

Evaluation des risques pour les personnels de
France-Télécom associés aux parasurtenseurs
contenant des radioéléments

Rapport DRPH 2010 - 7

DIRECTION DE LA RADIOPROTECTION DE L'HOMME

SERVICE D'ETUDES ET D'EXPERTISES EN RADIOPROTECTION

SERVICE DE RADIOBIOLOGIE ET D'ÉPIDEMIOLOGIE

Demandeur	FRANCE TELECOM
Référence de la demande	LETTRE FRANCE TELECOM DU 15 AVRIL 2009 CONTRAT COMMANDE N° 44299649 DA N° 2002560439
Numéro de la fiche programme	
Processus de rattachement	R5.1

Evaluation des risques pour les personnels de France-Télécom associés aux parasurtenseurs contenant des radioéléments

Alain THOMASSIN*, Camille METZ** et Alain RANNOU***

* SERVICE D'ETUDES ET D'EXPERTISES EN RADIOPROTECTION
Unité d'Expertise en radioprotection des Travailleurs et de la Population

** SERVICE DE RADIOBIOLOGIE ET D'ÉPIDÉMIOLOGIE
Laboratoire d'Épidémiologie

*** Direction de la RadioProtection de l'Homme

Rapport DRPH 2010 - 7

	Réservé à l'unité		Visas pour diffusion		
	Auteur(s)	Vérificateur(s)	Chef du SER Chef du SRBE	Directeur DRPH	Directeur Général de l'IRSN *
Noms	A. THOMASSIN C. METZ A. RANNOU	P. LE VAN VANG D. LAURIER	E. VIAL P. VOISIN	P. GOURMELON	J. REPUSSARD
Dates	16/04/10 <i>16/04/10</i>	16/04/10	16/04/10	27/04/10	—
Signatures					

DIFFUSION : Libre Interne Limitée

*si nécessaire

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Version	Date	Auteur(s)	Pages ou paragraphes modifiés	Description ou commentaires
1	03/2010	A. THOMASSIN, C. METZ, A. RANNOU		Version initiale

LISTE DE DIFFUSION

Nom	Organisme
M. L. ZYLBERBERG	France Télécom Direction des Ressources Humaines

RESUME

L'entreprise France Télécom a utilisé et utilise encore des dispositifs appelés parasurtenseurs pour protéger son réseau de télécommunications vis-à-vis de tensions perturbatrices – principalement la foudre. Un grand nombre d'anciens parasurtenseurs encore en service aujourd'hui contiennent des radioéléments. Ce rapport vise à répondre à France Télécom qui souhaite que soient appréciés les niveaux de dose et de risque des personnels exposés à ces parasurtenseurs radioactifs lors de leur pose, lors de l'exploitation des installations en contenant ou lors de leur dépose. Différents scénarios, décomposés en situations d'exposition, sont considérés pour évaluer l'exposition. Il ressort des calculs réalisés que la dose efficace reçue lors de la pose des parasurtenseurs pourrait se situer entre $0,01 \text{ mSv.an}^{-1}$ et $0,14 \text{ mSv.an}^{-1}$, celle reçue lors de l'exploitation des installations en contenant entre $0,02 \text{ mSv.an}^{-1}$ et $0,08 \text{ mSv.an}^{-1}$, et celle à recevoir lors de leur dépose entre $0,02 \text{ mSv.an}^{-1}$ et $0,07 \text{ mSv.an}^{-1}$. Des évaluations de dose au sein et à la lèvre montrent que les doses reçues pour ces parties du corps se situeraient aux environs de 1 mSv.an^{-1} ; de même, une estimation de la dose au fœtus montre qu'elle serait très inférieure à $0,04 \text{ mSv.an}^{-1}$. Des considérations relatives à l'incorporation possible des radioéléments concernés (tritium, radium, radon) montrent que les doses correspondantes seraient également très faibles. Toutes ces évaluations dosimétriques permettent de conclure à l'absence de risque significatif de cancers radio-induits. Par contre, les calculs montrent que des doses à la peau des mains ont pu être plus significatives – de 4 mSv.an^{-1} à 40 mSv.an^{-1} – dues aux manipulations des parasurtenseurs sans protection; une dépose intensive de ces parasurtenseurs nécessitera, en conséquence, l'emploi de protections appropriées (gants, emballages blindés).

