



Estimation

de l'**impact sanitaire collectif**

de la contamination des terrains

par la **radioactivité présente à Gif-sur-Yvette**



MINISTÈRE DE L'EMPLOI
ET DE LA SOLIDARITÉ

DDASS de l'Essonne



INSTITUT DE
VEILLE SANITAIRE

Estimation

de l'impact sanitaire collectif

de la contamination des terrains
par la radioactivité présente à Gif-sur-Yvette



MINISTÈRE DE L'EMPLOI
ET DE LA SOLIDARITÉ

DDASS de l'Essonne



INSTITUT DE
VEILLE SANITAIRE



Les études sont menées depuis mars 2000, sur le site de Gif-sur-Yvette, par un groupe technique piloté par la Direction départementale des Affaires Sanitaires et Sociales de l'Essonne sous l'autorité du sous-préfet de Palaiseau.

Composition du groupe technique :

- Agence Nationale pour les Déchets Radioactifs
- Direction départementale des Affaires Sanitaires et Sociales
- Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire
- Institut de Veille Sanitaire
- Office de Protection contre les Rayonnements Ionisants

La présente étude d'évaluation des risques collective complète et s'appuie sur les résultats des investigations dosimétriques menées sur le site par l'Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire et l'Office pour la Protection contre les Rayonnements Ionisants dont les rapports sont référencés dans le document de la liste bibliographique. Les personnes suivantes ont participé à l'évaluation collective de l'impact sanitaire :

- **Institut de Veille Sanitaire**

- Philippe PIRARD, Responsable scientifique et rédacteur du rapport
- Martine LEDRANS

- **Direction départementales des Affaires Sanitaires et Sociales**

- Delphine CAAMANO
- Isabelle MEHL-AUGET
- Jérôme ROCHELLE

Remerciements à Denis ZMIROU (InVS) pour la relecture de ce rapport.

Liste des sigles utilisés

ANDRA	Agence Nationale pour les Déchets Radioactifs
CEA	Commissariat à l'Energie Atomique
CRIIRAD	Commission de Recherche et d'Information Indépendante sur la Radioactivité
DDASS	Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales
ICRP	International Commission on Radiological Protection
InVS	Institut de Veille Sanitaire
IPSN	Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire
OPRI	Office pour la Protection contre les Rayonnements Ionisants
SCPRI	Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants
SNR	Société Nouvelle du Radium
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation



Sommaire

1. Résumé	9
2. Contexte	11
3. Objectifs	13
4. Matériel et méthodes	15
4.1. Population d'étude	15
4.2. Etat des connaissances sur les effets et choix des coefficients de relation dose-risque	15
4.2.1. Bilan des connaissances épidémiologiques	16
4.2.2. Choix des indicateurs de dose	16
4.2.3. Choix des coefficients de relation dose-risque	17
4.2.4. Choix des indicateurs d'impacts	17
4.3. Estimation de l'exposition, des doses efficaces annuelles et des doses cumulées	18
4.3.1. Principes	18
4.3.2. Mesures sur le site	18
4.3.3. Profils de personnes	19
4.3.4. Modèles dosimétriques	20
4.4. Aspects éthiques et déontologiques	21
5. Résultats	23
5.1. Réponses aux profils	23
5.2. Impact sanitaire lié à une année d'exposition sur le territoire investigué ..	24
5.2.1. Dose efficace annuelle due au radon et estimation des risques de décès par cancer du poumon	24
5.2.2. Dose efficace annuelle due aux autres sources que le radon et estimation des risques de décès par cancers et hémopathies malignes	25
5.2.3. Comparaison des résultats	27

5.3. Impact sanitaire lié à l'exposition cumulée	27
5.3.1. Doses cumulées dues au radon et estimation des risques de décès par cancer du poumon	27
5.3.2. Doses cumulées dues aux autres sources de radioactivité que le radon et risques de décès par cancers et hémopathies malignes	28
5.3.3. Comparaison des résultats	29
6. Discussion	31
7. Faisabilité d'une étude épidémiologique	35
8. Faut il mettre en place un suivi médical de la population résidant actuellement à Gif-sur-Yvette ?	37
9. Conclusion	39
Bibliographie	41
Annexes	43

1. Résumé



Le site de la Société Nouvelle du Radium à Gif-sur-Yvette (Essonne) a hébergé de 1904 à 1957 des activités industrielles d'extraction de radium et de préparation d'aiguilles de radium. Transformé en zone d'habitations à partir de 1959, le quartier de la Petite Coudraie a connu des phases successives de mesures de radioactivité et de travaux de décontamination. En 2000, la persistance dans une habitation de niveaux de radon très supérieurs aux recommandations sanitaires a incité les autorités locales à lancer une démarche d'investigation systématique et d'analyse de risques afin de prendre les mesures de gestion du risque radiologique nécessaires pour l'ensemble du quartier concerné. Une évaluation de l'impact sanitaire de la contamination du site a été conduite par la DDASS, l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) et l'Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire (IPSN). Elle s'est traduite par deux étapes successives : 1) une étude dosimétrique effectuée par l'IPSN ; 2) une étude quantitative des risques sanitaires dus à la contamination liée à l'activité industrielle passée, objet du présent rapport.

Les habitants du site ayant accepté de participer et bénéficiant au 30 septembre 2001 d'une estimation dosimétrique complète ont été inclus dans l'enquête. La contamination radiologique du site est constituée par du radium 226 présent dans les terrains. Elle se traduit par une exposition des habitants selon les voies suivantes : 1) ingestion et inhalation de radium présent dans les végétaux, les sols ou les poussières domestiques, 2) inhalation de radon, 3) irradiation externe aux rayonnements gamma émis par le radium et ses descendants. La présente évaluation des risques a exclusivement porté sur le risque de cancers car ce sont actuellement les seules pathologies liées aux rayonnements ionisants pour lesquelles des relations dose-réponse, validées au plan international, sont disponibles. En conséquence, le cancer du poumon dû à l'inhalation de radon d'une part, et les cancers ou hémopathies malignes dûs aux autres sources et voies d'exposition d'autre part, ont constitué les effets sanitaires retenus dans la présente évaluation.

L'étude dosimétrique préalable a fourni pour chaque personne incluse une estimation de l'exposition actuelle sous la forme de doses efficaces annuelles et une estimation de l'exposition historique sous la forme de doses efficaces cumulées au cours des différentes années de présence sur le site. Le calcul des doses a permis de distinguer la dose apportée par l'inhalation du radon de celle apportée par les autres sources et voies d'exposition.

Il a été considéré que le risque de décéder d'un cancer du poumon était de 0,75 pour 10 000 par mSv du au radon et le risque de décéder d'une pathologie maligne de 0,5 pour 10 000 par mSv dû aux autres sources de radiation.

L'évaluation dosimétrique a été proposée pour les occupants de 91 habitations. Le 30 septembre 2001, 77 habitations occupées avaient bénéficié d'évaluations dosimétriques complètes. Parmi celles ci, les occupants de soixante-six habitations ont accepté de participer à l'évaluation collective des risques. Au total, 191 personnes dont 80 % d'adultes, ont été incluses dans l'étude.

L'excès de risque de décéder d'un cancer du poumon dû à un an d'exposition actuelle au radon était en moyenne de 1,8 pour 10 000 ; 10 % de la population se partageant 66 % de cet excès de risque. L'excès de risque cumulé de décéder d'un cancer du poumon par le radon lié au nombre d'années passées sur le site était en moyenne de 4 pour 1000, 10 % de la population

se partageant 79 % de cet excès de risque. Le nombre de décès par cancers du poumon résultant de l'exposition cumulée au radon des 191 participants a été estimé à 0,77 et à 0,61 dû à l'exposition en excès par rapport au bruit de fond existant en Ile-de-France. L'excès de risque cumulé de décéder d'une pathologie maligne par l'exposition aux autres sources de radiations lié aux nombres d'années passées sur le site était en moyenne de 4,3 pour 10 000 ; 10 % de la population se partageant 37 % de cet excès de risque. Le nombre de décès par cancer résultant de l'exposition cumulée aux autres sources de radioactivité a été estimé dans cette population à 0,08 décès par cancer dû à l'exposition totale et à 0,02 dû à l'exposition en excès par rapport au bruit de fond existant en Ile-de-France. Le nombre de décès attendus dans cette même population indépendamment de la contamination industrielle a été estimé à 10 pour le cancer du poumon et à 55 pour tous cancers.

Les estimations dosimétriques utilisées pour l'évaluation des risques ont été basées d'une part sur des données métrologiques et d'autre part, sur des comportements moyens définis pour des profils types auxquels les personnes interrogées se sont identifiées. Cette méthode, si elle s'avère plus précise que l'application de niveaux moyens de contamination à un modèle moyen d'exposition pour l'ensemble de la population, laisse subsister de l'imprécision sur les doses d'exposition ainsi estimées. Les coefficients appliqués à ces doses pour quantifier le risque sanitaire ont fait l'objet d'une validation internationale. Leur application à des niveaux de dose tels que ceux estimés à Gif est le fruit d'une extrapolation des résultats observés dans des études épidémiologiques sous l'hypothèse d'une relation linéaire et sans seuil. Les études dont ces coefficients sont issus, ont été menées soit chez les populations d'Hiroshima et Nagasaki, soit chez des travailleurs. Or, la population de Gif sur Yvette ne présente peut-être pas les mêmes caractéristiques que ces populations concernant les autres facteurs de risques des cancers interagissant avec les rayonnements ionisants (comme le tabac par exemple). De plus, ces coefficients donnent le risque de décès par la pathologie et non de survenue de la pathologie. La létalité de ces pathologies peut également évoluer suivant les contextes de prise en charge médicale.

Ces points de discussion montrent que l'évaluation de risque menée est basée sur les connaissances scientifiques actuelles et qu'elle présente une part d'incertitude qui amène à en considérer les résultats avec précaution.

Cependant, les ordres de grandeur des résultats obtenus permettent de tirer les conclusions et recommandations suivantes. Les excès de risque de décès estimés sont dus à 98 % à l'exposition au radon. De plus, seuls 10 % des habitants se partagent à l'heure actuelle les deux tiers de ce risque. Ces résultats devraient orienter les mesures de gestion sur la réduction prioritaire de l'exposition au radon. Enfin, il n'apparaît pas pertinent de préconiser un suivi collectif de cette population ni à des fins épidémiologiques, ni à des fins de dépistage.

2. Contexte

Le site concerné par la contamination (quartier de la Petite Coudraie à Gif-sur-Yvette) a hébergé de 1904 à 1957, date de mise en liquidation judiciaire, les locaux de la Société Nouvelle du Radium (SNR) dont l'activité était principalement l'extraction de radium à partir de minerai de pechblende puis, à partir des années 20, la préparation d'aiguilles de radium (1). A partir de 1959, des contrôles radiologiques sont effectués par le Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) et le Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants (SCPRI). Des travaux de décontamination sont engagés permettant la vente des terrains appartenant à la famille « Danne », en particulier des terrains ayant hébergé la SNR. La plupart des terrains ont été divisés puis construits, une partie ayant été lotie. En 1977, le CEA effectue un travail de synthèse reportant les taches de contaminations trouvées sur un périmètre d'étude qu'il a défini en fonction des terrains ayant appartenu à la famille « Danne », et préconise déjà un certain nombre de mesures. Dans les années 80 et 90, des actions de décontaminations ont lieu à l'initiative des riverains tandis que des permis de construire sont délivrés. En 2000, des niveaux très élevés de radon sont constatés chez un particulier après des mesures faites par l'Office pour la Protection contre les Rayonnements Ionisants (OPRI) à l'initiative de la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS) et contre-expertise de la Commission de Recherche et d'Information Indépendante sur la Radioactivité (CRIIRAD). La préfecture décide alors de lancer une démarche de gestion globale du site dont un des objectifs est de prendre les mesures de gestion du risque radiologique qui s'avèreraient nécessaires pour l'ensemble du quartier concerné.



3. Objectifs



A fin d'évaluer l'impact sanitaire de la contamination du site, la DDASS, l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) et l'Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire (IPSN) ont proposé une démarche d'évaluation des doses (effectuée par l'IPSN) et des risques (effectuée par l'InVS) qui prenne en compte l'ensemble des habitations ayant fait l'objet de mesures.

Les objectifs étaient de :

- 1) évaluer les risques sanitaires dus à la contamination liée à l'activité de la SNR pour la population habitant sur le périmètre d'étude pour aider à la gestion du risque ;
- 2) évaluer les gains de doses apportés par différentes mesures de réduction des expositions ;
- 3) identifier les habitations présentant les risques d'expositions les plus importants.

L'objet du document est de présenter le travail répondant au premier objectif.

4. Matériel et méthodes



4.1. Population d'étude

Un travail de synthèse historique des données disponibles n'a pas permis de délimiter précisément un territoire sur lequel une contamination risquait d'être présente [1]. Une démarche d'investigation métrologique systématique a donc été lancée. Les propriétés privées qui se sont vues proposer des mesures ont été :

- les propriétés situées sur l'ancienne propriété Danne ou en limites immédiates dans un premier temps ;
- les propriétés mitoyennes des propriétés présentant des points singuliers¹ de radioactivité dans un second temps.

La présente évaluation de l'impact sanitaire porte sur la population habitant actuellement les terrains ayant fait l'objet de mesures et d'estimations de doses validées et ayant accepté de participer à l'enquête.

Les visiteurs réguliers des personnes résidant sur le site ainsi que les personnes n'y résidant plus n'ont pas été inclus dans la population d'étude ; les premiers parce que leur dose contribue très peu à la dose collective ; les seconds parce qu'ils n'ont pas été identifiés lors de l'investigation métrologique.

Afin de ne pas retarder la remise des résultats par rapport aux engagements pris auprès des autorités sanitaires et de la population, seules les propriétés pour lesquelles l'ensemble des étapes concernant la validation des mesures et des doses avait été réalisé à la date du 30 septembre 2001 ont été prises en compte.

4.2. Etat des connaissances sur les effets et choix des coefficients de relation dose-risque

C'est la relation entre exposition aux rayonnements ionisants et cancer qui a été clairement mise en évidence sur les études épidémiologiques et les expérimentations animales. Jusqu'à présent, il n'a pas été possible de relier de façon fiable d'autres types d'effets avec les expositions aux rayonnements ionisants à faible dose par les études épidémiologiques, qu'il s'agisse des troubles de la reproduction, des malformations congénitales ou des pathologies cardio-vasculaires. C'est pourquoi, dans le cadre de ce travail, l'évaluation de l'impact sanitaire du site a été fondée sur les modèles de relation dose-risque élaborés pour les cancers.

¹ Définition d'un point singulier : un point singulier est un point dont l'activité radiologique est supérieure à l'activité du bruit de fond pour la région.

4.2.1. Bilan des connaissances épidémiologiques

L'isotope majoritairement trouvé sur le site en concentrations significatives est le radium 226. Il s'agit d'un métal du groupe des alcalino-terreux produit par décroissance de l'uranium 238 et source de radon.

C'est le risque de cancers qui a été clairement mis en évidence sur les cohortes de populations exposées aux rayonnements ionisants [2].

Les risques sanitaires identifiés associés aux radionucléides présents à Gif-sur-Yvette sont les suivants :

- Radium 226 : après incorporation dans le corps, le radium se concentre dans les os. Ses descendants les plus radio-toxiques sont le radon 222, un gaz radioactif, le polonium et le plomb 210 qui sont des particules solides. Des études épidémiologiques réalisées aux USA et au Royaume-Uni sur des cohortes de femmes peignant des écrans de montres avec une peinture contenant du radium 226, ont montré un excès de risque de cancers osseux et des sinus [2, 3] Le délai moyen de survenue de ces tumeurs après la contamination était de 30 ans, bien que certaines tumeurs aient été détectées dès 7 ans de délai. Il n'a pas été observé d'excès significatif de leucémies dans ces cohortes [4]. Les quantités de radium ingérées par ces femmes sont très importantes. La modélisation des relations entre la quantité ingérée estimée et le risque de développer ces cancers au sein de ces cohortes est en faveur de l'existence d'une relation non linéaire. Celle-ci est de pente nulle ou très faible en dessous de quantités importantes de radium ingéré pour augmenter après [5, 6].
- Radon 222 : il s'agit d'un gaz radioactif qui s'accumule dans les habitations. Les résultats des expérimentations animales et surtout les résultats des études épidémiologiques chez l'homme (travailleurs des mines d'uranium, d'étain et de fer) montrent que le danger associé à une exposition au radon est celui du cancer du poumon par inhalation. En conséquence, le Centre International de Recherche sur le Cancer de l'Organisation Mondiale de la Santé a classé le radon comme cancérigène avéré chez l'homme.
- Rayonnement gamma : les débits de dose externe gamma sont reliés à la survenue de tumeurs solides malignes et de leucémies. Ce type de rayonnement est dans la situation du terrain investigué essentiellement produit par le bismuth qui est un descendant du radium 226 [7, 8].

