

Sources externes : cosmique, tellurique et domestique*

C. MADELMONT, A. RANNOU, H. RENOUARD**

(Manuscrit reçu le 28 décembre 1984)

RÉSUMÉ

L'exposition externe des populations aux rayonnements ionisants d'origine naturelle a pour source principale les rayonnements cosmiques, telluriques et domestiques (choix des matériaux de construction). Cette exposition peut varier géographiquement ; il est important d'en mesurer les niveaux pour apprécier les expositions tant individuelles que collectives dans le cadre d'un bilan général.

Une campagne nationale de mesure de l'exposition externe d'origine tellurique et domestique, à l'aide de dosimètres thermoluminescents (sulfate de calcium activé au dysprosium) a été entreprise depuis 1977. Méthode de mesure, protocole mis en œuvre, résultats obtenus, sont présentés et discutés. Les résultats concernent près de la moitié du territoire français, quelques valeurs concernent la Polynésie française. Les niveaux observés sont discutés sur le plan de l'hygiène publique.

ABSTRACT

The main sources of public external exposure to ionizing radiation of natural origin are cosmic, terrestrial and domestic (choice of building materials) radiation. The exposure can present geographical variations ; the levels should be measured in order to estimate both individual and collective exposures within the frame of a global assessment.

A nation-wide campaign of measurement of terrestrial and domestic external exposure is being conducted since 1977, using thermoluminescent dosimeters (dysprosium activated calcium sulfate). The measurement method, the operational procedure and the results obtained are presented and discussed. The results concern nearly half the French territory ; some values are given for French Polynesia. The significance for public health of the levels observed is discussed.

* Communication présentée lors des journées organisées par la Société française de Radioprotection sur "Les données actuelles sur la radioactivité naturelle", Monaco, 5-7 novembre 1984.

** Commissariat à l'énergie atomique, Institut de protection et de sûreté nucléaire, Département de protection sanitaire, Service d'études appliquées de protection sanitaire, BP 6, 92260 Fontenay-aux-Roses (France).

L'exposition des populations aux rayonnements ionisants d'origine naturelle est universelle. Elle varie géographiquement et peut être modifiée par les activités humaines, d'où l'importance de la mise en œuvre de campagnes de mesures pour déterminer la répartition des niveaux et contribuer aux estimations des expositions tant individuelles que collectives. Cet exposé traite de l'exposition externe par opposition à l'exposition interne due à l'inhalation et à l'ingestion de radionucléides d'origine naturelle. Donc, l'exposition aux rayonnements d'origine cosmique, tellurique et provenant des matériaux de construction sera seule prise en compte.

I. ORIGINE ET NATURE PHYSIQUE DES RAYONNEMENTS

I.1. Rayonnement d'origine cosmique directe

- les rayonnements primaires ayant pour origine la galaxie, le soleil et les ceintures de radiation ;
- les rayonnements secondaires qui proviennent de l'interaction des rayonnements primaires sur les atomes-cibles de l'atmosphère.

Le rayonnement cosmique produit ainsi au niveau de la surface de la terre des rayonnements complexes (protons, photons, particules α , neutrinos, neutrons) dont le spectre énergétique est extrêmement large (1 à 10^{14} MeV).

Sur le plan pratique, au niveau de la mer et pour les régions tempérées, l'exposition résultante peut être estimée à :

- $0,35 \cdot 10^{-5}$ Gy.an⁻¹ (0,35 mrad.an⁻¹) pour la composante neutronique ;
- $28 \cdot 10^{-5}$ Gy.an⁻¹ (28 mrad) pour les autres rayonnements.

Cette dernière valeur a été prise comme constante dans la campagne de mesures en cours et systématiquement déduite des résultats de lecture des dosimètres dans l'estimation de l'exposition tellurique et de celle qui est rapportée aux matériaux de construction.