ABSTRACT

MOTS-CLES : parasurtenseur, radioactivité, dose, risque

TABLE DES MATIERES

1 INTRODUCTION	1
2 LE CONTEXTE	1
3 LES PARASURTENSEURS	10
3.1 LES TYPES	1
3.2 LES ACTIVITES	1
4 LA MODELISATION	11
4.1 LES ACTIVITES ET LES SPECTRES	1
4.2 LES GEOMETRIES ET LES OUTILS DE CALCUL	1
5 L'EXPOSITION	10
5.1 L'EXPOSITION EXTERNE	1
5.1.1 Les scénarios	1
5.1.2 Le scénario n° 1	1
5.1.3 Le scénario n° 2	1
5.1.4 Le scénario n° 3	1
5.1.5 Le scénario n° 4	2
5.1.6 Le scénario n° 5	2
5.1.7 Le scénario n° 6	2
5.1.8 Le cas particulier du parasurtenseur à la bouche	2
5.1.9 La dose au sein	2
5.1.10 La dose au foetus	2
5.2 L'EXPOSITION INTERNE	2
5.2.1 L'inhalation et l'ingestion	2
5.2.2 Le radon	2
5.2.3 Le tritium	2
6 LE RISQUE	27
6.1 INTRODUCTION	27
6.1.1 Cancers et rayonnements ionisants	27
6.1.2 L'exposition des travailleurs de France Télécom	28
6.2 SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES SUR LES RISQUES RADIO-INDUITS	28
6.2.1 Le cancer du sein	28
6.2.2 Le cancer de la peau	29
6.2.3 Les cancers de la cavité buccale et du pharynx	30
6.3 DEMARCHE D'EVALUATION QUANTITATIVE DU RISQUE DE CANCER RADIO-INDUIT	31
7 CONCLUSION	34
8 REFERENCES	35
ANNEXE I : CHAINES RADIOACTIVES	38

ANNEXE II : CARACTERISTIQUES RADIOLOGIQUES.....	30
ANNEXE III : INVENTAIRES ET ACTIVITES FORFAITAIRES	40
ANNEXE IV : DEBITS DE DOSE DES PARASURTENSEURS RPF	40
ANNEXE V : SOURCE PONCTUELLE	40
ANNEXE VI : SOURCE LINEAIRE	40
ANNEXE VII : MONTAGE D'UNE TETE DE CABLE	40
ANNEXE VIII : DOSE A LA PEAU OU A LA LEVRE	40
ANNEXE IX : DOSE A LA PEAU DU SEIN ET AU SEIN	40
ANNEXE X : DOSE EFFICACE	40

Les auteurs du rapport remercient Mesdames Roselyne AMEON (IRSN/DEI) et Christelle HUET (IRSN/DRPH) pour leur contribution aux calculs réalisés dans le cadre de cette étude.

1 INTRODUCTION

Les personnels de France Télécom chargés de la maintenance du réseau téléphonique ont pu être exposés à des doses de rayonnements ionisants dues à la présence de matière radioactive dans des parasurtenseurs. Après avoir rappelé le contexte de l'étude, objet du présent rapport, les différents parasurtenseurs radioactifs sont passés en revue, en termes d'activité et de caractéristiques dosimétriques. La méthode de calcul des doses associées à différentes situations d'exposition supposées représentatives des conditions de travail au cours desquelles différentes catégories de personnels de France Télécom ont été exposés à ces parasurtenseurs est ensuite présentée. A partir de ces estimations de dose et des connaissances épidémiologiques actuelles sur les effets des rayonnements ionisants sur la santé de l'homme, le risque qui peut en résulter pour les personnels de France Télécom est discuté.

