

PREMIER MINISTRE  
COMMISSARIAT A  
L'ÉNERGIE ATOMIQUE

Le choix des sites considéré dans ses  
rapports avec les problèmes de rejets  
d'effluents radioactifs

par

F. DUHAMEL

Rapport CEA n° **1553**

1960

CENTRE D'ÉTUDES  
NUCLÉAIRES DE SACLAY  
SERVICE DE DOCUMENTATION  
Boite postale n° 2 - Gif-sur-Yvette (S.-et O.)

CEA 1553 - DUHAMEL Francis.

**Le choix des sites considéré dans ses rapports avec les problèmes de rejets d'effluents radioactifs (1960).**

**Sommaire.** — L'auteur de ce rapport montre clairement que la connaissance du comportement des effluents jointe à l'analyse des risques d'accident permettent de dégager les caractéristiques générales d'un site en fonction d'une part, des données géologiques et météorologiques, d'autre part des installations projetées.

La considération du milieu biologique permet de préciser l'étude sitologique et d'effectuer un choix entre plusieurs sites donnés.

L'auteur met en évidence la nécessité absolue pour les spécialistes de la radioprotection d'échanger leurs connaissances, d'établir des règlements et de coopérer avec les autorités responsables des installations depuis le choix des sites et le projet des appareillages jusqu'au rejet ultime des résidus.

---

CEA 1553 - DUHAMEL Francis.

**The choice of sites considered with respect to problems of radioactive waste disposal (1960).**

**Summary.** — The author of this article shows clearly that a knowledge of the behaviour of wastes together with an analysis of the risks of accidents makes it possible to define the general characteristics of a site as a function of, on the one hand the geological and meteorological factors, and on the other, the proposed installations.

Consideration of the biological environment makes it possible to clarify the sitological study and to make a choice between the several sites possible.

The author shows the real necessity for radio-protection specialists to share their knowledge, to establish regulations, and to cooperate with the authors responsible for the installations, from the moment of the choice of the site and of the planning of the apparatus up to the final reject of the waste.

# VI RASSEGNA INTERNAZIONALE ELETTRONICA E NUCLEARE

---

FRANCIS DUHAMEL

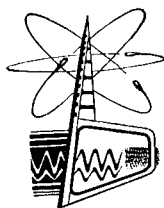
*Commissariat à l'énergie atomique - Chef du Service de Contrôle  
des Radiations et de Génie Radioactif (France)*

## **Le choix des sites considère dans ses rapports avec les problèmes de rejets d'effluents radioactifs**

*ESTRATTO DAGLI ATTI UFFICIALI  
DEL CONGRESSO SCIENTIFICO*

**SEZIONE NUCLEARE**

**16 - 20 Giugno 1959**



**R O M A**

**PALAZZO DEI CONGRESSI - E. U. R.**

Segreteria : VIA DELLA SCROFA, 14 - TELEF. 656.343 - 4 - 5

---

FRANCIS DUHAMEL

*Commissariat à l'énergie atomique - Chef du Service de Contrôle  
des Radiations et de Génie Radioactif  
(Francia)*

LE CHOIX DES SITES CONSIDERE DANS SES RAPPORTS  
AVEC LES PROBLEMES DE REJETS D'EFFLUENTS  
RADIOACTIFS

## I — PRINCIPAUX PARAMETRES DONT DEPEND LE CHOIX D'UN SITE.

La recherche nucléaire et les applications de l'énergie atomique ont nécessité la création de grands ensembles couvrant des superficies considérables. De tels « Sites atomiques » doivent satisfaire à des conditions spéciales.

En premier lieu, l'activité importante de ces grands ensembles exige que soient prévu des accès commodes pour le personnel, le matériel, les matériaux et les fluides. On évitera donc de les placer dans des régions au relief fortement accusé et on recherchera les grands axes de circulation.

En second lieu, on préférera les régions de peuplement facile car le recrutement et la gestion du nombreux personnel des centres en seront simplifiés.

De plus il arrivera souvent que l'évacuation des calories excédentaires, conséquence des transformations nucléaires fasse rechercher la libre disposition d'un débit d'eau important, et il sera fréquemment nécessaire de rechercher des sols dont la résistance mécanique soit particulièrement bonne pour faciliter la construction d'installations fortement bétonnées.

