

À PROPOS DE L'ARGUMENTATION DE L'ÉTABLISSEMENT DES NORMES DES GAZ RADIO-ACTIFS INERTES

N. G. GOUSSEV, O. A. KOTCHETKOV, L. M. MIKHAILOV, A. D. TOURKINE,
E. S. TROUKHMANOVA et V. P. PHILIPOVITCH

Institut de Biophysique du Ministère de la Santé Publique de l'URSS.

Résumé—Jusqu' à présent on a défini les normes des gaz radio-actifs inertes (GRI) du type des isotopes Ar, Kr, Xe en établissant leurs concentrations maximum admissibles (CMA) dans l'air des locaux de travail et dans l'atmosphère des localités. Conformément aux recommandations de la CIPR (Commission Internationale de Protection contre les Radiations⁽¹⁾) la CMA est déterminée dans ce cas selon la dose de radiation β , γ externe qu'une personne recevrait si elle était entourée par un nuage hémisphérique infini de GRI.

On montre dans ce rapport que, dans le cas du rejet des GRI par le tube de ventilation dans la direction de propagation du panache, il n'y a pas de concordance stricte entre la concentration des gaz inertes dans la couche d'air au niveau de la terre et la dose calculée de radiation γ externe. C'est pourquoi l'établissement des normes des isotopes Ar, Kr et Xe dans l'air atmosphérique doit se faire non pas d'après la CMA, mais d'après la dose annuelle de radiation γ externe produite par le panache des gaz radio-actifs à la surface de la terre. Dans ce cas, le rejet maximum admissible I,Ci/unite de temps, représente la grandeur principale contrôlable.

Dans l'air des locaux de travail l'établissement des normes est fait d'après la CMA mais, dans les formules de calcul, il est nécessaire de prendre en considération les limites de volume des salles et le fait que le danger d'irradiation, pratiquement, se détermine complètement par le champ de radiation de particules β et d'électrons de conversion.

DANS ce rapport sont présentés les résultats de calcul et les résultats expérimentaux d'une étude concernant les questions d'établissement des normes des GRI (gaz radio-actifs inertes).

1. RELATION ENTRE LA DOSE À LA SURFACE DU SOL ET LE REJET DES GRI

On sait que la dose de radiation externe provenant des GRI* dépasse considérablement la dose de radiation interne correspondante, au cas où la personne irradiée se trouve dans une salle de volume limité.

Si des GRI se trouvent dans l'air atmosphérique leur effet d'irradiation se détermine essentiellement par la dose de radiation γ externe, créée par le panache de gaz radio-actifs à la surface de la terre; la contribution des radia-

tions β est négligeable. Dans ce paragraphe, on présente les données expérimentales et théoriques concernant la relation entre la dose de radiation γ externe à la surface de la terre et la grandeur mesurant le rejet des GRI.

1. Relation théorique entre la dose à la surface du sol et le rejet des GRI

Considérons la source d'éjection des GRI, ayant la forme d'un tube, de hauteur H_{eff} , dont la base se trouve au centre du système rectangulaire de coordonnées (x, y, z) .

Nous prenons pour direction positive de l'axe x la projection de l'axe du panache sur la surface de la terre, c'est-à-dire sur le plan xy (fig. 1).

L'intensité moyenne de la dose $\mathcal{P}(\rho)$ de rayons γ créée par le panache de GRI à la distance ρ de la source de rejets, étant supposé un

* On considère toujours les isotopes Ar, Kr, Xe.

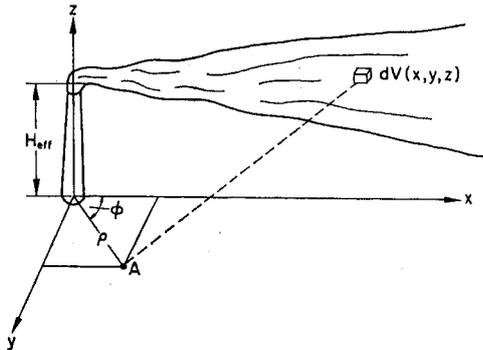


FIG. 1. Géométrie de la source de radiations.

mouvement uniforme du panache le long de l'azimut ϕ , peut être calculée par la relation

$$\bar{\mathcal{P}}(\rho) = \frac{\int_0^{2\pi} \mathcal{P}(\rho, \phi) d\phi}{\int_0^{2\pi} d\phi} = \frac{\kappa_\gamma i}{2\pi} \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^\infty dx \int_0^\infty dy \int_0^\infty \frac{Q(x, y, z) e^{-\mu r} B(\mu r, E, Z) dz}{r^2} \quad (1)$$

avec: κ_γ = constante γ de l'isotope donné, rad \times cm²/heure \times Ci;⁽²⁾
 μ = coefficient linéaire d'atténuation des rayons γ dans l'air;

$$r = \sqrt{(x - \rho \cos \phi)^2 + (y - \rho \sin \phi)^2 + (z - z_0)^2}$$

distance entre l'élément de volume du panache dv et le point où se fait la détection de la dose;

$B(\mu r, E, Z)$ = "build-up factor", c.-à-d.—facteur d'accumulation de dose de rayons γ dans l'air. Dans les calculs, il est représenté par la somme de deux fonctions exponentielles $B(\mu r, E, Z) = Ae^{-\alpha_1 \mu r} + (1 - A)e^{-\alpha_2 \mu r}$;

$Q(x, y, z)$ = fonction décrivant la distribution des GRI dans le volume du panache.