I.2. Radionucléides naturels

Les radionucléides naturels participant à l'exposition externe (émetteurs γ) font partie de deux groupes [1] :

- le groupe de radionucléides produits par interaction des rayonnements cosmiques avec les noyaux cibles de l'atmosphère, dont en particulier ^7Be , ^{22}Na , ^{24}Na ;
- le groupe de radionucléides primordiaux qui comprend le ^{40}K et les familles de ^{238}U et du ^{232}Th ; ces deux familles sont analysées plus en détail dans les exposés relatifs à l'inhalation et à l'ingestion ; pour ce groupe, la nature géologique de l'affleurement du sous-sol, le choix des matériaux de construction constituent des environnements différents.

II. METHODE DE DETECTION

II.1. Dosimètres intégrateurs

La mesure de l'exposition externe s'appuie sur l'utilisation des dosimètres thermoluminescents, dont la propriété est de restituer sous forme d'énergie lumineuse (émission de photons) par chauffage, l'énergie accumulée au cours de leur exposition par interaction avec les rayonnements ionisants ou indirectement ionisants. Pour la campagne entreprise auprès du public le sulfate de calcium activé au dysprosium a été choisi à la place du fluorure de lithium pour des raisons de sécurité (toxicité potentielle des fluorures).

Les dosimètres proprement dits sont constitués par des pastilles de sulfate de calcium frittées contenues dans un étui plastique adapté pour une lecture automatisée (1).

Des essais préalables [2] ont été faits, en particulier pour déterminer :

- l'utilisation ou non d'écran de cuivre permettant de mesurer l'hypermensibilité du sulfate de calcium aux faibles énergies de photons ;
- le choix de durée d'exposition pour tenir compte de l'effacement de la réponse en fonction du temps ;
- l'influence de la lumière et de l'humidité sur la réponse du dosimètre.

Ces essais ont conduit à utiliser une durée d'exposition de six mois (durée suffisamment longue devant les délais de mise en place et de relevé) et à un conditionnement simple (double enveloppe protectrice : la première étant un papier aluminisé thermosoudable contre l'humidité, la deuxième une enveloppe plastique protectrice assurant la possibilité de fixation du dosimètre pour l'extérieur).

II.2. Débitmètres

La vérification de la validité de certains résultats obtenus par dosimètres intégrateurs nécessite l'utilisation d'un appareil de mesure de débit de dose. Il s'agit d'un scintillateur plastique de type MOB 606, dont la sensibilité est de 10^{-8} Gy.h⁻¹ (1 μ rad.h⁻¹).

III. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

III.1. Choix des points de mesures

Une répartition géographique théorique de 200 à 300 points de mesures par département est préparée en tenant compte de la densité des

(1) Les lectures des dosimètres thermoluminescents utilisés dans cette campagne sont assurées par le Service d'instrumentation et de dosimétrie en radioprotection de l'Institut de protection et de sûreté nucléaire.

populations tout en évitant d'ignorer une particularité d'affleurement géologique significative au plan de l'habitat. Cette liste est discutée avec les autorités départementales parmi lesquelles le directeur de la sécurité civile joue un rôle important. Des structures d'accueil sont définies : le plus souvent sont mis à contribution les pompiers professionnels ou bénévoles, les édiles, certaines classes socio-professionnelles comme les pharmaciens, des professeurs d'université ou de collège, des associations de secouristes, etc. [3].

III.2. Caractéristiques des points de mesures

Deux questionnaires relatifs à chaque point retenu permettent de préciser :

- pour les sols, leur nature (gazon, terre battue, terre cultivée, etc.), les sols artificiels étant exclus *a priori* de l'étude,
- pour les habitations, le type d'habitat individuel, collectif, ancien ou moderne, la nature des matériaux de construction concernant le gros œuvre et autres parties (cloisons, planchers, plafond,...).

Le lieu géographique est assimilé à l'adresse des personnes qui ont accepté de recevoir les dosimètres.

