

**IRSN**INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

## LES ESSAIS ATMOSPHÉRIQUES

# Les essais atmosphériques d'armes nucléaires : des retombées radioactives à l'échelle planétaire

Les essais nucléaires atmosphériques auxquels ont procédé les grandes puissances entre 1945 et 1980 constituent à ce jour le seul apport massif de radionucléides artificiels à l'échelle planétaire, et la principale source de radioactivité artificielle dans l'environnement français.

## Les essais nucléaires atmosphériques

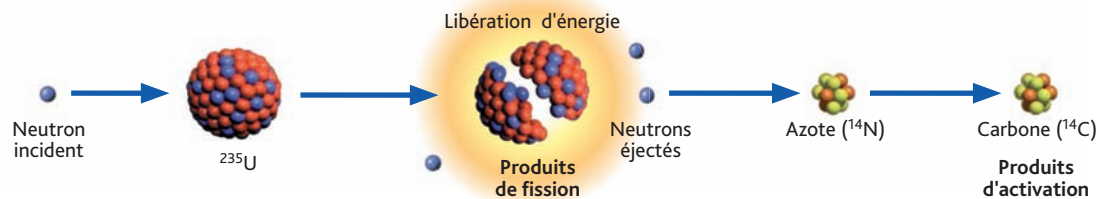
Un essai nucléaire désigne l'explosion d'une bombe atomique à des fins expérimentales. Le premier essai a lieu le 16 juillet 1945 dans le désert du Nouveau-Mexique aux Etats-Unis, trois semaines avant les bombardements d'Hiroshima et Nagasaki au Japon.

Jusqu'en 1960, les essais sont essentiellement pratiqués dans l'atmosphère. Les explosions ont pour conséquence le rejet et la dissémination de matières radioactives dans l'environnement.

En raison de la répartition des sites de tir et du nombre d'essais pratiqués, la contamination concerne l'ensemble du globe.

## Une grande variété de radionucléides émis

Une explosion nucléaire est due à la fission (cassure) d'atomes lourds comme l'uranium 235 ( $^{235}\text{U}$ ) ou le plutonium 239 ( $^{239}\text{Pu}$ ). Elle entraîne un dégagement d'énergie considérable et l'émission de produits de fission et d'activation.



### Produits de fission

Sous l'impact d'un neutron, le noyau de l'atome d' $^{235}\text{U}$  ou de  $^{239}\text{Pu}$  se casse en deux radionucléides, libérant de l'énergie et des neutrons. Une cinquantaine de radionucléides "primaires" peuvent ainsi être produits. En se désintégrant, ils vont engendrer plus de 200 radionucléides "secondaires", parmi lesquels le césium 137 ( $^{137}\text{Cs}$ ), le strontium 90 ( $^{90}\text{Sr}$ ), le zirconium 95 ( $^{95}\text{Zr}$ ) et l'iode 131 ( $^{131}\text{I}$ ).

### Produits d'activation

Certains noyaux présents dans l'environnement peuvent capturer des neutrons et devenir radioactifs. C'est le cas de l'hydrogène qui se transforme en tritium ( $^3\text{H}$ ) et de l'azote 14 ( $^{14}\text{N}$ ) qui se transforme en carbone 14 ( $^{14}\text{C}$ ).

Liste des principaux radionucléides constituant les retombées des essais d'armes nucléaires, classés par période croissante (la période est le temps nécessaire pour que la radioactivité diminue de moitié).

Iode 131	$^{131}\text{I}$	8 jours
Baryum 140	$^{140}\text{Ba}$	13 jours
Cérium 141	$^{141}\text{Ce}$	33 jours
Ruthénium 103	$^{103}\text{Ru}$	39 jours
Strontium 89	$^{89}\text{Sr}$	51 jours
Yttrium 91	$^{91}\text{Y}$	59 jours
Zirconium 95	$^{95}\text{Zr}$	64 jours
Cérium 144	$^{144}\text{Ce}$	280 jours
Manganèse 54	$^{54}\text{Mn}$	310 jours
Ruthénium 106	$^{106}\text{Ru}$	370 jours

Fer 55	$^{55}\text{Fe}$	2,7 ans
Antimoine 125	$^{125}\text{Sb}$	2,8 ans
Tritium	$^3\text{H}$	12 ans
Plutonium 241	$^{241}\text{Pu}$	14 ans
Strontium 90	$^{90}\text{Sr}$	29 ans
Césium 137	$^{137}\text{Cs}$	30 ans
Américium 241	$^{241}\text{Am}$	433 ans
Carbone 14	$^{14}\text{C}$	5 700 ans
Plutonium 240	$^{240}\text{Pu}$	6 600 ans
Plutonium 239	$^{239}\text{Pu}$	24 000 ans



Système de management  
de la qualité IRSN certifié

### Contact

Philippe Renaud  
DEI/SESURE/LERCM  
Tél. +33 (0) 4 42 19 96 71  
philippe.renaud@irsn.fr

### Adresse postale

Institut de radioprotection  
et de sûreté nucléaire  
DEI/SESURE/LERCM  
Philippe Renaud  
B.P. 3  
13115 St Paul-lez-Durance

### Siège social

31, av. de la Division Leclerc  
92260 Fontenay-aux-Roses  
Tél. +33 (0)1 58 35 88 88  
RCS Nanterre B 440 546 018

**IRSN**INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

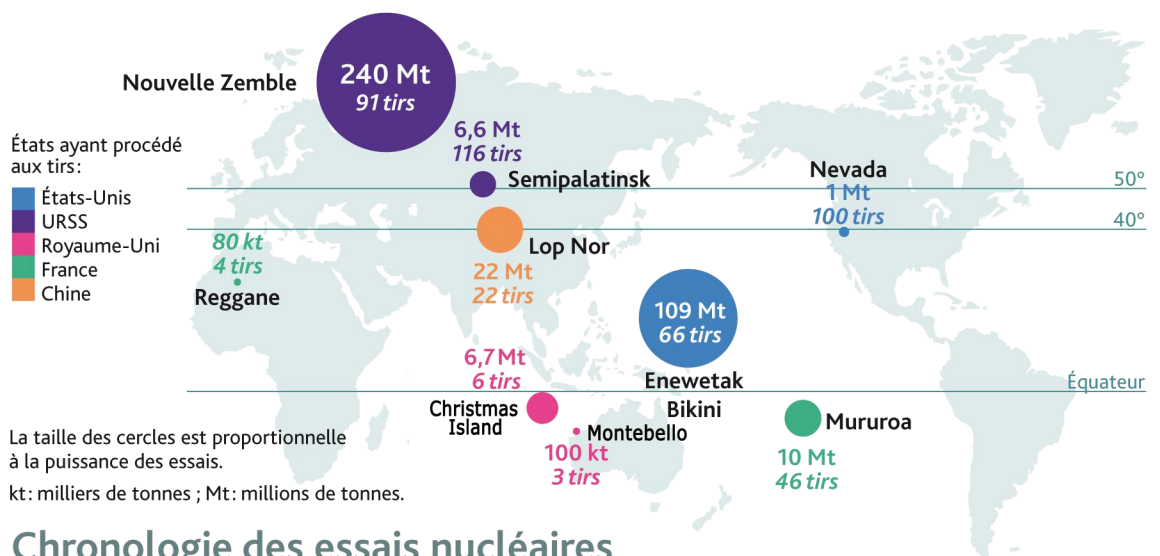
## LES ESSAIS ATMOSPHÉRIQUES

# Entre 1945 et 1980, plus de 500 essais atmosphériques sont pratiqués, essentiellement dans l'hémisphère nord

Plus de 2400 essais nucléaires, dont 543 essais atmosphériques, ont été réalisés par les États-Unis, la Russie, la Grande-Bretagne, la France et la Chine entre 1945 et 1980. Les sites d'essais sont répartis sur l'ensemble du globe, mais la plupart des explosions ont lieu dans l'hémisphère nord. À partir de 1961, les tirs souterrains remplacent progressivement les explosions aériennes.

