergie.
Biological aspects of radiation quality - IAEA - Lucas Heights - 1971
- /11/ BOND V.P. - MEINHOLD C.B. - ROSSI H.H.
Low-dose RBE and Q for X-ray compared to gamma-ray radiations
Health Physics 34 - 433,438 - 1978
- /12/ WAMBERSIE A. - DUTREIX A. - DUTREIX J. - LELLOUCH J. -
MOUSTACCHI E. - TUBIANA M.
Efficacité biologique relative d'un faisceau d'électrons de 20 MeV
en fonction de la profondeur
Int.J.Rad.Biol. 10 - 261,275 - 1965
- /13/ ROSSI H.H. - MAYS C.W.
Leukemia risk from neutrons
Health Physics 34 - 353,360 - 1978
- /14/ Review of the Current State of Radiation Protection Philosophy
National Council on Radiation Protection and Measurements -
NCRP Report n° 43 - 1975
- /15/ Radiation Quantities and Units
International Commission on Radiation Units and Measurements
ICRU Report 19 - 1971

ANCIENNE CLASSIFICATION

EFFETS SOMATIQUES		EFFETS GENETIQUES	
<ul style="list-style-type: none"> . Altération de la formule sanguine . Erythème . Epilation . Dermite . Atteinte de la fertilité . Cataracte . Atrophies 	<ul style="list-style-type: none"> . Leucémies et cancers 	<ul style="list-style-type: none"> . mutations sur l'individu irradié 	<ul style="list-style-type: none"> . mutations sur la descendance
EFFETS NON ALEATOIRES	EFFETS ALEATOIRES		

NOUVELLE CLASSIFICATION

TABLEAU 1 - CLASSIFICATION DES EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS

1	2	3	4	5	6	7
Tissu concerné	HMA	Effets non aléatoires ($LH_T = 50$ rem)	Effets aléatoires ($LH_E = 5$ rem)			
			Risque	W_T	$LH_T = 5/W_T$	$K = LH_T/HMA$
	rem	$S = 50/HMA$	10^{-4} rem^{-1}	rem		
Gonades	5	10	0,40	0,25	20	<u>4</u>
Moelle rouge	5	10	0,20	0,12	42	<u>8,3</u>
Poumon	15	3,3	0,20	0,12	42	<u>2,8</u>
Thyroïde	30	<u>1,7</u>	0,05	0,03	167	5,6
Os	30	<u>1,7</u>	0,05	0,03	167	5,6
Sein	15	3,3	0,25	0,15	33	<u>2,2</u>
Reste (5 tissus les plus exposés)	15	<u>3,3</u>	5 fois 0,10	5 fois 0,06	83	5,6
Corps entier	5(N-18)		H 1,40 F 1,65	1,00		

TABLEAU 2 - IRRADIATION PARTIELLE DE L'ORGANISME

Comparaison des limites de dose, anciennes et nouvelles, dans le cas théorique de l'irradiation d'un tissu à l'exclusion de tout autre

(La valeur la plus limitative de S ou K est soulignée)