4.2.2. Choix des indicateurs de dose

Compte tenu de l'information disponible sur l'état de la contamination des habitations à Gif-sur-Yvette et des nombreuses hypothèses qui sous-tendent l'estimation des doses reçues par les personnes, les auteurs de l'étude dosimétrique ont préféré limiter cette estimation dosimétrique à celle d'une dose efficace plutôt que de l'exprimer par une dose reçue aux organes. La dose efficace se calcule en multipliant la dose reçue au niveau de chaque organe exposé par un coefficient de risque (propre à chacun d'entre eux) puis en faisant la somme des résultats partiels obtenus. Cette dose est telle que l'impact de l'énergie délivré à quelques organes est équivalent à une dose uniformément répartie sur l'ensemble de l'organisme. Elle recouvre toutes les modalités d'expositions et s'applique à tous les rayonnements ionisants, à l'exposition externe et interne, aux expositions globales ou partielles. Elle constitue un premier indicateur de risque lorsque l'individu est exposé à de multiples voies d'exposition.

Dans le cas présent, la dose efficace a pu être scindée en deux grandes sources d'exposition :

- la dose apportée par l'inhalation du radon et de ses descendants ;
- la dose apportée par les autres sources et voies d'exposition.

4.2.3. Choix des coefficients de relation dose-risque

L'essentiel de l'information sur les risques de cancers dus aux rayonnements ionisants repose d'une part, sur le suivi des personnes exposées aux retombées de l'accident d'Hiroshima-Nagasaki pour lesquels une probabilité de décès par cancer et leucémie en excès a été estimée [7, 8] et d'autre part, sur le suivi des personnes exposées au radon dans le cadre de leur activité professionnelle, qui a permis d'estimer une probabilité de décéder d'un cancer du poumon liée à l'exposition cumulée au radon et à ses descendants [9, 10]. On appelle « risque », ces probabilités de survenue d'un événement sanitaire au sein d'une population pour une période donnée ou au cours d'une vie.

Les effets des faibles doses de rayonnements ionisants sont des effets dits stochastiques. En d'autres termes, à une distribution de doses dans une population, correspond une fréquence de ces effets attendus au sein de celle-ci. Il n'est pas possible de prédire, avec certitude, qui développera un tel effet dans la population. Mais, en se basant sur les relations dose-risque tirées des études épidémiologiques, il est possible d'attribuer pour chaque dose une probabilité de développer un effet pour un individu présentant les caractéristiques moyennes de la population.

Sur la base de ces informations, et dans un objectif de radioprotection, les comités d'experts de la Commission Internationale de Radioprotection ont proposé des coefficients pour évaluer des risques de survenue de cancers dus d'une part, à l'exposition au radon et d'autre part, à la dose efficace apportée par les autres sources de radioactivité [7, 10]. Ces coefficients de risque sont exprimés par la probabilité en excès de décéder d'un cancer sur la vie entière qui correspond à une unité de dose reçue.

L'exposition cumulée au radon a été rapportée en dose efficace. La CIPR [10] propose une relation linéaire sans seuil entre l'excès de risque de décéder d'un cancer du poumon et l'exposition cumulée au radon (ici exprimée en dose efficace). Cette relation fait correspondre un excès de risque de décès par cancer du poumon de 3.10^{-4} à une dose efficace de 4 mSv, soit un excès de risque de décès par cancer du poumon de $0,75.10^{-4}$ par mSv de dose efficace due au radon.

Pour les autres sources d'expositions, l'exposition a été rapportée en dose efficace annuelle. Le coefficient proposé par la CIPR met en regard de cette dose [7] une probabilité en excès de décéder d'un cancer ou d'une hémopathie maligne. Cette relation fait correspondre à une dose efficace de 1mSv due aux autres sources de radiation que le radon, une probabilité de décès par cancer de 5.10^{-5} .

4.2.4. Choix des indicateurs d'impacts

L'application de ces coefficients à une dose efficace reçue par un habitant du terrain investigué permet d'obtenir deux types d'indicateurs d'impact sanitaire. Le premier est l'excès de risque individuel de décéder d'un cancer (ERI). Cet excès de risque individuel (ERI) s'applique à un individu « théorique » qui présenterait les caractéristiques moyennes présentées par les populations sur la base desquelles les coefficients ont été estimés (sensibilité à la maladie, tabagisme moyen, etc.). La distribution des excès de risque de décéder d'un cancer pour chaque dose cumulée peut ainsi être analysée.

Un autre indicateur d'impact sanitaire peut être obtenu en sommant les ERI obtenus pour chaque dose individuelle ; celui-ci permet d'estimer le nombre de décès par cancer attendus dans la population dû aux expositions collectives cumulées. On calcule ainsi le nombre de décès par cancers qui pourrait résulter de l'exposition de l'ensemble de la population à la radioactivité sur le territoire investigué de Gif-sur-Yvette, puis le nombre de décès qui pourrait

résulter de l'exposition à « l'excès de radioactivité par rapport au bruit de fond ». Le calcul est d'abord effectué pour un an d'exposition, puis effectué pour l'ensemble des années passées par les occupants actuels du site.

Ce nombre attendu de décès par cancers dû aux expositions à la radioactivité présente sur le site, est ensuite comparé au nombre de décès par cancer attendu dans une population équivalente de l'Ile-de-France.

4.3. Estimation de l'exposition, des doses efficaces annuelles et des doses cumulées

4.3.1. Principes

Les contributions respectives à la dose totale des différentes sources d'exposition peuvent varier en fonction des niveaux de contamination des différents milieux, des particularités physiques de ces milieux (taux d'empoussièrement par exemple...), du type d'activité effectuée en un endroit donné, du temps consacré à cette activité et des spécificités physiologiques de la personne. Dans la mesure où il s'agit d'une contamination à la fois des terrains et des habitations par le radium (^{226}Ra) et ses descendants, les voies d'exposition qui ont été considérées pour effectuer les calculs de dose sont :

- l'irradiation externe ;
- l'ingestion des produits du potager et de terre ;
- l'inhalation de particules du sol remises en suspension ;
- l'inhalation de gaz radon (^{222}Rn).

Afin d'évaluer la dose efficace annuelle résultant de chacune de ces voies d'exposition, les calculs ont été effectués sur la base des données suivantes :

- les mesures réalisées sur le site ;
- la définition de profils-types de résidents auxquels sont attribués des temps de présence dans les divers endroits de la propriété ; des profils personnalisés ont également été utilisés dans certains cas ;
- les modèles dosimétriques.

Il est important de préciser que ce travail vise à donner une évaluation aussi réaliste que possible des doses associées aux conditions actuelles d'exposition. Toutefois, les calculs reposent sur des hypothèses dont certaines, faute d'informations plus précises, sont par prudence volontairement majorantes ; elles conduisent ainsi à des doses calculées qui sont vraisemblablement plus élevées qu'elles ne le sont en réalité [11].

4.3.2. Mesures sur le site

Les mesures sur le site ont été réalisées par l'OPRI et par l'IPSN conformément au protocole approuvé par le groupe technique piloté par la DDASS de l'Essonne. Ont ainsi été effectués dans chaque propriété [11] :

- un contrôle radiométrique du terrain et de la maison au moyen de mesures instantanées du rayonnement gamma ; les mesures ont été effectuées à 0,50 m au-dessus du sol, à l'aide d'un Scintillomètre Portatif de Prospection appelé « sonde SPP2 » selon un quadrillage de 2 x 2 m² ;

- des mesures intégrées du rayonnement gamma, représentatives de la moyenne annuelle, au moyen de dosimètres thermoluminescents disposés dans diverses pièces aux différents étages de la maison sur une période de plusieurs semaines ;
- des prélèvements de poussières dans la maison, d'échantillons de sol à l'extérieur et, dans certains cas où une contamination a été décelée, de végétaux dans le jardin ;
- un dépistage du radon dans la maison par des mesures ponctuelles (sur quelques heures) de l'activité volumique du radon ;
- des mesures intégrées de l'activité volumique du radon sur une période de plusieurs semaines, représentatives de la moyenne annuelle, au moyen de dosimètres passifs disposés dans diverses pièces aux différents étages de la maison. Pour l'une des propriétés, des mesures du même type réalisées par la CRIL-RAD [11] ont été utilisées.

Les rapports fournissent les données suivantes qui sont nécessaires aux calculs dosimétriques :

- les débits de dose gamma ambiants, en micro-sievert par heure ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$), dans différentes pièces de la maison ;
- les débits de dose gamma ambiants ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) sur l'ensemble de la propriété (localisation des points de mesure mentionnée sur le plan de chacune des propriétés) ainsi que sur la voirie ;
- en certains points (repérés également), l'activité massique du sol en ^{226}Ra et en ses descendants, en becquerel par kilogramme ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$), dans les couches 0 - 10 cm et 10 - 20 cm de profondeur ;
- les activités volumiques du radon, en becquerel par mètre cube ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$), dans différentes pièces de la maison ;
- la surface du terrain et celle du potager s'il existe ;
- le nombre et l'âge des occupants de la maison.

4.3.3. Profils de personnes

De façon générale, l'exposition des résidents résultant des quatre voies d'exposition précitées dépend de leur mode de vie (du fait, en particulier, des variations du niveau de la radioactivité d'un endroit à l'autre de chaque propriété). Un questionnaire décrivant 6 profils types pour les habitants du site (plus 2 profils types pour les visiteurs réguliers) a été envoyé pour être complété par chaque résident (cf. annexe 1). Il s'agissait pour chacun d'eux de pointer le profil dont ils se rapprochent le plus actuellement et de faire de même pour chacune des années passées dans l'habitation. Ces profils ont permis de tenir compte de budgets-temps moyens dans les différentes pièces des habitations ainsi que de comportements types. Les caractéristiques des profils génériques sont les suivantes :

Profil 1 : Personne à domicile

Il s'agit d'une personne qui n'a pas d'activité à temps plein hors de son domicile, ni d'activité particulière qui conduirait à privilégier sa présence dans une pièce particulière.

Profil 2 : Bricoleur

Il s'agit d'une personne qui n'a pas d'activité à temps plein hors de son domicile et dont les activités de bricolage ou de loisir la conduisent à passer une partie importante de son temps dans le sous-sol (où le radon a tendance à se concentrer).

Profil 3 : Jardinier

Il s'agit d'une personne qui n'a pas d'activité à temps plein hors de son domicile et qui privilégie les activités à l'extérieur (typiquement le jardinage).

Profil 4 : Occupation extérieure

Il s'agit d'une personne qui exerce une activité régulière hors de son domicile pour des raisons professionnelles.

Profil 5 : Enfant de trois ans

Il s'agit d'une personne résidant en permanence au domicile.

Profil 6 : Enfant de dix ans

Il s'agit d'un enfant scolarisé.

Pour chaque profil, il a été supposé un temps de présence moyen d'une demi-heure par jour sur les voies publiques du quartier (où une tache de contamination a été détectée). La durée de séjour dans chaque partie de la propriété est indiquée, pour ces différents profils, dans le tableau 1.

TABLEAU 1. Temps de présence moyen (heures par jour) dans différentes parties de la résidence et sur la voirie du quartier* selon les profils.

	Chambre	Salon	Autres pièces	Sous-sol	Jardin	Voirie
Profil 1	9,5	7	1	0,5	2	0,5
Profil 2	9	3	2	5	1	0,5
Profil 3	9	3	3	1	4	0,5
Profil 4	9	3,5	2	0,5	1	0,5
Profil 5	13	7	0	0	2	0,5
Profil 6	12	4	0	0	2	0,5

* La somme des heures passées dans chaque partie de la propriété est inférieure à 24h, il est supposé que le reste de la journée soit passé à l'extérieur.

Les résultats de cette enquête ont servi de base pour l'évaluation des expositions dans la situation actuelle. La règle de cette évaluation a été de se baser sur les profils-types de tous les habitants ayant accepté de définir le profil qui correspondait le plus à leur situation durant une période donnée. Les profils plus personnalisés qui ont été établis pour les habitants des propriétés les plus contaminées sur la base d'un questionnaire détaillé, très utiles pour préciser leur exposition ne sont pas ceux qui ont été retenus pour l'évaluation collective des doses. En effet, l'objectif est d'apprécier l'ordre de grandeur de la dose collective reçue par la communauté sur la base d'hypothèses communes plutôt que d'avoir une information précise pour chaque personne.

4.3.4. Modèles dosimétriques

L'estimation des doses efficaces annuelles sur la base des résultats de mesures disponibles, nécessite de formuler des hypothèses et de recourir à des indicateurs comportementaux et des paramètres physiologiques.

Ces hypothèses concernent l'estimation de contaminations moyennes des différents milieux à partir des mesures disponibles. Ces hypothèses s'attachent à être aussi réalistes que possible [11,13]. En l'absence d'informations précises, elles sont par prudence volontairement conservatrices.

Les indicateurs comportementaux (taux d'autoconsommation des légumes du jardin, consommation de légumes, quantité de terre ingérée) et les paramètres physiologiques (débit

respiratoire, coefficients de dose par Bq incorporé) et biologiques (coefficient de transfert sol-végétaux) sont basés sur les résultats d'études nationales ou internationales donnant des informations représentatives de la distribution de ceux-ci selon les caractéristiques de la population ou dans l'environnement [10, 15-20].

Un extrait du rapport de l'IPSN sur l'évaluation dosimétrique présente, en annexe 2, le détail des modèles dosimétriques utilisés et des hypothèses effectuées pour le calcul des doses efficaces annuelles. Il a ainsi été possible d'estimer une dose efficace annuelle due au radon et une dose efficace annuelle due aux autres sources de radioactivité. L'évaluation collective des risques sur la population nécessite, outre la connaissance de la dose annuelle actuelle, la connaissance du cumul des doses sur le temps d'occupation du site contaminé par la population ciblée². L'hypothèse a été faite de la stabilité des doses dans le temps. En conséquence, la dose actuellement mesurée a été reportée aux différentes années d'occupation de l'habitation.

Une des difficultés d'un calcul dosimétrique concernant les radionucléides naturels (comme ici le ²²⁶Ra) est de dissocier la contribution des radionucléides qui sont présents naturellement dans l'environnement et qui constituent un bruit de fond permanent, de celle liée, comme c'est le cas ici, à la présence d'une activité industrielle passée. En pratique, le bruit de fond a été estimé à partir de mesures réalisées sur le site en des points localement non perturbés, ou à défaut dans un voisinage proche du site présentant des caractéristiques comparables (valeurs disponibles pour l'Essonne et/ou l'Ile-de-France [11, 14]).

4.4. Aspects éthiques et déontologiques

Le fichier informatique des personnes incluses dans l'enquête a été déclaré à la CNIL qui a émis un avis favorable. Les personnes participant ont été informées par lettre de la DDASS de l'Essonne (annexe 3) des objectifs de l'enquête, de leur possibilité de refuser d'y participer, de leur droit d'accès et de rectification à ce fichier. L'anonymat a été préservé. Un numéro d'identification a été attribué à chaque propriété par la DDASS de l'Essonne.

² Si les doses efficaces sont dues à des expositions pour lesquelles il y a eu incorporation de radionucléides, les doses efficaces correspondent au cumul des doses engagées sur la vie entière de l'individu (50 ans pour un adulte, 70 ans pour un enfant). Pour ce qui est d'une exposition telle que le radioélément s'intègre de façon continue, la dose annuelle efficace correspond à la dose engagée pour 50 ans liées à une exposition de un an.

5. Résultats



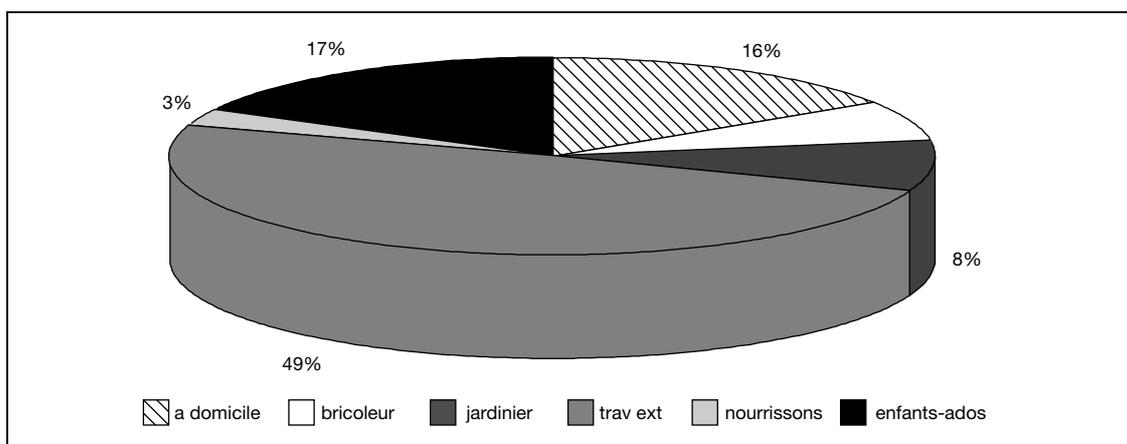
5.1. Réponses aux profils

Au 30 septembre 2001, 91 terrains avaient été investigués. La présente évaluation ne porte que sur les calculs de dose validés par l'IPSN ; elle ne concerne donc pas les habitations pour lesquelles des résultats de mesure ont été disponibles depuis juillet (10 habitations). Pour les 81 terrains investigués complètement, 77 étaient construits et occupés. Parmi ceux-ci, les occupants de 66 habitations ont accepté de répondre au questionnaire sur les profils (86 % des terrains occupés). Pour 7 fiches, la mention « visites le WE » est donnée. Cette mention paraît trop imprécise pour attribuer une dose. Au total, une information sur les profils actuels et passés a donc été possible pour 191 résidents de 66 habitations. Pour ces participants, l'âge moyen est de 41 ans, la durée de vie moyenne dans le quartier est de 16 ans (en 2000).