A ces quelques caractéristiques favorables à l'implantation et au fonctionnement d'un Site atomique on peut comparer celles qui résultent de la recherche des meilleures conditions de protection de la population contre les dangers des radiations. L'intérêt d'une telle comparaison provient du prix de revient élevé des installations ou des traitements qu'un choix judicieux du site permet d'améliorer ou même d'éviter. C'est ainsi que l'évacuation des effluents liquides

sera facilitée par l'existence d'une abondante alimentation en eau utilisée, par ailleurs, à l'évacuation des calories. Mais les caractéristiques hydrologiques que demandent la thermodynamique ou la protection contre les radiations ne sont pas identiques: par exemple, la salinité de l'eau gênera le refroidissement mais non les rejets tandis que son utilisation ultérieure n'aura d'importance que pour ces derniers.

Les qualités mécaniques du sol n'auront aucun intérêt particulier pour la protection mais les conditions de peuplement de la région influenceront fortement sur la conception des installations en vue de la protection des populations voisines. Il sera, à cet égard, préférable de se placer hors des zones de peuplement et à l'écart des grands axes de circulation, terrestres, maritimes, fluviaux ou aériens.

Le relief favorisera dans une certaine mesure la protection mais surtout il devra être tenu compte du régime des vents de manière à réunir les conditions les plus défavorables à une dissémination de la radioactivité en cas d'accident.

La création des sites atomiques pose donc des problèmes particuliers de compromis dus à la nécessité:

- d'une part, de grouper les installations dans des ensembles de grandes dimensions,
- d'autre part, de prendre dès le début des précautions contre les dangers d'irradiation et de contamination des populations vivant au voisinage.

Ces dangers d'irradiation et de contamination peuvent être répartis en deux catégories:

- les dangers permanents provenant du fonctionnement normal des installations,
- les dangers éventuels consécutifs à un accident.

Pour les premiers une définition précise peut être faite à tout moment, la prévision en est facile et la limitation en est assurée.

Pour les seconds, seules des hypothèses peuvent être faites ainsi qu'une évaluation des risques en fonction:

- des probabilités de l'accident et,
- de ses conséquences immédiates ou lointaines.

Nous examinerons successivement ces deux catégories de dangers : permanents ou accidentels.

## II --- DANGERS PERMANENTS.

Les dangers permanents qui résultent de l'existence et du fonctionnement des installations atomiques pour la population vivant à l'extérieur des centres proviennent uniquement du rejet d'effluents radioactifs. Aucun danger d'irradiation directe ne peut en effet menacer les populations, sauf dans des cas extrêmement particuliers comme par exemple le fonctionnement d'un très gros accélérateur de plusieurs milliards d'électrons-volts.

Mais dans ce cas néanmoins, les précautions peuvent et doivent être prises pour qu'aucun danger ne subsiste à cet égard. Dans tous les autres cas, seul le rejet d'effluents par voie gazeuse ou liquide peut atteindre la population.

Lors du rejet d'effluents gazeux, des précautions peuvent être prises pour qu'aucune contamination des populations ne soit possible. En effet, les filtres qui existent actuellement retiennent avec efficacité toutes les poussières radioactives qui peuvent être produites d'une manière normale dans les installations, qu'il s'agisse d'installations chimiques ou de Piles à gaz.

Si des ruptures de gaine sont admises en fonctionnement normal elles sont de faible ampleur et n'ont aucune conséquence appréciable sur la contamination de l'atmosphère.

Le seul danger continu résulte donc du passage de gaz radioactifs dans l'atmosphère et de ces gaz il faut retenir en pratique l'Argon. Celui-ci est en quantité appréciable et peut conduire à une irradiation des populations. Que le circuit de refroidissement de la Pile soit ouvert ou fermé, il y a toujours une perte d'Argon 41. En effet, si le refroidissement a lieu en circuit fermé il est assuré par un gaz qui contient de l'Argon à titre d'impureté. Cet Argon est partiellement rejeté à l'extérieur avec les fuites du circuit. Cependant, la contamination atmosphérique la plus importante est obtenue dans les piles dont le refroidissement est en circuit ouvert.

Une Pile comme G 1, à Marcoule, dont le flux est inférieur à  $2 \cdot 10^{12}$  neutrons / cm<sup>2</sup> / seconde et dont la puissance est d'environ 40 mégawatts, servant uniquement à réchauffer l'air de refroidissement, produit moins de 30 millicuries/seconde d'Argon 41. On peut calculer que l'irradiation moyenne de la population qui peut être ainsi obtenue est inférieure à la limite admissible pour la population, c'est-à-dire est inférieure à 10 mrem/semaine. Pour cela une cheminée de 100 mètres de hauteur a été construite, mais, en pratique, l'irradiation reste inférieure à 1/10 de L.M.A. en moyenne.