Alors la formule pour la détermination de la dose annuelle moyenne de radiation γ à la surface du sol $\bar{\mathcal{D}}(\rho)$ sera

$$\bar{\mathcal{D}}(\rho) = \frac{\bar{\mathcal{P}}(\rho) \mathcal{T} \alpha t}{\mathcal{T}_0} \text{ rad/an} \quad (2)$$

$\bar{\mathcal{P}}(\rho)$ = intensité de la dose déterminée par la formule (1), en R/heure;

\mathcal{T} = intensité de la source d'éjection, Ci/sec; éjection normée: $\mathcal{T}_0 = 1$ Ci/sec;

α = part de vent-heures pour le rhumb considéré;

t = quantité totale de vent-heures pour les 8 rhumbs, en heures/an.

Pour faire les calculs on a pris le type de fonction $Q(x, y, z)$ de la partition de la concentration des GRI dans le volume du panache conformément à l'ouvrage de D. L. Laikhtmann⁽³⁾

$$Q(x, y, z) = \frac{\mathcal{T}_0 e^{-\frac{y^2}{2(0,2 x^{0,9})^2}} (Z H_{eff})^{\frac{\epsilon}{2}} Z^{1-\epsilon}}{\sqrt{2\pi} (0,2 x^{0,9})^2 (1+m+\epsilon) \kappa_1 x} \times I_B - \frac{\epsilon}{m+\epsilon+1}$$

$$\left[\frac{(Z H_{eff})^{\frac{1+m+\epsilon}{2}}}{x \frac{(1+m+\epsilon)^2}{2} \cdot \frac{\kappa_1}{u_1} Z^{m+\epsilon-1}} \right] \times \exp \left[-\frac{Z^{1+m+\epsilon} + H_{eff}^{1+m+\epsilon}}{x (1+m+\epsilon)^2 \frac{\kappa_1}{u_1} Z^{m+\epsilon-1}} \right] \quad (3)$$

Avec: $\mathcal{T}_0 = 1$ Ci/sec—intensité d'éjection normée;

u_1 = vitesse de vent au niveau fixé Z , m/sec ($1 m \leq Z \leq 7m$);

κ_1 = coefficient d'échange vertical turbulent au niveau Z ;

H_{eff} = hauteur effective du tube,

m = paramètre caractérisant le profil de la vitesse de vent (il dépend de la stratification de l'atmosphère et des rugosités de la surface sous-jacente);

ϵ = paramètre caractérisant la stratification de l'atmosphère. \mathcal{F} représente la fonction de la différence des températures (Δt) et de la vitesse du vent (U_1) au niveau fixé Z_1 ($\epsilon = 0$ à l'équilibre indifférent, $-0,3 < \epsilon < -0,1$ à la stratification instable et $0,1 < \epsilon < 0,3$ —à la stratification stable); $I_B = \frac{\epsilon}{m + \epsilon - 1} [- \dots -]$ intégrale de Bessel.

À l'aide des formules (1-3) on a calculé les doses annuelles de radiation γ à la surface de la terre pour des hauteurs définies du tube de ventilation et les différentes conditions météorologiques.

Les résultats des calculs et les données expérimentales sont indiqués sur les figures 2 et 3.

1.2. Corrélations expérimentales entre la dose de radiation α et le rejet des GRI

Les mesures ont été effectuées dans les conditions naturelles pendant les années 1963 à 1965. Comme source d'éjection continue de Ar^{41} on utilisait un tube de hauteur $H_{eff} = 91$ m. Quelques centaines de dosimètres intégrateurs construits à base de verres thermoluminescents étaient placés dans les différentes directions à des distances de la source allant jusqu'à 20 km. Les dosimètres étaient installés à des hauteurs de

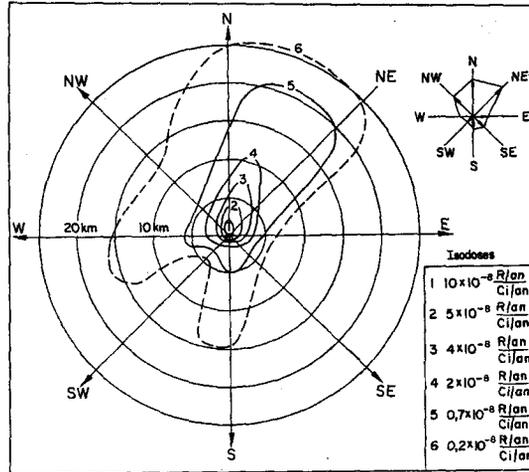


FIG. 2. Distribution expérimentale (normalisée) des isodoses.

1 à 3 m au-dessus du sol. Chaque exposition durait un an et on a fait des observations pendant deux années. L'erreur dans la détermination de la dose était de l'ordre $\pm 20\%$.

En même temps on menait les observations concernant l'éjection des GRI et les conditions météorologiques. Pour la détermination du fond de radio-activité naturelle, des détecteurs de rayonnement étaient installés à des distances de 40 à 70 km de la source de rejet.