Quelques personnes se sont reconnues à la fois dans le profil bricoleur et le profil jardinier. C'est le profil bricoleur qui a alors été choisi car le plus péjoratif en terme d'estimation de dose.

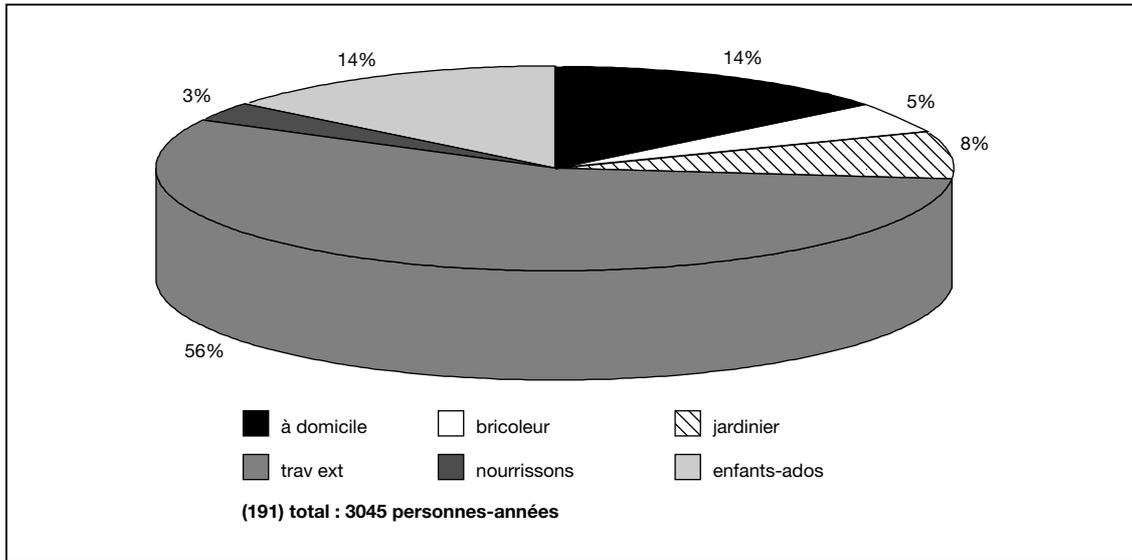
La répartition des profils actuels est présentée dans la figure 1.

FIGURE 1. Répartition des profils actuels chez les répondants (n=191).



La répartition des profils en termes d'années cumulées pour les 191 personnes ayant répondu au questionnaire profils est présentée dans la figure 2.

FIGURE 2. Proportion de temps collectif passé par profil chez les 191 répondants, Gif-sur-Yvette, 2001.



Pour les 191 répondants, la moitié des personnes travaille à l'extérieur du quartier. Un sixième de la population est, ou a été, « personne à domicile » (profil 1). Un vingtième de la population s'est reconnu dans le profil bricoleur et un vingtième dans le profil jardinier. La prise en compte des années de cumul change peu la répartition des profils.

5.2. Impact sanitaire lié à une année d'exposition sur le territoire investigué

Afin d'orienter les mesures de gestion prioritaires en identifiant les sources d'exposition qui contribuent le plus au risque, la première étape a porté sur l'évaluation de l'impact sanitaire lié à un an d'exposition à la contamination radioactive de la zone investiguée en l'an 2000.

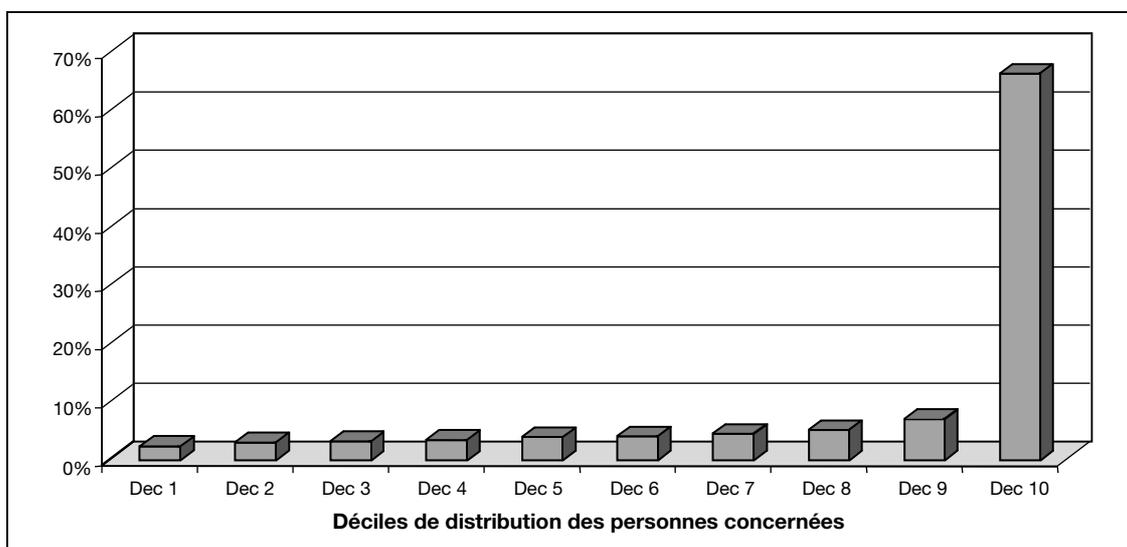
5.2.1. Dose efficace annuelle due au radon et estimation des risques de décès par cancer du poumon

TABLEAU 2. Dose efficace annuelle due au radon et estimation des risques de décès par cancer du poumon attendus vie entière, Gif-sur-Yvette, 2001.

	Nombre de profils	Age			Dose efficace annuelle (en mSv)				
		Min	Moyenne	Max	Min	Médiane	Moyenne	Max	Collective
Habitations avec profil	191	1	41	87	0,3	0,9	2,4	107	461
					Risque vie entière de décès par cancer du poumon (CIPR 65)				
					Min	Médiane	Moyenne	Max	Nombre de décès attendus*
					2.10 ⁻⁵	7.10 ⁻⁵	1,8.10 ⁻⁴	8.10 ⁻³	0,035

* : nombre de décès attendus par cancer du poumon

FIGURE 3. Répartition du nombre de décès par cancer du poumon attendus (n = 0,035) liés aux expositions annuelles au radon, dans la population ayant participé à l'étude (n = 191), Gif-sur-Yvette, 2001.



L'application du coefficient de la CIPR 65 à l'estimation de la dose collective apportée par l'exposition annuelle au radon sur les terrains des 191 répondants (461 mSv) donne une estimation de 0,035 décès de cancers du poumon qui pourraient survenir (niveaux de radon pris avant l'intervention) (Tableau 2). Comme le montre la figure 3, la dose due au radon est très inégalement répartie au sein de la population. En effet, 19 personnes totalisent 66 % de la dose et de l'impact collectif. Cette hétérogénéité de l'exposition se rencontre aussi dans le dernier décile puisque les bornes de celui-ci vont de 2 mSv à 107 mSv pour une dose collective correspondante de 305 mSv.

5.2.2. Dose efficace annuelle due aux autres sources que le radon et estimation des risques de décès par cancers et hémopathies malignes

TABLEAU 3. Dose efficace annuelle due aux autres sources que le radon et estimation des risques de décès par cancers et hémopathies malignes, Gif-sur-Yvette, 2001.

Estimations	Nombre de profils	Age			Dose efficace annuelle (en mSv)				
		Min	Moyenne	Max	Min	Médiane	Moyenne	Max	Collective
avec « BDF »	191	1	41	87	0,3	0,45	0,51	4,6	97
sans « BDF »					0,0	0,04	0,11	4,1	21
					Risque vie entière de décès par cancer et hémopathies malignes (CIPR 60)				Nombre de décès attendus*
					Min	Médiane	Moyenne	Max	
avec « BDF »					1,5.10 ⁻⁵	2,3.10 ⁻⁵	2,5.10 ⁻⁴	2,3.10 ⁻⁴	0,005
sans « BDF »					0,0	1,95.10 ⁻⁶	5,46.10 ⁻⁶	2,1.10 ⁻⁴	0,001

* : nombre de décès attendus par cancers et hémopathies malignes

La dose efficace annuelle collective due aux autres sources d'irradiation est beaucoup plus faible (97 mSv). Le nombre de décès par cancer calculé par application du coefficient proposé par la CIPR 60, est de 0,005 dans cette population de 191 habitants (Tableau 3). Pour les autres

sources d'irradiation que le radon, la proportion de chaque décile à la dose collective totale est assez constante (environ 8 %). Seul le dernier décile totalise 21 % de la dose et de l'impact collectifs. A l'intérieur de ce décile, il existe une hétérogénéité importante des doses annuelles estimées. Ainsi, la borne inférieure du dernier décile est de 0,6 mSv annuel et sa borne supérieure est de 4,6 mSv (Figure 4).

Si on soustrait la contribution à la dose du bruit de fond, le nombre de décès par cancer qui pourrait être attribué à une exposition annuelle par une contamination « excédentaire en radioéléments » pour ces 191 personnes est de 0,001 (Tableau 3). En termes d'excès de dose et de risque associé, le dernier décile représente 58,7 % de la dose et du risque. L'excès de dose (excès de risque) correspondant à la borne inférieure de ce décile est de 0,2 mSv (10^{-5}) (figure 5). Le risque correspondant à la dose efficace annuelle maximale enregistrée (4,1 mSv) compte tenu de l'état de contamination de l'habitation correspondante et du profil choisi par les occupants est de $2,1 \cdot 10^{-4}$. L'excès de risque moyen estimé sur l'ensemble de la population est de $5,5 \cdot 10^{-6}$.

FIGURE 4. Répartition du nombre de décès par cancer attendus (n = 0,005) lié aux expositions annuelles aux autres sources de radioactivité que le radon, dans la population ayant participé à l'étude (n = 191), Gif-sur-Yvette, 2001.

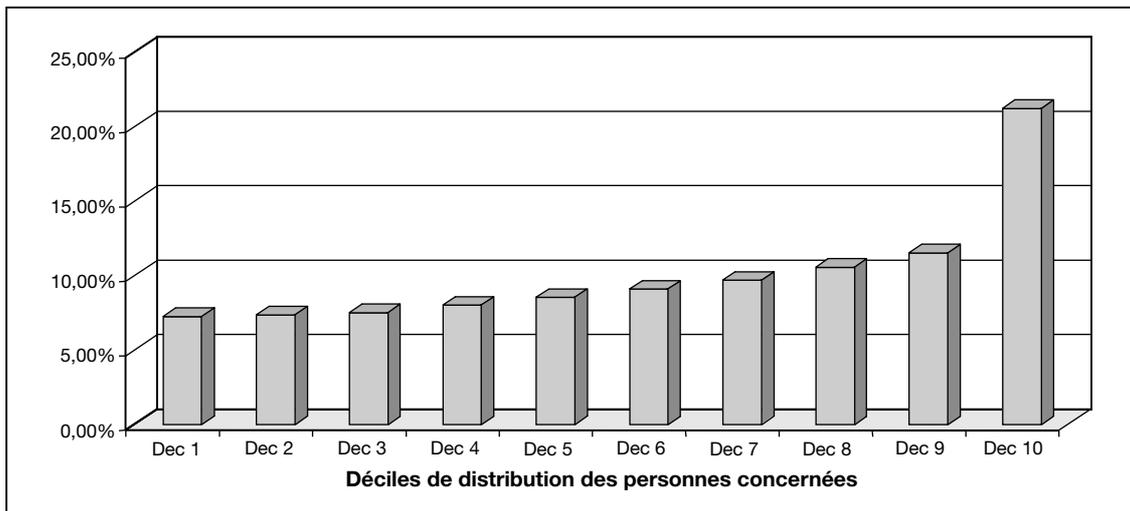
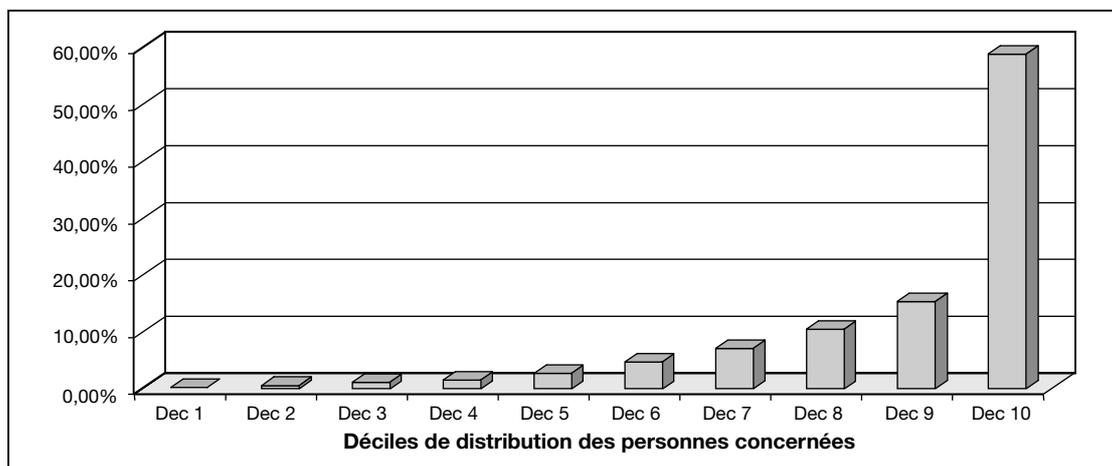


FIGURE 5. Répartition du nombre de décès par cancer attendus (n = 0,001) liés aux expositions annuelles aux autres sources d'exposition que le radon (sans le bruit de fond), dans la population ayant participé à l'étude (n = 191), Gif-sur-Yvette, 2001.



5.2.3. Comparaison des résultats

La distribution des estimations de doses annuelles et des risques associés n'est pas homogène sur le territoire investigué. Un tout petit nombre d'habitations concentre l'essentiel de l'exposition au radon et une bonne partie de l'exposition aux autres sources de radiation. Sur la base des profils pointés par les occupants de ces habitations, on estime en effet un excès de dose efficace annuelle apportée par le radon de plus de 9 mSv, et un excès de dose efficace annuelle apportée par les autres voies d'exposition de plus de 1 mSv.

Pour l'ensemble des 191 profils du site, le nombre de décès par cancer du poumon relié aux expositions au radon est d'un ordre de grandeur (c'est à dire au moins dix fois) supérieur au nombre de décès par cancer lié aux autres sources de radiation. Le risque « individuel » maximal pour un an d'exposition correspondant au croisement d'un profil et d'un niveau de contamination est de $8 \cdot 10^{-3}$ pour le radon et $2 \cdot 10^{-4}$ pour ce qui est des autres sources de radon.

L'essentiel du risque est donc apporté par l'exposition excédentaire au radon présente dans un petit nombre d'habitations. Ce risque peut être en grande partie réduit par la mise en œuvre d'actions de réduction des niveaux d'activité volumique permettant de plafonner celle-ci à une moyenne annuelle de $400 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$.

5.3. Impact sanitaire lié à l'exposition cumulée

Dans le chapitre précédent, nous avons estimé l'impact sanitaire correspondant à une exposition annuelle basée sur les mesures effectuées dans le cadre de la campagne de mesure OPRI/IPSN 2000-01. Or, les habitants actuels occupent les terrains depuis plusieurs années. Il est donc nécessaire d'estimer l'impact associé au cumul des expositions sur la durée totale des occupations des habitants. Le principe est de multiplier l'estimation de la dose annuelle correspondant à un profil par le nombre d'années associées à ce profil, puis de multiplier cette dose « cumulée » par le coefficient de risque correspondant.

5.3.1. Doses cumulées dues au radon et estimation des risques de décès par cancer du poumon

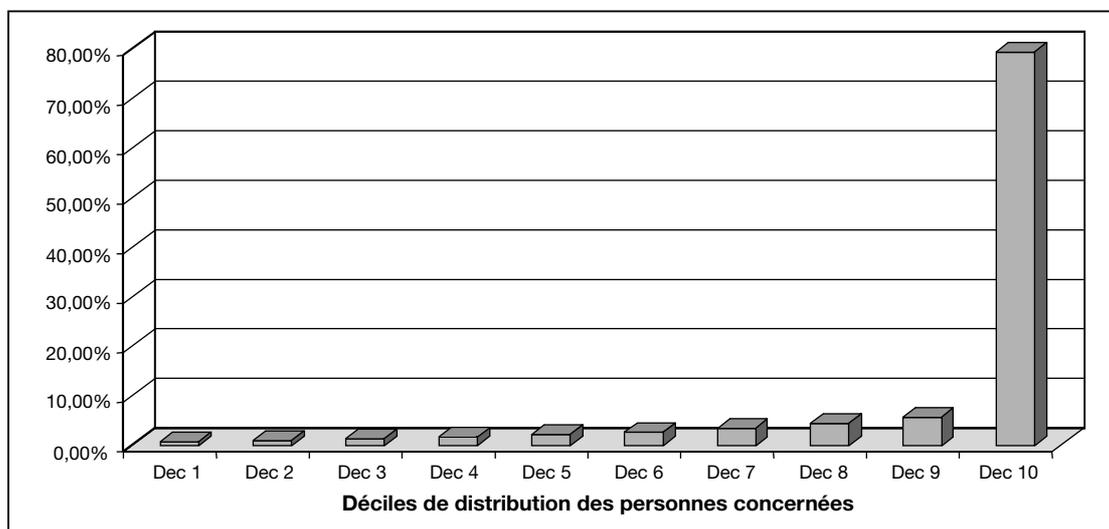
TABLEAU 4. Doses efficaces cumulées dues au radon et estimation des risques de décès par cancer du poumon, Gif-sur-Yvette, 2001.

