

**INTERPRETATION PHENOMENOLOGIQUE ET ANALYTIQUE DE LA RELATION PLUIE-
DEPOT UTILISEE POUR LA RECONSTITUTION DES DEPOTS DE ¹³⁷Cs EN FRANCE
CONSECUTIFS A L'ACCIDENT DE TCHERNOBYL**

**D. Champion, Ph. Renaud, J.M. Métivier, L. Pourcelot, L. Garcia-Sanchez, O. Isnard,
G. Linden et N. Lemaitre**

**Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
Direction de l'Environnement et de l'Intervention
31, rue de l'Ecluse – BP 35 – 78116 Le Vésinet Cedex**

CONTEXTE DE L'ETUDE

Rappel des travaux antérieurs

Quelques jours après l'accident de Tchernobyl, principalement entre le 1^{er} et le 5 mai 1986, la France était traversée par des masses d'air contenant notamment du ¹³⁷Cs sous forme d'aérosols, à des concentrations variables dans le temps et diminuant, en tendance générale, d'est en ouest. Deux mécanismes complémentaires, non exclusifs l'un de l'autre, ont entraîné le dépôt du ¹³⁷Cs au sol (incluant les surfaces végétales et le sol proprement dit) :

- le dépôt dit « sec », formé lorsque le radionucléide était présent dans l'air au contact de la surface et dont l'importance dépendait de sa concentration dans l'air à proximité du sol ;
- le dépôt dit « humide », formé lors des précipitations pluvieuses par chargement des gouttes de pluie en césium de l'atmosphère. A concentration atmosphérique égale, ce mécanisme a provoqué des dépôts beaucoup plus intenses que les dépôts secs, ainsi qu'une distribution différente de la contamination entre la surface des végétaux et le sol.

L'activité du ¹³⁷Cs dans le sol et la végétation immédiatement après l'accident de Tchernobyl résulte du cumul de ces deux mécanismes, ainsi que de la contamination rémanente provenant des essais atmosphériques d'armes nucléaires menés jusqu'en 1980, elle-même variable selon le lieu. Des facteurs particuliers (interception plus forte des polluants par le couvert forestier, effets de relief, d'impluvium naturel ou de fonte de névés) ont également entraîné des distributions hétérogènes très localisées.

Compte tenu de la variabilité des phénomènes en cause, il est certain que l'activité surfacique du ¹³⁷Cs mesurable dans les sols immédiatement après l'accident a été très hétérogène sur le territoire, même dans une région donnée. Décrire l'état initial de cette contamination avec précision aurait nécessité une forte densité de mesures d'activité du césium dans les sols immédiatement après l'accident. Malheureusement, un tel nombre de mesures n'existe pas en France et ne permet pas la réalisation d'une cartographie directe sur cette base.

En 2003, l'IRSN a présenté une reconstitution des dépôts de ¹³⁷Cs sur les sols en France, tenant compte de l'importance des pluies, fondée sur le constat d'une relation empirique entre l'activité surfacique mesurée dans les sols et la hauteur des précipitations pluvieuses entre le 1^{er} mai et le 5 mai 1986. Cette relation, établie dans une zone atelier située dans la basse vallée du Rhône, s'est révélée représentative des dépôts dans l'est de la France.

Cette relation empirique a été adaptée à l'ouest du 4° de longitude, pour tenir compte de la diminution de la contamination atmosphérique d'est en ouest, en se calant sur l'évolution en

fonction de la longitude des mesures d'activité volumique moyennes des aérosols entre le 1^{er} et le 3 mai 1986 effectuées par le SCPRI.

Au total, l'application de ces deux relations empiriques aux 3700 points, où ont été relevées quotidiennement les hauteurs de pluie entre le 1^{er} et le 5 mai 1986, a conduit à la carte des dépôts de ¹³⁷Cs présentée par l'IRSN en 2003.

Objectifs des travaux initiés en 2004

Dans le cadre d'une contribution à la mission confiée en août 2002 au Pr Aurengo par les ministres chargés de la santé et de l'environnement, l'IRSN a entrepris un travail d'interprétation analytique des relations pluie-dépôt utilisées en 2003, afin :

- de mieux prendre en compte les fluctuations dans l'espace et dans le temps de l'activité volumique du ¹³⁷Cs dans l'air, grâce au re-mesurage par spectrométrie gamma des filtres collectés jour par jour par le SCPRI durant le passage des masses d'air contaminées (filtres qui n'avaient jusqu'alors fait l'objet que d'une métrologie de l'activité β totale) ;
- d'intégrer les connaissances acquises par l'IRSN sur la rémanence des retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires dans les sols français ;
- de consolider la base méthodologique permettant d'évaluer dans des délais courts l'étendue et l'importance des retombées au sol de polluants radioactifs à la suite d'un accident nucléaire, à partir des deux principales données rapidement accessibles que sont les activités volumiques de l'air et les hauteurs des précipitations.