Radionucléide (forme soluble)	Tissu considéré	S	CMA _{air}		LC _{air}		LI _{air}	
			Ci/m ³	Ci/m ³	Bq/m ³	Ci	Bq	
¹⁴ C (CO ₂)	graisse	3,3	4.10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	5.10 ⁵	3.10 ⁻²	10 ⁹	
	os	1,7	6.10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	4.10 ⁵	3.10 ⁻²	10 ⁹	
²⁴ Na	estomac	3,3	10 ⁻⁶	3.10 ⁻⁶	10 ⁵	8.10 ⁻³	3.10 ⁸	
³² P	os	1,7	7.10 ⁻⁸	10 ⁻⁷	4.10 ³	3.10 ⁻⁴	10 ⁷	
	gros intestin	3,3	6.10 ⁻⁷	2.10 ⁻⁶	7.10 ⁴	5.10 ⁻³	2.10 ⁸	
	foie	3,3	6.10 ⁻⁷	2.10 ⁻⁶	7.10 ⁴	5.10 ⁻³	2.10 ⁸	
⁹⁰ Sr	os	1,7	10 ⁻⁹	2.10 ⁻⁹	6.10 ¹	4.10 ⁻⁶	2.10 ⁵	
	gros intestin	3,3	3.10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	4.10 ⁴	2.10 ⁻³	10 ⁸	
¹³¹ I	thyroïde	1,7	9.10 ⁻⁹	2.10 ⁻⁸	6.10 ²	4.10 ⁻⁵	10 ⁶	
	gros intestin	3,3	7.10 ⁻⁶	2.10 ⁻⁵	9.10 ⁵	6.10 ⁻²	2.10 ⁹	
¹³⁷ Cs	foie	3,3	8.10 ⁻⁸	3.10 ⁻⁷	10 ⁴	7.10 ⁻⁴	2.10 ⁷	
	rate	3,3	9.10 ⁻⁸	3.10 ⁻⁷	10 ⁴	7.10 ⁻⁴	3.10 ⁷	
	muscle	3,3	10 ⁻⁷	3.10 ⁻⁷	10 ⁴	8.10 ⁻⁴	3.10 ⁷	
	os	1,7	2.10 ⁻⁷	3.10 ⁻⁷	10 ⁴	8.10 ⁻⁴	3.10 ⁷	
	rein	3,3	2.10 ⁻⁷	7.10 ⁻⁷	2.10 ⁴	2.10 ⁻³	6.10 ⁷	
	poumon	3,3	6.10 ⁻⁷	2.10 ⁻⁶	7.10 ⁴	5.10 ⁻³	2.10 ⁸	
²²⁶ Ra	os	1,7	3.10 ⁻¹¹	5.10 ⁻¹¹	2	10 ⁻⁷	5.10 ³	
²³⁹ Pu	os	1,7	2.10 ⁻¹²	3.10 ⁻¹²	10 ⁻¹	9.10 ⁻⁹	3.10 ²	
	foie	3,3	7.10 ⁻¹²	2.10 ⁻¹¹	9.10 ⁻¹	6.10 ⁻⁸	2.10 ³	
	rein	3,3	9.10 ⁻¹²	3.10 ⁻¹¹	1	7.10 ⁻⁸	3.10 ³	

TABLEAU 3a - LIMITES POUR LES TRAVAILLEURS EXPOSES

A LA RADIOACTIVITE DE L'AIR

CAS DES EFFETS NON ALEATOIRES (IHL_T = 50 rem)

Nota : Les valeurs soulignées sont les plus restrictives des tableaux 3a et 3b

Radionucléide (forme soluble)	Tissu considéré	K	CMA _{air}	LC _{air}		LI _{air}	
			Ci/m ³	Ci/m ³	Bq/m ³	Ci	Bq
³ H (H ₂ O)	corps entier		8.10 ⁻⁶	<u>8.10⁻⁶</u>	<u>3.10⁵</u>	<u>2.10⁻²</u>	<u>7.10³</u>
¹⁴ C (CO ₂)	corps entier		5.10 ⁻⁶	<u>5.10⁻⁶</u>	<u>2.10⁵</u>	<u>10⁻²</u>	<u>5.10⁸</u>
²⁴ Na	corps entier		2.10 ⁻⁶	<u>2.10⁻⁶</u>	<u>7.10⁴</u>	<u>5.10⁻³</u>	<u>2.10⁸</u>
³² P	corps entier		4.10 ⁻⁷	/	/	/	/
	os	5,6	7.10 ⁻⁸	(
	gros intestin	5,6	6.10 ⁻⁷	(	10 ⁴	8.10 ⁻⁴	3.10 ⁷
	foie	5,6	6.10 ⁻⁷	(
⁹⁰ Sr	corps entier		2.10 ⁻⁹	<u>2.10⁻⁹</u>	<u>7.10¹</u>	<u>5.10⁻⁶</u>	<u>2.10⁵</u>
	os	5,6	10 ⁻⁹	/	/	/	/
¹³¹ I	corps entier		8.10 ⁻⁷	/	/	/	/
	thyroïde	5,6	9.10 ⁻⁹	<u>5.10⁻⁸</u>	<u>2.10³</u>	<u>10⁻⁴</u>	<u>5.10⁶</u>
¹³⁷ Cs	corps entier		6.10 ⁻⁸	<u>6.10⁻⁸</u>	<u>2.10³</u>	<u>2.10⁻⁴</u>	<u>6.10⁶</u>
²²⁶ Ra	corps entier		5.10 ⁻¹¹	5.10 ⁻¹¹	2	10 ⁻⁷	5.10 ³
²³⁹ Pu	corps entier		10 ⁻¹¹	/	/	/	/
	os	5,6	2.10 ⁻¹²	(
	foie	5,6	7.10 ⁻¹²	(	3.10 ⁻¹	2.10 ⁻⁸	6.10 ²
	rein	5,6	9.10 ⁻¹²	(