Les calculs qui président à l'élaboration des données techniques sont généralement établis d'après la formule de Sutton et cette formule a bien des fois montré non seulement qu'elle était valable, mais encore qu'elle conduisait à des valeurs pessimistes.

On peut dire que, dans tous les cas, les précautions nécessaires peuvent être prises pour que la population ne soit pas exposée du fait du rejet normal des effluents gazeux.

En fait, c'est le rejet des effluents liquides qui pose le plus de problèmes concernant le choix du site. En effet, dans ce domaine, des règles très strictes limitent la contamination des personnes et la contamination de la chaîne alimentaire.

Deux méthodes de rejet des eaux épurées sont pratiquement à considérer: ou bien le rejet dans une rivière dont le débit soit suffisant, ou bien le rejet dans le sol.

Le rejet en rivière exige une bonne dilution et assujettit l'activité rejetée par unité de temps au débit de la rivière: Une petite rivière de 10 m<sup>3</sup>/s ne permettra de rejeter par jour que quelques millicuries de produits de fission correspondant, en moyenne à quelques milligrammes d'Uranium irradié. Bien souvent l'aspect psychologique du problème conduira à éviter tout rejet. Aussi la distillation des effluents est-elle à recommander. Si on utilise correctement un tel procédé, il est possible d'admettre une quantité beaucoup plus considérable d'effluents à traiter puisque les facteurs de décontamination peuvent atteindre  $10^6$ .

En outre, il est possible de s'affranchir totalement des servitudes du rejet en rivière ou en eau stagnante si on peut rejeter dans le sol l'eau épurée par distillation. Pour cela il est nécessaire d'avoir



procédé au préalable à une sérieuse étude géologique, hydro-géologique et géochimique, du sol. Cette question est très importante et mériterait un grand développement, mais on peut être assuré qu'il existe de nombreux terrains favorables. A priori, les conditions favorables sont que la première nappe phréatique ne soit pas à moins de 10 mètres de la surface, affleure, à une certaine distance, en des points faciles à surveiller et que, au dessus de cette nappe, le terrain soit formé d'une ou plusieurs couches alluvionnaires aussi peu irriguées que possible ayant une bonne perméabilité et un certain pouvoir de rétention. L'étude géologique et hydrogéologique doit être faite avant le choix du site et doit donner à cet égard des conclusions favorables. L'étude géochimique peut être faite au moment où sont pratiqués les sondages nécessaires aux travaux de construction mais doit alors être faite avec des moyens importants pour donner des résultats valables avant que les implantations ne soient décidées.

Aucune norme n'existe sur la pollution du sous-sol mais on peut calculer la quantité totale à rejeter en connaissant :

- le sens et la vitesse de déplacement des ions dans le sol,
- la distance de la nappe et le déplacement de celle-ci,
- les périodes radioactives des éléments rejetés,
- les dimensions du sous-sol utilisable.

On tiendra compte de la concentration susceptible d'être obtenue au plus proche point de résurgence et on prendra de larges facteurs de sécurité pour tenir compte des risques d'inhomogénéité.

Les mêmes caractéristiques géologiques sont valables pour le stockage des résidus solides. En effet, dans ce cas, il faut craindre un lessivage du stock par les eaux de pluie pénétrant dans le sol. Celui-ci devra alors retenir la contamination qui aura pu être véhiculée.

On peut retenir qu'il est utile de disposer dans le site même d'une surface bien dégagée, éloignée si possible de la clôture du site et surplombant de quelques mètres au moins les lieux environnants, possédant des caractéristiques géologiques qui la mettent à l'abri de ruissellements importants et qui favorisent la fixation des ions radioactifs.

Les considérations sur le rejet des effluents liquides et sur le stockage définitif des résidus solides ou certains impératifs particuliers peuvent conduire à choisir un site maritime. Dans ce cas, une étude minutieuse de l'hydrographie côtière comportant des données très complètes sur les courants devra être effectuée en même temps qu'une étude sédimentologique et biologique.

Dans tous les cas, un contrôle systématique de l'eau, du sol, de la flore et de la faune devra être effectué pour vérifier l'absence de danger pour la population.