2 LE CONTEXTE

En 1998, le Comité d'Hygiène et de Sécurité des Conditions de Travail (CHSCT) de la Direction Régionale de Lyon de l'entreprise France Télécom a été saisi d'une demande d'étude à la suite de la survenue de plusieurs maladies cancéreuses (dont une forte proportion de cancer du sein) dans un service d'accueil téléphonique. Au cours de l'enquête menée, il a été découvert que des parasurtenseurs radioactifs avaient été utilisés par certains personnels chargés de la maintenance du réseau téléphonique. Il a alors été demandé, en complément de la demande initiale, d'évaluer les expositions passées, d'apprécier le risque sanitaire pour les personnels qui avaient manipulé ces matériels et de définir une conduite à tenir pour les dispositifs encore utilisés sur le réseau.

Une étude interne de France Télécom a alors été conduite au début des années 2000, [1], visant à apprécier les matériels et leur niveau de radioactivité ainsi que les doses susceptibles d'être reçues lors de leur utilisation et/ou manipulation. Cette étude a conduit à effectuer un certain nombre de mesures :

- des mesures d'activité, réalisées par l'Institut de Physique Nucléaire de Lyon (IPNL) ou par le Laboratoire de Physique Subatomique et des Technologies associées (SUBATECH) de Nantes ;
- des mesures de dose, réalisées par l'IPNL et l'Office de Protection contre les Rayonnements Ionisants (OPRI).

Les conclusions de cette étude – qui s'est limitée aux parasurtenseurs contenant du radium 226 – sont :

- la pertinence de recenser les parasurtenseurs de type 96 utilisés dans les répartiteurs d'abonnés, de petite taille et présentant une forte disparité d'activité, d'évaluer leur activité avant démontage et récupération, d'instituer un suivi médical spécifique pour les agents des services des lignes qui ont pu par le passé porter ces parasurtenseurs à la bouche, d'étudier la pertinence d'une approche épidémiologique portant sur le cancer du sein chez les personnels ayant manipulé ces parasurtenseurs ;
- la suggestion pour les parasurtenseurs utilisés dans les boîtes RPF (dont le risque d'irradiation paraît plus faible que pour les parasurtenseurs de type 96, mais qui présentent un risque de contamination plus important) de récupérer les matériels correspondants, d'instituer un suivi médical spécifique pour les agents des services des lignes qui ont pu par le passé porter ces parasurtenseurs à la bouche, d'examiner

si la fréquence des pathologies liées à la contamination par le radium 226 est plus élevée chez les personnels ayant manipulé ces matériels ;

- la recommandation de conduire une étude complémentaire pour la récupération des parasurtenseurs des boîtes RPC, dont les risques pour la santé paraissent minimes.

En parallèle de son étude interne, France Télécom a demandé à la société Hémisphères d'examiner les modalités de collecte des parafoudres en vue de leur élimination d'une part, et d'effectuer une synthèse relative aux parafoudres radioactifs d'autre part. Le premier document établi par Hémisphères [2] examine quatre scénarios d'élimination des parasurtenseurs en termes de dépose, entreposage intermédiaire et élimination finale envisageable avec l'Agence Nationale pour les Déchets Radioactifs (ANDRA). Cette étude ne présente pas de calculs de dose, et à ce titre n'a pas été particulièrement utile au présent travail de l'IRSN. En revanche, le second document, [3], faisant la synthèse des caractéristiques des parasurtenseurs radioactifs à partir notamment des données d'inventaire de France Télécom, et des données de mesure d'activité de ces parasurtenseurs réalisées par l'INPL et SUBATECH, fournit une image assez précise et assez exhaustive des caractéristiques radiologiques des parasurtenseurs, et a constitué, de ce fait, une base de travail très utile à l'IRSN.