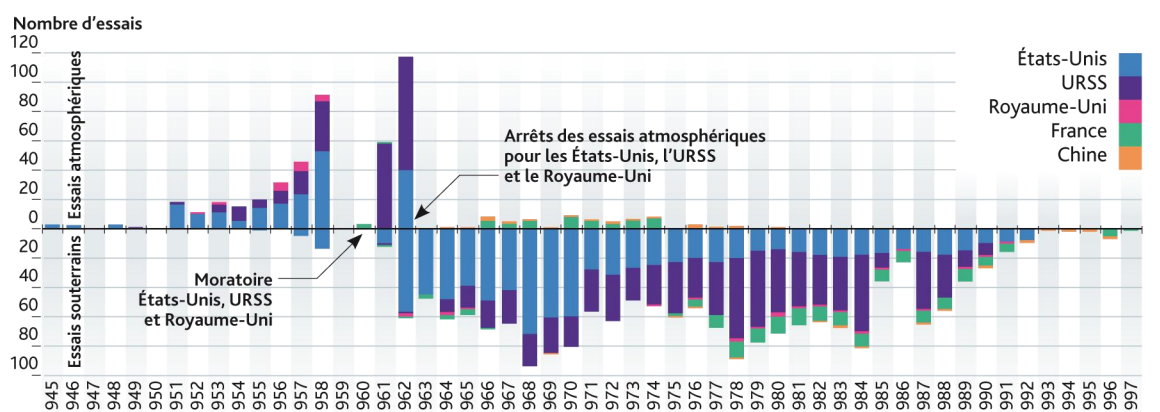
## Localisation et puissance des essais nucléaires atmosphériques

La puissance d'une arme nucléaire s'exprime en tonnes d'explosif classique de type TNT (Trinitrotoluène). À titre d'exemple, la puissance des explosions d'Hiroshima et Nagasaki était de 20 kt (20 000 tonnes) chacune. Mais les essais avaient des puissances très variables, allant de moins de 1 tonne jusqu'à l'explosion russe record de 50 Mt (millions de tonnes) du 30 octobre 1961 en Nouvelle-Zemble. Seuls les États-Unis et l'URSS ont effectué des tirs dépassant unitairement 10 Mt. Les tirs atmosphériques français représentent 2,3% de la puissance totale, estimée à 440 Mt. Chaque pays concerné a utilisé plusieurs sites d'essais, choisis pour leur isolement (sites désertiques ou insulaires).



## Chronologie des essais nucléaires

L'essentiel de la puissance est libéré entre 1954 et 1958, puis en 1961 et 1962. Au cours de la seule année 1962, l'URSS et les USA effectuent 118 essais atmosphériques représentant une puissance de 170 Mt, soit presque 40% de la puissance totale libérée. À partir de 1961, les essais atmosphériques laissent progressivement place aux essais souterrains, moins polluants pour la biosphère. Le dernier tir atmosphérique, d'une puissance de 0,6 Mt, a lieu en Chine le 18 octobre 1980.



Système de management  
de la qualité IRSN certifié

### Contact

Philippe Renaud  
DEI/SESURE/LERCM  
Tél. +33 (0) 4 42 19 96 71  
philippe.renaud@irsn.fr

### Adresse postale

Institut de radioprotection  
et de sûreté nucléaire  
DEI/SESURE/LERCM  
Philippe Renaud  
B.P. 3  
13115 St Paul-lez-Durance

### Siège social

31, av. de la Division Leclerc  
92260 Fontenay-aux-Roses  
Tél. +33 (0) 1 58 35 88 88  
RCS Nanterre B 440 546 018

**IRSN**INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

## LES RETOMBÉES AU SOL

# Les particules radioactives libérées dans l'atmosphère retombent sur l'ensemble du globe

A chaque explosion aérienne, des particules radioactives sont libérées dans l'atmosphère à une altitude qui dépend des conditions du tir. Elles y séjournent de quelques heures à quelques mois avant de retomber au sol. Compte tenu de la répartition des sites, du nombre d'essais et de la variété de puissance des tirs, les dépôts affectent la planète toute entière.

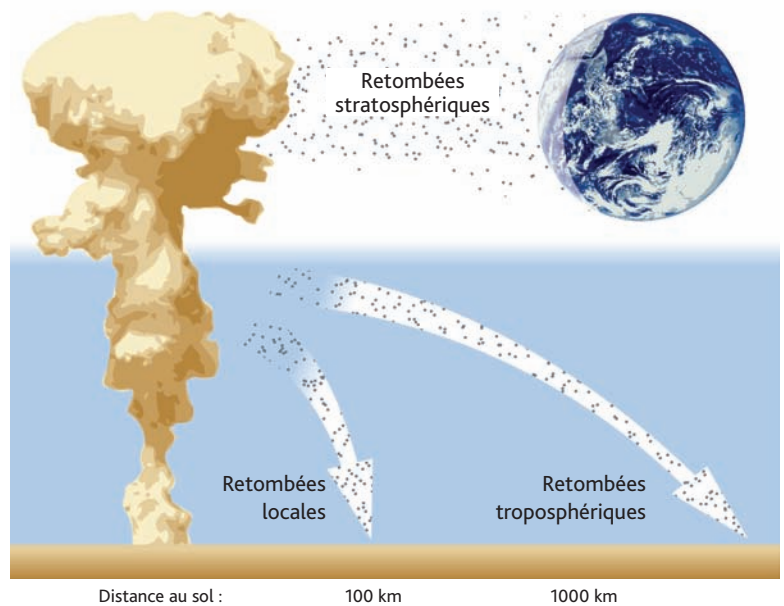
## Libération des radionucléides dans l'atmosphère

Lors d'une explosion nucléaire, les produits de fission, l'uranium et le plutonium résiduels ainsi que les matériaux de construction de l'engin, sont portés à très haute température. Une "boule de feu" se dilate et monte, formant le champignon caractéristique. Selon la puissance et l'altitude du tir, la tête du champignon reste dans la troposphère ou s'élève dans la stratosphère (la troposphère et la stratosphère correspondent aux deux premières couches de l'atmosphère). La puissance des essais a été très variable, mais également l'altitude des tirs, puisqu'ils étaient réalisés au sol ou sur une barge en mer, au sommet d'une tour, sous un ballon ou encore par largage en haute atmosphère depuis un avion.