Depuis 1983, une enquête sur les structures départementales de l'habitat, réalisée par l'Association de pratique et de recherche architecturale et urbanistique (APRAU 5), de la Faculté de Nanterre, doit nous permettre de vérifier l'absence d'un biais important dans l'échantillonnage de l'habitat réalisé jusqu'à ce jour, mais qui pourrait être dû au fait que l'on s'adresse à des catégories socio-professionnelles précises.

III.3. Protocole de mesures

La durée d'exposition des dosimètres est de l'ordre de six mois. Les calculs tiennent compte de la durée exacte d'exposition (6 mois \pm 1 mois au maximum).

Pour la mesure de l'exposition tellurique, les dosimètres sont placés à un mètre au-dessus du sol ; pour la mesure à l'intérieur des habitations, le dosimètre est placé généralement dans le tiroir d'un meuble en bois d'une salle de séjour.

Les personnes qui acceptent de participer à cette campagne sont prévenues qu'une vérification des résultats observés peut être faite à l'aide de l'appareil de mesure de débit de dose.

IV. RESULTATS

IV.1. Niveaux observés

La campagne de mesures commencée en 1977 intéresse la majeure partie des départements qui se trouvent au sud de la Loire. L'ensemble des résultats disponibles est représenté :

SOURCES COSMIQUE, TELLURIQUE ET DOMESTIQUE

- graphiquement (fig. 1) avec les valeurs moyennes départementales associées aux valeurs minimales et maximales pour l'exposition d'origine tellurique et l'exposition à l'intérieur des habitations ;
- géographiquement (fig. 2) où les départements sont représentés par classes de valeur.

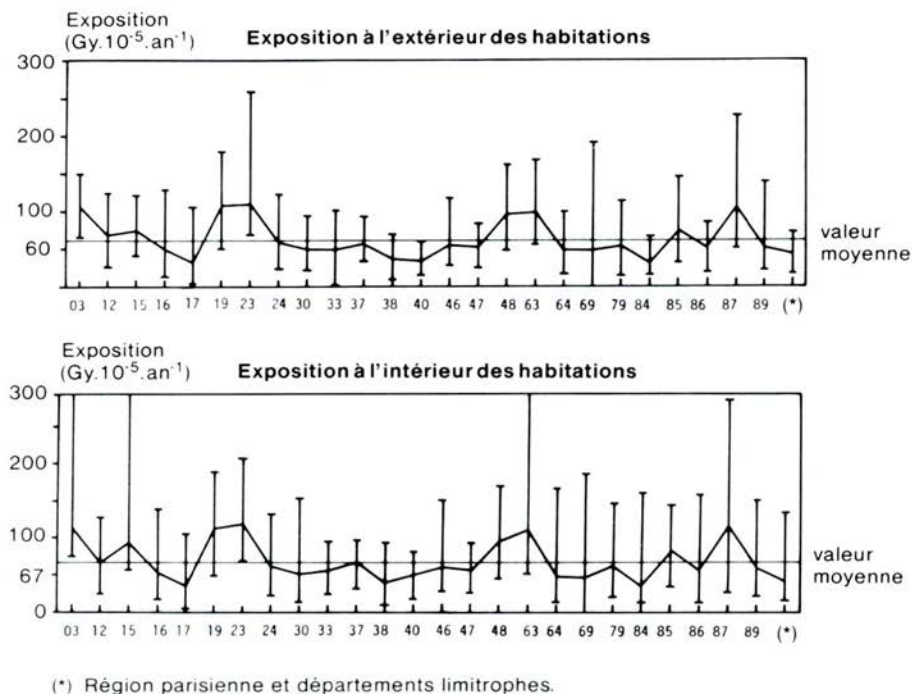


Fig. 1. - Résultats des mesures de l'exposition externe obtenus avec les dosimètres thermoluminescents.

