

Etude d'impact des rejets radioactifs PETNET

Solution

I. Comprendre la radioactivité et les expositions des personnes qu'elle engendre

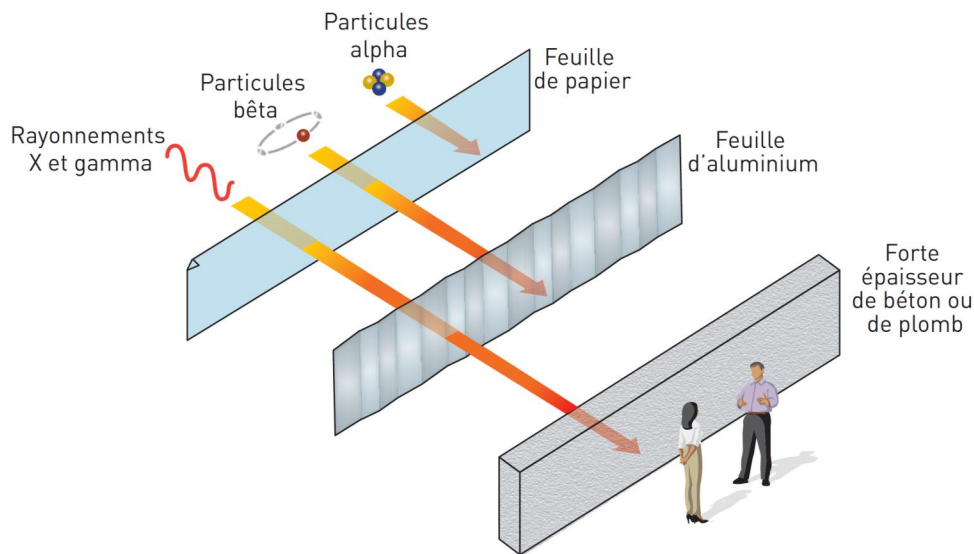
1) Les radionucléides

La matière est constituée de molécules qui sont des combinaisons d'atomes de différents éléments chimiques : Atomes de carbone, d'hydrogène, de potassium, de calcium, de fer, de plomb, d'uranium, etc.... Un atome est composé d'un noyau central constitué notamment de protons et de neutrons, ainsi que d'un nuage périphérique composé d'électrons. Certains noyaux atomiques sont instables, et se transforment spontanément en d'autres noyaux : on dit qu'ils se désintègrent, qu'ils sont radioactifs. Un élément chimique peut présenter des noyaux différents dont certains sont radioactifs ; Ce sont des radionucléides (ou isotopes radioactifs).

2) Les rayonnements

Lorsqu'un atome radioactif se désintègre, il peut émettre différents types de rayonnements. Ces rayonnements sont susceptibles d'arracher des électrons aux atomes de la matière qui les reçoit, c'est à dire d'ioniser cette matière. Il existe plusieurs types de rayonnement dits « ionisants ».

- Les rayonnements alpha constitués par un flux de noyaux d'hélium (formés de deux protons et de deux neutrons) ; Ils sont très gros et peuvent être arrêtés par une simple feuille de papier ;
- Le rayonnement bêta, constitués par un flux d'électrons, plus petits que des noyaux d'hélium, ils sont plus difficiles à arrêter : une feuille d'aluminium ou une paroi de verre ou de plexiglas.
- Les ondes électromagnétiques X et gamma ; comme indiqué, ce sont des ondes, non des particules. Elles traversent très facilement la matière et les plus énergétiques ne sont arrêtées que par de grosses épaisseurs de plomb ou de béton.



Le ou types de rayonnements sont des caractéristiques invariablement liées à chaque radionucléide. Chacun peut émettre de manière statistique plusieurs types de rayonnements de différentes énergies.

3) L'activité : les becquerels (Bq)

L'activité d'un radionucléide se caractérise par le nombre de désintégration qu'il produit par seconde ($1\text{Bq} = 1$ désintégration par seconde). Ce nombre étant proportionnel au nombre d'atomes radioactifs, l'activité d'un radionucléide correspond à la quantité de ce radionucléide. Pour quantifier les rejets radioactifs d'une installation nucléaire, le becquerel étant une unité très petite, on utilise des multiples : le kilo-becquerel, le méga-becquerel, le giga-becquerel, le Téra-becquerel.