*La haute stratosphère s'étend jusqu'aux environs de 50 km d'altitude.*

*La zone de séparation entre troposphère et stratosphère varie selon la latitude. Elle commence à 10 km d'altitude dans la région polaire et 17 km dans la région équatoriale.*

*La tête du champignon pénètre dans la stratosphère quand la puissance du tir dépasse 20 kt. Elle devient essentiellement stratosphérique à partir de 150 kt et atteint 25 km de hauteur au-dessus de 1 Mt.*



Système de management de la qualité IRSN certifié

### Contact

Philippe Renaud  
DEI/SESURE/LERCM  
Tél. +33 (0) 4 42 19 96 71  
philippe.renaud@irsn.fr

### Adresse postale

Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire  
DEI/SESURE/LERCM  
Philippe Renaud  
B.P. 3  
13115 St Paul-lez-Durance

### Siège social

31, av. de la Division Leclerc  
92260 Fontenay-aux-Roses  
Tél. +33 (0) 1 58 35 88 88  
RCS Nanterre B 440 546 018

## Retombées des radionucléides

### Retombées locales

Les débris les plus lourds se déposent par gravité dans un rayon de quelques dizaines à quelques centaines de kilomètres autour du site de tir.

### Retombées troposphériques

Les produits de fission et d'activation libérés dans la troposphère y séjournent jusqu'à 30 jours avant de se déposer au sol. Pendant cette période, ils sont transportés sur des milliers de kilomètres par les vents dominants qui les dispersent autour de la latitude du tir. Les délais de transport étant relativement courts, les retombées dites "troposphériques" contiennent la majeure partie des radionucléides, y compris ceux à vie courte ( $^{131}\text{I}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ , etc.).

### Retombées stratosphériques

Les particules libérées dans la stratosphère redescendent par gravité dans la troposphère en 2 à 12 mois dans les régions polaires, et en 8 à 24 mois dans les régions équatoriales. Ce délai entraîne une bonne homogénéisation des radionucléides et la disparition de ceux à vie courte. Les retombées dites "stratosphériques" ne contiennent donc que les radionucléides à vie longue ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , etc.).

**IRSN**INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

## LES RETOMBÉES AU SOL

# Les retombées radioactives sont plus importantes dans la zone située entre le 40<sup>e</sup> et le 50<sup>e</sup> degré de latitude nord

En raison de la localisation des sites de tir, l'hémisphère Nord a reçu 75% des retombées radioactives totales. Les grandes circulations des masses d'air ont concentré les dépôts dans les régions tempérées, notamment dans la bande comprise entre le 40<sup>e</sup> et le 50<sup>e</sup> degré de latitude, où se trouve la France.

## Transport des particules libérées dans la troposphère

Les particules libérées dans la troposphère (couche basse de l'atmosphère) sont transportées sur des milliers de kilomètres par les vents, qui les dispersent autour de la latitude des tirs.

Par exemple, pour le tir chinois du 16 octobre 1980 qui a lieu à Lop Nor à 40 degrés de latitude nord, le panache de particules radioactives s'est déplacé vers l'est, au gré des vents dominants, en

restant essentiellement entre le 30<sup>e</sup> et le 50<sup>e</sup> de latitude. Il est passé au-dessus de la France entre le 22 et le 23 octobre 1980.

La France a été concernée par les retombées de nombreux tirs puisque le site américain du Nevada et le site russe de Semipalatinsk sont situés respectivement à 37 degrés et 52 degrés, des latitudes voisines de la nôtre.



*Progression du nuage radioactif troposphérique consécutif au tir chinois du 16 octobre 1980*



Système de management  
de la qualité IRSN certifié

### Contact

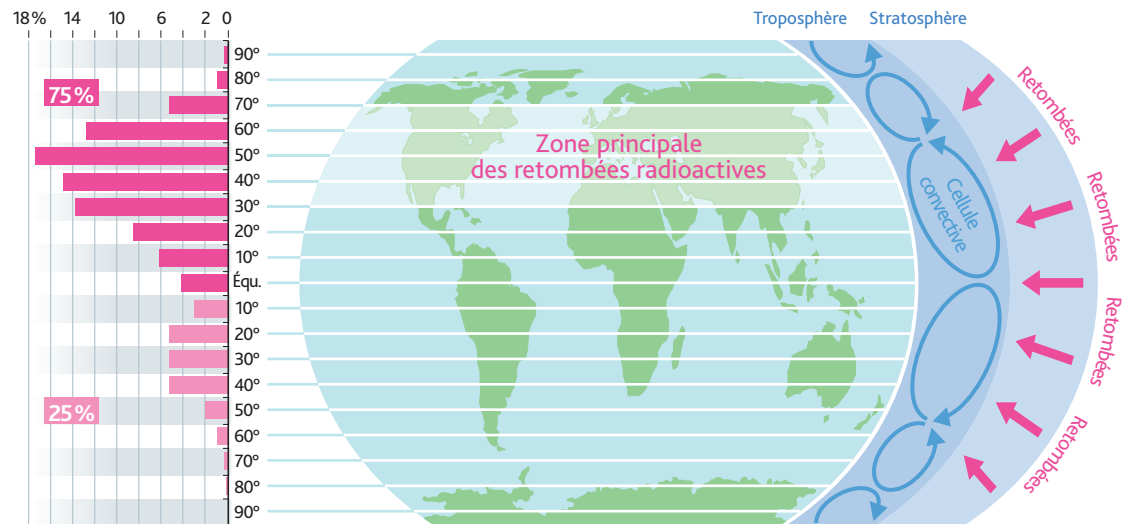
Philippe Renaud  
DEI/SESURE/LERCM  
Tél + 33(0) 04 42 19 96 71  
philippe.renaud@irsn.fr



## Transport des particules libérées dans la stratosphère

Les particules libérées dans la stratosphère s'homogénéisent à l'échelle du globe, tout en redescendant progressivement par gravité dans la troposphère. Là, elles sont entraînées par des circulations d'air (cellules convectives) qui limitent les échanges entre les hémisphères et concentrent les retombées dans les régions

tempérées, notamment entre le 40<sup>e</sup> et 50<sup>e</sup> degré de latitude. En raison de la répartition des sites de tirs, l'hémisphère Nord a reçu 75% des retombées radioactives. La bande comprise entre le 40<sup>e</sup> et 50<sup>e</sup>, où se trouve la France, est la plus touchée, avec 17% des retombées.



Répartition mondiale des retombées de strontium 90 en fonction de la latitude.

A noter que les particules radioactives constituent d'excellents traceurs pour l'étude des mouvements de l'air. Dans ce cas particulier, les retombées des essais ont permis de mieux connaître le fonctionnement des circulations d'air (cellules convectives de Hadley et Ferrel, qui caractérisent la circulation générale des masses d'air stratosphériques).