Les résultats expérimentaux avec les données

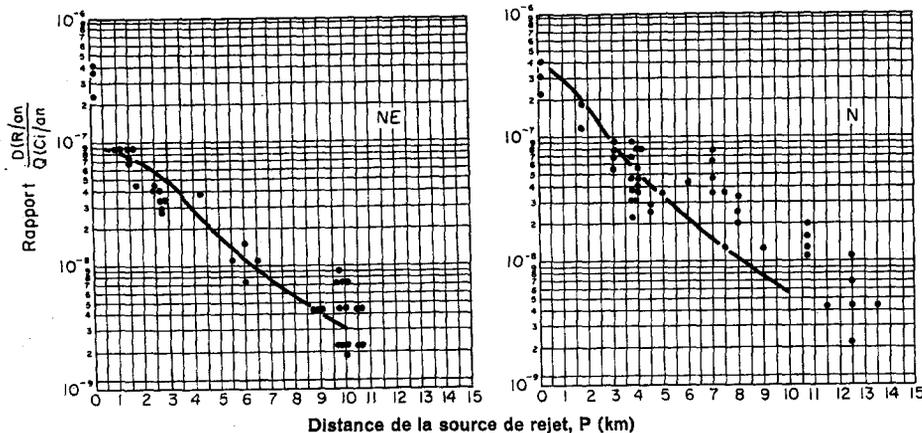


FIG. 3. Relation normalisée entre la dose $D(P, \mathcal{F})$ et la distance, $\frac{R/Jan}{Ci/Jan}$. — calcul; . points expérimentaux.

de calcul pour deux aires de vent, sont présentés sur les figures 2 et 3. Sur la figure 3 la distance de la source de rejet ρ km, est portée le long de l'axe des abscisses, et la grandeur normée de la dose $D(\rho, \mathcal{S}_0) = D_1$, rad/an/ \mathcal{S}_0 , Ci/an—le long de l'axe des ordonnées.

La figure 3 montre un bon accord des données expérimentales et des résultats des calculs faits pour les conditions météorologiques réelles. La pire divergence atteint $\pm 70\%$. Cette divergence provient des erreurs de détermination de la grandeur totalisant les rejets ($\pm 30\%$), des erreurs de mesure sur la dose à la surface du sol ($\pm 20\%$) et des erreurs de détermination des paramètres météorologiques $\pm 20\%$.

La figure 3 montre que la courbe de changement de la dose avec la distance a un caractère harmonique: la dose de radiation γ s'atténue graduellement avec l'augmentation de la distance.

On sait que la valeur de la concentration des gaz (ainsi que des aérosols) au niveau du sol suit une autre loi: la courbe de dépendance de la concentration des GRI au niveau du sol avec la distance a son maximum à la distance de 4 à 40 fois la longueur du tube. Cette circonstance indique qu'on doit faire le pronostic du facteur principal de l'action radio-active des GRI non selon la concentration au niveau du sol, mais à partir de la dose de radiation γ externe à la surface de la terre; cette dose se détermine à son tour par trois paramètres principaux: éjection, distance et conditions météorologiques. Ces données créent en principe la possibilité de déterminer la valeur d'éjection maximum admissible \mathcal{S} avec la quelle la dose maximum admissible sur la localité sera obtenue à la distance ρ de la source.

2. RELATION ENTRE LA DOSE D'IRRADIATION DU CORPS ENTIER ET LA CONCENTRATION DES GRI DANS L'ATMOSPHÈRE DES LOCAUX DE TRAVAIL

Dans les recommandations de la CIPR⁽¹⁾ le calcul des CMA des gaz radio-actifs inertes dans l'atmosphère de locaux de travail est fait de la même façon que le calcul pour l'air atmosphérique, c.-à-d. selon les formules valables pour un nuage étendu infini et sans tenir compte de l'absorption des particules β dans les couches tégumentaires des organes critiques.

Dans ce paragraphe, on présente les résultats expérimentaux et théoriques concernant la détermination de la relation entre la dose profonde et la CMA des GRI. Ces expériences et calculs ont été réalisés en tenant compte des différences existant entre les doses maximum admissibles de certains organes critiques particuliers, de l'existence d'une couche protectrice (tégumentaire) dans chacun d'eux, de la limitation du volume des salles impliquant que l'équilibre des rayonnements n'est pas réalisé pour les photons γ , ni même pour les particules β .

2.1. Relation théorique entre la dose profonde dans le tissu et la concentration des GRI dans l'atmosphère des locaux de travail

Il est rationnel de considérer le volume émetteur (local de travail) comme un hémisphère absorbant de rayon R_0 , à la base duquel se trouve, au centre un objet exposé à l'irradiation. Il faut envisager séparément la dose de radiation γ externe et la dose de radiation β . La dose de radiation γ (\mathcal{D}_γ), dans le centre de l'hémisphère, se détermine par une intégration étendue à tout le volume de l'hémisphère de rayon R_0 selon une concentration des GRI de Q , mCi/cm³

$$\mathcal{D}_\gamma = 2\pi Q t \sum \frac{K_{\gamma i}}{\mu_i} (1 - e^{-\mu_i R}), \quad (4)$$

avec: $K_{\gamma i}$, i = constante différentielle γ pour l'énergie E_i , de l'isotope donné, rad \times cm²/heure. mCi;⁽²⁾
 μ_i = coefficient linéaire d'atténuation des photons γ dans l'air, cm⁻¹;
 t = temps.

On peut négliger la distribution des doses profondes dans les premières couches ainsi que la différence en valeurs numériques de "R" et "rad" dans les tissus biologiques.

On sait que la distribution en profondeur des doses absorbées de particules β issues d'une source uniforme infiniment épaisse est bien décrite par la formule de Löwinger.⁽⁴⁾ Pourtant on rencontre souvent en pratique des cas où les conditions de l'équilibre radio-actif pour les particules β ne sont pas réalisées. Dans ces cas le calcul des doses profondes de particules β avec un spectre continu de radiations peut être réalisé par l'intégration de la fonction de dose

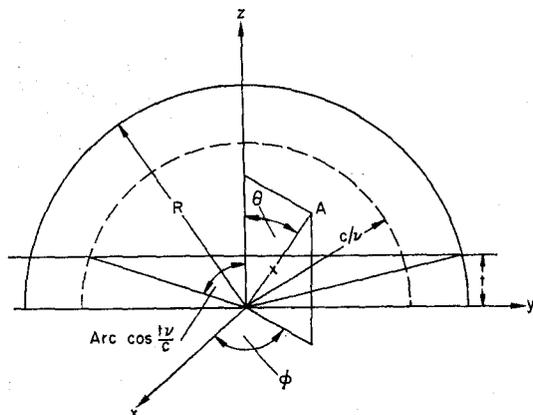


FIG. 4. Coordonnées pour le calcul de la dose absorbée de particules β dans les tissus biologiques.

d'une source ponctuelle, étendue à tout le volume de l'hémisphère, lequel est équivalent au volume de la salle.