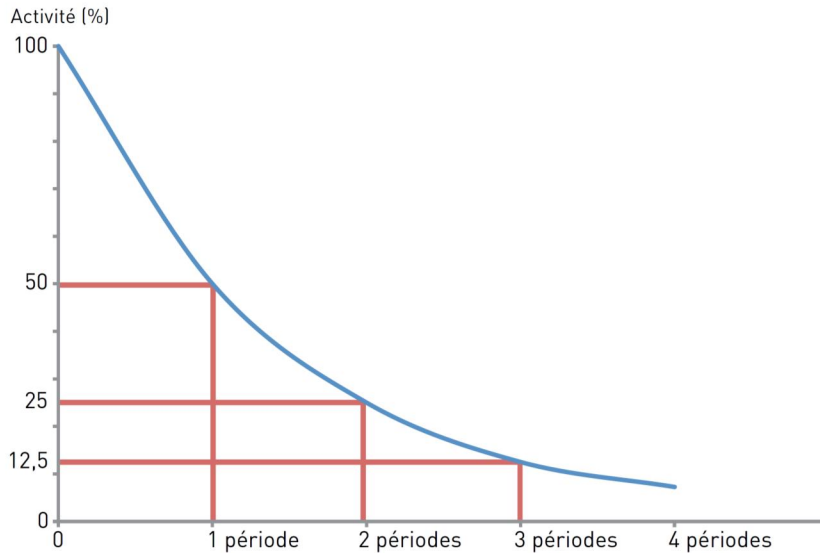
Dans l'environnement, l'activité est souvent rapportée à une masse ou un volume. L'activité volumique (Bq/L ou Bq/m^3) ou l'activité massique (Bq/kg) d'un radionucléide dans un échantillon de matière est une façon d'exprimer la teneur (ou la concentration) de ce radionucléide dans l'échantillon. Les activités dans l'environnement sont souvent très faibles et on utilise des sous-multiples : par exemple, milli-becquerel par kilogramme, micro becquerel par mètre cube $\mu\text{Bq/m}^3$...

4) La période radioactive

La désintégration d'un atome entraîne soit la formation d'un autre atome radioactif (d'un autre radionucléide), soit la production d'un atome stable (non radioactif). Elle entraîne la diminution de l'activité du radionucléide considéré selon une loi de décroissance exponentielle.

La période radioactive (ou demi-vie) d'un radionucléide est le temps nécessaire pour que l'activité (le nombre de becquerels) d'un radionucléide soit réduit de moitié.

Elle varie suivant le radionucléide d'une fraction de seconde à des milliards d'années.



5) Les modes d'exposition

Il existe deux principaux modes d'exposition aux rayonnements ionisants. L'exposition externe et l'exposition interne :

a) Exposition externe

Si la personne est exposée à une source de rayonnement qui lui est extérieure, l'exposition est externe. Cette exposition concerne essentiellement les radionucléides émetteurs gamma ou X car ces rayonnements ont un long parcours dans l'air et peuvent pénétrer profondément dans l'organisme. Elle est faible pour les radionucléides émetteurs alpha purs ou pour les émetteurs bêta purs de faible qui sont arrêtés par la peau.

L'exposition externe dépend essentiellement du type de rayonnement, de l'activité de la source, du temps d'exposition et de la distance par rapport à la source. Elle diminue très vite avec l'éloignement et cesse si l'on s'en écarte suffisamment.

b) Exposition interne

Si le radionucléide pénètre dans l'organisme par inhalation ou ingestion, l'exposition est interne. Cette exposition va persister jusqu'à ce que le radionucléide disparaisse par décroissance radioactive ou soit éliminé par l'organisme. Cette élimination peut être très rapide (cas du tritium éliminé avec l'eau) ou très longue (cas du plutonium qui se fixe notamment dans les os).

Cette exposition est particulièrement pénalisante pour les émetteurs alpha dont le rayonnement très énergétique percute les cellules des tissus vivants situées à proximité immédiate de l'endroit du corps où ils se sont fixés.

6) Effets biologiques sur la santé humaine.

En y cédant leur énergie, les rayonnements ionisants endommagent les tissus de l'organisme. Ces dommages et leurs conséquences dépendent de la nature du rayonnement, de son énergie et du devenir du radionucléide lorsqu'il est ingéré ou inhalé.

Les effets des rayonnements ionisants sur l'organisme varient en fonction de la dose reçue et de différents facteurs : la source (activité ou intensité de fonctionnement, nature énergie...), le mode d'exposition (temps, débit...) et la cible (tissus ou organes touchés, âge de l'individu...).

Il existe deux types d'effets biologiques

Les effets immédiats (ou déterministes) : Une forte irradiation par des rayonnements ionisants provoque des effets immédiats sur les organismes vivants comme, par exemple, des brûlures plus ou moins importantes. En fonction de la dose et selon l'organe touché, le délai d'apparition des symptômes varie de quelques heures (nausées, radiodermites) à plusieurs mois. Des effets secondaires peuvent même être observés des années après une irradiation (fibroses, cataracte).

Les effets à long terme (effets aléatoires ou stochastiques) : Les expositions à des doses plus ou moins élevées de rayonnements ionisants peuvent avoir des effets à long terme sous la forme de cancers et de leucémies. La probabilité d'apparition de l'effet augmente avec la dose. Le délai d'apparition après l'exposition est de plusieurs années.