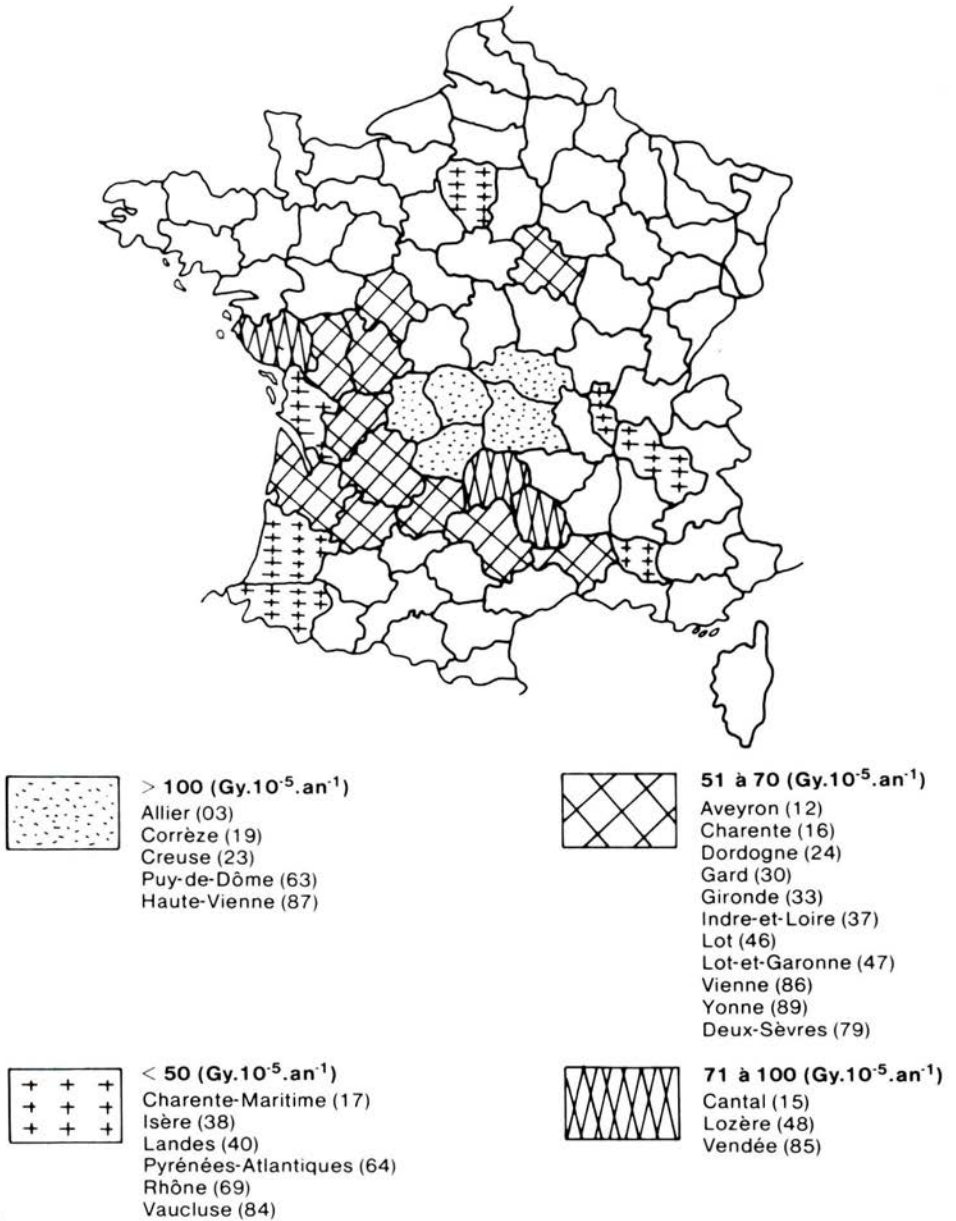


Fig. 2. - Répartition géographique des résultats d'exposition externe par classes. Doses moyennes à l'intérieur des habitations.

Une campagne limitée de mesures a été faite en Polynésie française sur une île haute (Tahiti) et sur une île basse (atoll de Hao). Les résultats sont présentés au tableau I. La réalisation de ce programme [4] a nécessité la mesure préalable de l'exposition due au vol aller et retour Paris-Papeete qui est de $4,6 \cdot 10^{-5} \text{ Gy} \pm 0,4$ ($4,6 \text{ mrad} \pm 0,4$).