Nombre de profils	Durée de fréquentation en années			Age			Dose efficace cumulée (en mSv)				
	Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne	Max	Min	Médiane	Moyenne	Max	Collective
191	1	16	54	1	41	87	0,9	11,3	53,8	3157	10 285
							Risque vie entière de décès par cancer du poumon (CIPR 65)				Nombre de décès* attendus
							Min	Médiane	Moyenne	Max	
							$6,7 \cdot 10^{-5}$	$8,5 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	0,24	0,77

* : nombre de décès attendus par cancer du poumon

A partir de l'estimation de la dose collective cumulée pour ces 191 personnes (10285 mSv), et de l'application du coefficient de risque correspondant, on estime que 0,77 décès par cancers du poumon pourraient survenir au sein de cette population (Tableau 4). La dose due au radon est toujours très inégalement répartie au sein de la population. Le dernier décile (19 personnes) cumule 79 % de la dose et du risque collectif (Figure 6). L'hétérogénéité à l'intérieur de ce décile est elle aussi très importante puisque les doses vont de 37 mSv à 3157 mSv. Le risque radon tend à se concentrer sur un très petit nombre de personnes qui occupent depuis de nombreuses années des habitations présentant des niveaux élevés de radon. Le nombre de décès par cancer du poumon lié à l'exposition cumulée au radon sans tenir compte du bruit de fond est de 0,61.

FIGURE 6. Répartition du nombre de décès par cancer attendus lié à l'exposition cumulée au radon (n = 0,77) dans la population ayant participé à l'étude (n = 191), Gif-sur-Yvette, 2001.



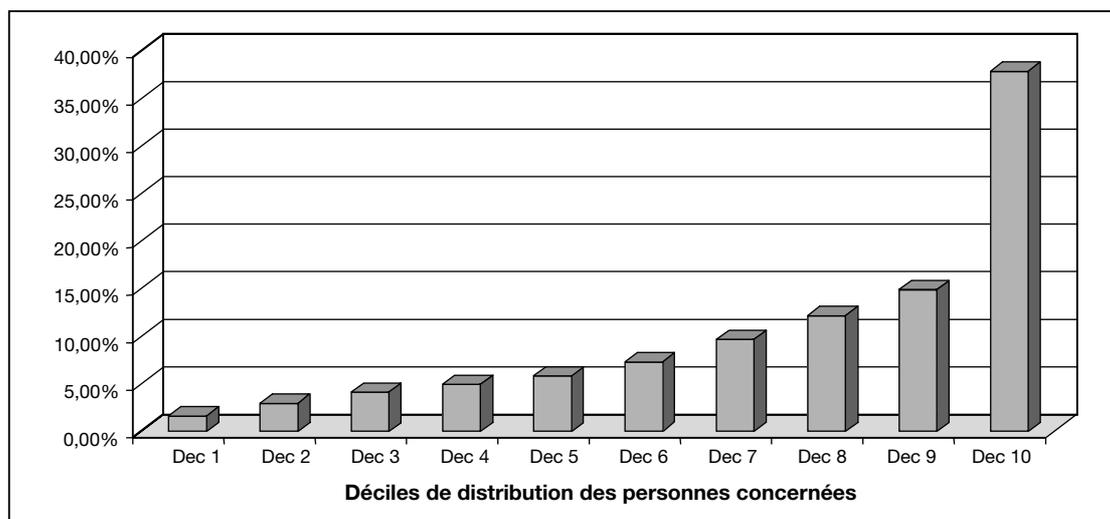
5.3.2. Doses cumulées dues aux autres sources de radioactivité que le radon et risques de décès par cancers et hémopathies malignes

TABLEAU 5. Doses cumulées dues aux autres sources de radioactivité que le radon et risques de décès par cancers et hémopathies malignes, Gif-sur-Yvette, 2001.

Nombre de profils	Durée de fréquentation en années			Age			Dose efficace cumulée (en mSv)				
	Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne	Max	Min	Médiane	Moyenne	Max	Collective
191	1	16	54	1	41	87	0,6	5,3	8,5	113,3	1 629
							Risque vie entière de décès par cancer et hémopathies malignes (CIPR 60)				Nombre de décès* attendus
							Min	Médiane	Moyenne	Max	
							$2,9 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$5,7 \cdot 10^{-3}$	0,08

* : nombre de décès par cancers et hémopathies malignes

FIGURE 7. Répartition du nombre de décès par cancers et hémopathies malignes attendus (n = 0,08), liés aux expositions cumulées aux autres sources que le radon dans la population ayant participé à l'étude (n = 191), Gif-sur-Yvette, 2001.



Le nombre attendu de décès par cancers et hémopathies malignes du fait des expositions cumulées aux autres sources de radiation est de 0,08 (Tableau 5). Le nombre attendu de décès en raison d'une exposition à des niveaux de radioactivité supérieurs au « bruit de fond » (soit 425 mSv) est de 0,02.

5.3.3. Comparaison des résultats

TABLEAU 6. Comparaisons des nombres attendus de décès par cancer du poumon liés à l'exposition cumulée au radon, de décès par cancers et hémopathies malignes liés à l'exposition cumulée aux autres sources de radioactivité, des nombres de décès attendus indépendamment de l'exposition, Gif-sur-Yvette, 2001.

	Nombre de décès liés à l'exposition en excès par rapport au bruit de fond	Nombre de décès liés à l'exposition totale	Nombre de décès indépendamment de l'exposition
Cancer du Poumon dû au radon	0,61	0,77	10
Tous cancers dus aux autres expositions que le radon	0,02	0,08	55

Le tableau 6 permet de comparer les nombres attendus de décès par cancers liés au radon et aux autres sources d'irradiation et les nombres attendus de décès par cancers dans cette même population indépendamment de la situation de contamination radioactive spécifique à Gif-sur-Yvette.

Le risque principal est le risque de cancer du poumon associé au radon. Il dépasse d'un ordre de grandeur le risque de décéder d'un cancer ou d'une hémopathie maligne lié à l'exposition cumulée aux autres sources de radiation.

Cet impact sanitaire collectif est à comparer aux risques de base de développer un cancer en population générale en Ile-de-France. Ce nombre attendu de décès peut être estimé sur la base des taux bruts de mortalité calculés à partir des statistiques de causes de décès de l'INSERM SC8 [25]. En 1992, on estime ainsi en Ile-de-France que 29 % des décès avaient pour cause

principale une tumeur maligne et 5 % un cancer du poumon. Si l'on fait l'hypothèse que cette proportion est stable dans le temps et s'applique à la population cible, on s'attend ainsi à observer, indépendamment de la situation de contamination radioactive spécifique à Gif-sur-Yvette, 55 décès par cancer dont 10 décès par cancer du poumon pour les 191 personnes ayant répondu aux profils. D'après le rapport sur le cancer en France publié par le réseau Francim en 1995 [26], 47 % des hommes et 37 % des femmes développeraient un cancer au cours de leur vie.

6. Discussion



Les estimations de doses qui sont proposées sont le résultat d'étapes successives basées d'une part, sur les mesures actuellement disponibles sur le territoire investigué et d'autre part sur un certain nombre d'hypothèses représentatives de conditions « moyennes ». Du fait même des procédures de calcul et de l'origine des coefficients de risque qui sont utilisés, les calculs de dose et de risque pour un profil type et pour une habitation donnée ne permettent pas d'estimer le risque réel pour une personne donnée. Ces valeurs n'ont de sens que pour un **individu théorique moyen** ou pour **l'ensemble de la population** et ne s'appliquent pas à une personne en particulier. Elles sont destinées à donner un ordre de grandeur de la dose rencontrée et de l'impact sanitaire attendu. Les hypothèses ont été faites pour limiter au maximum les risques de sous-estimation des doses annuelles actuelles sans par ailleurs les surestimer notablement. Cependant, il existe une incertitude globale qui est difficile à chiffrer précisément. Ceci ne devrait toutefois pas changer les conclusions que l'on peut tirer de ces évaluations de doses [11].

Pour attribuer une dose, proche de la dose réellement reçue par un occupant donné, il a été proposé à chacun d'eux de se « reconnaître » parmi un certain nombre de profils définis a priori. L'avantage de cette méthode par rapport à un questionnaire était que la réponse était facile et rapide, ce qui augmentait le taux de réponse. Cette méthode permettait aussi de choisir les coefficients et hypothèses qui correspondaient le mieux aux caractéristiques socio-démographiques de la population.

Signalons enfin qu'en l'absence de mesures disponibles par le passé, nous nous sommes basés sur les doses actuelles pour estimer les doses passées or, des travaux engagés par le passé ont pu modifier les conditions d'exposition et donc les doses reçues.

Pour estimer les risques correspondant aux différentes sources d'exposition qui peuvent affecter de manière différenciée des organes variés, un certain nombre de modèles existent qui prennent en compte de façon plus fine l'évolution des relations exposition-risque en fonction de caractéristiques socio-démographiques, et de l'évolution du temps passé depuis l'exposition [6, 9, 27]. Cependant, ces modèles nécessitent le recueil d'un certain nombre d'informations assez fines et l'établissement d'hypothèses supplémentaires notamment pour établir des doses aux organes. A Gif-sur-Yvette, les dosimétristes se sont limités à la production de la dose efficace qui permettait de comparer les contributions respectives à la dose des différentes sources d'exposition. L'évaluation de l'impact sanitaire s'est donc basée sur cet indicateur de doses.

Les coefficients de risques qui ont été utilisés pour évaluer l'impact correspondant aux doses estimées sont les coefficients proposés par la CIPR. L'avantage de ces coefficients est de permettre d'évaluer, par des calculs simples, l'ordre de grandeur de l'impact sanitaire attendu sur le territoire investigué à Gif-sur-Yvette et de comparer l'impact des différentes sources d'exposition.

Le coefficient proposé par la CIPR 60 permet d'estimer un excès de risque de décès par cancer ou hémopathie maligne lié à l'irradiation externe, l'ingestion et l'inhalation de poussières de radium. **Il s'agit d'un modèle linéaire sans seuil.** Ce modèle se base essentiellement sur la

synthèse des estimations des relations dose-risque entre les tumeurs solides, les hémopathies malignes et l'exposition aux rayonnements ionisants à Hiroshima-Nagasaki [7].

Le suivi des survivants d'Hiroshima-Nagasaki ne met pas en évidence une diminution du risque de développer des tumeurs solides avec le temps écoulé depuis l'exposition [2;8]. Par ailleurs, les relations observées sont compatibles avec celles d'une relation linéaire. Par contre, on observe sur cette cohorte une relation linéaire-quadratique entre les hémopathies malignes et l'exposition [2, 7, 28]. Le modèle linéaire proposé par la CIPR 60 pour estimer la relation entre risque vie entière de décès par hémopathie et doses est une approximation de cette relation linéaire-quadratique. Il ne sous-estime pas la relation [7].

D'autres études épidémiologiques basées sur les personnes ayant bénéficié de radiothérapie [2, 7, 29] mettent en évidence une association entre l'exposition aux rayonnements ionisants et le risque de cancer. Les résultats observés n'invalident pas les estimations issues de la cohorte d'Hiroshima-Nagasaki, ni les coefficients proposés par la CIPR 60.

Cependant des incertitudes quant à l'applicabilité de ce modèle méritent d'être soulignées. La population des survivants d'Hiroshima-Nagasaki a été essentiellement soumise à une exposition externe aiguë. Si la population de Gif-sur-Yvette subit aussi une exposition externe aux rayonnements gamma, celle-ci est délivrée à faible débit et sur plusieurs années. Or, les résultats d'études expérimentales portant sur les effets moléculaires des rayonnements ionisants et la cancérogénèse, plaident en faveur d'un impact moins important d'un faible débit de dose de rayonnements gamma comparé à une dose équivalente délivrée instantanément. Le coefficient d'estimation de risque proposé par la CIPR 60 tient compte de cette diminution d'impact tout en restant conservateur. Afin de préciser la relation existant entre expositions cumulées à de faibles débits de dose et risques de cancers ou d'hémopathies malignes, un suivi épidémiologique multicentrique des travailleurs du nucléaire est actuellement en cours [30]. Les résultats devraient à terme permettre de valider les coefficients proposés par la CIPR. Les premiers résultats provisoires mettent en évidence une relation significative entre le risque de leucémie et l'exposition cumulée aux rayonnements ionisants, qui ne contredit pas le risque estimé à partir de la situation rencontrée à Hiroshima-Nagasaki. Par contre, ils ne mettent pas en évidence de relation entre le risque de tumeur solide et la dose cumulée [30].

D'autre part, le modèle de risque utilisé est sans seuil. C'est à dire qu'il suppose que toute dose délivrée à l'organisme entraîne un risque de cancer. Jusqu'à présent, l'essentiel des expérimentations animales et des études épidémiologiques a porté sur des situations d'irradiation externe délivrées sur de courts laps de temps. Ces études ne mettent en évidence, de façon claire, des augmentations significatives de risque de survenue de cancers que pour des niveaux de dose de cent à plusieurs centaines de millisieverts [2, 7, 29]. Ceci relève peut être simplement des limites liées aux protocoles de ces études et ne permet pas de rejeter formellement la possibilité d'un risque aux plus faibles doses. Les experts de la CIPR ont d'ailleurs jugé qu'il n'y avait aucun élément suffisant pour rejeter la plausibilité d'une relation sans seuil, même si cela ne peut actuellement être mis en évidence sur la base des expérimentations animales ou épidémiologiques [7]. Cette question n'est cependant pas tranchée d'un point de vue scientifique. En l'absence d'informations plus précises, ces experts proposent d'appliquer ce coefficient y compris aux plus faibles doses. Ils jugent ainsi qu'il y a peu de chances que cette relation sous-estime l'impact réel de ces très faibles doses.

Les estimations de risque effectuées reposent donc sur l'hypothèse que le modèle de risque retenu est adapté à l'estimation du risque radio-induit associé à des doses faibles et des débits de dose très faibles, et ceci pour toutes les voies d'expositions et tous les radioéléments. Il existe actuellement peu d'informations épidémiologiques pouvant servir de base pour proposer un modèle d'estimation de la relation entre dose apportée par l'incorporation de radium en faible quantité et risque de développer un cancer des os. Les études épidémiologiques basées sur les peintres au radium conduisent à des estimations de relation dose-risques non linéaires,

avec un risque de tumeur osseuse nul ou très faible en dessous de niveaux de dose bien supérieurs à ceux rencontrés à Gif-sur-Yvette pour cette voie. Enfin, il existe actuellement trop peu de données pour estimer une relation dose-risque entre exposition au ^{210}Po , ^{210}Pb et risque de cancer. Comme le radium, la contribution à la dose collective de l'incorporation de ces éléments est très faible. Il en est logiquement de même pour le risque correspondant.

Le coefficient proposé par la CIPR 65 permet d'estimer un excès de risque vie entière de décéder d'un cancer du poumon lié à une exposition continue au radon et à ses descendants par inhalation. Le modèle proposé est un modèle linéaire sans seuil. Les résultats des expérimentations animales et surtout les résultats des études épidémiologiques sur les travailleurs des mines d'uranium, d'étain et de fer, aboutissent à un résultat sans ambiguïté : le danger posé par le radon est celui du cancer du poumon par inhalation. Très récemment, un comité d'experts du Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR) s'est réuni pour évaluer le risque d'atteinte pour la santé lié à l'exposition au radon [9]. Ils constatent que l'on met désormais en évidence une relation exposition-risque de cancer du poumon chez les mineurs d'uranium pour des expositions cumulées comparables à celles de personnes passant quelques dizaines d'années dans une maison présentant quelques centaines de Bq.m³ de radon. De plus, les résultats des études épidémiologiques en population générale tendent à confirmer l'existence d'un risque de cancer pulmonaire lié à l'exposition domestique au radon pour des niveaux d'activité volumique de quelques centaines de Bq par m³. Enfin, les connaissances en biologie moléculaire et cellulaire sont plutôt en faveur de l'existence d'une relation sans seuil entre le risque de développer un cancer du poumon et l'exposition à de faibles niveaux de radon [9]. L'intérêt de ces résultats épidémiologiques est qu'ils reposent sur des conditions d'exposition proches de celles rencontrées à Gif-sur-Yvette.