L'évaluation des incertitudes associées aux données et aux nouvelles estimations résultant de cette démarche est également recherchée.

METHODOLOGIE

Formulation analytique de la relation pluie-dépôt

Pour répondre aux objectifs de l'étude, une formulation analytique de la relation pluie-dépôt est proposée :

$$D_i = \alpha \times \sum_j (C_i(j) \times P_i(j)) + \beta \times \sum_j C_i(j) + R_i \quad , \text{ avec :}$$

- D_i : activité surfacique théoriquement mesurable dans les sols à l'issue des dépôts au point i ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$) (valeur 1986) ;
- α : constante pour les dépôts humides, assimilable à un « washout ratio », en m^3/l (équivalent à $\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}/\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$) ;
- $C_i(j)$: activité volumique de l'air le jour j au point i ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$) ;
- $P_i(j)$: hauteur de pluie le jour j au point i (en mm ou en l/m^2) ;
- β : constante pour les dépôts secs (en m) ;
- R_i : activité surfacique rémanente (au moment de l'accident de Tchernobyl) issue des retombées des essais atomiques atmosphériques (en $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$).

Cette formulation permet de paramétrer les principales composantes responsables de l'activité surfacique mesurable en un lieu donné, en excluant toutefois les phénomènes ayant pu conduire à des hétérogénéités localisées (effets du couvert forestier, effets de relief, ruissellement contemporain du dépôt...).

A partir de cette expression, la démarche retenue consiste à déterminer les paramètres α et β à l'aide des données (activités surfaciques mesurées, hauteurs de pluie, activités volumiques du ¹³⁷Cs dans l'air, dépôts rémanents des tirs) disponibles par la mesure ou le calcul sur l'ensemble du territoire.

Détermination des valeurs des données et incertitudes associées

Les valeurs D_i d'activités surfaciques mesurées des sols français

Il existe très peu de mesures des dépôts en France réalisées immédiatement après l'accident de Tchernobyl. L'IRSN a donc sélectionné des mesures d'activité des sols effectuées au cours des 18 dernières années, dans des contextes variés. Compte tenu de la variété de l'origine des données, des protocoles de prélèvement et de traitement utilisés, et du temps écoulé entre ces prélèvements et l'accident de Tchernobyl, une évaluation de la représentativité de ces données dans l'objectif de la présente étude a été effectuée.

Les valeurs R_i des activités rémanentes des retombées des essais nucléaires

Plusieurs approches ont été retenues et discutées pour déterminer les valeurs de R_i : mesures de ^{137}Cs dans les sols antérieures à l'accident, rapports d'activité isotopiques $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$, $^{137}\text{Cs}/^{239+240}\text{Pu}$, modélisations issues de la bibliographie internationale utilisant les précipitations moyennes annuelles. En outre, compte tenu de l'ancienneté de ces dépôts, il est tenté une estimation de la part de ces activités rémanentes dans la portion de sol prélevée pour la mesure des dépôts D_i .

Les activités en ^{137}Cs dans l'air ($C_i(j)$)

Les activités en ^{137}Cs dans l'air (moyennes quotidiennes) sont estimées par interpolation/extrapolation des valeurs mesurées par l'IRSN sur les filtres des stations aérosols collectées à l'époque par le SCPRI. Il s'y ajoute des données issues de mesures faites dans les pays frontaliers. Compte tenu du faible nombre de points de mesure et de leur répartition sur le territoire, les avantages et inconvénients de plusieurs méthodes d'interpolation sont testées dont le krigeage à l'aide d'un SIG.

Les hauteurs de pluie quotidiennes ($P_i(j)$)

Les hauteurs de pluie ont été mesurées quotidiennement par Météo-France sur les 3700 stations présentes en mai 1986, uniformément réparties sur le territoire. Malgré une bonne couverture du territoire, l'interpolation des mesures se révèle délicate sur certaines parties du territoire où les pluies ont été localement très variables, notamment dans le sud de la France. Cet aspect, très sensible sur le dépôt résultant, est discuté.

DISCUSSION

Ce travail, dont l'achèvement est prévu au printemps 2005, permettra de mieux quantifier les phénomènes ayant contribué à la formation des dépôts mesurables en France à la suite de l'accident de Tchernobyl, notamment celui ayant trait au lessivage des masses d'air contaminées au cours du temps par les précipitations pluvieuses. Un recouplement avec les relations empiriques établies par l'IRSN en 2003 sera présenté.

La discussion sera principalement centrée sur :

- l'intérêt mais aussi les limites d'une telle démarche pour reconstituer les dépôts ;
- la sensibilité des phénomènes pris en compte et leur variation spatiale et temporelle ;
- l'exploitation prospective de cette approche pour évaluer rapidement l'étendue et l'importance des retombées au sol de polluants radioactifs à la suite d'un accident nucléaire.