### Adresse postale

Institut de radioprotection  
et de sûreté nucléaire  
DEI/SESURE/LERCM  
Philippe Renaud  
B.P. 3  
13115 St Paul-lez-Durance

### Siège social

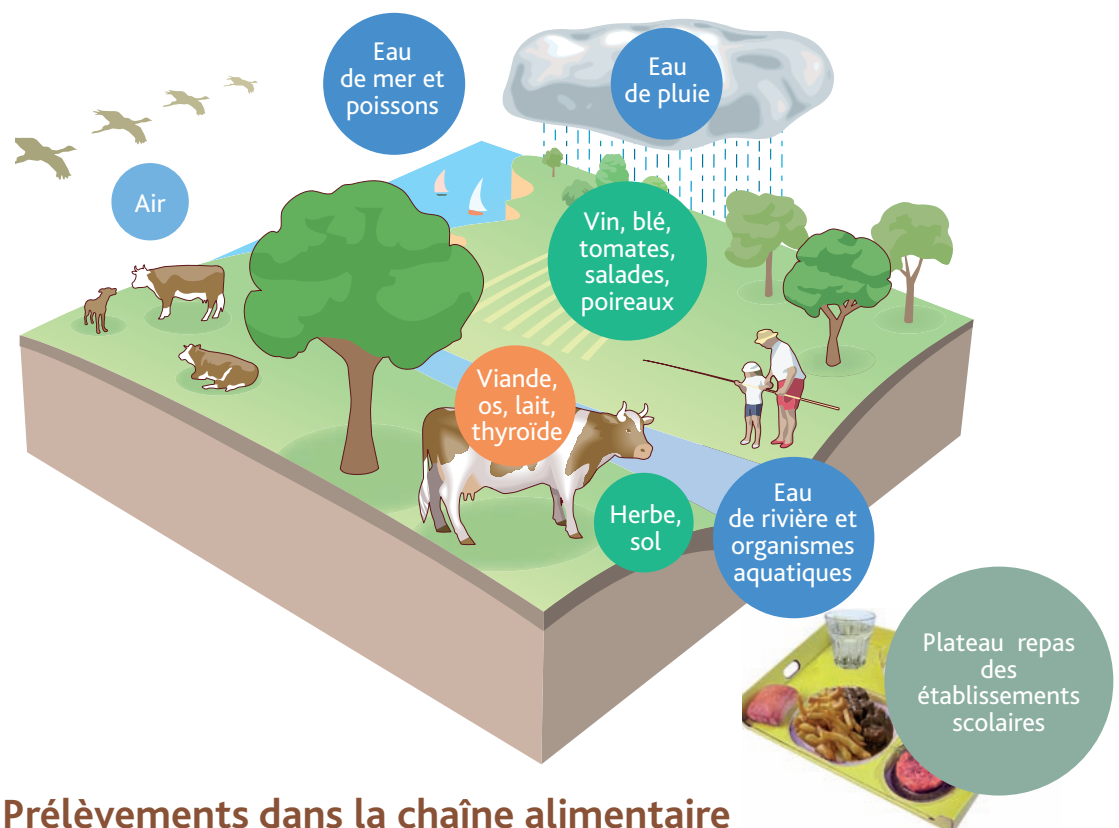
31, av. de la Division Leclerc  
92260 Fontenay-aux-Roses  
Tél. +33 (0)1 58 35 88 88  
RCS Nanterre B 440 546 018

**IRSN**INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

## LES RETOMBÉES AU SOL

# En France, la surveillance de la radioactivité de l'environnement commence au début des années 1960

La France a été l'un des premiers pays à mettre en place un réseau complet de surveillance de la radioactivité dans l'environnement. Dès 1961, les retombées radioactives consécutives aux essais atmosphériques sont mesurées par différents laboratoires, regroupés aujourd'hui au sein de l'IRSN.



## Prélèvements dans la chaîne alimentaire

**A partir de 1961**, des échantillons de toutes natures sont prélevés, notamment dans la chaîne alimentaire.

Les mesures de radioactivité des prélèvements sont effectuées par le SCPRI et le CEA\*. Elles donnent lieu à des rapports mensuels publics.

**Au cours des années 60**, le nombre de stations de surveillance se développe et les prélèvements et les radionucléides mesurés se diversifient.

Une dizaine de produits de fission sont recherchés dans l'air et dans l'eau de pluie.

Afin de mieux apprécier l'atteinte de la population, des mesures de  $^{137}\text{Cs}$  et  $^{90}\text{Sr}$ , radionucléides les plus importants du point de vue de la protection de l'homme, sont faites mensuellement sur des aliments de plateaux-repas distribués à la cantine d'établissements scolaires.

Les mesures du CEA portent plus particulièrement sur des échantillons de légumes et de viande de bœuf. Outre les produits alimentaires, certaines analyses d'indicateurs sont effectuées :  $^{90}\text{Sr}$  dans les os d'animaux,  $^{131}\text{I}$  dans la thyroïde de bovins.

**Dès la fin des années 70**, certains radionucléides ne sont plus mesurables que sporadiquement, notamment ceux à vie courte.

**A partir du début des années 80**, la majeure partie des échantillons présente des contaminations inférieures aux limites de détection adoptées par le SCPRI.

**De 1961 à 1980**, les réseaux du SCPRI et du CEA ont fourni près de 50 000 résultats de mesures.

\* SCPRI : Service central de protection contre les rayonnements ionisants, dont la partie technique est aujourd'hui intégrée à l'IRSN.  
CEA : Commissariat à l'énergie atomique.