Il est à noter qu'une pathologie radioinduite n'a pas de signature particulière : il n'existe pas de marqueur biologique permettant de différencier, par exemple, un cancer pulmonaire dû au tabac, d'un cancer pulmonaire radio-induit.

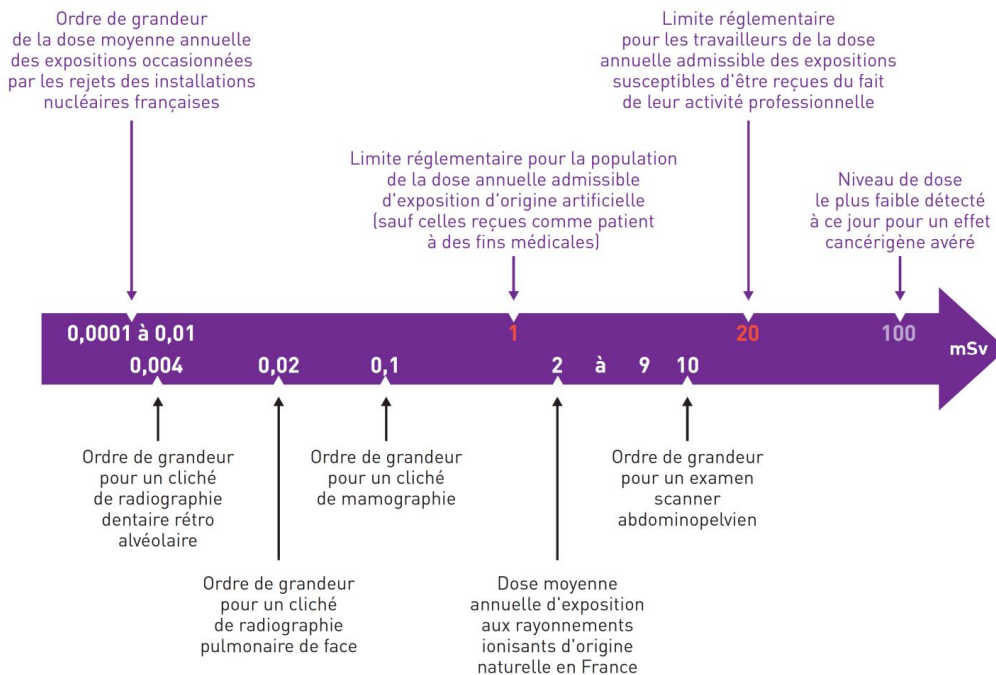
7) La dose : le Sievert

L'estimation de la dose efficace permet de quantifier et de comparer les différentes expositions auxquelles peuvent être soumis une personne en prenant en compte les spécificités des radionucléides, de leur rayonnement ainsi que des organes exposés. La dose efficace s'exprime en Sievert (Sv) et constitue un indicateur de risque sanitaire spécifique aux expositions aux rayonnements ionisants. Celui-ci peut être mis en regard de l'excès de risque individuel (ERI) applicable aux substances chimiques sans seuil.

Les dispositions relatives à la protection des populations contre le danger des rayonnements ionisants sont fixées par le code de la santé publique.

La réglementation nationale de la santé publique et du travail fixe, pour le public et les travailleurs, des limites de doses individuelles annuelles cumulées admissibles (hors radioactivité naturelle) :

- Pour le public, la limite de la dose efficace, par exemple, est fixée à 1 mSv/an
- Pour les travailleurs, cette limite est fixée à 20 mSv/an



Les radionucléides présents dans l'air se déposent sur les sols et les sédiments, migrent dans les chaînes alimentaires et peuvent atteindre l'homme. Les particules et les gaz radioactifs présents dans l'air délivrent une dose à l'homme par irradiation externe, mais également par irradiation interne pour les particules inhalées (aérosols).

8) Les modes d'exposition à la radioactivité environnementale

a) La contamination de l'atmosphère

La contamination de l'atmosphère résulte de la dispersion dans l'atmosphère de gaz radioactif. Le gaz a tendance à se disperser et à se diluer dans l'air ambiant en fonction des conditions météorologiques. Les particules ou gaz lourds retombent aux environs immédiats du point d'émission.

Cette contamination entraîne une exposition externe due au passage du nuage, une exposition externe due aux dépôts sur le sol et une irradiation interne liée à l'inhalation des radionucléides lors du passage du nuage.