La formule de départ pour le calcul de la dose absorbée par une particule β , \mathcal{D}_β , sera

$$\mathcal{D}_{\beta_1}(t) = \frac{\tau\kappa}{\rho_b} \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{\text{arc cos } \frac{vt}{c}} \sin \zeta d\zeta \int_{t \text{ sec } \zeta}^{\frac{c}{v}} \frac{1}{(\nu\kappa)^2} \left[1 - \frac{\nu\kappa}{c} e^{1-\frac{\nu\kappa}{c}} \right] c\kappa^2 d\kappa + \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{\text{arc cos } t/R} \sin \zeta d\zeta \int_{t \text{ sec } \zeta}^R \frac{1}{(\nu\kappa)} e^{1-\nu\kappa} x^2 dx, \tag{5}$$

Les paramètres géométriques ϕ , ζ et R sont indiqués par la fig. 4, le paramètre (R) contenant le rayon de l'hémisphère et l'épaisseur d'absorbent t , mg/cm²; ρ_b = densité de tissu biologique, g/cm³; les coefficients τ , κ , c , ν , x sont définis conformément à l'ouvrage de Löwinger.⁽⁴⁾

On a écrit la formule (5) en supposant que les matières de la source et de l'absorbent sont identiques. Pour tenir compte de la différence des densités et des pouvoir d'arrêt de l'air et

du tissu nous introduisons la notion de relation équivalente:

$$R_{\text{equiv}} = \left[\frac{t}{\rho_b} + \frac{R-t}{\rho_a} \frac{L_b}{L_a} \right], \tag{6}$$

où l'épaisseur de tissu t et le rayon $R = R_0 + t$ sont exprimés en g/cm², les densités de tissu biologique (ρ_b) et d'air (ρ_a) en g/cm³ et les parcours maximum des particules β dans le tissu biologique (L_b) et dans l'air (L_a) en cm.

En faisant l'intégration de la relation (5) avec utilisation de la formule (6) et en introduisant les facteurs de conversion nécessaires nous obtenons la formule définitive liant \mathcal{D}_β (rad/sec) avec la concentration Q des GRI dans l'air:

$$\mathcal{D}_\beta = Q \bar{E} \eta \left\{ c^2 \left[3 - e^{1-\frac{vt}{c}} - \frac{vt}{c} \left(2 + \ln \frac{c}{vt} \right) \right] + e^{1-v(t+u)} (1 + \nu u) \right\}, \tag{7}$$

avec: \mathcal{D}_β = intensité de la dose absorbée à la profondeur t , rad/sec;
 Q = concentration du gaz radio-actif inerte, mCi/cm³;
 \bar{E} = énergie moyenne des particules β , Mev/désintégration;

et $u = (R - t) \frac{\rho_b L_b}{\rho_a L_a}$;

$$\eta = \frac{3,7 \cdot 10^7 \frac{\text{désintégration}}{\text{sec. mCi}} \cdot 1,6 \cdot 10^{-8} \frac{\text{erg}}{\text{Mev}}}{2,100 \frac{\text{erg}}{\text{g. rad}} \cdot 1,293 \cdot 10^{-3} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 230 \frac{\text{rad. cm}^3, \text{ désintégr.}}{\text{sec. mCi. Mev}}$$

Le terme $\left[3 - e^{1-\frac{vt}{c}} - \frac{vt}{c} \left(2 + \ln \frac{c}{vt} \right) \right] = 0$,
 si $t \geq \frac{c}{\nu}$

La formule (7) ne permet pas de calculer la dose produite par des électrons de conversion. À cause de cela, pour une espèce donnée de

radiation, nous utiliserons les résultats des travaux de Radzievski et Osanov⁽⁶⁾ qui ont montré qu'en présence d'une source infiniment épaisse se trouvant au contact d'un fantôme plat équivalent au tissu, la distribution en profondeur des doses absorbées produites par des électrons peut être calculée par la formule suivante:

$$\mathcal{P}_e(t) \cong \int_{(E)} \frac{E}{R(E)} \left[1 - \bar{\rho}(E) \right] N(E) \left[1 - \frac{t}{R(E)} \right] dE, \quad (8)$$

$$\text{où } N(E) = S(E)^{-1} \int_E^{E_{max}} n(E) dE$$

est appelé "spectre passant", c.-à-d. densité de flux d'électrons atteignant la surface du fantôme équivalent au tissu;

$R(E)$ = parcours des électrons à l'énergie E dans la matière du fantôme;

$\bar{\rho}(E)$ = facteur énergétique de retro-diffusion (dans les milieux à faible numéro atomique du type de tissu biologique: $\bar{\rho}(E) \ll 1$);

$S(E) = dE/dx$ —pouvoir d'arrêt des électrons dans l'air;

$n(E)$ = spectre énergétique des électrons émis par unité de volume (ou de masse) de la source.

La formule (8) a été appliquée pour le calcul des doses profondes d'électrons de conversion avec $n(E) \sim \delta(E - E_0)$ ou fonction delta, E_0 étant l'énergie des électrons de conversion.