TABLEAU 3b - LIMITES POUR LES TRAVAILLEURS EXPOSES
A LA RADIOACTIVITE DE L'AIR

CAS DES EFFETS ALEATOIRES (I_H_E = 5 rem)

Nota : Les valeurs soulignées sont les plus restrictives des tableaux 3a et 3b

Radionucléide (forme soluble)	Tissu considéré	S	CM _{eau}	LC _{eau}		LI _{eau}	
			Ci/m ³	Ci/m ³	Bq/m ³	Ci	Bq
¹⁴ C (CO ₂)	graisse	3,3	8.10 ⁻⁴	3.10 ⁻³	10 ⁸	2.10 ⁻³	8.10 ⁷
	os	1,7	10 ⁻³	2.10 ⁻³	10 ¹¹	10 ⁻³	5.10 ⁷
²⁴ Na	estomac	3,3	2.10 ⁻⁴	7.10 ⁻⁴	2.10 ⁷	5.10 ⁻⁴	2.10 ⁷
³² P	os	1,7	2.10 ⁻⁵	3.10 ⁻⁵	1.10 ⁶	3.10 ⁻⁵	10 ⁶
	gros intestin	3,3	9.10 ⁻⁵	3.10 ⁻⁴	10 ⁷	2.10 ⁻⁴	9.10 ⁶
	foie	3,3	2.10 ⁻⁴	7.10 ⁻⁴	2.10 ⁷	5.10 ⁻⁴	2.10 ⁷
⁹⁰ Sr	os	1,7	4.10 ⁻⁷	7.10 ⁻⁷	3.10 ⁴	5.10 ⁻⁷	2.10 ⁴
	gros intestin	3,3	5.10 ⁻⁵	2.10 ⁻⁴	6.10 ⁶	10 ⁻⁴	5.10 ⁶
¹³¹ I	thyroïde	1,7	2.10 ⁻⁶	3.10 ⁻⁶	10 ⁵	3.10 ⁻⁶	10 ⁵
¹³⁷ Cs	foie	3,3	2.10 ⁻⁵	7.10 ⁻⁵	2.10 ⁶	5.10 ⁻⁵	2.10 ⁶
	rate	3,3	2.10 ⁻⁵	7.10 ⁻⁵	2.10 ⁶	5.10 ⁻⁵	2.10 ⁶
	muscle	3,3	2.10 ⁻⁵	7.10 ⁻⁵	2.10 ⁶	5.10 ⁻⁵	2.10 ⁶
	os	1,7	5.10 ⁻⁵	9.10 ⁻⁵	3.10 ⁶	7.10 ⁻⁵	3.10 ⁶
	rein poumon	3,3 3,3	5.10 ⁻⁵ 2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴ 7.10 ⁻⁴	6.10 ⁶ 2.10 ⁷	10 ⁻⁴ 5.10 ⁻⁴	5.10 ⁶ 2.10 ⁷
²²⁶ Ra	os	1,7	10 ⁻⁸	2.10 ⁻⁸	10 ⁶	10 ⁻⁸	5.10 ²
²³⁹ Pu	os	1,7	5.10 ⁻⁶	9.10 ⁻⁶	3.10 ⁵	7.10 ⁻⁶	3.10 ⁵
	foie	3,3	2.10 ⁻⁵	7.10 ⁻⁵	2.10 ⁶	5.10 ⁻⁵	2.10 ⁶
	rein	3,3	2.10 ⁻⁵	7.10 ⁻⁵	2.10 ⁶	5.10 ⁻⁵	2.10 ⁶
	gros intestin	3,3	3.10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	4.10 ⁶	8.10 ⁻⁵	3.10 ⁶