TABLEAU I

Moyenne des doses mesurées à l'extérieur et à l'intérieur des habitations à Tahiti et à Hao (composante cosmique déduite).

Lieu		Nombre de dosimètres	Dose moyenne $\text{Gy} \cdot \text{an}^{-1} \times 10^{-5}$	Ecart-type $\text{Gy} \cdot \text{an}^{-1} \times 10^{-5}$
Tahiti	Extérieur	45	22	7
	Intérieur	48	27	9
Hao	Extérieur	5	5	3
	Intérieur	5	7	3

IV.2. Premières interprétations

- *Relation entre l'exposition mesurée à l'intérieur des habitations et l'exposition tellurique*

Les résultats disponibles ce jour montrent que le rapport entre la valeur moyenne des mesures de l'exposition à l'intérieur des habitations et la valeur moyenne de l'exposition tellurique associée est supérieure à 1 (1,12 avec un écart-type de 0,11 pour 26 départements). Le département de l'Aveyron (0,97), la région parisienne, les Pyrénées-Atlantiques et le Rhône (1,00) font exception. Ceci montre que, dans la grande majorité des cas, l'exposition liée aux matériaux de construction a tendance à s'ajouter à l'exposition tellurique et que ces mêmes matériaux de construction ne constituent pas toujours une protection. Ce résultat est conforme à ce qui a été observé dans d'autres pays [1].

- *Variabilité et distribution des résultats observés*

Les figures 1 et 2 montrent que les valeurs moyennes départementales diffèrent de façon sensible pour certains groupes de départements. Les valeurs observées pour l'exposition à l'extérieur et à l'intérieur des habitations sont trois fois plus élevées pour les départements du Massif central (Corrèze, Creuse, Haute-Vienne) que pour les départements de région non géologiquement primaire (Vaucluse, Charente-Maritime). Ces différences n'existent pas qu'à l'échelon régional, elles existent aussi à

l'échelon départemental lorsque les divisions administratives ne recourent pas une homogénéité géologique. La figure 3 illustre ce cas (départements de l'Yonne et des Deux-Sèvres).

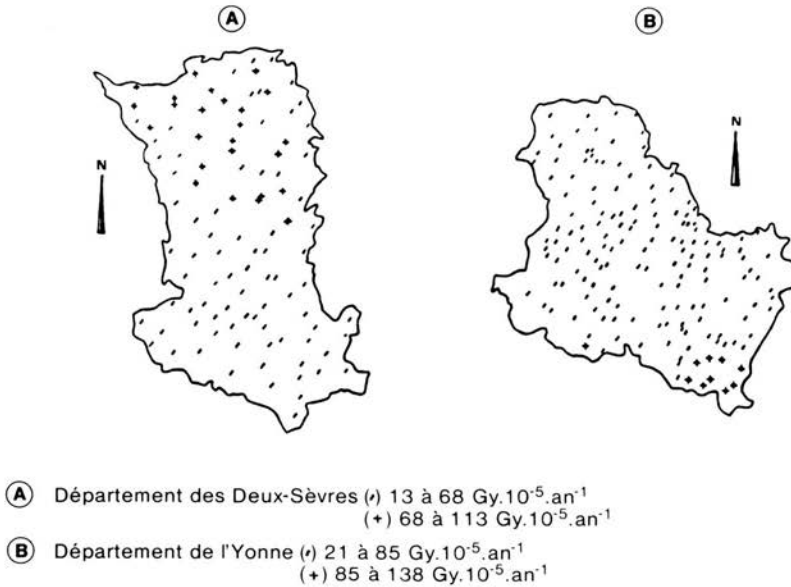


Fig. 3. - Distribution géographique de l'irradiation tellurique (irradiation cosmique déduite) à l'extérieur des habitations.