### III — DANGERS CONSECUTIFS A UN ACCIDENT.

Comme précédemment envisageons d'abord, pour l'éliminer, le danger d'irradiation directe sans contamination. En effet, les accidents susceptibles d'affecter un centre atomique ne peuvent intéresser suffisamment longtemps une quantité suffisante de matières fissiles pour provoquer une irradiation directe et notable à plus de quelques dizaines de mètres de leur origine. Nous pouvons aussi éliminer le danger de pollution par voie liquide à l'exception de quelques cas qui affectent le transport ou le stockage de liquides de très haute activité. Dans ces opérations, des précautions doivent être prises pour que le liquide ne puisse se répandre dans une voie d'eau.

Il faut donc éviter, dans la mesure du possible, les sites « flottants », dans lesquels la nappe phréatique affleure le sol. Si on ne peut l'éviter, le stockage devra être très soigné et comporter des cuves concentriques agencées de telle sorte qu'une fuite ne puisse entraîner un affaissement des cuves par affouillement du sol. Des sécurités rigoureuses devront accompagner les systèmes d'ouverture des vannes. Les bâtiments susceptibles de produire des effluents liquides très actifs devront comporter une semelle d'étanchéité particulièrement soignée. De cette manière la probabilité de l'accident devient tout à fait négligeable.

Les accidents les plus graves mettant en cause la protection des populations sont en fait les explosions ou les incendies, lorsqu'ils entraînent dans l'atmosphère, à une certaine hauteur, de grandes quantités de radioéléments. Examinons rapidement dans quels cas ils peuvent se produire.

Ces accidents peuvent être provoqués involontairement, soit par ignorance des phénomènes physiques, soit par inapplication des consignes, ou volontairement, par sabotage ou acte de guerre.

Nous avons tous présents à l'esprit la combustion des barreaux d'une pile au graphite. La gravité particulière d'un tel accident provient de ce que les matériaux contaminants empruntent la voie d'évacuation normale des effluents gazeux qui est préparée, précisément, pour faciliter la diffusion. Il faut donc toujours avoir la possibilité de fermer cette voie lorsque la pollution dépasse un certain seuil.

Un autre type d'accident du même genre est la destruction de filtres ayant recueilli d'importantes quantités de radioéléments. Il faut donc changer les filtres suffisamment tôt et les protéger d'une destruction éventuelle.

L'incendie peut avoir une origine non nucléaire et entraîner la dispersion de radioéléments, comme l'Iode, le Plutonium, dans la colonne de fumée créée par le feu. Aussi les radioéléments doivent-ils être toujours placés dans des récipients à l'épreuve du feu.

L'incendie peut être provoqué par l'arrêt d'un refroidissement (ventilation ou circulation d'un fluide quelconque). Dans ce cas il sera vraisemblablement impossible d'arrêter la combustion du matériau nucléaire et la parade consistera à confiner au mieux le matériau.

Une explosion peut disperser des matières radioactives mais la population ne sera atteinte que si elle est admise au voisinage de l'appareil ou si l'explosion prend des proportions exceptionnellement grandes. Par exemple l'explosion d'un mélange gazeux dans un hall, le bombardement d'une installation nucléaire ou le sabotage nucléaire amenant une augmentation brutale de la masse fissile.

L'explosion d'un réacteur peut survenir lorsque la période de divergence devient, pour une raison quelconque, trop courte eu égard au temps de réponse des systèmes de pilotage ou de sécurité. C'est notamment le cas lorsque la réactivité due aux neutrons différés devient insuffisante pour permettre le contrôle du réacteur.

Pour évaluer les probabilités attachées à ces différents risques il faut tout spécialement étudier l'indépendance des facteurs. C'est ainsi qu'une installation de ventilation de secours, par exemple, n'a d'in-

térêt que dans un certain domaine où sa mise en oeuvre est absolument sûre. La meilleure garantie sera donnée par deux ventilations fonctionnant toujours simultanément, possédant deux alimentations totalement indépendantes et servies par des personnels différents dans des locaux séparés, chacune d'elles étant suffisante pour l'ensemble. Malgré cela, si les gaines sont communes il subsiste encore un risque commun. C'est donc l'étude minutieuse de toutes les causes accidentelles détaillées qui permettra d'affecter à l'accident une probabilité valable.