Les moyens décrits ci-dessus ont été utilisés pour le calcul des doses absorbées produites par des particules β des électrons de conversion et des photons γ pour des groupes différents d'organes critiques, y compris:

- la couche basale d'épiderme de peau $t = 7 \text{ mg/cm}^2$
- le tissu musculaire et graisseux $t = 100 \text{ mg/cm}^2$
- le cristallin $t = 300 \text{ mg/cm}^2$.

Les résultats des calculs et les données expérimentales sont indiqués sur la figure 5.

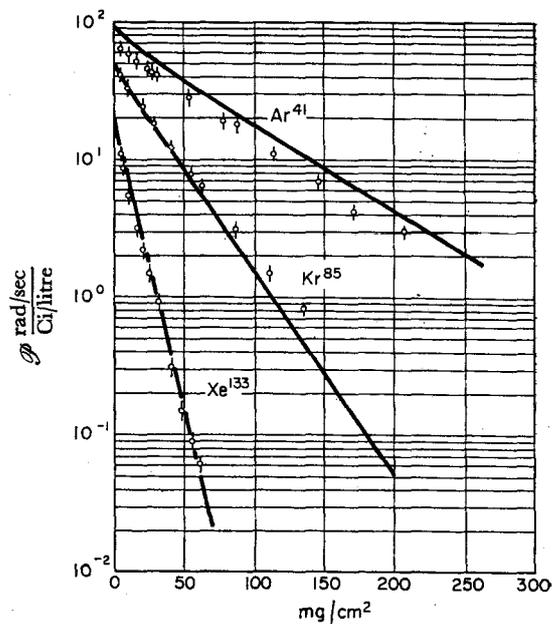


FIG. 5. Variation de doses profondes avec le profondeur. — calcul; . points expérimentaux.

2.2. Contrôle expérimental de la distribution des doses profondes dans le fantôme

En vue de contrôler la distribution des doses profondes de particules β et d'électrons de conversion nous avons effectué deux séries d'expérience.

Les essais de la première série concernaient la distribution des doses profondes créées par Ar^{41} , Kr^{85} et Xe^{133} dans une chambre hermétique de dimensions $240 \times 240 \times 200 \text{ cm}$. La concentration des gaz radio-actifs et l'uniformité de leur distribution dans le volume étaient contrôlées par un radiomètre pour gaz radioactifs. Une chambre d'ionisation à géométrie plane (fig. 6) servait de détecteur. Cette chambre d'ionisation placée au centre du fond inférieur de la chambre hermétique avait un volume de 1 litre et l'épaisseur de la couche d'air était de 2 cm. Nous avons utilisé comme absorbeurs équivalents au tissu, des filtres de polyéthylène d'épaisseur différente (dans la première série d'expérience) et du papier paraffiné (dans la seconde).

La seconde série expérimentale a été effectuée avec des émetteurs de faible énergie en particules β (C^{14}) et en électrons de conversion

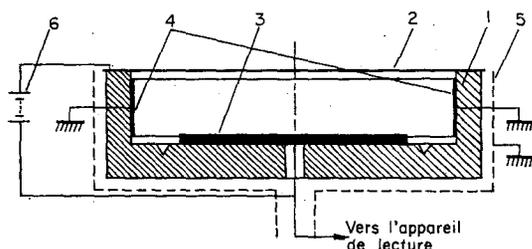


FIG. 6. chambre d'ionisation pour la mesure des doses profondes de particules β .

1, armature de la chambre; 2, pellicule de terlon métallisée, d'épaisseur $3,5 \text{ mg/cm}^2$; 3, électrode collectrice; 4, dépôt de carbone pour l'aplatissement du champ électrique dans le volume utile de la chambre; 5, écran métallique; 6, source de haute tension (300 V.)

(Xe^{131m}). Les mesures ont été réalisées par le même détecteur dans une chambre hémisphérique de diamètre 70 cm.

Les résultats des expériences et des calculs concernant la distribution des doses profondes sont présentés sur la figure 5, où le long de l'axe des abscisses est portée l'épaisseur de l'absorbant t , mg/cm^2 , et le long de l'axe des ordonnées l'intensité de la dose $\mathcal{D}(t)$, rad/sec , normalisée par rapport à la concentration de gaz dans un volume radiant, Q , curie/l .

La précision des données expérimentales est égale à ± 10 à 15% . Sur la figure 5 on peut voir un bon accord des résultats de l'expérience et du calcul. Les résultats présentés ci dessus nous donnent la possibilité de trouver un rapport

entre une dose maximum admissible (DMA) pour chacun des organes critiques et les grandeurs correspondantes des concentrations maximum admissibles (CMA) des GRI dans l'atmosphère des locaux de travail.

Les résultats de ce calcul pour une salle hémisphérique de rayon $R_0 = 5\text{m}$. sont donnés dans le tableau 1 où se trouvent aussi les CMA recommandées par la CIPR. ⁽¹⁾

Le tableau 1 montre que les valeurs des CMA, calculées dans le présent travail surpassent de 10 à 50 fois celles recommandées par la CIPR. Il est nécessaire de noter que dans tous les cas cités on a trouvé comme organe critique la couche basale de l'épiderme de la peau (DMA = $0,6 \text{ rem/semaine}$), la contribution principale à la dose (plus de 90%) étant conditionnée par les particules β tandis que la contribution des photons γ est petite.