En vue de l'élimination du réseau des parasurtenseurs radioactifs d'une part, et pour apprécier les niveaux d'exposition de ses personnels aux parasurtenseurs radioactifs (en termes de dose et de risque) d'autre part, France Télécom a demandé [4] à l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) une assistance pour la gestion du parc de parasurtenseurs à éliminer du réseau et une évaluation du risque radiologique pour les personnels attribuable à l'exposition aux parasurtenseurs contenant des radioéléments. Le premier volet de la demande a fait l'objet d'un accord-cadre conclu avec le Service d'Intervention et d'Assistance en Radioprotection (SIAR) de l'IRSN. Le second volet est l'objet du présent rapport ; celui-ci a été établi conjointement par l'Unité d'Expertise en Radioprotection des Travailleurs et de la Population (UETP) du Service d'études et d'Expertise en Radioprotection (SER) et le Laboratoire d'Épidémiologie (LEPID) du Service de Radiobiologie et d'Épidémiologie (SRBE), conformément à la proposition technique et financière [5] formulée par l'IRSN en réponse à la demande de France Télécom.

Les documents sur lesquels s'est appuyée cette étude sont ceux transmis par France Télécom à l'IRSN à la suite d'une réunion de travail le 9 juillet 2008 et confirmés lors de la réunion d'enclenchement de l'étude de l'IRSN le 11 septembre 2009 [6] ; il s'agit principalement de l'étude interne de France Télécom (et de ses annexes) en référence [1], du document de synthèse sur les parafoudres radioactifs de Hémisphères en référence [3], du catalogue des parafoudres France Télécom en référence [7], et du compte rendu d'une visite de terrain en référence [8].

Il est à noter que certaines informations ont par ailleurs été trouvées dans le rapport n° 10-08 de la Commission de Recherche et d'Information Indépendantes sur la Radioactivité (CRIIRAD), en référence [9], publié le 15 mars 2010 sur son site Internet¹.

¹ <http://www.criirad.org>.

3 LES PARASURTENSEURS

De manière à protéger efficacement son réseau vis-à-vis des phénomènes extérieurs d'origine électrique (principalement la foudre), France Télécom utilise des parasurtenseurs (anciennement dénommés parafoudres). Il s'agit de dispositifs étanches de petite taille, en verre, céramique ou métal, enfermant un petit volume d'air dans lequel deux électrodes se font face. Ces dispositifs servent à écouler le courant électrique lorsque la tension électrique des fils est trop importante, permettant ainsi de protéger les appareils auxquels les fils sont connectés. D'autres dispositifs de protection ont été utilisés comme par exemple les fusibles ou les bobines thermiques ; mais ces dispositifs n'ont pas contenu de radioéléments.

Les parasurtenseurs sont placés entre la terre et la ligne de l'abonné, ainsi que le montre la figure 1, extraite de l'étude en référence [1] :

- soit chez l'abonné (ou dans la rue) entre le réseau aérien et le réseau souterrain : il s'agit de boîtes dénommées RPF (raccordement, parafoudre, fusible) ou RPC (raccordement, parasurtenseur, coupure),
- soit dans le répartiteur d'abonnés (communément appelé central téléphonique) de France Télécom, entre le réseau souterrain et le réseau aérien, à l'arrivée de la ligne de l'abonné sur une « tête de câble ».

Chaque abonné dispose de deux fils et il y a un parasurtenseur sur chaque fil au niveau de la boîte de raccordement et un parasurtenseur sur chaque fil au niveau du répartiteur d'abonnés.