Sur la base des résultats du suivi épidémiologique des mineurs d'uranium, la CIPR 65 [10] propose un coefficient de risque de décès par cancer pulmonaire lié à l'exposition cumulée au radon et à ses descendants particuliers. Ce coefficient estime un excès de risque de décéder d'un cancer du poumon en relation avec une exposition au radon. Ce coefficient de risque a été estimé sur la base des résultats observés pour différentes populations composées de fumeurs et non-fumeurs de sexe et d'âge différents. La relation est conçue comme applicable à tout type de population et à tout type d'exposition, sans distinguer hommes et femmes, fumeurs ou non-fumeurs. Pour estimer l'exposition cumulée au radon et à ses descendants, la CIPR propose un certain nombre d'indicateurs avec des correspondances entre eux, moyennant un certain nombre d'hypothèses sur les temps de présence, les paramètres physiologiques, les relations entre le radon et ses descendants (facteurs d'équilibre). Aussi, il est possible de faire correspondre un risque de décès par cancer du poumon avec des équivalents de dose efficace en mSv. Il existe cependant un certain nombre d'incertitudes concernant l'utilisation de ces coefficients, qu'il est important de souligner. Elles sont essentiellement liées à l'extrapolation à une population générale de coefficients établis sur une population de mineurs essentiellement composée d'adultes de sexe masculin présentant sans doute une proportion de fumeurs plus importante qu'en population générale, et exposés à d'autres facteurs de risque (poussières...). Les résultats des études sur les mineurs ne semblent pas mettre en évidence un effet important de l'âge au début de l'exposition (entrée dans la mine). D'autre part, le coefficient de risque estimé sur la petite sous-population des mineurs entrés au début de l'adolescence dans la mine n'invalide pas le coefficient général. Il n'existe actuellement pas d'argument suffisant pour penser qu'à niveaux égaux d'exposition aux autres facteurs de risque (tabac, expositions professionnelles), le risque est différent pour le sexe féminin. Par contre, les résultats des études épidémiologiques sur les mineurs comme sur la population exposée au radon domestique montrent l'existence d'une interaction entre tabac et exposition au radon. Si la proportion des fumeurs à Gif-sur-Yvette est très différente de la proportion de fumeurs sur les populations à partir desquelles le coefficient de risque de la CIPR 65 est estimé, l'impact pourrait être différent de celui qui a été calculé.

Jusqu'à présent, ce sont les risques de cancer qui ont clairement été mis en évidence sur la base des études épidémiologiques en population humaine portant sur les effets des expositions aux faibles doses de rayonnements ionisants. Ceci n'exclut cependant pas la possibilité de l'existence d'autres types d'effets. L'absence de mise en évidence d'effets non liés à la carcinogénèse par les études épidémiologiques peut résulter des difficultés méthodologiques de réaliser des études épidémiologiques dans ces domaines. Ceci résulte aussi en partie, de l'intérêt insuffisamment porté par les scientifiques à la réalisation d'études épidémiologiques portant sur d'autres domaines que celui de la carcinogénèse. A la décharge des scientifiques, cette attitude est aussi liée au manque d'hypothèses scientifiques convaincantes sur les mécanismes physiopathologiques qui pourraient relier des effets non carcinogéniques (atteintes neurologiques, troubles de la reproduction, atteintes de l'appareil cardio-vasculaire) à des expositions aux faibles doses de rayonnements ionisants. Cette situation peut changer dans le futur, mais en l'état actuel des connaissances scientifiques, il n'est donc ni possible ni raisonnable d'estimer l'impact sanitaire de Gif-sur-Yvette sur la base d'autres types d'effets que les cancers.

En conclusion, les estimations des risques telles que réalisées dans ce travail ne permettent pas de donner une estimation complète et précise de l'impact sanitaire lié aux expositions de la population aux contaminations des terrains investigués. Cependant, elles donnent un ordre de grandeur de cet impact, utile pour juger de l'importance de celui-ci et permettant d'en estimer la distribution dans la population pour orienter les actions de décontamination prioritaires. Enfin, ces résultats constituent des éléments indispensables pour réfléchir à la pertinence d'une éventuelle étude épidémiologique qui pourrait être proposée dans la situation rencontrée à Gif-sur-Yvette.

7. Faisabilité d'une étude épidémiologique



Dans l'état actuel des outils techniques et des connaissances scientifiques disponibles, la méthode épidémiologique la plus pertinente pour mettre en évidence un risque associé aux expositions à la radioactivité dans la population des résidents est celle reposant sur une étude de cohorte.

La pertinence d'une telle étude s'appuie notamment sur la capacité de l'outil épidémiologique à détecter un événement de santé et à le relier statistiquement, avec un degré de confiance suffisant, à une exposition à un facteur de risque mis en cause.

Or les cancers sont d'origine multifactorielle et il n'existe pas actuellement de marqueur tumoral signant l'exposition aux rayonnements ionisants. Dans ces conditions, la capacité d'une étude épidémiologique, à détecter un risque dépend d'abord du nombre attendu de cas de décès par cancers dans la population. Ce nombre attendu de décès, peut être estimé sur la base des taux bruts de mortalités calculés à partir des statistiques de causes de décès proposés par l'INSERM SC8 [25].

Nous avons vu précédemment (cf. 4.3.3) qu'on s'attend à observer, indépendamment de la situation de contamination radioactive spécifique à Gif-sur-Yvette, 55 décès par cancer dont 10 décès par cancer du poumon (pour les 191 personnes ayant répondu aux profils). Pour qu'une étude épidémiologique mette en évidence un excès statistiquement significatif de décès par cancer du poumon dans cette population, il faudrait observer au moins 8 cancers du poumon en plus des 10 attendus. Il faudrait de même observer au moins 16 cancers (tous sites tumoraux) en plus des 55 attendus [31].

Nous avons pu estimer que, dans la population d'étude, 0,8 décès par cancers du poumon serait attribuable à l'exposition cumulée au radon jusqu'à l'année 2001 ; 0,08 décès par cancer ou hémopathie maligne serait attribuable aux autres sources de radioactivité. Parmi ces décès, 0,6 décès par cancers du poumon serait dû à l'exposition au radon « en excès », et 0,02 cancers ou hémopathie maligne serait attendu vie entière en raison de l'excès de dose apporté par les autres sources d'exposition.

De tels résultats ne permettent pas de penser qu'un risque de décès par cancer ou hémopathie maligne attribuable à l'exposition aux rayonnements ionisants apportés par la contamination des terrains investigués à Gif-sur-Yvette puisse être détectable par une étude épidémiologique. Cette conclusion est valable pour la population actuelle comme pour l'ensemble de la population ayant pu résider dans ces habitations. Par exemple, l'excès attendu de cancers du poumon (calculé pour des expositions cumulées jusqu'à l'année 2000) ne pourrait être détectable qu'au prix du suivi, dans des conditions idéales, de 22 480 personnes durant leur vie entière.

D'autres éléments font que la réalisation d'une étude épidémiologique ne peut être une réponse pertinente à l'estimation de l'impact potentiel de la contamination du site sur la santé des résidents. Citons, en premier lieu, le fait que l'essentiel du risque dû au radon, principale source d'impact sur la santé à Gif-sur-Yvette, soit concentré sur un tout petit nombre d'habitations

présentant des niveaux élevés de radon. Cette concentration de l'exposition à la radioactivité sur un petit nombre de personnes est aussi un élément en défaveur de la réalisation d'une étude épidémiologique qui porterait sur d'éventuels autres effets sur la santé.

De vastes études épidémiologiques sont actuellement menées avec pour objectif d'améliorer les connaissances sur les liaisons entre d'une part, les risques de cancer du poumon et les expositions cumulées au radon dans l'habitat et d'autre part les risques de cancers et hémopathies malignes et les expositions cumulées à l'irradiation externe des travailleurs du nucléaire. Ces études s'appuient sur l'information recueillie auprès de milliers de personnes, soigneusement sélectionnées afin de permettre la mise en évidence des liaisons en tenant compte des interactions avec d'autres facteurs de risques. D'autres études s'attachent à mieux comprendre les mécanismes entre l'exposition aux rayonnements ionisants et la cancérogénèse en tenant compte de différentes voies d'exposition et de la dose reçue. Plus que la réalisation d'une étude épidémiologique à Gif-sur-Yvette, ce sont les résultats et la synthèse de ces travaux qui permettront d'approcher plus finement l'estimation de l'impact sanitaire potentiel de la contamination de Gif-sur-Yvette sur la santé des résidents. De même, la réponse sur l'existence éventuelle d'effets non liés à la carcinogénèse viendra avant tout de la réalisation d'études expérimentales animales et d'études épidémiologiques portant sur de grandes cohortes de personnes exposées aux rayonnements ionisants. La réponse à apporter aux habitants les plus exposés est donc d'une autre nature que la réalisation d'une étude épidémiologique.

8. Faut-il mettre en place un suivi médical de la population résidant actuellement à Gif-sur-Yvette ?

La justification d'un suivi médical collectif de la population est liée tout d'abord à l'existence ou non d'une exposition générale à des niveaux de radioactivité entraînant un excès de risque significatif pour la santé. Pour la majeure partie des 191 personnes, ceci n'est pas le cas. Même si certains terrains présentent des tâches de radioactivité liées aux activités de la SNR, les doses reçues par les occupants sont tout à fait comparables à des niveaux que l'on peut rencontrer en Ile-de-France et dans d'autres régions. Ceci est vrai pour l'ensemble des sources de radioactivité y compris pour le radon. Du point de vue de l'exposition et du risque associé, la mise en place d'un suivi médical spécifique pour l'ensemble de cette population ne se justifie pas.

Pour deux habitations, de par les niveaux de radioactivités rencontrés et leurs nombreuses années d'occupation, l'exposition des résidents au radon est très nettement supérieure à la moyenne. Pour ces habitations, le risque associé est essentiellement celui d'une augmentation du risque de cancer du poumon. Cependant, les estimations pour les occupants des doses liées aux autres sources d'irradiation sont nettement supérieures au bruit de fond. Leur cumul sur plusieurs dizaines d'années rend cet excès de dose non négligeable, même si l'application du coefficient de risque proposé par la CIPR laisse présager un excès de risque faible. La question d'un suivi médical peut donc être posée pour ces personnes. Celui-ci est à réaliser par le médecin traitant et ne diffère pas des modalités de prévention et de dépistage des pathologies malignes qui s'appliquent à la population générale. En tout état de cause, il s'agit de veiller pour ces deux habitations à la mise en place des moyens permettant de diminuer l'exposition à la radioactivité présente.



9. Conclusion

Cette étude constituait la seconde étape du processus d'évaluation de l'impact sanitaire dû à la contamination radioactive existant dans le quartier de la Petite Coudraie à Gif-sur-Yvette. S'appuyant sur les résultats de l'étude dosimétrique menée précédemment, elle a permis de faire une évaluation quantitative du risque de cancer encouru par la population résidant actuellement sur ce site. Le nombre de décès par cancers du poumon résultant de l'exposition cumulée au radon des 191 personnes participant à l'étude a été estimé à 0,77 et celui résultant de l'exposition en excès par rapport au bruit de fond existant en Ile-de-France à 0,61. Le nombre de décès par cancer résultant de l'exposition cumulée aux autres sources de radioactivité a été estimé dans cette population à 0,08 décès et celui résultant de l'exposition en excès par rapport au bruit de fond existant en Ile-de-France à 0,02. Le nombre de décès attendus dans cette même population indépendamment de la contamination industrielle a été estimé à 10 pour le cancer du poumon et à 55 pour tous les cancers. Les excès de risque de décès estimés sont donc dus à 98 % à l'exposition au radon.

Pour une exposition annuelle au radon, le nombre de décès par cancers du poumon attendu vie entière au sein de cette population est de 0,035 ; seuls 10 % des habitants se partageant à l'heure actuelle les deux tiers de ce risque. Pour une exposition annuelle aux autres sources de radioactivité le nombre de cancers attendus dans cette population est de 0,005.

Cette concentration de l'exposition et du risque dus au radon sur un petit nombre d'habitations, ainsi que les autres facteurs d'incertitude qui entourent habituellement la réalisation d'une évaluation de risque conduit à en considérer les résultats avec précaution.

Cependant, ces résultats permettent clairement d'orienter les mesures de gestion sur la réduction prioritaire de l'exposition au radon. Il existe des valeurs guide d'activités volumiques de radon dans l'air des habitations exprimées en $Bq.m^{-3}$ au-dessus desquelles des actions de réduction des niveaux rencontrés sont recommandées [21, 24]. Après travaux de réduction, un niveau moyen d'exposition domestique annuelle inférieur à $400 Bq.m^{-3}$ est considéré comme souhaitable. Si de tels travaux étaient effectués dans toutes les habitations pour lesquelles, compte tenu de nos hypothèses des occupants ont une exposition annuelle au radon supérieure en moyenne à $400 Bq/m^3$, on peut calculer qu'un excès de risque de décès par cancer du poumon d'environ 0,023 par an pourrait être évité soit près de 66 % de l'excès de risque calculé pour l'ensemble de la population. Les deux habitations qui présentent des niveaux de radon très nettement supérieurs à la moyenne, présentent aussi, bien que dans une proportion bien moindre des niveaux de radioactivité dûs aux autres sources de radiation significativement supérieurs à la moyenne. Il s'agit donc de veiller avec les occupants, à d'une part réduire en priorité les niveaux de radon mais aussi à mettre en place des moyens de faire diminuer leur exposition résiduelle à la radioactivité.

Le faible niveau d'excès de risque collectif estimé, et sa concentration sur un petit nombre d'habitations, ne permettent pas d'envisager une étude épidémiologique qui puisse mettre en évidence un excès de cancer du poumon dans la population investiguée. La prise en compte de l'ensemble de la population ayant fréquenté les terrains ne changerait pas cette situation. Enfin, il n'apparaît pas pertinent de préconiser un suivi sanitaire de l'ensemble de la population.



Pour les personnes les plus exposées, il n'y a actuellement pas de recommandations particulières à donner si ce n'est d'informer le médecin traitant de la situation afin qu'il porte une attention particulière à l'application des modalités de prévention et du dépistage de pathologies malignes existantes.

Bibliographie



- [1] ROMAC P., AMÉON R., LECOMTE J.F., ROBÉ M.C., CAAMANO D., ROCHELLE J. Gif-sur-Yvette. Etude historique du site de la Société Nouvelle du Radium de sa création à nos jours. 316. IPSN, DDASS de l'Essonne, editors. IPSN-DDASS DPRE/SERGD/01-04, 1-115. 2001.
- [2] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation. Volume 2: Effects. New York: 2000.
- [3] Committee on the biological effects of ionizing radiations. Health risks of radon and other internally deposited alpha-emitters; BEIR IV. National Academy Press ed. Washington: 1988.
- [4] STEBBINGS J.H. Radium and leukemia: is current dogma valid? *Health Phys* 1998; 74(4):486-488.
- [5] CARNES B.A., GROER P.G., KOTEK T.J. Radium dial workers: issues concerning dose response and modeling. *Radiat Res* 1997; 147(6):707-714.
- [6] ROWLAND R.E., VAN KAICK G., KARAOGLOU A., KELLERER A.M., editors. Dose response relationships for female radium dial workers. A new look in proceedings of «Health effects of internally radionuclides: emphasis on radium and thorium» 18-24 april 1994 Heidelberg. Singapour: 1995.
- [7] International Commission on Radiological Protection. 1990 recommendations of the International Commission on Radiological Protection; Publication 60. *Annals of the ICRP* 21[1-3], 1-201. 1991.
- [8] PIERCE D.A., SHIMIZU Y., PRESTON D.L., VAETH M., MABUCHI K. Studies of the mortality of atomic bomb survivors. Report 12, Part I. Cancer: 1950-1990 [see comments]. *Radiation Research* 1996; 146(1):1-27.
- [9] Committee on Health Risks of Exposure to Radon, Board on Radiation Effects Research, Commission on Life Sciences, National Research Council. Health effects of exposure to radon. *Beir VI*. Washington: 1999.
- [10] International Commission on Radiological Protection. Protection against radon-222 at home and at work; Publication 65. *Annals of the ICRP* 1993; 23(2).
- [11] RANNOU A., CLAIRAND I., BOTTOLIER-DEPOIS J.F. Evaluation des doses liées aux expositions actuelles et potentielles des habitants du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette(91) 317. IPSN, editor. SDOS/2001-008, 1-68. 2001.
- [12] AFSSA. Données sur les régimes alimentaires pour l'étude «Conséquences sanitaires de l'accident de Tchernobyl». AFSSA, editor. Note OCA/AD/2000-115. 2000.
- [13] CLIFF K.D., MILES J.C.H., NAISMITH S.P. False positive and false negative radon measurements results due to uncertainties in seasonal correction factors. *Rad Prot Dos* 1994; 56:291-292.
- [14] GAMBARD J.P., MITTON N., PIRARD P. Campagne nationale de mesure de l'exposition domestique au radon IPSN-DGS - Bilan et représentation cartographique des mesures au 01.01.2000. IPSN, DGS, editors. Note technique SEGR/LEADS 2000/14. 2000.