CONCLUSIONS

1. Pour l'établissement des normes des GRI dans l'atmosphère on doit se baser non sur les CMA au sol, mais sur la dose d'exposition créée par un panache de gaz radio-actifs à la surface de la terre en prenant en considération la hauteur du tube de rejet, la rose des vents et les autres paramètres météorologiques. On doit choisir une direction de plus grande répétition des vents. Un facteur contrôlable est l'éjection maximum admissible des GRI par le tube de ventilation \mathcal{J} , Ci/an .

2. La courbe des doses en fonction de la distance, $\mathcal{D}(\rho)$, n'a pas de maximum et par

Tableau 1. CMA des gaz radio-actifs inerts dans l'atmosphère de locaux travail Q , Ci/l .

Isotopes	CMA, Ci/l		Rapport des CMA Auteurs	Isotopes	CMA, Ci/l		Rapport des CMA Auteurs
	Auteurs	CIPR			CIPR	Auteurs	
AR ⁴¹	5.10^{-8}	2.10^{-9}	25	Kr ⁹⁰	1.10^{-8}	—	—
Kr ⁷⁷	1.10^{-8}	—	—	Kr ⁹¹	1.10^{-8}	—	—
Kr ^{86m}	1.10^{-7}	6.10^{-9}	16	Xe ^{131m}	4.10^{-7}	2.10^{-8}	20
Kr ⁸⁵	1.10^{-7}	1.10^{-8}	10	Xe ¹³³	5.10^{-7}	1.10^{-8}	50
Kr ⁸⁷	1.10^{-8}	1.10^{-9}	10	Xe ¹³⁵	8.10^{-8}	4.10^{-9}	20
Kr ⁸⁸	6.10^{-8}	—	—	Xe ¹³⁷	6.10^{-9}	—	—
Kr ⁸⁹	1.10^{-8}	—	—	Xe ¹³⁸	2.10^{-8}	—	—

conséquent les formules connues de calcul des concentrations des GRI à la surface du sol en fonction de la distance (où ce maximum existe à une distance de 4 à 50 fois la hauteur du tube de rejet) ne peuvent pas être utilisées comme critère de sécurité radiologique.

3. Les résultats de calcul obtenues dans ce rapport coïncident bien avec ceux de l'expérience: l'erreur d'évaluation de dose sur une localité se trouve dans les limites de ± 60 à 70% en prenant en considération les erreurs causées par tous les facteurs y compris ceux de la météorologie.

4. L'éjection maximum admissible \mathcal{J} , Ci/an, peut être déterminée par la relation suivante:

$$\mathcal{J}, \text{ Ci/an} = \xi \text{ DMA},$$

où DMA est une dose maximum admissible, établie pour un groupe de population en question, rad/an;

$$\xi = \frac{\mathcal{J}(\rho), \text{ Ci/an}}{\mathcal{D}_0(\rho), \text{ rad/an}}$$
 est un facteur de normali-

sation, qu'on peut trouver pratiquement ou théoriquement par une courbe du type exposé à la figure 3.

Dans ce rapport, nous avons obtenu les valeurs suivantes d'éjections maximum admissibles de Ar^{41} pour une hauteur efficace de tube de ventilation, $H_{\text{eff}} = 91$ m, $\text{DMA} = 0,17$ rad/an et la distance $\rho = 1500$ m (voir la table ci-dessous).

L'éjection maximum admissible des autres gaz radioactifs inertes sera déterminée par la différence du rendement et de l'énergie des radiations γ en comparaison avec Ar^{41} . Pour les autres hauteurs (H) du tube de ventilation, qui diffèrent de la valeur prise dans ce rapport notamment $H_{\text{exp}} = 91$ m, l'éjection maximum admissible, \mathcal{J} , peut être calculée par la relation suivante:

$$\mathcal{J} = \mathcal{J}_{\text{exp}} H^2 / H_{\text{exp}}^2.$$

5. Les résultats du calcul des doses profondes d'une source infinie (où il y a équilibre de rayonnement de particules β) coïncident bien avec ceux de l'expérience. La divergence est ± 15 à 20% . Si n'y a pas d'équilibre de rayonnement c.-à-d. si la dimension des salles de travail est inférieure à 2 ou 3 longueurs de libre parcours de particules, la formule (7) n'est plus exacte.

La distribution en profondeur dans le cas des électrons de conversion obéit à la formule (8).

6. Le calcul des CMA des GRI dans l'atmosphère des locaux de travail doit être effectué en tenant compte des DMA pour les organes critiques particuliers, de l'absorption des particules β par les tissus superficiels, et de la géométrie du volume radiant. Les calculs et les expériences présentés dans ce rapport indiquent que les CMA des GRI dans l'air des locaux de travail peuvent dépasser de 10 à 50 fois les CMA recommandées par la CIPR.⁽¹⁾

7. Le principe que nous avons utilisé ici pour établir les normes des GRI dans l'atmosphère ainsi que dans l'atmosphère des locaux de travail, peut être utilisé aussi pour certains isotopes radio-actifs tels que C^{11} , O^{15} , O^{19} , N^{13} et quelques autres.

RÉFÉRENCES

1. Report of Committee 11 International Commission on Radiological Protection on Permissible Dose for International Radiation. *Health Physics*, **3** (1960).
2. N. G. GOUSSEV *et al.* *Isotopes radio-actifs émetteurs de rayonnement*. Atomisdat, 1964.
3. D. L. LAIKHTMANN *et al.* Principes de statistique de conditions météorologiques pour servir aux projets de l'industrie—Dans le recueil. *Problèmes de diffusion turbulente dans les basses couches de l'atmosphère* VIP 15M, 1963.
4. R. LÖVINGER. In *Radiation Dosimetry*, ed. G. L. Hine and G. L. Brownell, N.Y. 1956, ch. 16.