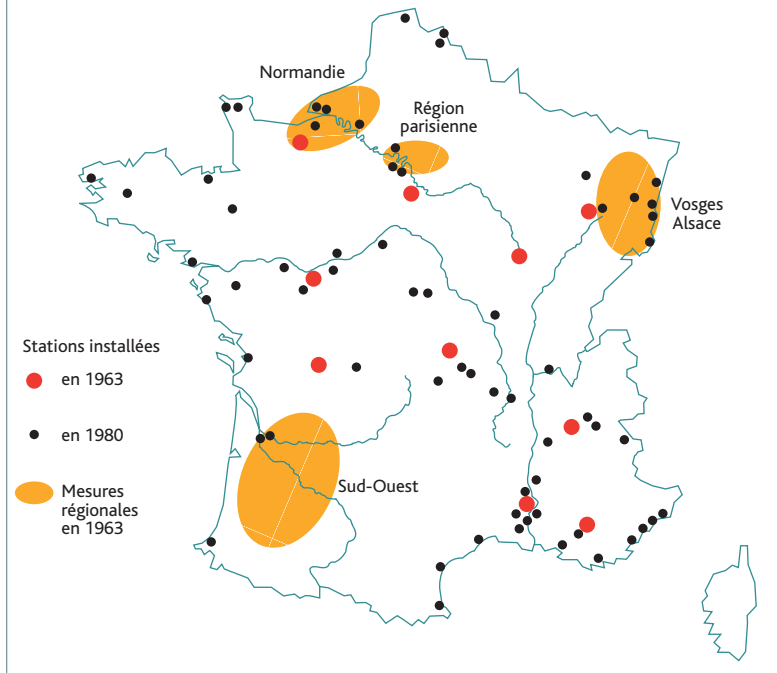


Système de management  
de la qualité IRSN certifié

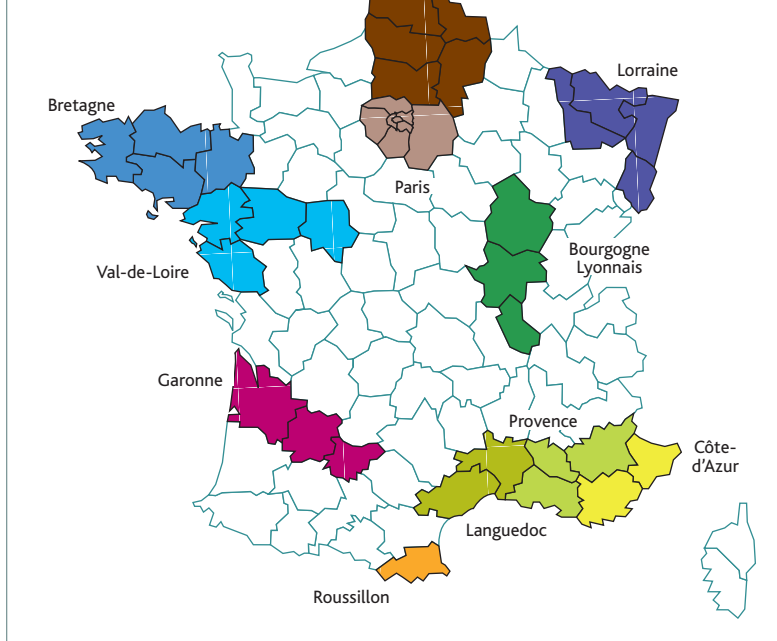
### Contact

Philippe Renaud  
DEI/SESURE/LERCM  
Tél + 33(0) 04 42 19 96 71  
philippe.renaud@irsn.fr

## Stations SCPRI



## Zones d'études CEA de 1963 à 1975



## Adresse postale

Institut de radioprotection  
et de sûreté nucléaire  
DEI/SESURE/LERCM  
Philippe Renaud  
B.P. 3  
13115 St Paul-lez-Durance

## Siège social

31, av. de la Division Leclerc  
92260 Fontenay-aux-Roses  
Tél. +33 (0)1 58 35 88 88  
RCS Nanterre B 440 546 018

Localisation des stations de mesure de radioactivité en 1963 et 1980.  
(1963 : année des retombées maximales - 1980 : année du dernier tir chinois)

**IRSN**

 INSTITUT  
 DE RADIOPROTECTION  
 ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

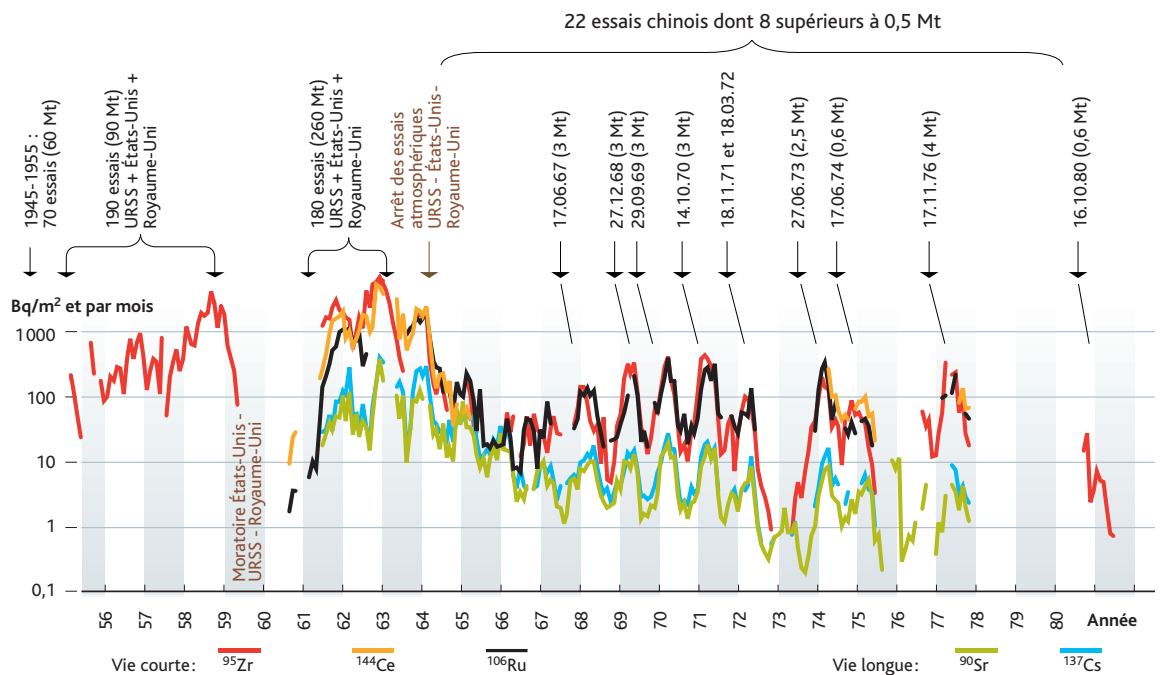
## LES RETOMBÉES AU SOL

# Les retombées des essais sont globalement homogènes en France métropolitaine

Les dépôts les plus importants en activité sont ceux correspondant aux radionucléides à vie courte. La carte des dépôts radioactifs cumulés sur le territoire français suit celle des précipitations moyennes annuelles.

## Radionucléides à vie courte : des dépôts plus importants

Par temps sec, le dépôt des particules radioactives est fonction des conditions de vent et des turbulences de l'air. Lors de pluies, ces particules sont entraînées au sol par les gouttes d'eau. Les dépôts de radionucléides à vie courte, aujourd'hui disparus ( $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{103}\text{Ru}$  et  $^{106}\text{Ru}$ ), ont été 10 fois plus importants que ceux à vie moyenne ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ). Les dépôts de plutonium sont très faibles mais détectables.



Dépôts radioactifs mensuels en France entre 1956 et 1982

Les dépôts radioactifs les plus importants correspondent aux deux grandes périodes d'explosions : 1954-1958 et surtout 1961-1962. Après 1964, les pics de dépôts, 10 à 100 fois plus faibles, correspondent aux principales explosions chinoises.



Système de management  
de la qualité IRSN certifié

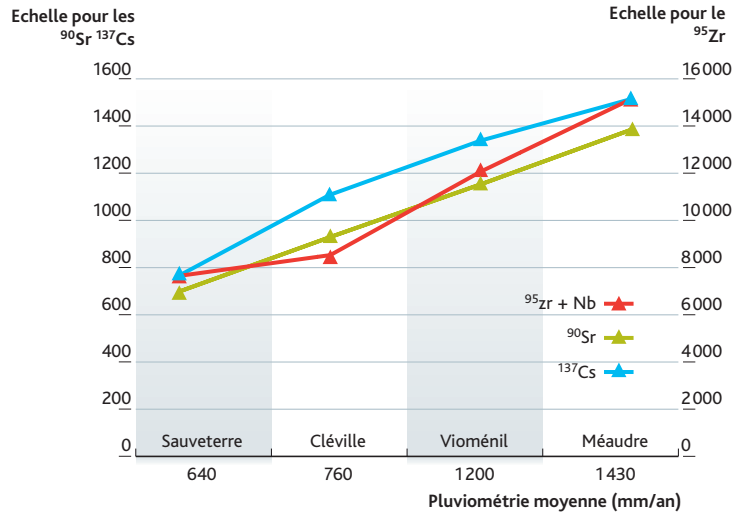
### Contact

Philippe Renaud  
 DEI/SESURE/LERCM  
 Tél + 33(0) 04 42 19 96 71  
 philippe.renaud@irsn.fr