La contamination de l'atmosphère est également à l'origine d'une contamination des sols, et des eaux.

b) La contamination des sols et des eaux

Elle résulte du dépôt sur les sols d'aérosols ou de gaz radioactifs plus lourds que l'air, de la dispersion de liquides radioactifs ou de la solubilisation de substances radioactives solides.

c) La contamination des chaînes alimentaires

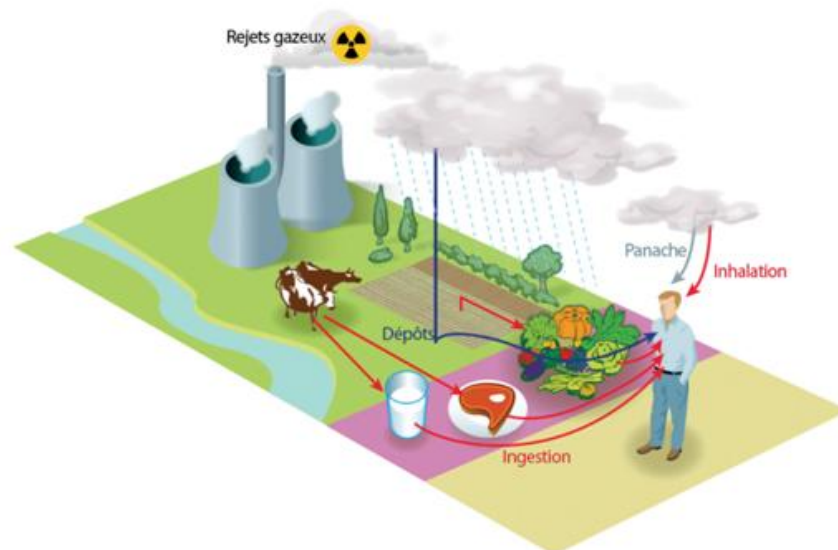
La dispersion dans l'environnement de radionucléides entraîne un risque de contamination des chaînes alimentaires constituées de séries d'espèces végétales et animales qui se nourrissent les unes des autres.

Les principales voies de transfert d'une étape à une autre dans une chaîne alimentaire sont :

L'eau de boisson qui peut être directement contaminée par dépôt ou indirectement par infiltration ou ruissellement.

Les végétaux contaminés par dépôts sur les parties aériennes ou indirectement à la suite de pollution du sol, qui sont broutés par le bétail ; l'homme se contamine en consommant le lait, la viande ou les légumes contaminés.

Les activités trouvées en France dans les produits alimentaires en situation normale ne présentent aucun risque pour la santé des populations.



II. Caractérisation du site

1) Présentation de PETNET Solutions

Présentation PETNET SOLUTIONS

PETNET Solutions est une société américaine créée au milieu des années 90

PETNET Solutions a été rachetée par SIEMENS au début des années 2000 avec la société CTI (Production des cyclotrons Eclipse)

PETNET solutions est une société spécialisée dans la réalisation de molécules radio-pharmaceutiques marqués avec du fluor-18 qui sont destinés aux services de médecine nucléaire pour la réalisation des examens TEP (tomographie à émissions de positons).

La production sur le site de LISSES a démarré en septembre 2011 par la production du METATRACE FDG.

Depuis, d'autres produits sont fabriqués pour répondre aux besoins des services nucléaires pour des indications variées :

- Oncologie
 - Diagnostique, recherche de tumeurs malignes
 - Stadification
 - Suivi de la réponse thérapeutique
 - Détection des récidives
- Neurologie
- Cardiologie

Le réseau de PETNET est composé de 53 sites production dans le monde :

- 46 aux USA
- 2 au Royaume-Uni
- 3 en Corée
- 1 en Australie
- 1 en France

Pour la fabrication des radio-pharmaceutiques, le site de LISSE est équipé de deux cyclotrons, d'automates synthèses, d'un laboratoire de production équipés d'enceintes plombées et d'équipements pour la réalisation du contrôle qualité.

Les fabrications se déroulent entre 00h00 et 12h00, à l'issue du processus de fabrication, les doses sont expédiées tôt le matin aux hôpitaux.

Chaque jour, PETNET délivre environ 160 doses aux différents hôpitaux situés dans un rayon de 300 km autour du site.

2) Caractéristiques des rejets atmosphériques

Le site de PETNET Solutions à Lisses peut produire différents radiopharmaceutiques. Selon le type de production, les rejets atmosphériques peuvent être plus ou moins élevés. Trois différents profils de rejets sont constatés : Les rejets plutôt élevés : jusqu'à 8 GBq par production, les productions à rejets moyens soit environ 250 MBq par production et enfin les productions à rejets faible ou très faibles : 15 MBq par production. Suivant l'activité actuelle de PETNET Solutions, ces productions représentent respectivement environ 92%, 6% et 2% des rejets, soit environ 900GBq au total.

Le radionucléide considéré est exclusivement le fluor-18. Il s'agit d'un émetteur bêta + (à 97%) d'énergie 634 keV induisant l'émission de deux photons gamma de 511 keV. Sa période radioactive est de 109,77 minutes.