Rhmb	U , m/sec	α	η , Ci/rad	\mathcal{J} , Ci/an	$\bar{\mathcal{J}}$, Ci/jour
N	2,7	0,155 (15,5%)	$6,7 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^6$	3300
NO	3,5	1,175 (17,5%)	$1,1 \cdot 10^7$	$1,9 \cdot 10^6$	5200

5. A. M. KONIENKO *et al.* Distribution de la dose loin de l'axe d'un disque plat émetteur β —Dans le recueil. *Techniques de mesure des préparations radioactives*. Atomisdat, 1962, pp. 110–115.
6. G. B. RADZIEVSKI et D. P. OSANOV. Distribution en profondeur de l'énergie absorbée à partir d'électrons non monoénergétiques—Dans le recueil. *Problèmes de dosimétrie et de protection contre les radiations*. Atomisdat, 1964, pp. 125–139.

DISCUSSION

D. NACHTIGALL (*Euratom*):

Ich möchte Herrn Sowby bitten, den Punkt 16 auf Seite 4 der ICRP-Publication 9 zu interpretieren. Dieser Punkt enthält die Empfehlung, bei Bestrahlung der Augen einen modifizierenden Faktor einzuführen, der beispielsweise für schnelle Neutronen 3 und für thermische Neutronen etwas kleiner als 2 wäre. Das würde bedeuten, dass die maximal zulässigen Flussdichten für Neutronen um diese Faktoren verringert würden. Dieses wiederum hätte weitreichende Folgen für die Messung des Neutronendosisäquivalentes mit den sogenannten rem-countern.

F. D. SOWBY:

The method of interpolation has been left open to allow the maximum degree of flexibility for the design of instruments.

Hub. WIJKER (*Netherlands*):

Are the limits recommended for planned special exposures also meant for rescue operations where human lives are involved?

F. D. SOWBY:

The Commission's recommendation (in paragraph 100) is that for life-saving procedures; it will not be possible to specify dose limits, since the acceptability of the dose will depend on the importance of the objective.

Hub. WIJKER:

It may be important to consider whether the decision to surpass the limit has to be taken by the man who will do the rescue, or can he be ordered? And the limit to which it can be surpassed (75 R or so?).

F. DUHAMEL (*France*):

Au sujet des facteurs à prendre en considération pour l'évaluation des dangers des radio-éléments, je suis d'accord avec M. Hunzinger mais, concernant le cas particulier de laboratoires possédant une excellente surveillance continue, je voudrais faire une remarque. Depuis la publication de nos travaux signalés par M. Feige nous sommes intéressés spécialement à ce cas particulier et notre conclusion—encore tout à fait provisoire—est que l'on pourrait

mesurer le danger physique relatif des radio-éléments, par le rapport de la quantité minimum détectable dans le corps humain grâce aux moyens couramment utilisés, à la quantité maximum admissible correspondante.

A. BRODSKY (*U.S.A.*):

Although the scheme for classification of radio-activity incorporating the specific activity of the pure nuclide as a factor may be interesting and have special applications, it can be very misleading to classify the inherent radiotoxicities by these methods for general purposes. In most practical cases, the specific activity of the pure nuclide is so high that probabilities of intake would be independent of the specific nuclide mass, but would instead depend on the various factors given by Dr. Hunzinger. This is an extremely important matter, so I would like to refer you to my detailed discussion in an article in the *American Industrial Hygiene Association Journal*, May 1966, and in recent comments to a committee of the American Standards Association under Dr. Dade Moeller—whose committee is giving this subject a serious re-evaluation. The approach by Dr. Hunzinger and his colleagues toward collecting estimates of fractions of material inhaled in accidents is most worthwhile, and I wonder if he can continue on a worldwide basis. It would be particularly worthwhile if Dr. Hunzinger's group could send questionnaires to the people knowledgeable in the details of each accidental release as it occurs to ensure the gathering of *all* the pertinent data needed to determine likely probabilities of intake, such as total quantity involved in the accident, total quantity escaping enclosures or vessels involved, and best estimates of air concentrations and total quantities inhaled.

W. HUNZINGER:

We would welcome any reports of radiation incidents to be brought to our knowledge. The information required should include:

- Amount and nuclide handled;
- Characteristics of the operation carried out (ventilation, containment, temperature, chemical and physical form of the material handled);
- Short description of the incident;
- Amount of nuclide accidentally inhaled.

J. POMAROLA (*France*):

Nous n'avons pas assez de temps pour discuter de la probabilité pour qu'une personne soit impliquée dans un incident et je pourrai peut-être en discuter ensuite avec le Dr. Hunzinger s'il le veut bien. Mais je désire lui poser la question suivante: Les évaluations des quantités inhalées, au cours des incidents, sont-elles obtenues à partir des prélèvements atmosphériques ou bien des prélèvements biologiques ou bien encore à partir de ces deux moyens simultanément?

W. HUNZINGER:

The evaluation of the activity inhaled was carried out by whole body counting in most of the cases.

B. A. J. LISTER (*U.K.*):

I should like to refer to a programme of experiments which we are carrying out at Harwell in which accidents are simulated in glove-boxes and fume cupboards containing plutonium oxide or fluorescent powder. The fractions of the material inhaled have been assessed using personal air samplers worn by the operators who were, of course, wearing respiratory protection.

The fraction inhaled depends of course on the type of accident and often dramatically on the precise position of the operators, but the figures found in the Harwell experiments are in quite good agreement with those presented by Dr. Hunzinger.