- [15] International Commission on Radiological Protection. Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 2 - Ingestion dose coefficients; Publication 67. Annals of the ICRP 1993; 23(3/4).
- [16] International Commission on Radiological Protection. Human respiratory tract model for radiological protection; Publication 66. Annals of the ICRP 1994; 24(1-3).
- [17] International Commission on Radiological Protection. Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 4 - Inhalation dose coefficient; Publication 71. Annals of the ICRP 1995; 25(3/4).
- [18] IPSN, Ministère de l'Environnement, Ministère chargé de la Santé. Guide méthodologique: gestion des sites industriels potentiellement contaminés par des substances radioactives. Note OCA/AD/2000-115. 1-5-2000.
- [19] LYON P.J. Airborne toxic elements and organic substances. Environ Sci Technol 1986; 20(1):81-84.
- [20] PAUSTENBACH D.J., SHU H.P., MURRAY F.J. A critical examination of assumptions used in risk assessments of dioxin contaminated soil. Regul Toxicol Pharmacol 1986; 6(3):284-307.
- [21] Commission des Communautés Européennes. Recommandation n° 90143 de la Commission relative à la protection de la population contre les dangers résultant de l'exposition au radon à l'intérieur des bâtiments. 1990.
- [22] DGS. Circulaire n° 289 du 20 mai 1999 relative à l'interprétation sanitaire des mesures en concentration de radon: actions à prendre. 1999.
- [23] DGS. Circulaire DGS n°2001/303 du 2 juillet 2001 relative à la gestion du risque lié au radon dans les établissements recevant du public (ERP). 2001.
- [24] DGS-DGUHC. Circulaire conjointe n°99/46 du 27 janvier 1999 relative à l'organisation de la gestion du risque lié au radon. 1999.
- [25] INSERM SC 8. Statistiques des causes de décès - taux bruts de mortalité pour l'année 1992. 2001.
- [26] MENEGOUZ F., CHERIE-CHALLINE L., Réseau FRANCIM. Le cancer en France : incidence et mortalité. Situation en 1995. Evolution entre 1975 et 1995. 1996.
- [27] Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations, Board on Radiation Effects Research, Commission on Life Sciences, National Research Council. Health effects of exposure to low levels of ionizing radiation. BEIR V. Washington: 1990.
- [28] PRESTON D.L., KUSUMI S., TOMONAGA M., IZUMI S., RON E., KURAMOTO A. *et al.* Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part III. Leukemia, lymphoma and multiple myeloma, 1950-1987. Radiat Res 1994; 137(2 Suppl):S68-S97.
- [29] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation. 1994.
- [30] CARDIS E., GILBERT E.S., CARPENTER L., HOWE G., KATO I., ARMSTRONG B.K. *et al.* Effects of low doses and low dose rates of external ionizing radiation: cancer mortality among nuclear industry workers in three countries [see comments]. Radiation Research 1995; 142(2):117-132.
- [31] BOUYER J., HÉMON H., CORDIER S., DERRIENNIC F., STÜCKER I., STENGEL B. *et al.* Epidémiologie Principes et méthodes quantitatives. INSERM, 1995.

Annexes



Annexe 1 p. 45

Aide au remplissage des tableaux : profils.

Annexe 2 p. 51

Dosimétrie Extrait du rapport : Rannou A., Clairand I., Bottollier-Depois J-F. Evaluation des doses liées aux expositions actuelles et potentielles des habitants du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91) – septembre 2001. IPSN (Fontenay-aux-Roses). DPHD / SDOS. Rapport 2001-008, 2001 ; 68p.

Annexe 3 p. 65

Lettre d'information des personnes participant à l'enquête.

Annexe 1

Aide au remplissage des tableaux :



- 1) indiquer le profil qui correspond à votre situation actuelle (une personne âgée de 15 ans et plus est considérée comme adulte) ;
- 2) indiquer les dates correspondantes à ce profil ;
- 3) si votre situation actuelle n'est pas la même que celle du passé, indiquer le profil passé avec les dates correspondantes.

Exemple : vous êtes arrivé dans le quartier en 1980, vous avez travaillé à l'extérieur jusqu'en 1990 et vous êtes aujourd'hui retraité et vous faites du bricolage très régulièrement au sous-sol.

Profils	De (année)	A (année)
1 : personne sans occupation à plein temps à l'extérieur de son domicile, et sans activité fréquente en sous-sol (bricolage, jeux...) ou au jardin.	DeSANS OBJET.....	ASANS OBJET.....
2 : personne sans occupation à plein temps à l'extérieur de son domicile, qui passe une partie importante de son temps dans le sous-sol (bricolage, modélisme...).	De1990.....	A2000.....
3 : personne sans occupation à plein temps à l'extérieur de son domicile, qui passe une partie importante de son temps dans le jardin.	DeSANS OBJET.....	ASANS OBJET.....
4 : personne ayant une occupation à plein temps à l'extérieur de son domicile.	De1980.....	A1990.....
6 : enfant de moins de 15 ans scolarisé.	DeSANS OBJET.....	ASANS OBJET.....

Si vous recevez régulièrement des visiteurs, merci de renseigner le tableau à l'aide des définitions Suivantes:

Visiteur régulier adulte :

Toute personne qui passe en moyenne une heure par jour dans la maison.
(exemple : aide ménagère, baby-sitter régulier ...).

Visiteur régulier enfant :

Un enfant (qui n'habite pas chez vous) est gardé à votre domicile après l'école, le mercredi et pendant les congés scolaires.

Par exemple : vous employez une femme de ménage trois matinées par semaine et vous gardez vos deux petits enfants quand ils ne sont pas à l'école.

7 : visiteur régulier adulte	Nombre :1.....
8 : visiteur régulier enfant	Nombre :2.....

Fiche chef de famille

NOM : Prénom :

Date de naissance :

Adresse :

Numéro de parcelle :

Date d'entrée dans la propriété :

Profils	De (année)	A (année)
1 : personne sans occupation à plein temps à l'extérieur de son domicile, et sans activité fréquente en sous-sol (bricolage, jeux...) ou au jardin.	De	A
2 : personne sans occupation à plein temps à l'extérieur de son domicile, qui passe une partie importante de son temps dans le sous-sol (bricolage, modélisme...).	De	A
3 : personne sans occupation à plein temps à l'extérieur de son domicile, qui passe une partie importante de son temps dans le jardin.	De	A
4 : personne ayant une occupation à plein temps à l'extérieur de son domicile.	De	A
6 : enfant de moins de 15 ans scolarisé.	De	A

Si vous recevez régulièrement des visiteurs, merci de renseigner le tableau suivant :

7 : visiteur régulier adulte	Nombre :
8 : visiteur régulier enfant	Nombre :

Observations :

Je,, déclare avoir été informé des objectifs et des modalités de l'étude menée à Gif-Sur-Yvette ainsi que de mes droits d'accès et de rectification aux informations me concernant. Je consens à y participer.

date

signature

Fiche autre resident adulte

NOM : Prénom :

Date de naissance :

Profils	De (année)	A (année)
1 : personne sans occupation à plein temps à l'extérieur de son domicile, et sans activité fréquente en sous-sol (bricolage, jeux...) ou au jardin.	De	A
2 : personne sans occupation à plein temps à l'extérieur de son domicile, qui passe une partie importante de son temps dans le sous-sol (bricolage, modélisme...).	De	A
3 : personne sans occupation à plein temps à l'extérieur de son domicile, qui passe une partie importante de son temps dans le jardin.	De	A
4 : personne ayant une occupation à plein temps à l'extérieur de son domicile.	De	A
6 : enfant de moins de 15 ans scolarisé.	De	A

Observations :

.....

.....

.....

.....

Je,, déclare avoir été informé des objectifs et des modalités de l'étude menée à Gif-Sur-Yvette ainsi que de mes droits d'accès et de rectification aux informations me concernant. Je consens à y participer.

date

signature

Fiche autre resident enfant

NOM : Prénom :

Date de naissance :

Profils	De (année)
	A (année)
5 : jeune enfant non scolarisé.	De
	A
6 : enfant de moins de 15 ans scolarisé.	De
	A

Observations :

.....

.....

.....

.....

.....

Je,, agissant en tant que père, mère ou tuteur déclare avoir été informé des objectifs et des modalités de l'étude menée à Gif-Sur-Yvette ainsi que de mes droits d'accès et de rectification aux informations concernant mon enfant. Je consens à ce que ce dernier y participe.

date

signature

Fiche autre resident adulte

NOM : Prénom :

Date de naissance :

Profils	De (année)..... A (année).....
1 : personne sans occupation à plein temps à l'extérieur de son domicile, et sans activité fréquente en sous-sol (bricolage, jeux...) ou au jardin.	De A
2 : personne sans occupation à plein temps à l'extérieur de son domicile, qui passe une partie importante de son temps dans le sous-sol (bricolage, modélisme...).	De A
3 : personne sans occupation à plein temps à l'extérieur de son domicile, qui passe une partie importante de son temps dans le jardin.	De A
4 : personne ayant une occupation à plein temps à l'extérieur de son domicile.	De A
6 : enfant de moins de 15 ans scolarisé.	De A

Observations :

.....

.....

.....

.....

Je,, agissant en tant que père, mère ou tuteur déclare avoir été informé des objectifs et des modalités de l'étude menée à Gif-Sur-Yvette ainsi que de mes droits d'accès et de rectification aux informations concernant mon enfant. Je consens à ce que ce dernier y participe.

date

signature

Annexe 2

Les modèles dosimétriques



Extrait du rapport : Rannou A, Clairand I, Bottollier-Depois J-F. Evaluation des doses liées aux expositions actuelles et potentielles des habitants du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91) – septembre 2001. IPSN (Fontenay-aux-Roses). DPHD / SDOS. Rapport 2001-008, 2001 ; 68p.

II.3. Les modèles dosimétriques

II.3.1. Irradiation externe

D'une manière générale, il a été admis que le débit de dose gamma mesuré dans chaque pièce est représentatif de celui auquel est exposée en moyenne la personne qui s'y trouve. Dans le cas du jardin, le niveau d'exposition a été déterminé à partir de la moyenne de l'ensemble des résultats de mesure obtenus, ce qui revient à admettre une équiprobabilité de présence de la personne en tout point du jardin.

Concernant la voirie sur le quartier, la valeur de débit de dose gamma qui a été retenue est $0,1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$. Cette valeur est obtenue en supposant que, sur un temps de présence de 30 minutes par jour sur la voie publique, chaque personne reste 3 minutes sur la tache de contamination détectée localement ($0,5 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) et le reste du temps sur les autres parties de la voirie, où le débit de dose est celui du bruit de fond régional, soit $0,06 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ (cf. §II.3.5 pour la détermination du niveau du bruit de fond). La dose efficace annuelle qui en résulte est de $0,02 \text{ mSv}$. A titre de comparaison, stationner 30 minutes par jour sur la tache de contamination relevée sur la voirie ($0,5 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) conduirait à une dose efficace annuelle de $0,1 \text{ mSv}$.

II.3.2. Ingestion des produits du potager et de terre

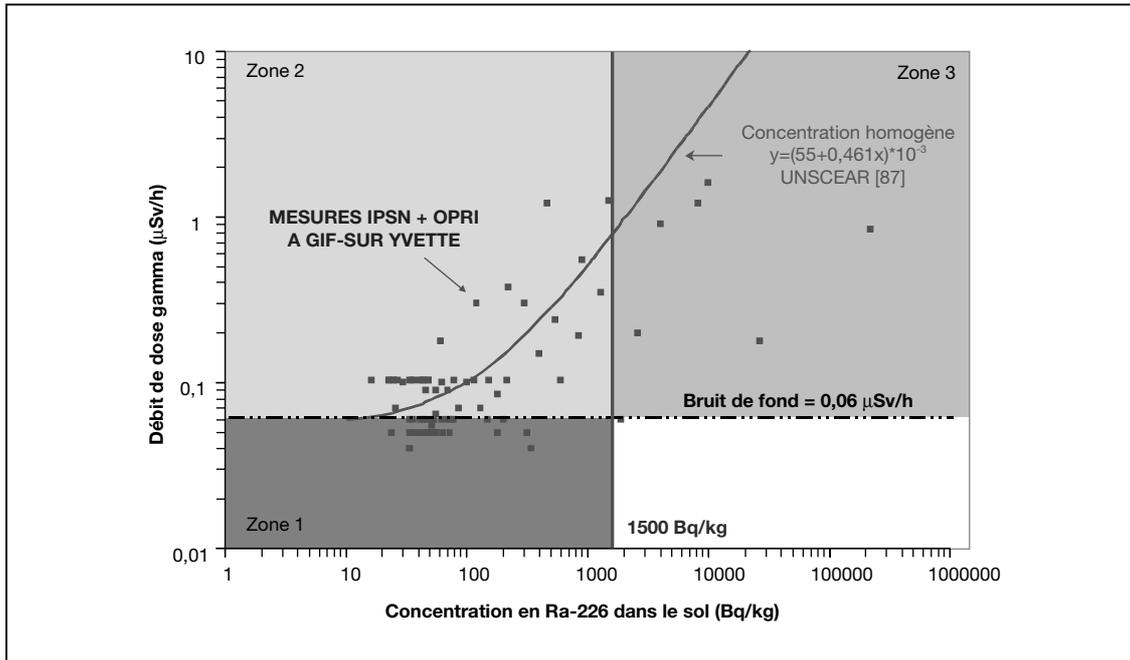
Pour calculer les doses dues à l'ingestion dans la situation actuelle, il a été tenu compte de la présence ou non d'un potager. Une évaluation dosimétrique a également été réalisée dans le cas de la création d'un potager dans le futur.

Concentration des radioéléments dans les sols

Certaines hypothèses ont dû être retenues pour déterminer la contamination moyenne de l'ensemble du potager à partir, d'une part de mesures du débit de dose gamma ambiant réalisées à l'aide d'une sonde SPP2 selon un maillage de $2 \times 2 \text{ m}^2$, d'autre part d'analyses de sol à partir de prélèvements de terre ponctuels.

Sont reportés sur la figure 1, la courbe « théorique » (UNSCEAR [87]) représentant la relation entre le débit de dose gamma mesuré ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) et la concentration de ^{226}Ra dans le sol ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$) dans le cas d'une contamination homogène, et les points réellement mesurés sur site, à savoir le débit de dose gamma (sonde SPP2) et la concentration correspondante en ^{226}Ra dans le sol déterminée à partir des prélèvements de terre.

FIGURE 1. Variation du débit de dose gamma ambiant mesuré dans le jardin en fonction de l'activité massique du sol en ^{226}Ra .



D'une façon générale, les points qui s'écartent de la courbe « théorique » sont représentatifs d'une répartition hétérogène de la contamination des sols.

On peut distinguer différents cas de figure :

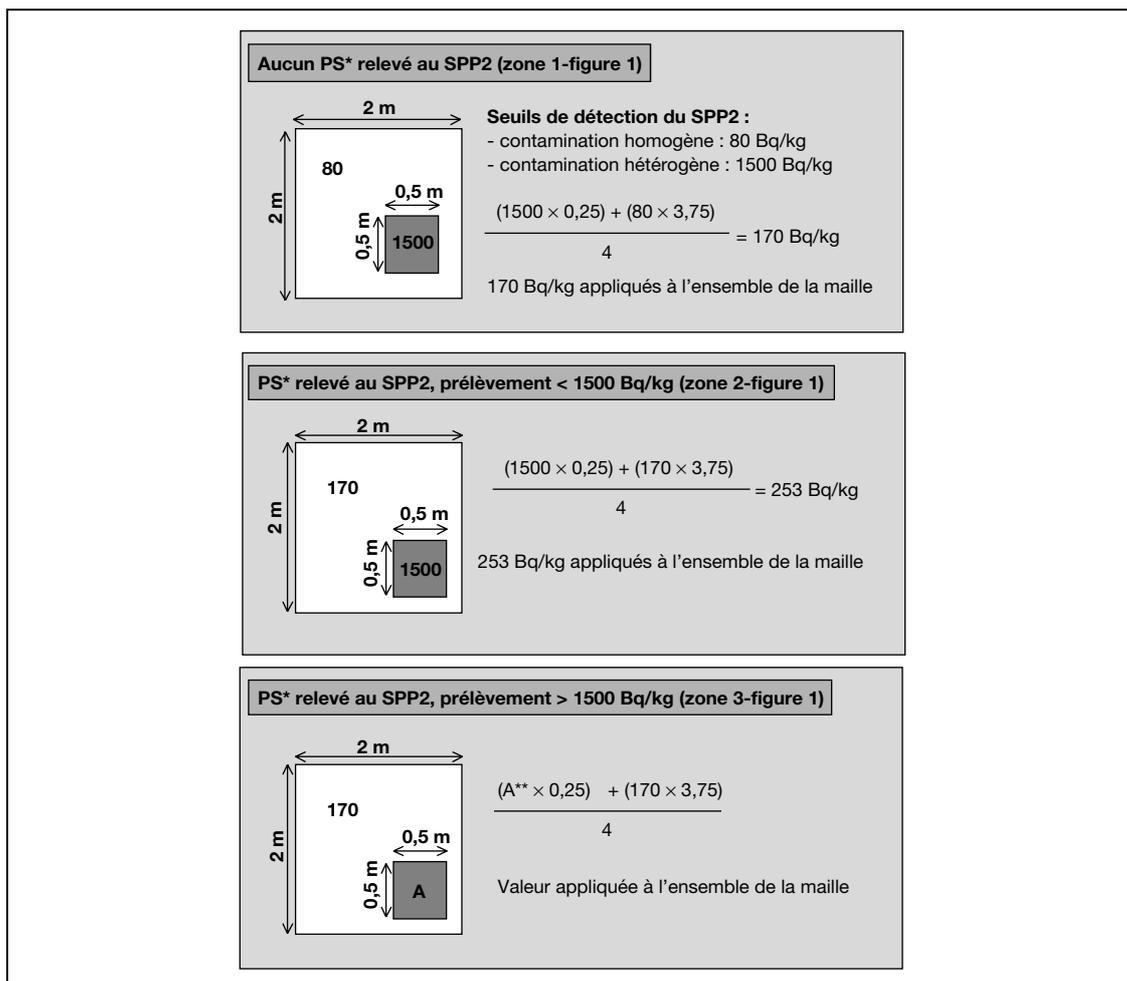
- zone 1, les débits de dose gamma sont de l'ordre du bruit de fond naturel ($0,06 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) et les prélèvements indiquent des concentrations en ^{226}Ra variant d'une dizaine de $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ à $1500 \text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$;
- zone 2, les débits de dose gamma sont en majorité significativement supérieurs au bruit de fond naturel et les prélèvements indiquent des concentrations en ^{226}Ra variant également d'une dizaine de $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ à $1500 \text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$;
- zone 3, les débits de dose gamma sont supérieurs au bruit de fond naturel et les prélèvements indiquent une concentration en ^{226}Ra supérieure à $1500 \text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$.