Quelque soit la production, les molécules rejetés sont de petite taille (estimée < 1 µm). Leurs vitesses d'absorption pulmonaire propre étant inconnues (non décrites dans les fiches FDS des produits non-radioactifs), la vitesse la plus pénalisante (vitesse la plus lente) est considérée pour les calculs. Etant donné les quantités de produits rejetés (de l'ordre de la picomole), le risque chimique lié à ces produits peut être totalement négligé ; le risque radiologique seul est donc considéré.

III. Méthodologie de l'étude d'impact

1) Objectifs

L'objectif est l'évaluation quantitative des risques sanitaires (conséquences éventuelles de l'activité sur la santé des populations) liés à l'activité de la société PETNET Solutions, site de Lisses.

Elle a pour but de conclure quant à un éventuel effet sur la santé imputable à l'activité de production de molécules fluorées (émissions atmosphériques associées de ¹⁸F), vis-à-vis de l'homme (population sensible).

2) Méthodologie

Cette évaluation a été réalisée

- En adaptant la méthodologie « Evaluation des risques sanitaires dans les études d'impact des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement – Substances chimiques ».

- Sur la base des données disponibles dans l'arrêté du 1er septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants.

- Sur la base du livre « Calcul de doses générées par les rayonnements ionisants, principes physiques et codes de calcul » de Alain Vivier et Gérard Lopez et du logiciel DOSIMEX-V2.0

Les étapes constituant la démarche d'évaluation des risques pour la santé sont les suivantes :

- Description de l'environnement du site : cette étape consiste à cadrer la zone d'étude et effectuer un bilan des données existant au niveau de cette zone (types d'occupations du sol, populations concernées, activités humaines, etc....).
- Evaluation des niveaux d'exposition : Elle comprend notamment le choix des voies d'exposition retenues, la définition des scénarios d'exposition et le calcul, pour les populations cibles, des quantités de polluants absorbées sous la forme d'une dose d'exposition.
- Estimation du risque sanitaire : elle consistera à comparer la dose efficace totale annuelle générée par l'établissement à la valeur limite d'exposition définie par la réglementation et au niveau ambiant mesuré dans l'environnement de l'établissement.

3) Zone d'étude

a. Lieux retenus

Dans cette étude une distance maximale de 1km en tout point de l'entreprise PETNET solution à été choisie. En effet, dans un premier temps, il est démontré dans l'étude que dans tous les cas météorologiques, la dose maximale pouvant être intégrée du fait des rejets liés à l'entreprise était située entre 100 et 250m du point de rejet. De plus, étant donnée la situation urbaine, certaines catégories de populations sont situées à une distance minimale de 500m (zone pavillonnaire, écoles...). Seul un établissement recevant du public est situé en deçà des 500m. Il s'agit de l'hôtel Mercure situé dans la zone [250m – 500 m].

b. Description de la zone urbaine

Dans cette étude une distance maximale de 1km est prise en compte avec plusieurs zones considérées : Les 50 mètres, entre 50 et 100 mètres, entre 100 et 250 mètres, entre 250 et 500 mètres et enfin entre 500 et 1000 mètres.

La zone urbaine est répartie comme suis :

Distance au point de rejet	Type d'urbanisme
50m	Parking, Sociétés
[50-100m]	Parkings, Routes (A6), Sociétés
[100-250m]	Parkings, Routes (A6), sociétés
[250-500m]	Parkings, Routes (A6), Sociétés, ERP type O (hôtel mercure), ERP autres types (Logistic S Boc, MT France, Metro)
[500-1000m]	Parkings, Routes (A6, N104), Sociétés, ERP tous types, habitations (zone pavillonnaire)

4) Exposition considérée

a) Exposition externe due au passage du panache

La protection pouvant être apportée par les habitations vis-à-vis de cette voie d'exposition est négligée. Les coefficients de dose proviennent du rapport Federal Guidance (*External exposure to radionuclides in air, water and soil. Deferral guidance report 12-EPA 402-R-93-081, 1993*)

b) Exposition interne par inhalation

Cette exposition résulte de l'activité inhalée durant le passage du panache. Les débits respiratoires utilisés sont calculés à partir des volumes d'air inhalés quotidiennement indiqués dans la CIPR 66. Les coefficients de dose utilisés pour le calcul des doses efficaces par inhalation proviennent de l'arrêté du 1^{er} septembre 2003.

c) Exposition externe due aux dépôts sur le sol

Les dépôts sur le sol résultent de mécanismes de diffusion, impaction et sédimentation sur la surface du sol par temps sec, et du lavage de l'atmosphère par temps de pluie. Ces facteurs combinés avec les paramètres de diffusion (hauteur du rejet, vitesse du vent, écart-type de diffusion verticale) permettent d'évaluer les coefficients d'appauvrissement des constituants du panache ainsi que les dépôts au sol.

d) Exposition interne par ingestion

Toutes les installations étudiées étant situées en agglomération urbaine, il n'y a pas de consommation de productions agricoles d'origine locale. Dans les zones pavillonnaires, la présence de potagers peut être envisagée. Cependant, l'exposition résultante est négligeable vis-à-vis des autres voies d'expositions externes et internes.