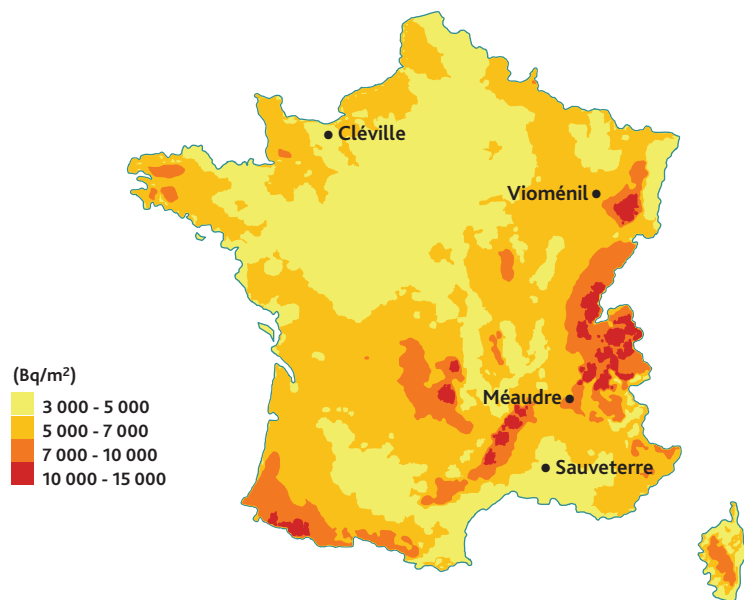
## La disparité régionale des dépôts est modérée

Les concentrations dans l'air, et donc les dépôts par temps sec, sont très homogènes sur l'ensemble de la France métropolitaine. Ce sont les dépôts pluvieux, majoritaires, qui conduisent à des disparités régionales. Le diagramme ci-dessous montre que les dépôts augmentent avec les précipitations moyennes annuelles : à Méaudre dans le Vercors, où il tombe 1430 mm/an, ils sont 2 fois plus importants qu'à Sauveterre dans la basse vallée du Rhône, qui figure parmi les zones les moins arrosées de France avec 640 mm/an.



Cumul des dépôts (en Bq/m<sup>2</sup>) de 1967 à 1972 pour différentes stations

La carte ci-dessous, établie à partir des précipitations moyennes annuelles fournies par Météo-France, montre que les dépôts cumulés de  $^{137}\text{Cs}$  de 1945 à 1980 sont compris entre 3000 et 7000 Bq/m<sup>2</sup> sur la majeure partie du pays. Ils ne dépassent cette valeur que dans les régions les plus arrosées, souvent en montagne.



Carte des dépôts cumulés de  $^{137}\text{Cs}$  dus aux essais (en Bq/m<sup>2</sup>), de 1945 à 1980

### Adresse postale

Institut de radioprotection  
et de sûreté nucléaire  
DEI/SESURE/LERCM  
Philippe Renaud  
B.P. 3  
13115 St Paul-lez-Durance

### Siège social

31, av. de la Division Leclerc  
92260 Fontenay-aux-Roses  
Tél. +33 (0)1 58 35 88 88  
RCS Nanterre B 440 546 018

**IRSN**

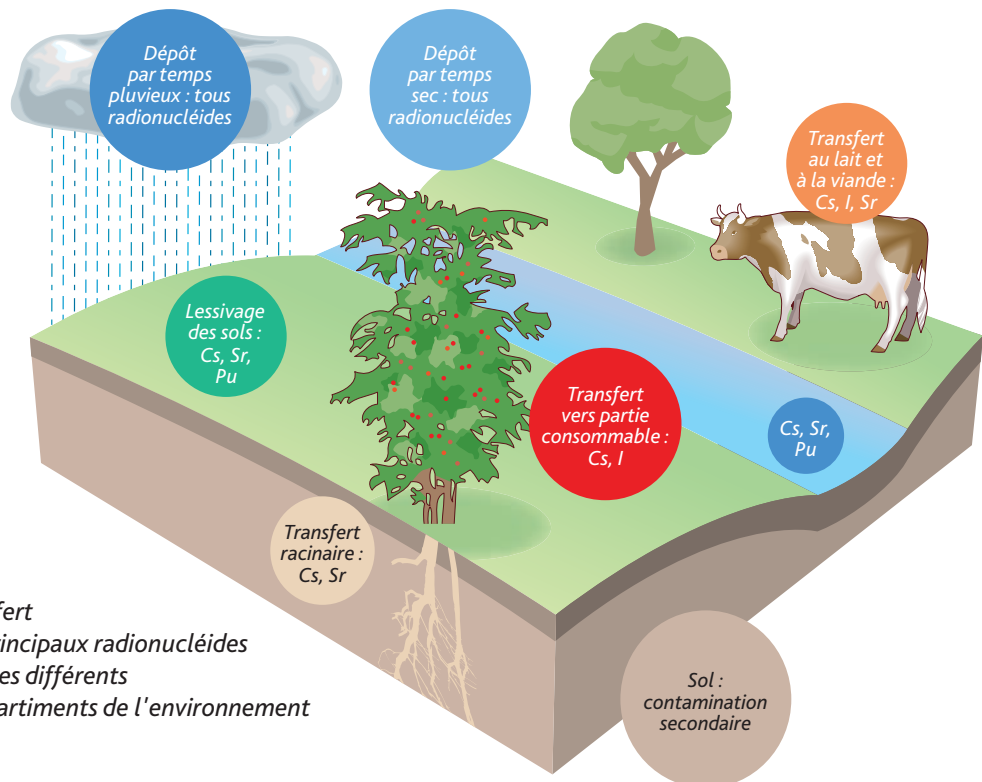
 INSTITUT  
 DE RADIOPROTECTION  
 ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

## LA CONTAMINATION DES PRODUITS AGRICOLES

# Les radionucléides déposés atteignent diversement la chaîne alimentaire

Transférés à toutes les composantes de l'environnement (air, eau, sols, denrées), l'iode 131, le césium 137 et le strontium 90 constituent l'essentiel de la contamination de la chaîne alimentaire. Pour la plupart des autres radionucléides, moins mobiles dans l'environnement, l'atteinte a été limitée aux légumes à feuilles : salades, épinards, etc.

La contamination de la chaîne alimentaire par un radionucléide dépend de sa concentration, mais également de sa durée de vie et de sa "mobilité". La mobilité d'un radionucléide détermine sa capacité à être transféré d'un élément à l'autre de la chaîne alimentaire (par exemple de l'herbe à la vache, puis de la vache à la viande ou au lait). Elle est essentiellement liée aux caractéristiques chimiques de l'élément.



*Transfert  
des principaux radionucléides  
dans les différents  
compartiments de l'environnement*

## Contamination de la chaîne alimentaire

Si tous les radionucléides se déposent sur les feuilles des végétaux, seuls l'iode 131, le césium 137 et le strontium 90 sont significativement transférés aux parties consommables : racines (pommes de terre, carottes, etc.), graines de céréales ou fruits.