L'analyse de ces données montre que la réponse du SPP2 ne permet pas de détecter à coup sûr des taches de contamination « perlées », notamment lorsque celles-ci sont de surface réduite ou sont situées en profondeur. En revanche, une contamination du sol par du radium dont l'activité massique dépasse $1500 \text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, sera détectée de façon quasi-certaine à l'aide de la sonde SPP2.

D'après l'expérience sur site, la surface d'une tache de contamination à $1500 \text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ non détectable est au plus de l'ordre de $0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$. Il a donc été considéré, même lorsqu'aucun point singulier de contamination n'avait été mis en évidence par le SPP2 (débit de dose gamma $< 0,06 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$), qu'une surface de sol de 4 m^2 (maillage du SPP2 selon le protocole de mesure) pouvait présenter une tache de $0,25 \text{ m}^2$ à une activité massique de $1500 \text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, le reste de la maille se trouvant à une concentration de $80 \text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (2 fois le bruit de fond naturel moyen de la région). En tenant compte des rapports de surface (cf. figure 2), ceci est équivalent à un sol qui serait contaminé de façon homogène à $170 \text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ sur l'ensemble de la maille de 4 m^2 .

Pour l'évaluation des doses dues à l'ingestion, de façon enveloppe, les potagers pour lesquels la campagne de mesures n'a pas mis en évidence de point de contamination singulier ont donc été supposés contaminés de façon homogène à 170 Bq.kg⁻¹ (zone 1). Dans le cas où une tache de contamination aurait été détectée dans une maille, l'activité massique moyenne considérée dans cette maille a été calculée en affectant la valeur de 1500 Bq.kg⁻¹ (ou l'activité massique mesurée si celle-ci est supérieure) à une surface de 0,25 m², le reste de la maille étant supposé comme précédemment contaminé de façon homogène à 170 Bq.kg⁻¹, ceci également de façon enveloppe (zones 2 et 3) (cf. figure 2).

FIGURE 2. Hypothèses retenues pour le niveau de contamination des sols.



* PS = point singulier ; **A = activité massique (Bq/kg) déterminée à partir des prélèvements.

Dans deux cas particuliers où les résultats de mesures montrent une contamination du terrain plus importante et globalement homogène [1], la valeur de 1500 Bq.kg⁻¹ a été retenue ; elle correspond à la valeur enveloppe du débit de dose gamma mesuré sur ces terrains, soit environ 0,7 µSv.h⁻¹.

Radionucléides considérés

Les radionucléides considérés pour les calculs dosimétriques, tant pour l'ingestion de terre que pour celle de produits du potager, sont : ²³⁸U, ²³⁴U, ²³⁰Th, ²²⁶Ra, ²¹⁰Pb et ²¹⁰Po. Seuls l'²³⁸U, le ²²⁶Ra et le ²¹⁰Pb ont été mesurés. Aussi, les activités massiques des autres radionucléides ont été estimées en adoptant les facteurs d'équilibre suivants par rapport au ²²⁶Ra :

– ^{238}U , ^{234}U et ^{230}Th : 1

– ^{210}Pb et ^{210}Po : 0,8

Ces valeurs sont conformes aux données observées en général dans l'environnement.

Taux d'autoconsommation des produits du potager

La détermination des doses dues à l'ingestion des produits du potager nécessite d'évaluer les quantités de ces produits entrant dans l'alimentation des occupants de chaque propriété. Pour cela, il a été admis qu'au maximum, la moitié des fruits et des légumes consommés en moyenne sur l'année par un individu adulte standard provient de son potager, ce qui conduit à un « taux d'autoconsommation » de 0,5. Pour satisfaire ce taux d'autoconsommation, et en considérant par ailleurs les données de consommation annuelle (cf. tableau 2) et de rendement à l'hectare, une famille composée de deux adultes et d'un enfant doit disposer d'un potager d'au moins 100 m².

Le taux d'autoconsommation a été évalué en considérant, d'une part le nombre d'occupants dans chaque propriété, d'autre part la surface du potager.

Pour les calculs concernant la création d'un potager dans le futur, dans la mesure où il n'est pas possible de prévoir le nombre d'occupants dans chaque propriété, un taux d'autoconsommation égal à 0,5 a été systématiquement appliqué.

Consommation annuelle de fruits et légumes

Pour calculer l'incorporation annuelle de radionucléides par ingestion, les consommations annuelles présentées dans le tableau 2 ont été utilisées. Elles sont issues d'une enquête alimentaire réalisée au niveau régional, publiée par l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments [88].

TABLEAU 2. Consommation annuelle, en fonction de l'âge (kg.an⁻¹).

(Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments [88])

	Légumes-feuilles	Légumes-racines	Légumes-fruits
Adulte	39,6	30,5	29,1
Enfant de 10 ans	22,0	26,3	19,4
Enfant de 3 ans	14,9	21,5	13,2

Coefficients de transfert sol-végétaux

Les coefficients de transfert sol-végétaux adoptés sont issus du « Guide méthodologique pour la gestion des sites industriels potentiellement contaminés par des substances radioactives » [89] et sont indiqués dans le tableau 3.

TABLEAU 3. Coefficients de transfert (Bq par kg de végétal par Bq par kg de sol) ([89]).

	Légumes-feuilles	Légumes-racines	Légumes-fruits
^{226}Ra	3,90E-03	1,80E-03	3,70E-04
^{210}Pb	8,00E-04	3,20E-03	1,00E-02
^{210}Po	9,60E-05	5,00E-03	1,00E-02
^{234}U	6,60E-04	2,2E-03	1,00E-04
^{230}Th	1,40E-04	4,80E-05	1,00E-05
^{238}U	6,60E-04	2,20E-03	1,00E-04

Quantité de terre ingérée

Dans la présente étude, une ingestion moyenne de 10 g de terre par an a été utilisée en application du « Guide méthodologique pour la gestion des sites industriels potentiellement contaminés par des substances radioactives » [89], quelle que soit la classe d'âge.

Coefficients de dose

Le calcul de la dose nécessite la connaissance de la dose efficace engagée³ par Bq ingéré (coefficient de dose). Les valeurs qui ont été retenues pour ces paramètres sont celles publiées en 1993 dans le rapport 67 de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) [90]. Pour les enfants de 3 ans, les coefficients de dose utilisés sont les moyennes arithmétiques des coefficients de dose des enfants de 1 an et de 5 ans. Les valeurs des coefficients de dose sont indiquées dans le tableau 4.

TABLEAU 4. Coefficients de dose pour l'ingestion pour le calcul de la dose efficace (Sv par Bq ingéré) (CIPR 67 [90])

	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	²³⁴ U	²³⁰ Th	²³⁸ U
Adulte	2,8 E-07	7,0 E-07	1,2 E-06	4,9 E-08	2,1 E-07	4,5 E-08
Enfant de 10 ans	8,1 E-07	1,9 E-06	2,6 E-06	7,4 E-08	2,4 E-07	6,8 E-08
Enfant de 3 ans	8,0 E-07	2,9 E-06	6,6 E-06	1,1 E-08	3,6 E-07	1,0 E-07

Notons qu'en raison des valeurs des coefficients de dose et des facteurs de transfert sol-végétaux propres à chacun de ces radionucléides, les seuls radionucléides qui contribuent de façon significative à la dose par ingestion sont le ²¹⁰Pb, le ²¹⁰Po et, dans une moindre mesure, le ²²⁶Ra.

Création d'un potager dans le futur

Des calculs ont été également réalisés pour évaluer l'impact dosimétrique associé à la création d'un potager dans le futur. La surface de ce potager a été calculée de la façon suivante : si la surface du terrain (surface bâtie incluse) est inférieure à 800 m², la surface du potager « potentiel » est égale à la moitié de la surface du terrain ; si la surface du terrain est supérieure à 800 m², la surface du potager est égale à 400 m² au maximum.

Les taches éventuelles de contamination présentes sur le terrain sont prises en compte de la même façon que pour les potagers existants.

II.3.3. Inhalation de particules

Les particules de sol remises en suspension sous l'action du vent ou d'activités humaines (jardinage, etc.) contribuent à l'empoussièremement des habitations. Ce taux d'empoussièremement dépend de nombreux facteurs, parmi lesquels les conditions climatiques et le mode de vie. La valeur de 70 microgrammes par mètre cube (µg.m⁻³) est citée dans des publications de référence [91] et, à titre conservateur, la valeur de 100 µg.m⁻³ a été adoptée dans la présente étude. Par ailleurs, il a été estimé que 20 % seulement des poussières de l'air proviennent du sol proche [92]. En conclusion, il a donc été supposé que l'activité volumique de l'air soit de 2.10⁻⁸ Bq.m⁻³ lorsque la contamination du sol est de 1 Bq.kg⁻¹.

Les doses dues à l'inhalation de particules sont calculées pour les radionucléides et avec les facteurs d'équilibre déjà cités, à l'aide des coefficients de dose recommandés par la CIPR dans

³ La période d'engagement considérée est de 50 ans pour les adultes et 70 ans pour les enfants.

sa publication 71 [93], indiqués dans le tableau 5. Ces valeurs sont celles correspondant à des composés sous forme de particules de DAMA⁴ égal à 1 µm, de type S selon la classification de la CIPR⁵.

TABLEAU 5. Coefficients de dose pour l'inhalation (Sv par Bq inhalé) (CIPR 71 [93]).

	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	²³⁴ U	²³⁰ Th	²³⁸ U
Adulte	3,5 E-06	1,1 E-06	3,3 E-06	9,4 E-06	1,4 E-05	8,0 E-06
Enfant de 10 ans	4,9 E-06	1,5 E-06	4,6 E-06	1,2 E-05	1,6 E-05	1,0 E-05
Enfant de 3 ans	9,0 E-06	3,0 E-06	8,9 E-06	2,4 E-05	2,95 E-5	2,05 E-05

Les débits respiratoires utilisés en fonction de l'âge et du type d'activité, sont déduits de ceux proposés par la CIPR dans sa publication 66 [94]. Ces données sont représentatives de moyennes hommes/femmes (cf. tableau 6).

TABLEAU 6. Débits respiratoires adoptés (m³.h⁻¹) en fonction de l'âge et de l'activité (CIPR 66 [94]).

	Adulte	Enfant de 10 ans	Enfant de 3 ans*
Repos	0,5	0,4	0,2
Activité modérée	1,2	0,9	0,4
Activité intense	1,7	0,9	0,4
Moyenne	0,83	0,64	0,30

* La CIPR ne propose pas de valeur pour les enfants de 3 ans. Les valeurs utilisées ont été calculées par interpolation linéaire entre 1 an et 5 ans.

Les débits respiratoires correspondant aux périodes de repos sont appliqués aux temps passés dans les chambres. Le séjour dans le jardin est assimilé à une période d'activité intense et le séjour dans toutes les autres pièces d'habitation est considéré comme une activité modérée.

II.3.4. Inhalation de radon

Les mesures de radon (²²²Rn) ont été effectuées sur une période d'environ 2 mois consécutifs. Or les concentrations moyennes varient selon la saison. Pour déduire de ces mesures la concentration moyenne annuelle, les facteurs correctifs proposés par le National Radiological Protection Board (NRPB) [95] ont été utilisés (rapports entre la concentration moyenne annuelle et la concentration moyenne mensuelle) (cf. tableau 7).

TABLEAU 7. Rapport entre les concentrations annuelles et mensuelles de radon dans les pièces d'habitation (NRPB [95]).

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Facteur	0,9	1,05	1,20	1,33	1,35	1,27	1,14	0,96	0,85	0,8	0,79	0,83

⁴ Le diamètre aérodynamique médian en activité (DAMA) d'une particule est le diamètre d'une sphère de densité égale à 1 ayant la même vitesse de dépôt dans l'air que la particule considérée. 50 % de l'activité d'une distribution de particules donnée est portée par des particules de diamètres aérodynamiques supérieurs au DAMA.

⁵ La CIPR définit trois classes de transférabilité des composés traduisant leur vitesse de transfert et d'élimination dans l'organisme : type F, pour « Fast » (transférable), type M, pour « Moderate » (moyennement transférable), type S, pour « Slow » (très peu transférable).

La concentration du radon dans l'air extérieur n'a pas été mesurée au cours de la présente étude. La moyenne mondiale proposée par l'UNSCEAR [87] est de 10 Bq.m⁻³. La moyenne des mesures réalisées en continu pendant une dizaine d'années par l'IPSN sur la commune d'Itteville (91) est de l'ordre de 20 Bq.m⁻³. Compte tenu de ces éléments, la concentration de radon dans les jardins a été fixée à 20 Bq.m⁻³ pour toutes les propriétés.

Le coefficient de dose efficace par unité d'exposition adopté pour le radon est issu de la publication 65 de la CIPR [96]. Il est égal à 2,46.10⁻⁹ Sv par Bq.h.m⁻³.

II.3.5. Hypothèses retenues pour l'évaluation des doses dues au bruit de fond

Une des difficultés d'un calcul dosimétrique concernant des radionucléides naturels est de dissocier la contribution des radionucléides qui sont présents naturellement dans l'environnement et qui constituent un bruit de fond permanent, de celle liée, comme c'est le cas ici, à la présence d'une activité industrielle passée. En pratique, le bruit de fond peut être estimé à partir de mesures réalisées sur le site mais en des points localement non perturbés, ou à défaut dans un voisinage proche du site présentant des caractéristiques comparables.

Le bruit de fond naturel a été évalué de la façon suivante : La valeur retenue pour le débit de dose gamma moyen à l'intérieur comme à l'extérieur des habitations est de 60 nSv.h⁻¹. Cette valeur a été déduite des mesures réalisées in situ. De la même façon, l'activité massique moyenne de ²²⁶Ra dans les sols est fixée à 40 Bq.kg⁻¹ ; compte-tenu des facteurs d'équilibre retenus, les activités massiques des autres radionucléides considérés, utilisées pour le calcul de la dose efficace due au bruit de fond naturel sont les suivantes :

- ²³⁸U : 40 Bq.kg⁻¹
- ²³⁴U : 40 Bq.kg⁻¹
- ²³⁰Th : 40 Bq.kg⁻¹
- ²¹⁰Pb : 32 Bq.kg⁻¹
- ²¹⁰Po : 32 Bq.kg⁻¹

Enfin, la valeur de référence retenue pour l'activité volumique du radon dans les habitations est de 45 Bq.m⁻³ à l'exception du sous-sol. Cette valeur, issue d'un rapport de l'IPSN et de la Direction Générale de la Santé (DGS) sur la campagne nationale de mesure de l'exposition domestique au radon [97], correspond à la concentration moyenne dans les habitations de l'Essonne (moyenne portant sur 58 mesures). Pour les sous-sols des habitations, la valeur de 100 Bq.m⁻³ a été adoptée.

Pour chaque profil, les paramètres liés à l'âge et aux modes de vie ont été conservés (temps de présence dans les différentes pièces, débits respiratoires et régimes alimentaires). Lorsque la propriété dispose d'un jardin potager, le taux d'autoconsommation a été calculé en fonction du nombre d'occupants et de la surface du potager. En cas d'absence de potager, seule l'ingestion de terre a été prise en compte.

Les doses efficaces dues au bruit de fond naturel, compte tenu de ces hypothèses, sont indiquées dans les tableaux 8 et 9.

TABLEAU 8. Dose efficace (mSv/an) due au radon (bruit de fond naturel).

	Profil 1	Profil 2	Profil 3	Profil 4	Profil 5	Profil 6	Profil 7	Profil 8
Dose efficace (mSv/an)	0,85	1,21	0,86	0,65	0,77	0,57	0,06	0,19

TABLEAU 9. Dose efficace (mSv/an) due au bruit de fond (BDF) hors radon.