Etant donné la période du fluor-18 et le temps nécessaire à la mise à disponibilité de ces produits, la contamination des sols, des eaux, et des végétaux est transitoire et n'entraîne aucun transfert à l'homme ou à l'animal.

IV. Situation initiale

1) Références

a) Le réseau national de mesure de la radioactivité

Le réseau national est développé sous l'égide de l'autorité de Sûreté nucléaire. Sa gestion en a été confiée à l'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN). Les autres acteurs du réseau comprennent des représentants des principaux ministères concernés, des agences sanitaires, des instituts publics, des industriels du nucléaire et des associations de protection de l'environnement et des consommateurs.

Le réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement a pour mission de contribuer à l'estimation des doses dues aux rayonnements ionisants auxquels la population est exposée et à l'information du public. Pour atteindre cet objectif, le réseau national rassemble et met à la disposition du public :

- Des résultats de mesures de la radioactivité de l'environnement ;
- Des documents de synthèse sur la situation radiologique du territoire et sur l'évaluation des doses dues aux rayonnements ionisants auxquels la population est exposée.

Les données sont accessibles à l'adresse suivant : <http://www.mesure-radioactivite.fr>. En particulier un rapport de mission concernant le bilan de l'état radiologique de l'environnement français de juin 2011 à décembre 2014 apporte la plupart des informations nécessaire à l'évaluation de la situation radiologique initiale de la région considérée.

b) L'arrêté du 1^{er} septembre 2003

Définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants.

Cet article définit toutes les modalités devant être prises en compte pour l'estimation de la dose efficace attribuée à toute personne. Ces modalités tiennent compte des méthodes de calcul, les modes d'exposition et de l'âge de la personne exposée considérée.

2) Dose efficace liée aux rayonnements

Les balises du réseau Télecay de l'IRSN mesurent en permanence les débits de dose dans l'air extérieur en France. Ce débit de dose résulte d'une part du rayonnement tellurique qui dépend de la nature du sous-sol et d'autre part du rayonnement cosmique qui augmente avec l'altitude, la couche d'air atténuant ce rayonnement.

En France métropolitaine, le débit de dose dans l'air moyen extérieur est de 90nSv/h, les valeurs départementales fluctuant entre 45 et 210 nSv/h. Les valeurs mesurées les plus faibles sont typiques du bord de mer et des grands bassins sédimentaires (bassin parisien et aquitain 50 et 61 nSv/h respectivement). A l'opposé, dans le massif central, le massif armoricain et les Vosges, les débits de dose dans l'air sont les plus élevés (135 nSv/h dans le Morbihan, 140 nSv/h en Corrèze).

L'évaluation de la dose externe issue majoritairement des rayonnements cosmiques et tellurique est effectuée sur la base des résultats de la sonde d'EVRY située à environ 5 km de la commune de LISSES. Le dernier relevé datant du 31 Juillet 2016 indique un débit de dose de 72 nSv/h. soit **une dose annuelle de 630 µSv.**

Il est à noter que la protection apportée par les bâtiments est négligée dans cette étude.

3) Dose efficaces par inhalation

La majorité de la dose incorporée par inhalation est liée au radon (^{222}Rn) s'accumulant dans les espaces confinés. La concentration en radon dans les bâtiments varie selon la localisation, la nature des sols et roches sous jacents mais également selon le type et le mode de construction du bâtiment, ainsi que les habitudes de vie des occupants.

La concentration moyenne en radon dans les habitats de France métropolitaine est d'environ 60 Bq/m³, ce qui correspond à une dose moyenne correspondante de 1,43 mSv/an. La plupart des régions de France présentent un niveau de concentration inférieur à 150Bq/m³ avec cependant quelques régions très localisées pour lesquelles les seuils dépassent 400Bq/m³ (Massif centrale, Vosges, Corse de l'ouest et Armorique).

Le département de l'Essonne est situé dans une région très peu exposée avec des niveaux moyens situés autour de 50-60 Bq/m³. La dose moyenne attribuée à l'inhalation du radon à Lisses est donc d'environ **1,4 mSv/h.**

4) Dose efficace par ingestion

La dose efficace moyenne liée à l'incorporation de radionucléides naturels liée à l'ingestion de denrées et au tabagisme est estimée à 0,55 mSv/an. Cette dose ne varie pas en fonction de la région mais des habitudes de consommation de chacun, en particulier de poissons ou fruits de mer et du tabac, dans une gamme allant de 0,4 mSv/an pour les personnes ne consommant pas ces produits et jusqu'à plus de 3.1 mSv/an pour celles en consommant de façon importante.