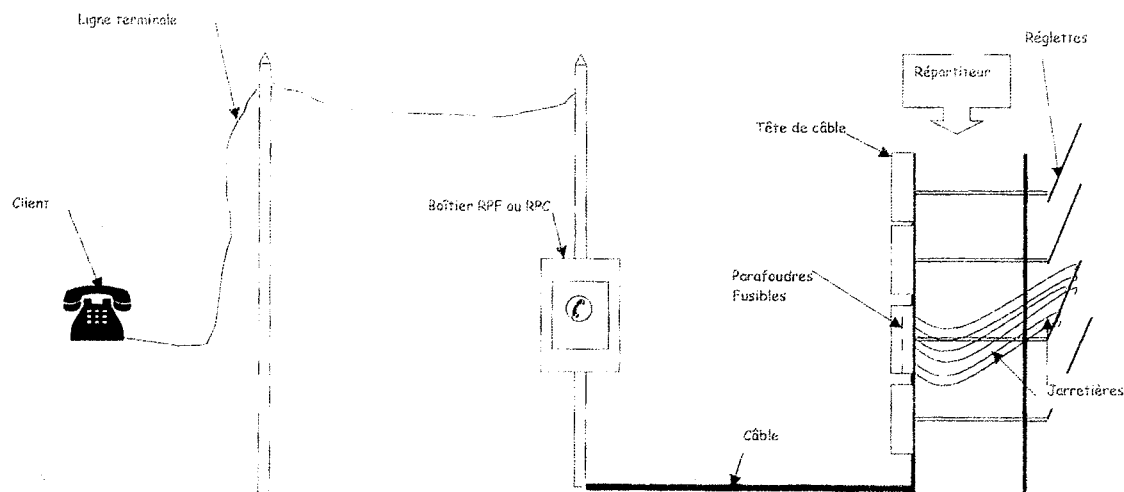


Figure 1 : Implantation des parasurtenseurs sur le réseau France Télécom

De manière à favoriser l'amorçage, certains parasurtenseurs contiennent des radioéléments pour pré-ioniser l'air. Ce sont ceux susceptibles d'exposer les personnels de France Télécom aux rayonnements ionisants, et auxquels ce rapport se limite.

Depuis la fin des années 90, France Télécom a procédé à :

- une identification des différents types de parasurtenseurs susceptibles de contenir des radioéléments ;
- une caractérisation radiologique des différents types de parasurtenseurs ;
- un inventaire sur l'ensemble du réseau de manière à estimer le nombre de parasurtenseurs de chaque type.

3.1 LES TYPES

D'après le catalogue des parafoudres de France Télécom [7], tous les parasurtenseurs contenant des radioéléments se présentent sous la forme de petites ampoules étanches à peu près cylindriques. Il en existe de nombreux modèles, variant suivant le diamètre (de 5 à 40 mm), la longueur (de 15 à 70 mm), la nature de l'enveloppe (verre, céramique ou métal) et le radioélément utilisé pour pré-ioniser l'air intérieur.

L'IRSN retient que les parasurtenseurs sont de petites tailles. Ceci permet de modéliser un parasurtenseur par une source ponctuelle pourvu que le point de calcul soit à quelques centimètres au moins du parasurtenseur (cf. § 4).

3.2 LES ACTIVITES

L'identification des radioéléments présents dans les parasurtenseurs a été faite par spectrométrie γ et par spectrométrie β à scintillation liquide (recherche du tritium).

Quatre radioéléments ont été identifiés : le tritium (H-3), le prométhium 147 (Pm-147), le radium 226 (Ra-226) et le thorium 232 (Th-232).

Le plomb 210 (Pb-210) est associé au radium 226 avec des activités relativement proches ; ce qui est normal dans la mesure où ce radioélément est un descendant de la chaîne radioactive du radium 226, en équilibre avec ce dernier si la chaîne de décroissance n'est perturbée par aucun phénomène. A l'inverse, des cas de parasurtenseurs contenant du plomb 210 sans contenir de radium 226 ont été observés, laissant à penser que du plomb 210 a pu être utilisé seul dans la fabrication de certains parasurtenseurs.

Quelques traces d'américium 241 (Am-241) ont été évoquées mais cela paraît peu vraisemblable ; de même pour un parasurtenseur qui aurait été mesuré avec du krypton 85 (Kr-85). Enfin, du potassium 40 (K-40) a également été détecté, probablement d'origine naturelle car certaines enveloppes de parasurtenseurs sont en céramique.