L'étendue possible du sinistre devra faire l'objet d'une étude parallèle et les conséquences devront en être appréciées sur le plan économique, compte-tenu des réactions psychologiques prévisibles.

On peut dire, d'une manière générale, qu'il s'agira d'apprécier les conséquences de la dispersion dans l'atmosphère, à une hauteur  $h$ , d'une quantité  $q$  de produits radioactifs déterminés. Pour mener à bien l'étude il faut en outre définir des doses maxima correspondant aux différentes éventualités (les limites indiquées ont été proposées par Marley et Fry) pour un mélange de produits de fission.

- 1/ — limite inférieure pour la surveillance de la chaîne alimentaire (lait) en cas d'accident:  $10^{-4}$  curie/m<sup>2</sup>
- 2/ — limite inférieure pour la réglementation de la circulation des personnes:  $10^{-3}$  curie/m<sup>2</sup>
- 3/ — limite au delà de laquelle l'évacuation doit être prescrite:  $10^{-2}$  curie/m<sup>2</sup>
- 4/ — irradiation maximum des populations: 25 roentgens correspondant à l'irradiation directe par le nuage ou à « l'inhalation-irradiation » de 10 curie x seconde/m<sup>3</sup> (soit environ  $10^{-1}$  curie x jour/m<sup>3</sup>), ou à l'effet d'irradiation au sol de 0,1 curie x jour/m<sup>2</sup>.
- 5/ — contamination atmosphérique létale: 400 curie x seconde/m<sup>3</sup> soit environ  $4 \cdot 10^{-3}$  curie x jour/m<sup>3</sup>.

On peut escompter que le passage du nuage sera relativement rapide et que par conséquent les secours suivront ce passage. Le contrôle mobile devra donc viser à délimiter au plus tôt les zones de contamination superficielle.

Il faut enfin établir un certain nombre de situations météorologiques-types, représentant au mieux la climatologie du site. A ces situations peuvent être associées les valeurs numériques des paramètres de la formule de Sutton, comme l'ont montré les travaux de Holland, de Chamberlain etc.... et ceux de Stewart, Gale et Crooks.

On peut alors calculer la contamination intégrée dans l'air, les dépôts maximum sur le sol par temps sec et par temps pluvieux et l'irradiation totale produite par le passage du nuage radioactif. Nous donnons en annexe un exemple numérique établi par MM. Lavie et Doury. On peut voir que la même hypothèse conduit, dans des régimes de temps différents à des distances d'évacuation urgente, dans le lit du vent, de 1 Km pour un temps sec et instable à 7 Km pour un temps pluvieux et stable. La zone de surveillance du lait est beaucoup plus étendue et peut atteindre 400 Km, avec les mêmes hypothèses physiques mais des conditions météorologiques très défavorables.

Les évaluations peuvent être plus ou moins approchées selon les moyens d'étude dont on dispose mais la base indispensable est la connaissance des données météorologiques du site.

Cet examen rapide des conséquences d'un accident permet de comprendre l'importance de l'étude détaillée qui doit précéder le choix du site et les décisions d'implantations.

Signalons un procédé qui est susceptible d'intervenir dans le choix d'un Site comportant l'implantation d'une Pile atomique refroidie par le gaz carbonique.

Ce procédé qui est dû à une invention de Monsieur Louis DENIS est étudié en collaboration par le C. E. A. et l'industrie privée.

Il utilise un accumulateur de froid dont les masses froides sont maintenues en permanence à très basse température.

Dès qu'un incident se produit, la vidange du gaz carbonique peut être obtenue par la simple ouverture d'une vanne qui permet de régler la vitesse d'échappement du gaz.

Le gaz est alors stocké sous forme solide, et le réservoir reste sous dépression pendant toute la durée de la vidange.

Ensuite, le gaz peut être récupéré par distillation. Cette opération permet de l'épurer.

Ce dispositif sera utilisé sur la Pile EL 2 à SACLAY, à titre expérimental.

Les calculs montrent que pour une Pile comme EDF 1, la vidange totale du gaz carbonique peut être obtenue en moins de 10 min.

La puissance nécessaire à l'entretien du froid de l'accumulateur serait de l'ordre de 10 Kwatts.

Un tel dispositif est particulièrement avantageux sur les Sites où la population est relativement dense, et où existent des dangers d'inondations ou d'ébranlements sismiques.

Il faut signaler que ce dispositif est entièrement statique ce qui lui confère une exceptionnelle sécurité.