F. W. SPIERS (*U.K.*):

Has Dr. Richmond attempted to fit data in the biological half-times of Cs¹³⁷ in children and infants to his inter-species data? We have some recent data, for example, on biological half-times in infants from birth to six months which give values of 10 to 14 days for Cs¹³⁷, compared with values of about 7 days for potassium.

C. R. RICHMOND:

Data reported from several sources concerning retention of cesium by infants and children do indeed tend to follow the correlations shown for both body weight and body surface. As regards your statement on the trabeculation of dog bone, I agree entirely. However, the purpose of the interspecies correlation is to attempt to relate the differences which are seen interspecifically by some formulation which can be used to extrapolate to human values. The point, however, is an excellent one.

L. FIROUSSI (*France*):

Avec votre permission, M. Le Président, je voudrais demander à M. Beau de bien vouloir faire quelques

commentaires au sujet de son rapport présenté en titre. En particulier j'aimerais connaître les résultats de son évaluation concernant les niveaux de contamination admissible pour les deux composées organiques citées dans le résumé de son rapport: la thymidine et la méthionine tritiée.

P. G. BEAU:

Nous avons calculé deux niveaux de contamination interne par inhalation et par ingestion pour la méthionine tritiée à l'aide d'un modèle simplifié du métabolisme de cette molécule, car ce dernier est très complexe (c'est le cas de la majorité des molécules marquées). Nous obtenons des normes plus sévères que celles employées actuellement pour l'eau tritiée (cf. abstract). En ce qui concerne la thymidine tritiée, on ne connaît chez l'homme, d'une manière quantitative, que les produits finaux du métabolisme (HTO et BAIBA) et les étapes intermédiaires au niveau cellulaire, dans les organes, sont mal connues, d'où la difficulté d'établir une norme d'organe.

Hub. WIJCKER (*Netherlands*):

A comment on the point raised in the discussion concerning specific activity. For some years we have used three different specific activities in our laboratory: σ_n = activity per gram of nuclide (also referred to as pure specific activity); σ_e = activity per gram of element (elemental specific activity); σ_m = activity per gram of material in which the nuclide is homogeneously or nearly homogeneously distributed, e.g. per gram of solvent (material specific activity).

(Reported to the Nederlandse Vereniging voor Stralingshygiene on its session of February 1962.)

E. W. JACKSON (*U.K.*):

If I understand the speaker, he is recommending that dose received should be used as a criterion and not the downwind concentration of released radioactive gas. Is not, however, this dose proportional to this concentration and since in practice, in the field, it is the concentration that is measured, would it not be easier to multiply these concentration values by a constant? Also regarding the extensive mathematical work that has been done by the author, could I ask whether this theoretical work carries the subject much further than has been done by Pasquill in the U.K.?

N. G. GOUSSEV:

First I shall answer the question on the inert radioactive gases in the atmospheric air. As I have already

mentioned, the character of the curve of gamma irradiation dose as a function of distance from the source differs essentially from the curve of the downwind concentration dependence upon distance. For instance if the plume of radioactive gases goes high up or to one side of the detection point, the downwind concentration would be equal to zero, yet the gamma irradiation dose can be considerable.

Therefore a constant coefficient to be used for the transition from concentration to dose does not exist, although it is possible that such a correlation exists at great distances from the source (more than two kilometers). It exists also for closed spaces—in working establishments. Let us note that in this case the radiation hazard of inert radioactive gases is determined by the external β -radiation dose on skin. The contribution of the gamma irradiation dose may not be taken into account if the concentrations do not exceed permissible values.

In all cases, rooms in working establishments as well as an open locality, the external irradiation dose exceeds considerably the internal irradiation dose caused by radioactive gases, this difference may be more than 100.

As to the works of Pasquill concerning the atmospheric diffusion, I believe they may be used for calculating γ -irradiation doses from radioactive gases at a point in space.

A. P. HULL (U.S.A.):

By way of documenting the speaker's remarks with regard to the relative importance of gamma and beta radiations from plumes containing inert radioactive gases, I should like to indicate some of our data at Brookhaven National Laboratory. The Brookhaven Graphite Research Reactor emits 20,000 Ci per day of Ar^{41} from a 100 m stack. At 0.5 km from the stack a ground level monitoring station in a prevailing downwind direction indicates an average dose of about

5 mR/wk, although the instrumentation indicates the plume is seldom at ground level this close to the stack. At slightly more than 1.0 km, near the predicted point of ground level maximum concentration, the dose attributable to Ar^{41} is about 1.5 mR/wk. At 2.5 km it is about 0.75 mR/wk. We have recently installed a station at 6 km for another purpose, but will be measuring the Ar^{41} at this location also.

N. G. GOUSSEV:

Your investigations, Dr. Hull, are very interesting and it would be useful to compare them with the results of our work. We have conducted our experiment during a period of two years, using a large number of thermoluminescent dosimeters with the exposure duration of one year. Your measurements seem to involve a shorter period of time—they rather characterize the dose rate for one week. The extrapolation to the integral annual dose may thus lead to great errors because of the difference in meteorological conditions. In comparing the experiments with the theoretical data it must be noted that both O. G. Sutton's formula and D. L. Leichtmann's one (the latter is used in our work) cannot give the correct response about the law of dose distribution as a function of distance from source.

These formulae give the value of the downwind concentration of a radioactive gas at a given site; in this case, as it is known, the curve of the dependence of downwind concentration on distance to the stack shows a peak. The height of this peak and its distance from the source depend on the stack height and meteorological conditions. In the experiments concerning measurements of the integral dose such a peak was not observed—the dose declines gradually as a function of distance. Thus the gamma-ray integral dose on a locality is not always proportional to the downwind concentration.