Le tableau I, extrait de l'étude en référence [3], présente les caractérisations radiologiques effectuées par des laboratoires spécialisés (SUBATECH, INPL) pour déterminer les radioéléments et les activités en présence dans les différents types de parasurtenseurs.

A partir des résultats de mesure, la société Hémisphères a établi un inventaire à l'échelle nationale, en attribuant une activité forfaitaire à chaque type de parasurtenseur, celle-ci étant raisonnablement pénalisante pour ne pas sous-estimer l'activité moyenne de chaque parasurtenseur, mais ne pas la surestimer non plus de manière excessive ; la valeur d'activité est arrondie à la dizaine, la centaine ou le millier le plus proche.

Tableau I : Caractérisation radiologique

Type	Radioélément	Activité (Bq)		Retenue
		Mesurée		
		SUBATECH	INPL	
Parasurtenseurs des répartiteurs d'abonnés				
M01	Ra-226	300-560	[5 , 43]	100
M06	Pm-147	< 1000		1000
M13	Pm-147	3700		400
M14	Pm-147	< 1200		1000
M15	Ra-226	20		20
M16	Ra-226	104		100
M17	Ra-226	320		300
M18	Kr-85	14 000		2000
M19	Ra-226	-		300
Parasurtenseurs sur boîtes RPF ou RPC				
C01	H-3	320		300
C02	H-3	320		300
C03	H-3	230		200
C04	H-3	130		100
C05	H-3	24		20
C07	H-3	3 200 000		3 000 000
C10	Th-232	28		30
C11	H-3	480 000		500 000
C12	Pm-147	< 1300		1000
C14	Ra-226	1000	1266	1000
C15	Th-232	51		50
C16	H-3	32 000		30 000
C18	Th-232	7,3		10
C19	Ra-226	3800		4000
C20	Ra-226	970-28	3000	1000
C21	Th-232	1		1
C22	H-3	5 400 000		5 000 000
C24	Th-232	20		20
C37	Ra-226	180		200
C38	Ra-226	4,6 - 9,7		10
C39	H-3	?		500 000
G09	H-3	4600		5000
G10	Ra-226	23		20

L'IRSN constate la très grande disparité des activités mesurées pour chaque radionucléide : de 20 à 3800 Bq pour le radium 226, de 1 à 50 Bq pour le thorium 232, de 24 à 5 400 000 Bq pour le tritium et de 1 000 à 3 700 Bq pour le prométhium 147.

Pour effectuer ses calculs de dose, l'IRSN prend en compte les radioéléments identifiés et les activités par type de parasurtenseur retenues présentés dans le tableau I. Toutefois, des descendants radioactifs du radium 226 et du thorium 232 ayant été identifiés avec des activités voisines de leur père, l'IRSN considère que les chaînes du radium 226 et du thorium 232 sont à l'équilibre radioactif ; cette hypothèse est raisonnablement pénalisante et cohérente avec le fait que les enveloppes des parasurtenseurs sont *a priori* étanches. Les annexes I et II présentent respectivement les chaînes radioactives du radium 226 et du thorium 232, ainsi que les caractéristiques radiologiques principales de ces radioéléments.

4 LA MODELISATION

4.1 LES ACTIVITES ET LES SPECTRES

Partant des deux constats suivants :

- les durées pendant lesquelles des personnels de France Télécom ont été potentiellement exposés aux parasurtenseurs sont longues ;
- la grande disparité des parasurtenseurs en termes d'activité et de radionucléides, ne permettant pas d'associer un ou des parasurtenseurs parfaitement caractérisés à une ou des situations d'exposition ;

l'IRSN considère qu'une évaluation raisonnable des expositions ne peut se faire qu'en retenant des sources moyennes et en évaluant des doses annuelles.