#### IV - CONCLUSION

La connaissance du comportement des effluents jointe à l'analyse des risques d'accident permet donc de dégager les caractéristiques générales d'un site en fonction

- des données géologiques et météorologiques,
- des installations projetées.

La considération du milieu biologique permet de préciser l'étude stétiologique et d'effectuer un choix entre plusieurs sites donnés. Mais bien souvent des considérations politiques ou économiques imposeront un choix en contradiction avec les conclusions de l'étude scientifique, étant donné que des précautions plus grandes peuvent être prises si des sacrifices financiers sont spécialement consentis.

Le problème doit en effet être, en dernier ressort, considéré sous son double aspect psychologique et financier, et l'énergie atomique doit, comme toute autre forme d'énergie, trouver sa place partout où elle s'avère utile et rentable. Nous ne sommes toutefois qu'au début de son avènement, nous manquons encore d'expérience pratique et de données scientifiques.

Aussi est-il indispensable de consacrer une somme d'efforts considérable à la solution du problème de l'atténuation des risques, en aménageant les projets d'installation et en déterminant un compromis entre les exigences de la recherche et celles de la protection. Pour cela il est absolument nécessaire que les spécialistes de la radioprotection échangent leurs connaissances, établissent des règles et coopèrent avec les autorités responsables des installations depuis le choix des sites et le projet des appareillages jusqu'au rejet ultime des résidus et la destruction des installations devenues inutilisables.

## A N N E X E

### EXEMPLE NUMERIQUE

#### a) Hypothèses:

— Pile à Uranium-Graphite - incendie partiel dû à la libération d'énergie Wigner d'un certain nombre de barreaux représentant 2 MW, soit après 3 mois de fonctionnement,  $2 \cdot 10^6$  curies de produits de fission totaux  $\beta + \gamma$  (après une heure de décroissance).

— Filtres arrêtant une partie des gaz (iodes, environ 10% de l'activité totale), et une partie des poussières (environ 40 % de l'activité totale), soit en tout 50 % de l'activité totale. Il reste dans ces conditions  $10^6$  curies de produits de fission totaux, correspondant à 1 MW après 3 mois de fonctionnement et une heure de décroissance.

— Émission à 30 mètres au-dessus du sol.

#### b) Étendue des zones menacées:

##### 1) Temps sec et instable avec un vent de 4 m/s

— 25 roentgens dus au nuage	: néant
— 400 curie xs/m <sup>3</sup>	: néant (dose léthale)
— 10 curie xs/m <sup>3</sup>	: 1,5 km (dose occasionnelle)
— 0,2 curie/m <sup>2</sup>	: 1 km (évacuation urgente)
— 10 <sup>-2</sup> curie/m <sup>2</sup>	: 6 km (évacuation nécessaire)
— 10 <sup>-3</sup> curie/m <sup>2</sup>	: 20 km (réglementation)
— 10 <sup>-4</sup> curie/m <sup>2</sup>	: 65 km (surveillance du lait)

2) Temps pluvieux et stable avec un vent de 5 m/s

--- 400 curie xs/m <sup>3</sup>	: néant (dose létale)
--- 10 curie xs/m <sup>3</sup>	: 3 km (dose occasionnelle)
--- 0,2 curie/m <sup>2</sup>	: 7 km (évacuation urgente)
--- 10 <sup>-2</sup> curie/m <sup>2</sup>	: 35 km (évacuation nécessaire)
--- 10 <sup>-3</sup> curie/m <sup>2</sup>	: 120 km (réglementation)
--- 10 <sup>-4</sup> curie/m <sup>2</sup>	: 400 km (surveillance du lait)

3) Temps sec et très stable avec vent faible et inversion modérée  
(+ 1,5°C/100 m)

— 25 roentgens dûs au nuage	: 2 km
--- 400 curie xs/m <sup>3</sup>	: entre 1 et 3 km (dose létale)
--- 10 curie xs/m <sup>3</sup>	: 32 km (dose occasionnelle)
--- 0,2 curie/m <sup>2</sup>	: 4 km (évacuation urgente)
--- 10 <sup>-2</sup> curie/m <sup>2</sup>	: 25 km (évacuation nécessaire)
--- 10 <sup>-3</sup> curie/m <sup>2</sup>	: 85 km (réglementation)
--- 10 <sup>-4</sup> curie/m <sup>2</sup>	: 300 km (surveillance du lait)