	Profil 1	Profil 2	Profil 3	Profil 4	Profil 5	Profil 6	Profil 7	Profil 8
<i>Avec potager</i>								
Dose due au BDF (hors radon) mSv/an	0,46	0,46	0,46	0,38	0,53	0,43	0,03	0,08
<i>Sans potager</i>								
Dose due au BDF (hors radon) mSv/an	0,45	0,45	0,45	0,36	0,50	0,41	0,03	0,08

Remarque : Il ne s'agit pas ici des doses efficaces annuelles totales reçues du fait de l'irradiation naturelle. Pour être complet, il faudrait prendre en compte les autres sources d'exposition (rayonnement cosmique, charge corporelle en ^{40}K). Ces doses n'ont pas été calculées parce qu'elles n'ont aucune relation avec le radium à l'origine du surcroît d'exposition.

Références

Extrait du rapport : ROMAC P., AMÉON R., LECOMTE J.F., ROBÉ M.C., CAAMANO D., ROCHELLE J. Gif-sur-Yvette. Etude historique du site de la Société Nouvelle du Radium de sa création à nos jours. 316. IPSN, DDASS de l'Essonne, editors. IPSN-DDASS DPRE/SERGD/01-04, 1-115. 2001.

- [1] IPSN-DDASS. Etude historique du site de la Société Nouvelle du Radium de sa création à nos jours. Rapport DPRE/SERGD/01-04. 2001.
- [2] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/191-I. 2000.
- [3] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/189-I. 2000.
- [4] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/342-I. 2000.
- [5] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/190-I. 2000.
- [6] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/177-I. 2000.
- [7] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/197-I. 2000.
- [8] IPSN, Bassot S, Cessac B. Etude d'impact d'un terrain contaminé au radium sur la commune de Gif-sur-Yvette. Rapport DPRE/SERGD/00-37, révision 1. 2000.
- [9] IPSN. Contrôles radiologiques réalisés par l'IPSN sur les terrains du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91). Rapport DPRE/SERGD/00-84. 2000.
- [10] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/196-I. 2000.

- [11] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/174-I. 2000.
- [12] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/378-I. 2000.
- [13] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/187-I. 2000.
- [14] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/218-I. 2000.
- [15] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/192-I. 2000.
- [16] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/210-I. 2000.
- [17] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/183-I. 2000.
- [18] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/205-I. 2000.
- [19] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/198-I. 2000.
- [20] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/184-I. 2000.
- [21] IPSN. Contrôles radiologiques réalisés par l'IPSN sur les terrains du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91). Rapport DPRE/SERGD/00-74. 2000.
- [22] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/178-I. 2000.
- [23] IPSN. Contrôles radiologiques réalisés par l'IPSN sur les terrains du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91). Rapport DPRE/SERGD/00-77. 2000.
- [24] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/193-I. 2000.
- [25] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/188-I. 2000.
- [26] IPSN. Contrôles radiologiques réalisés par l'IPSN sur les terrains du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91). Rapport DPRE/SERGD/00-81. 2000.
- [27] IPSN. Contrôles radiologiques réalisés par l'IPSN sur les terrains du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91). Rapport DPRE/SERGD/00-58. 2000.
- [28] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/186-I. 2000.
- [29] IPSN. Haristoy D, Améon R, Bénéito A, Thoreux A. Rapport DPRE/SERGD/00-038. 2000.
- [30] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/347-I. 2000.

- [31] IPSN. Contrôles radiologiques réalisés par l'IPSN sur les terrains du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91). Rapport DPRE/SERGD/00-70. 2000.
- [32] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/349-I. 2000.
- [33] IPSN. Contrôles radiologiques réalisés par l'IPSN sur les terrains du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91). Rapport DPRE/SERGD/00-72. 2000.
- [34] IPSN. Contrôles radiologiques réalisés par l'IPSN sur les terrains du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91). Rapport DPRE/SERGD/00-80. 2000.
- [35] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/185-I. 2000.
- [36] IPSN. Contrôles radiologiques réalisés par l'IPSN sur les terrains du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91). Rapport DPRE/SERGD/00-68. 2000.
- [37] IPSN. Contrôles radiologiques réalisés par l'IPSN sur les terrains du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91). Rapport DPRE/SERGD/00-66. 2000.
- [38] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/180-I. 2000.
- [39] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/176-I. 2000.
- [40] IPSN. Contrôles radiologiques réalisés par l'IPSN sur les terrains du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91). Rapport DPRE/SERGD/00-54. 2000.
- [41] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/209-I. 2000.
- [42] IPSN. Améon R, Thoreux A. Rapport DPRE/SERGD/01-33. 2001.
- [43] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/383-I. 2000.
- [44] IPSN. Contrôles radiologiques réalisés par l'IPSN sur les terrains du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91). Rapport DPRE/SERGD/00-73. 2000.
- [45] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/343-I. 2000.
- [46] IPSN. Contrôles radiologiques réalisés par l'IPSN sur les terrains du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91). Rapport DPRE/SERGD/00-82. 2000.
- [47] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/203-I. 2000.
- [48] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/195-I. 2000.
- [49] IPSN. Contrôles radiologiques réalisés par l'IPSN sur les terrains du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91). Rapport DPRE/SERGD/00-65. 2000.
- [50] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/172-I. 2000.

- [51] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/201-I. 2000.
- [52] IPSN. Contrôles radiologiques réalisés par l'IPSN sur les terrains du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91). Rapport DPRE/SERGD/00-83. 2000.
- [53] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/199-I. 2000.
- [54] IPSN. Contrôles radiologiques réalisés par l'IPSN sur les terrains du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91). Rapport DPRE/SERGD/00-71. 2000.
- [55] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/200-I. 2000.
- [56] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/207-I. 2000.
- [57] IPSN. Améon R, Richon P, Thoreux A. Rapport DPRE/SERGD/01-17. 2001.
- [58] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/179-I. 2000.
- [59] IPSN. Contrôles radiologiques réalisés par l'IPSN sur les terrains du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91). Rapport DPRE/SERGD/00-75. 2000.
- [60] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/350-I. 2000.
- [61] IPSN. Contrôles radiologiques réalisés par l'IPSN sur les terrains du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91). Rapport DPRE/SERGD/00-76. 2000.
- [62] IPSN. Contrôles radiologiques réalisés par l'IPSN sur les terrains du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91). Rapport DPRE/SERGD/00-57. 2000.
- [63] IPSN. Contrôles radiologiques réalisés par l'IPSN sur les terrains du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91). Rapport DPRE/SERGD/00-85. 2000.
- [64] IPSN. Contrôles radiologiques réalisés par l'IPSN sur les terrains du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91). Rapport DPRE/SERGD/00-78. 2000.
- [65] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/202-I. 2000.
- [66] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/206-I. 2000.
- [67] IPSN. Améon R, Thoreux A. Rapport DPRE/SERGD/01-21. 2001.
- [68] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/382-I. 2000.
- [69] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/173-I. 2000.
- [70] IPSN. Contrôles radiologiques réalisés par l'IPSN sur les terrains du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91). Rapport DPRE/SERGD/00-67. 2000.

- [71] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/208-I. 2000.
- [72] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/243-I. 2000.
- [73] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/182-I. 2000.
- [74] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/175-I. 2000.
- [75] IPSN. Contrôles radiologiques réalisés par l'IPSN sur les terrains du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91). Rapport DPRE/SERGD/00-55. 2000.
- [76] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/376-I. 2000.
- [77] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/348-I. 2000.
- [78] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/346-I. 2000.
- [79] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/377-I. 2000.
- [80] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/250-I. 2000.
- [81] IPSN. Contrôles radiologiques réalisés par l'IPSN sur les terrains du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91). Rapport DPRE/SERGD/00-79. 2000.
- [82] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/181-I. 2000.
- [83] IPSN. Contrôles radiologiques réalisés par l'IPSN sur les terrains du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91). Rapport DPRE/SERGD/00-69. 2000.
- [84] OPRI. Rapport d'intervention. Contrôle radiologique par l'OPRI et l'IPSN du lotissement de la Coudraie à Gif/Yvette (91). Rapport n°2000/204-I. 2000.
- [85] IPSN. Contrôles radiologiques réalisés par l'IPSN sur les terrains du quartier des Coudraies à Gif-sur-Yvette (91). Rapport DPRE/SERGD/00-56. 2000.
- [86] CRII-RAD. Rapport d'étude n°2000-04. 2000.
- [87] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2000.
- [88] Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments. Données sur les régimes alimentaires pour l'étude « Conséquences sanitaires de l'accident de Tchernobyl ». Note OCA/AD/2000-115 (mai 2000).
- [89] IPSN / Ministère de l'Environnement / Ministère de la Santé. Guide méthodologique : gestion des sites industriels potentiellement contaminés par des substances radioactives. (mai 2001). www.ipsn.fr/guide-sitespollues.

- [90] International Commission on Radiological Protection. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides : Part 2 - Ingestion Dose Coefficients. ICRP Publication 67. Annals of the ICRP, vol 23, n°3/4 (1993), Pergamon Press.
- [91] PAUSTENBACH D.J., SHU H.P., MURRAY F.J. A critical examination of assumptions used in risk assessments of dioxins contaminated soil. Regul. Toxicol. Pharmacol. 6, 284-307 (1986).
- [92] LYON P.J., Daisey. Airborne toxic elements and organic substances. Environ. Sci. Technol. 20(1), 81-84 (1986).
- [93] International Commission on Radiological Protection. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides : Part 4 - Inhalation Dose Coefficients. ICRP Publication 71. Annals of the ICRP, vol 25, n°3/4 (1995), Pergamon Press.
- [94] International Commission on Radiological Protection. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. ICRP Publication 66. Annals of the ICRP, vol 24, n°1-3 (1994), Pergamon Press.
- [95] CLIFF K.D., MILES J.C.H., NAISMITH S.P. False Positive and False Negative Radon Measurements Results Due to Uncertainties in Seasonal Correction Factors. Rad. Prot. Dos. Vol 56, pp 291-292 (1994).
- [96] International Commission on Radiological Protection. Protection Against Radon-222 at Home and at Work. ICRP Publication 65. Annals of the ICRP, vol 23, n°2 (1993), Pergamon Press.
- [97] IPSN – DGS. Campagne nationale de mesure de l'exposition domestique au radon - Bilan et représentation cartographique des mesures au 01.01.2000. Note technique SEGR/LEADS 2000/14 (2000).

Annexe 3

Lettre d'information des personnes participant à l'enquête



Madame, Monsieur,

Depuis le mois de mars 2000 les services de l'Etat ont engagé une démarche de gestion globale du site du quartier des Coudraies dans l'objectif de faire un bilan systématique de l'exposition de la population vivant sur et à proximité du territoire ayant appartenu à la famille DANNE ou à la Société Nouvelle du radium.

L'Office de Protection contre les Rayonnements Ionisants et l'Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire ont effectué des mesures radiologiques des terrains dont les résultats préliminaires vous ont été communiqués personnellement. Ces résultats seront complétés par la dosimétrie du radon et donneront lieu à un rapport qui vous sera adressé à partir de septembre 2000.

Parallèlement à ces mesurages, une démarche d'évaluation des risques est mise en œuvre afin :

- d'évaluer les risques sanitaires pour la population riveraine,
- de connaître les gains sanitaires apportés par différents scénarios de réhabilitation
- d'identifier les habitations pouvant conduire à une exposition plus importante.

L'évaluation des risques est conduite par la DDASS, l'Institut de Veille Sanitaire et l'Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire. La DDASS assure la coordination locale de l'étude, l'InVS et l'IPSN assurent la responsabilité scientifique. Le protocole de cette démarche d'évaluation des risques sera communiqué lors de la prochaine réunion publique qui se tiendra au début de l'automne. Les résultats seront communiqués dès leur obtention.

Afin de disposer rapidement d'éléments décisionnels, l'évaluation des risques proposée est basée sur de modèles de comportement (profils types) et ne fait pas appel à de nouvelles investigations.

Différents profils types ont été définis et chaque habitant actuel de votre habitation doit se situer dans un profil type lui correspondant. Ces données seront mises en regard des mesures radiologiques effectuées dans chaque propriété. Un traitement informatique des données ainsi collectées sera alors nécessaire pour établir les niveaux de doses. Un volet du questionnaire prérempli ci-joint doit être complété pour chaque habitant actuel de votre maison.

Je vous demande de bien vouloir corriger si nécessaire et retourner ces documents au plus tôt et en tout état de cause avant le 15 août, en utilisant l'enveloppe timbrée ci-jointe. Le respect de cette date est primordial pour le bon déroulement de l'étude.

Les informations recueillies feront l'objet d'une exploitation informatique uniquement aux fins statistiques de l'étude et toutes les précautions seront prises pour garantir la confidentialité des données. Seules les fonctionnaires de la DDASS participant à l'investigation auront accès aux données nominatives. L'identité des personnes ainsi que leur adresse feront l'objet d'une codification avant transmission des données aux organismes chargés d'effectuer les analyses statistiques. Les informations permettant d'identifier les personnes seront supprimées du ou

des fichiers informatiques dans un délai d'un an après la fin des études entreprises à la demande de M. Le Préfet de l'Essonne. Conformément aux dispositions de la loi « informatique et liberté » du 6 janvier 1978, le fichier fait l'objet d'une déclaration à la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés avant sa constitution. Vous avez toute liberté pour refuser de participer à cette enquête. Vous pouvez également demander communication et rectification éventuelle des renseignements recueillis auprès de la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales (Jérôme ROCHELLE - 01 69 36 71 41).

La participation de tous et de chacun est essentielle pour que cette étude puisse être menée à bien. Par avance, je vous remercie de votre participation et vous prie d'accepter, Madame, Monsieur, mes sentiments les meilleurs.

François MARZORATI

Notes

Notes

Le site de la Société Nouvelle du Radium à Gif-sur-Yvette (Essonne) a hébergé de 1904 à 1957 des activités industrielles d'extraction de radium et de préparation d'aiguilles de radium. Transformé en zone d'habitations à partir de 1959, le quartier de la Petite Coudraie a connu des phases successives de mesures de radioactivité et de travaux de décontamination. En 2000, la persistance dans une habitation de niveaux de radon très supérieurs aux recommandations sanitaires a incité les autorités locales à lancer une démarche d'investigation systématique et d'analyse de risques afin de prendre les mesures de gestion du risque radiologique nécessaires pour l'ensemble du quartier concerné. Une évaluation de l'impact sanitaire de la contamination du site a été conduite par la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS), l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) et l'Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire (IPSN). Elle s'est traduite par plusieurs étapes successives : une campagne de mesures de la radioactivité présente en surface sur les terrains effectuée par l'Office de Protection contre les Rayonnements Ionisants (OPRI) et l'IPSN ; une étude dosimétrique effectuée par l'IPSN sur la base des résultats des mesures et de scénarios d'exposition réalistes des adultes et des enfants présents sur le site, une évaluation quantitative des risques de cancer dus à la dose apportée par la contamination liée à l'activité industrielle passée, réalisée par l'InVS. Cette dernière étape est l'objet du présent rapport. Cette évaluation permet d'estimer l'ordre de grandeur de l'impact sanitaire potentiel lié à la contamination du site en l'état actuel des connaissances scientifiques. Elle permet d'estimer les contributions des différentes sources d'exposition au risque. Elle permet ainsi d'orienter les mesures de gestion prioritaire. Cette évaluation permet aussi de juger de la pertinence de réaliser une éventuelle étude épidémiologique sur la population ayant fréquenté le site.

The company " Société Nouvelle du Radium " extracted radium and produced radium needles in Gif-sur-Yvette (Essonne) from 1904 to 1957. In 1959, this site was converted into a habitable zone. Since then, this district called the "Petite Coudraie" has been going through several radioactivity measurements and decontamination works. In 2000, detection of very high levels of radon above sanitary recommendations in one house encouraged the local authorities to launch a systematic investigation and risk analysis in order to take the necessary measures against radiological risks for the whole concerned district. The "Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales" (DDASS), the French Institute of Public Health (InVS) and the Institute of Nuclear Protection and Security (IPSN) conducted a health impact assessment of the pollution in this area. The Office for the Protection against Ionising Radiations (OPRI) and the IPSN first measured the radioactivity found on the surface area. The IPSN then conducted a dosimetric study based on the measurement results and realistic exposure scenarios of adults and children present in the area. Finally, on the base of these results, the InVS did a quantitative risk assessment of cancer due to exposure to the radioactive residuals from the past industrial activities which is the subject of this report.

This assessment allows to estimate the extent of this potential health impact due to the contamination of the area with the current scientific knowledge. It assesses the contribution of the various sources ways of exposure to risk and therefore directs the measures of management priority. Finally, it also allows to appreciate the relevance of an epidemiological study on the population who was present in this area.



MINISTÈRE DE L'EMPLOI
ET DE LA SOLIDARITÉ

DDASS de l'Essonne

Immeuble France - Evry, Tour Malte
Bd de France - 91 035 Evry cedex
Tél. : 33 (0) 1 69 36 71 71 - Fax : 33 (0) 1 60 77 78 48
e-mail : dd91-santenv@sante.gouv.fr



INSTITUT DE
VEILLE SANITAIRE

Département Santé Environnement

12, rue du Val d'Osne - 94415 Saint-Maurice cedex
Tél. : 33 (0) 1 41 79 67 50 - Fax : 33 (0) 1 41 79 67 68
<http://www.invs.sante.fr>



ISBN : 2-11-093265-1
Tirage : 150 exemplaires
Prix : **22,34 €** - 146,54 F
Imprimé par Dupligrific
Dépot légal : mai 2002