Pour ce faire, l'IRSN propose de reprendre la méthode de la société Hémisphères, c'est-à-dire de considérer l'activité retenue pour chaque parasurtenseur (valeurs du tableau I) pondérée par les inventaires qui lui avaient été transmis, en distinguant les parasurtenseurs des répartiteurs d'abonnés des parasurtenseurs des boîtes RPF ou RPC. Les inventaires cités sont présentés en annexe III.

Pour les répartiteurs d'abonnés, l'IRSN considère la source moyenne définie dans le document en référence [2] (page 55) à partir d'un inventaire particulièrement conséquent de 156 725 parasurtenseurs totalisant une activité de $1,53 \cdot 10^8$ Bq. Ceci conduit à retenir une activité de 977,5 Bq par parasurtenseur, composée à 99,66% de prométhium 147 et à 0,34% de radium 226 ;

Pour les boîtiers RPF ou RPC, la situation est un peu plus complexe dans la mesure où le document en référence [2] propose deux inventaires, ne conduisant pas à la même source moyenne. L'IRSN a retenu, sur la base d'un calcul à l'aide du code MICROSHIELD® [10] présenté en annexe IV, la source moyenne générant les débits de dose les plus élevés (d'un facteur 2 environ). Ainsi, l'IRSN considère la source moyenne établie dans le document en référence [2] (page 57) à partir d'un inventaire de 2589 parasurtenseurs totalisant une activité de $6,82 \cdot 10^8$ Bq. Ceci conduit à retenir une activité de $2,6355 \cdot 10^5$ Bq par parasurtenseur, composée à 99,98% de tritium, à 0,018% de radium 226 et à 0,0054% de thorium 232.

Le tableau II présente une synthèse des sources qui sont utilisées dans les calculs.

Tableau II : Synthèse des sources pour les évaluations

		Répartiteur	RPF ou RPC
Activité par parasurtenseur (Bq)		977,5	2,6355 10 ⁵
tritium			99,9767
Spectre (%)	prométhium 147	99,65635	
	radium 226	0,34365	0,01789
	thorium 232		0,0054

Il est à noter qu'en termes d'exposition externe, et pour les sources considérées, le prométhium 147 apportera une contribution négligeable devant celle du radium 226, de même que le tritium (émetteur β pur) n'apportera aucune contribution.

4.2 LES GEOMETRIES ET LES OUTILS DE CALCUL

Compte tenu que :

- les parasurtenseurs sont de petite taille ;
- les parasurtenseurs sont alignés verticalement sur les têtes de câble, distants les uns des autres de moins de 1 cm ;
- les boîtes servant à entreposer des parasurtenseurs ne sont pas de grandes dimensions ;

L'IRSN retient les modélisations géométriques suivantes pour les sources, en fonction des différentes configurations d'exposition :

- pour les configurations d'exposition autres que devant les têtes de câble et avec des distances entre les parasurtenseurs et l'opérateur supérieures à quelques centimètres, les parasurtenseurs sont représentés par une seule source ponctuelle (d'activité égale à la somme de leurs activités), quel que soit leur nombre ; il s'agit donc d'une hypothèse relativement pénalisante notamment pour les distances courtes (quelques centimètres ou dizaines de centimètres) ; c'est le cas par exemple des parasurtenseurs en stockage dans un magasin, d'une boîte de parasurtenseurs dans le coffre d'un véhicule ou des parasurtenseurs en place dans un boîtier RPF ou RPC ;
- pour les configurations d'exposition devant des têtes de câble des répartiteurs d'abonnés (installation ou remplacement de parasurtenseurs ou mouvements de jarretières), l'ensemble des parasurtenseurs de la tête de câble est représenté par une source linéaire de hauteur égale à la tête de câble et respectant l'activité totale de tous les parasurtenseurs installés sur la tête de câble ;

Les calculs réalisés pour les deux configurations de sources ci-dessus sont réalisés avec le code de calcul MICROSIELD® [10]. Ce code largement éprouvé en radioprotection estime les débits de dose