La part de radionucléides incorporés à la suite de l'ingestion d'eau de boisson peut être très variable en fonction du type d'eau consommé (eau du robinet ou eau en bouteille). Cependant, pour un adulte elle dépasse rarement les 100 µSv/an.

La dose efficace totale moyenne attribuée à l'ingestion de radionucléide peut donc être évalué à **0,65 mSv/an** pour un adulte.

5) Dose efficace totale par an

Considérant les modes d'exposition décrits précédemment, la dose totale incorporée pour un adulte vivant à Lisses peut être évaluée à environ **2,70 mSv/an**.

Etant donné les difficultés à évaluer chaque dose moyenne séparément, notamment du fait des habitudes propres à chacun et des nombreux radionucléides différents présents notamment dans la nourriture et la boisson, la dose efficace moyenne n'a pas été évaluée pour les différentes catégories de populations (enfants, adolescents...). Il est cependant à noter que les coefficients appliqués pour ces populations entraînent des doses naturelles supérieures à celle incorporées par les adultes.

Ainsi, les doses annuelles pour un adulte étant plus faibles, l'impact apporté par les rejets atmosphériques de l'entreprise PETNET Solutions sera le plus pénalisant pour chaque catégorie de population.

V. Evaluation

Ce chapitre, relatif aux impacts sur la santé doit viser spécifiquement les effets potentiels des éventuels polluants sur la santé publique. Il concerne donc exclusivement les tiers situés dans l'environnement du site et non le personnel associé aux activités de PETNET Solutions pour lesquels la protection de la santé est encadrée par le Code du Travail.

1) Hypothèses de calculs

Les hypothèses et méthodes de calcul sont les suivantes :

- Modèle de dispersion : Doury
- Diffusion normale ($\Delta T > 0.5^\circ\text{C}/100\text{m}$)
- Hauteur de cheminée : 0 m (worst case permettant de tenir compte des effets de rabattement du panache)
- Temps de présence de la population : 24h/24

Les coefficients de dispersion CTA sont calculés via le logiciel DOSIMEX V2.0. Les distances de 50, 100m, 250m, 500m et 1km sont considérées avec pour chacune, des vitesses de vents de 1.5m/s, 3m/s, 5.5m/s et 8m/s.

Les activités volumiques et surfaciques sont calculées en utilisant les formules décrites dans le livre « calculs de doses générées par les rayonnements ionisants » avec les constantes suivantes :

- Temps de rejet : 1h pour 8GBq, 250MBq ou 14 MBq
- Vitesse de dépôt sec : 0.001 m/s
- Taux de lavage : 0.0001 (s⁻¹)

Les doses efficaces sont calculées sur la base du « Federal Guidance Report » pour les expositions externes et sur la base de l'arrêté du 1^{er} septembre 2003 pour l'exposition interne par inhalation. Les constantes suivantes sont utilisées :

- Immersion dans le nuage : $1,764 \cdot 10^{10}$ (Sv/h)/(Bq/m³)
- Dépôt au sol : $3,636 \cdot 10^{-12}$ (Sv/h)/(Bq/m³)
- DPUI et débits respiratoires :

Age de la population	<1 ans	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	adulte
DPUI par inhalation (Sv/Bq)	$4,2 \cdot 10^{-10}$	$3,1 \cdot 10^{-10}$	$1,5 \cdot 10^{-10}$	$1,0 \cdot 10^{-10}$	$7,3 \cdot 10^{-11}$	$5,9 \cdot 10^{-11}$
Débit respiratoire (m ³ /h)	0.1192	0.2150	0.3633	0.6375	0.8375	0.9250

La dose totale est calculée pour le rejet maximum d'une production (8GBq) puis pour la totalité de l'année (900GBq). La dose reçue à l'année est répartie selon les conditions météorologiques en tenant compte de la rose des vents du site d'ORLY (situé à 15km de LISSES) et du nombre de jours de pluie par an dans l'Essonne (160 jours).

2) Résultats

a) Dose pour un rejet de 8 GBq

Les calculs sont réalisés pour un rejet unique de 8GBq dans les conditions météorologiques les plus défavorables.