TABLEAU 4a - LIMITES POUR LES PERSONNES DU PUBLIC

EXPOSEES A LA RADIOACTIVITE DE L'EAU

CAS DES EFFETS NON ALEATOIRES (LH_T = 50 rem)

Nota : Les valeurs soulignées sont les plus restrictives des tableaux 4a et 4b

Radionucléide (forme soluble)	Tissu considéré	K	CMA _{eau}	LC _{eau}		LI _{eau}	
			Ci/m ³	Ci/m ³	Bq/m ³	Ci	Bq
³ H (HTO)	corps entier		5.10 ⁻³	<u>5.10⁻³</u>	<u>2.10⁸</u>	<u>4.10⁻³</u>	<u>10⁸</u>
¹⁴ C (CO ₂)	corps entier		10 ⁻³	<u>10⁻³</u>	<u>4.10⁷</u>	<u>3.10⁻⁴</u>	<u>3.10⁷</u>
²⁴ Na	corps entier		4.10 ⁻⁴	<u>4.10⁻⁴</u>	<u>10⁷</u>	<u>3.10⁻⁴</u>	<u>10⁷</u>
³² P	corps entier		9.10 ⁻⁵	/	/	/	/
	os	5,6	2.10 ⁻⁵	(
	gros intestin	5,6	9.10 ⁻⁵	(	8.10 ⁻⁵	3.10 ⁶	6.10 ⁻⁵
	foie	5,6	2.10 ⁻⁴	(
⁹⁰ Sr	corps entier		7.10 ⁻⁷	7.10 ⁻⁷	3.10 ⁴	6.10 ⁻⁷	2.10 ⁴
	os	5,6	4.10 ⁻⁷	/	/	/	/
	gros intestin	5,6	5.10 ⁻⁵	/	/	/	/
¹³¹ I	corps entier		2.10 ⁻⁴	/	/	/	/
	thyroïde	5,6	2.10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	4.10 ⁵	8.10 ⁻⁶	3.10 ⁵
¹³⁷ Cs	corps entier		2.10 ⁻⁵	<u>2.10⁻⁵</u>	<u>7.10⁵</u>	<u>2.10⁻⁵</u>	<u>6.10⁵</u>
²²⁶ Ra	corps entier		2.10 ⁻⁸	2.10 ⁻⁸	7.10 ²	2.10 ⁻⁸	6.10 ²
	os	5,6	10 ⁻⁸	/	/	/	/
²³⁹ Pu	corps entier		3.10 ⁻⁵	/	/	/	/
	os	5,6	5.10 ⁻⁶	(
	foie	5,6	2.10 ⁻⁵	(	2.10 ⁻⁵	7.10 ⁵	2.10 ⁻⁵
	rein	5,6	2.10 ⁻⁵	(
	gros intestin	5,6	3.10 ⁻⁵	(

**TABLEAU 4b - LIMITES POUR LES PERSONNES DU PUBLIC
EXPOSEES A LA RADIOACTIVITE DE L'EAU**

CAS DES EFFETS ALEATOIRES (LH_E = 0,5 rem)