Il en résulte que les essais d'ajustement de distribution à l'intérieur des départements donnent des résultats variés :

- répartition gaussienne pour la Corrèze, la Creuse, les Deux-Sèvres ;
- répartition log-normale pour l'Yonne ;
- répartition avec des fréquences plus élevées des valeurs extrêmes pour la Haute-Vienne.

Les résultats observés en Polynésie montrent des différences sensibles entre Tahiti et Hao. Elles relèvent de la nature géologique des sols d'origine volcanique et corallienne et des teneurs différentes en radionucléides naturels (tableau IV) [5].

● Influence de paramètres liés à l'habitat

Le dépouillement des questionnaires permet d'étudier l'aspect quantitatif des niveaux d'exposition observés en fonction des réponses fournies et notamment pour ce qui concerne le gros oeuvre de l'habitat [6, 7]. Une analyse très partielle est présentée (tableau II) pour cinq départements. Les résultats d'une analyse de variance montrent (tableau III) les valeurs

TABLEAU II

Moyennes des doses absorbées à l'intérieur des habitations en fonction de la nature des matériaux de construction utilisés pour le gros œuvre ($Gy \times 10^{-5} an^{-1}$).

Nature du gros œuvre	Corrèze		Creuse		Deux-Sèvres		Haute-Vienne		Yonne	
	Nombre de dosimètres	Dose moyenne	Nombre de dosimètres	Dose moyenne	Nombre de dosimètres	Dose moyenne	Nombre de dosimètres	Dose moyenne	Nombre de dosimètres	Dose moyenne
Bois	0	—	0	—	0	—	3	79	1	53
Briques	9	110	5	145	18	63	14	101	25	70
Béton	18	106	18	103	77	66	54	106	42	61
Parpaings										
Granit	17	143	28	122	13	91	31	126	6	129
Meulière	4	107	18	118	12	41	5	115	71	57
Pierre de taille										
Pierre de pays	37	115	61	118	57	56	62	129	67	56
Inconnue	1	65	0	—	2	60	2	133	3	66
Non réponse	2	82	0	—	0	—	6	128	9	58
Plusieurs réponses	19	102	56	125	5	72	25	104	19	71
Dose moyenne générale		114		120		63		116		61

SOURCES COSMIQUE, TELLURIQUE ET DOMESTIQUE

moyennes qui sont statistiquement différentes (seuil de 1 %). Une analyse statistique plus détaillée, en exploitant la totalité des réponses aux questionnaires, devrait permettre une meilleure quantification.

TABLEAU III

Différences significatives de doses ($\text{Gy} \times 10^{-5} \text{ an}^{-1}$) mesurées pour divers matériaux de construction du gros œuvre (seuil à 1 %).

Corrèze	Granit (143)	≠ Pierre du pays (115) ≠ Béton (106)
Creuse	Meulière (118)	≠ Granit (122) ≠ Béton (103)
Deux-Sèvres	Granit (91)	≠ Béton (66) ≠ Pierre du pays (56) ≠ Brique (63) ≠ Meulière (41)
Haute-Vienne	Granit (126)	≠ Béton (106) ≠ Brique (101)
Yonne	Brique (70)	≠ Meulière (57) ≠ Pierre du pays (56) ≠ Béton (60)

TABLEAU IV

Teneur moyenne en radionucléides naturels exprimée en Bq/kg dans les roches d'origine volcanique ou corallienne [7].

Type de roche	^{226}Ra	^{238}U	^{232}Th	^{40}K
Volcanique	48	48	48	815
Corallienne	16	15	5	81

TABLEAU V

Analyse de matériaux de construction

Activité (en Bq/kg)	^{226}Ra	U naturel	Descendants du thorium	Potassium
Ciment de Portland	41	44	11	81
Sable origine (Seine)	7	4	0,5	52
Plâtre de gypse naturel	2	7		1,9
Plâtre de gypse chimique	440	15	3	

A Tahiti, les mesures obtenues à l'intérieur des habitations dépendent des matériaux de construction (valeurs élevées pour le béton et le parpaing, valeurs faibles pour le bois et la tôle).