Bien assimilés par les animaux après ingestion de fourrages contaminés, ces radionucléides constituent également l'essentiel de la radioactivité du lait et de la viande.

Les radionucléides à vie longue comme le césium 137, le strontium 90 et les isotopes du plutonium (238, 239, 240, 241) s'accumulent dans les sols, constituant ainsi une source secondaire de contamination de l'environnement. Le césium 137 et le strontium 90 sont transférés aux végétaux par absorption racinaire. Ce transfert est très faible pour le plutonium.

Le lessivage des sols par les pluies contribue à diminuer le stock et à alimenter les cours d'eau.



Système de management  
de la qualité IRSN certifié

### Contact

Philippe Renaud  
 DEI/SESURE/LERCM  
 Tél + 33(0) 04 42 19 96 71  
 philippe.renaud@irsn.fr

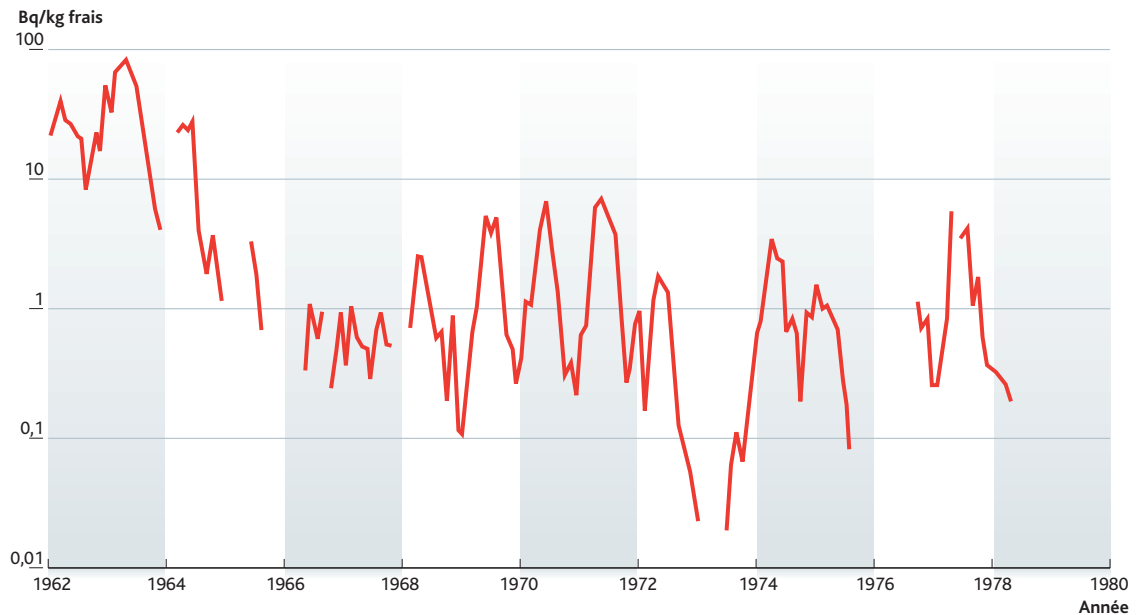
## Des activités plus élevées dans les légumes à feuilles

La contamination par les éléments peu mobiles dans l'environnement, comme le zirconium, le ruthénium ou le cérium, se limite principalement aux légumes à feuilles.

Les dépôts importants de ces radionucléides, notamment au début des années 60, ont conduit à des activités comprises entre 10 et 100 Bq/kg de salade fraîche, comme le montre le graphique ci-dessous pour le  $^{95}\text{Zr}$  dans les salades.

Peu mobiles dans la plante, ces radionucléides sont faiblement transférés aux autres parties consommées (fruits, racines ou grains) dont la contamination est 5 à 10 fois plus faible que celle des feuilles de salade. Par ailleurs, en raison de leurs courtes périodes (inférieures ou égales à 1 an), ils ne s'accumulent pas dans les sols et sont très faiblement absorbés par les racines des plantes.

Enfin, ces radionucléides ne sont pratiquement pas transférés au lait ou à la viande.



Activité des salades en  $^{95}\text{Zr}$  en Région parisienne (Bq/kg frais)

Les "pics d'activité" des salades au cours des années 70 montrent qu'entre les phases de dépôts consécutives aux différents essais chinois, la contamination disparaît en quelques semaines.

### Adresse postale

Institut de radioprotection  
et de sûreté nucléaire  
DEI/SESURE/LERCM  
Philippe Renaud  
B.P. 3  
13115 St Paul-lez-Durance

### Siège social

31, av. de la Division Leclerc  
92260 Fontenay-aux-Roses  
Tél. +33 (0)1 58 35 88 88  
RCS Nanterre B 440 546 018

**IRSN**

 INSTITUT  
 DE RADIOPROTECTION  
 ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

## LA CONTAMINATION DES PRODUITS AGRICOLES

# Les radionucléides à vie courte ne contaminent la chaîne alimentaire que par épisodes successifs

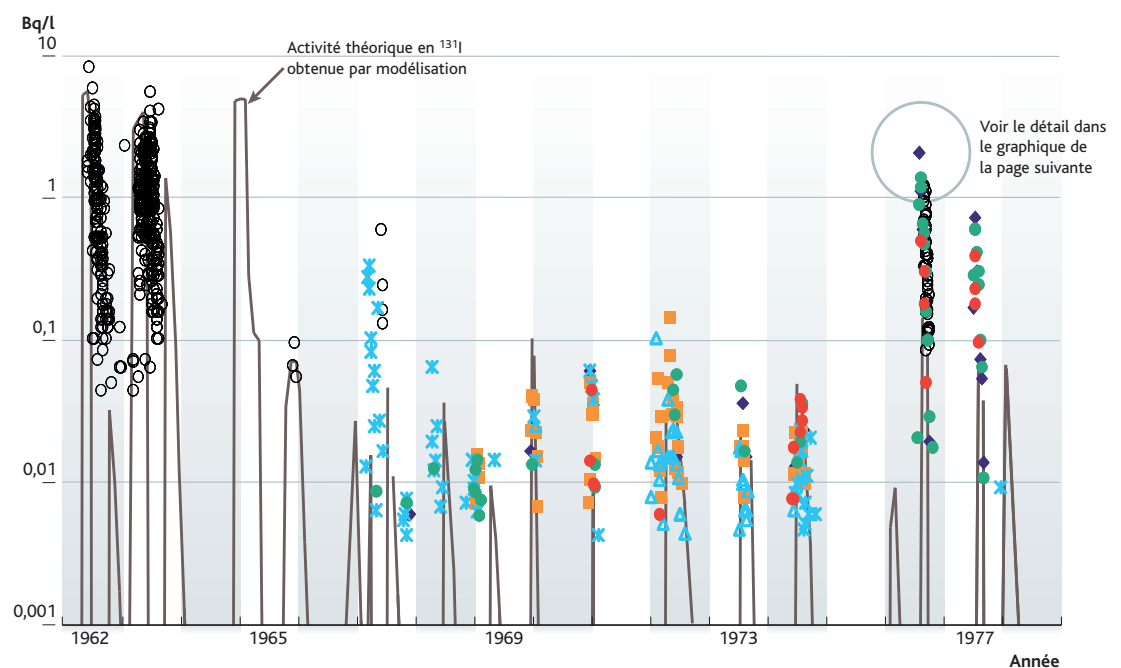
Si les dépôts des radionucléides à vie très courte comme l'iode 131 sont les plus importants, la contamination de la chaîne alimentaire qui en résulte disparaît en quelques jours.