Nota : Les valeurs soulignées sont les plus restrictives des tableaux 4a et 4b

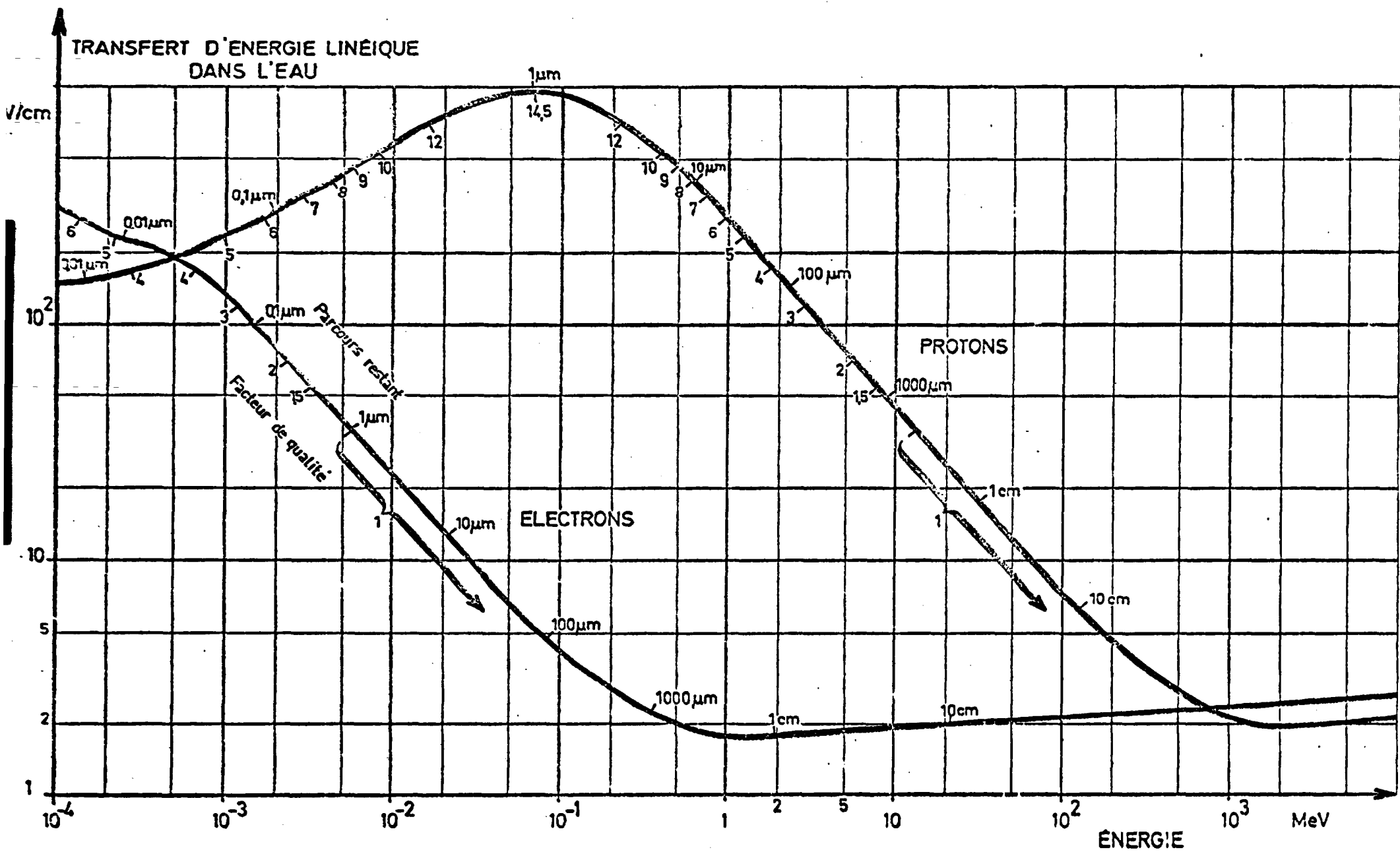


Figure 1 - TRANSFERT D'ÉNERGIE LINÉAIRE DES ÉLECTRONS ET DES PROTONS en fonction de l'énergie dans l'eau.