IV.3. Teneurs en radionucléides de matériaux de construction

Quelques analyses (tableau V) montrent que les plâtres provenant de gypse chimique (résidus de fabrication d'engrais phosphatés) contiennent des teneurs élevées en radium 226. Ceci a été observé dans de nombreux pays [1], dont certains envisagent des contraintes, voire des interdictions, dans l'utilisation de ce type de matériaux.

V. NIVEAUX OBSERVES ET HYGIENE PUBLIQUE

L'exposition tellurique (cosmique en particulier), fait partie des caractéristiques de l'environnement naturel de l'homme. La CIPR (publication 26) considère, à juste titre, qu'elle ne doit pas être prise en compte dans les différentes sources d'irradiation ayant pour origine l'activité de l'homme.

Pour l'exposition externe due aux matériaux de construction, dont le choix et les modalités d'utilisation relèvent d'une activité industrielle de première importance, la CIPR (publication 26) considère que dans un processus d'optimisation de la protection des populations, une limite autorisée (2) pourrait être envisagée. Sur ce point précis la CIPR n'a pas proposé de niveau d'action comme dans le cas de l'exposition interne qui en terme de dose est en général de beaucoup supérieure.

VI. CONCLUSION

Les résultats de mesures relatifs à l'exposition externe des populations aux rayonnements naturels montrent que les différentes composantes (en dehors des rayonnements cosmiques) présentent des variations significatives. Ces composantes sont à prendre en considération dans un bilan général et dans un bilan relatif aux activités humaines. Il semble toutefois raisonnable de penser que dans le choix des matériaux de construction, et de l'application de règles de construction, si des réglementations adaptées doivent être prises dans un avenir plus ou moins proche, elles tiendront compte en premier des problèmes posés par l'exposition interne et l'exposition externe y sera associée secondairement.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BOUVILLE A., BRENOT J., GUEZENGAR J.M., MADELMONT C. Mesure de l'irradiation externe à l'intérieur des habitations : Présentation et discussion des résultats obtenus en France. In : Séminaire sur la charge radiologique de l'homme liée à la radioactivité naturelle dans les pays de la Communauté européenne, Paris, 4-6 déc. 1979. Luxembourg : Commission des communautés européennes, 1980, 209-226.

(2) Elaborée à partir d'une limite de protection internationale ou communautaire, une limite autorisée est fixée par une autorité nationale compétente. Elle est adaptée à des circonstances particulières et bien définies et a valeur réglementaire.

- [2] DUCOUSSO R., GUEZENGAR J.M., BOUTTE J., MADELMONT C. Etude de l'irradiation naturelle externe en Polynésie française. Comparaison entre une île haute (Tahiti) et un atoll (Hao). Rapport CEA-R-5148, 1982.
- [3] EISENBUD M. Environmental radioactivity. New York : Academic press, 1973.
- [4] GUEZENGAR J.M., BOUVILLE A., MADELMONT C. Variation de la dose due à l'irradiation naturelle dans la région parisienne. In : Séminaire sur la charge radiologique de l'homme liée à la radioactivité naturelle dans les pays de la Communauté européenne, Paris, 4-6 déc. 1979. Luxembourg : Commission des Communautés européennes, 1980, 1017-1020.
- [5] MADELMONT C., JEANMAIRE L., RANNOU A., RENOUARD H., VERRY M. Programme de mesures de l'exposition naturelle aux rayonnements ionisants en France. I. Description des méthodes et mise en œuvre. Bull. Acad. Vét. France (à paraître).
- [6] MADELMONT C., JEANMAIRE L., RANNOU A., RENOUARD H., VERRY M. Programme de mesures de l'exposition naturelle aux rayonnements ionisants en France. II. Résultats acquis au premier trimestre 1984. Bull. Acad. Vét. France (à paraître).
- [7] Nations Unies. Comité Scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR). Sources et effets des rayonnements ionisants. Rapports à l'Assemblée générale et annexe 1977. New York : Nations-Unies, 1979.