- Dose à 50m

Age	<1 ans	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Dose totale maximum	5,06 µSv	5,36 µSv	5,14 µSv	5,31 µSv	5,26 µSv	5,14 µSv

- Dose à 100m

Age	<1 ans	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Dose totale maximum	1,66 μ Sv	1,75 μ Sv	1,69 μ Sv	1,74 μ Sv	1,72 μ Sv	1,68 μ Sv

- Dose à 250 m

Age	<1 ans	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Dose totale maximum	0,40 μ Sv	0,42 μ Sv	0,40 μ Sv	0,42 μ Sv	0,41 μ Sv	0,40 μ Sv

- Dose à 500m

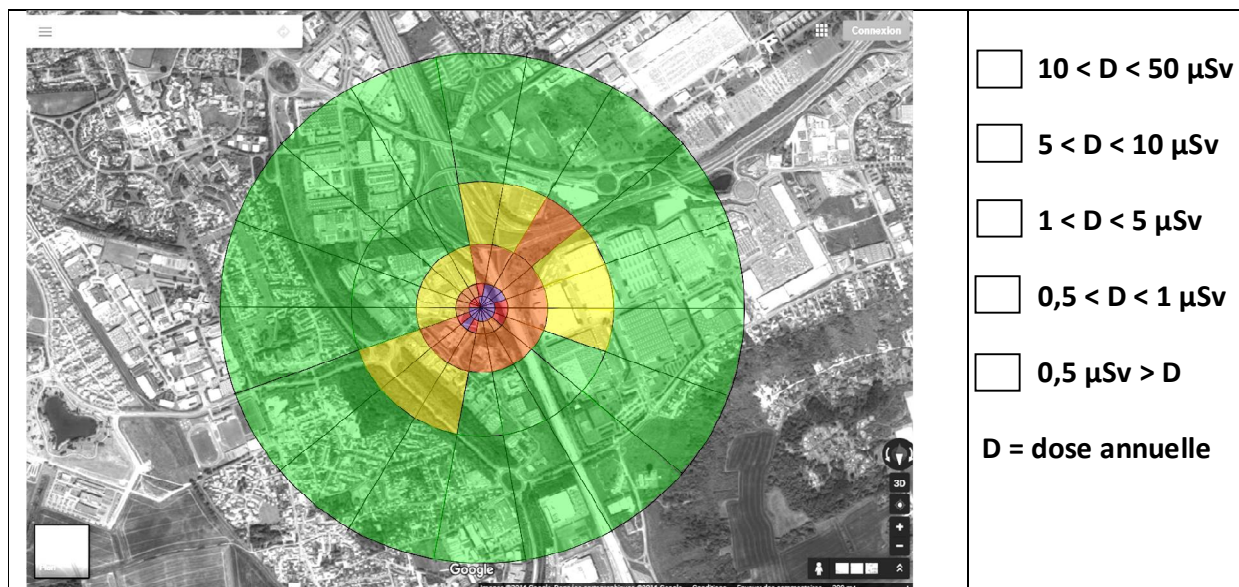
Age	<1 ans	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Dose totale maximum	0,14 μ Sv	0,15 μ Sv	0,14 μ Sv	0,15 μ Sv	0,15 μ Sv	0,14 μ Sv

- Dose à 1km

Age	<1 ans	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Dose totale maximum	0,05 μ Sv	0,05 μ Sv	0,05 μ Sv	0,05 μ Sv	0,05 μ Sv	0,05 μ Sv

b) Dose annuelle

D'après les données météorologiques, les deux zones géographiques les plus impactées se trouvent au Nord-est de la société ainsi qu'au Sud-ouest. La dose annuelle est calculée d'après les statistiques météorologiques en termes de jours et de quantités de pluie, vitesse et provenance du vent.



Les doses maximales annuelles sont les suivantes :

Age	<1 an	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
A 50m	38,7 μSv	41,0 μSv	39,3 μSv	40,6 μSv	40,3 μSv	39,3 μSv
A 100m	12,5 μSv	13,3 μSv	12,7 μSv	13,2 μSv	13,0 μSv	12,7 μSv
A 250m	3,0 μSv	3,1 μSv	3,0 μSv	3,1 μSv	3,1 μSv	3,0 μSv
A 500m	1,0 μSv	1,0 μSv	1,0 μSv	1,0 μSv	1,0 μSv	1,0 μSv
A 1000m	0,3 μSv	0,4 μSv	0,3 μSv	0,4 μSv	0,4 μSv	0,3 μSv

3) Impact sur la population

Etant données les faibles différences pour les différentes catégories de population, l'impact maximal est déterminé pour un adulte situé en permanence au Nord-est du site de PETNET Solutions. L'impact est calculé à la fois par rapport à la dose naturelle et par rapport à la dose autorisée par la réglementation.

Impact par rapport à la dose naturelle (2700 μSv/an)				
A 50 m	A 100m	A 250m	A 500m	A 1000 m
1,5 %	0,5 %	0,1 %	0,04 %	0,01 %
Impact par rapport à la dose non-naturelle autorisée (1000 μSv/an)				
A 50 m	A 100m	A 250m	A 500m	A 1000 m
3,9 %	1,3 %	0,3 %	0,1 %	0,03 %