A partir de 1945, l'évolution de la contamination des denrées par les radionucléides à vie courte, comme l'iode 131, le baryum 140 ou le ruthénium 103, montre des épisodes successifs correspondant aux différents essais. Cette évolution va de pair avec les dépôts, l'activité atteignant rapidement un maximum et disparaissant dans les jours suivants.

Au début des années 60, les essais sont si fréquents qu'ils entretiennent une contamination prolongée du lait par ces radionucléides à vie courte.

Au cours des années 70, les essais chinois, moins fréquents, ne conduisent qu'à des "pics" sporadiques de radioactivité. Suivant l'importance des dépôts liés aux conditions météorologiques locales (pluies, persistance des masses d'air) et aux pratiques alimentaires des animaux, les niveaux de contamination lors de ces épisodes peuvent varier considérablement.

Les activités inférieures à 0,1 Bq/l ne pouvant pas être mesurées directement dans le lait, sont déduites des mesures effectuées sur des thyroïdes de bovins. En effet, cette glande concentre l'iode 131 aussi bien chez l'animal que chez l'homme.



Origine des mesures :

- ◆ Vosges
- △ Orne
- Moselle
- Sud-Ouest
- × Normandie
- Côte-d'Or - Saône-et-Loire
- Autre

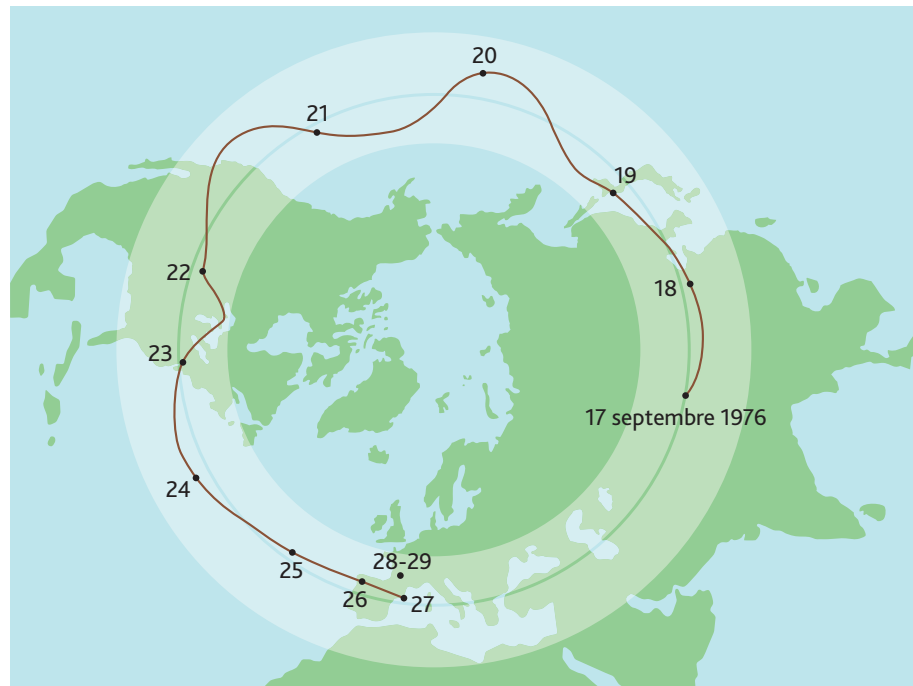
 Activité du lait en <sup>131</sup>I (en Bq/l)

 Système de management  
 de la qualité IRSN certifié

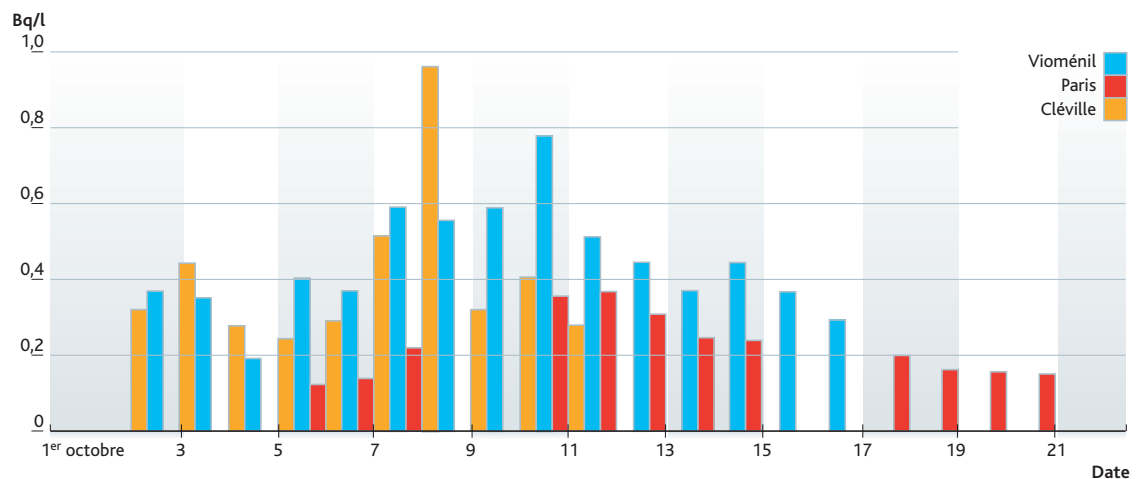
### Contact

 Philippe Renaud  
 DEI/SESURE/LERCM  
 Tél + 33(0) 04 42 19 96 71  
 philippe.renaud@irsn.fr

## Activité du lait en $^{131}\text{I}$ après le tir chinois du 17 septembre 1976



Vue du dessus du pôle Nord : la trajectoire troposphérique du panache radioactif consécutif à l'essai chinois du 17 septembre 1976, atteint la France le 28 septembre.



Activité du lait en  $^{131}\text{I}$  (en Bq/l) au cours du mois d'octobre 1976

Dès le 2 octobre, l'activité en  $^{131}\text{I}$  du lait produit en Bourgogne (Vioménil), en Région parisienne et en Normandie (Clévville), augmente en relation avec les dépôts de ce radionucléide sur l'herbe ingérée par les vaches. Le maximum est atteint entre le 8 et le 12 octobre. En raison de la courte période de l'iode  $^{131}\text{I}$  (8 jours), cette activité disparaît au bout de quelques jours.

### Adresse postale

Institut de radioprotection  
et de sûreté nucléaire  
DEI/SESURE/LERCM  
Philippe Renaud  
B.P. 3  
13115 St Paul-lez-Durance

### Siège social

31, av. de la Division Leclerc  
92260 Fontenay-aux-Roses  
Tél. +33 (0)1 58 35 88 88  
RCS Nanterre B 440 546 018



## LA CONTAMINATION DES PRODUITS AGRICOLES

# Tous les aliments sont atteints de manière continue et durable par le césium 137 et le strontium 90

Le césium 137 et le strontium 90, radionucléides à vie longue, sont détectés dans quasiment tous les compartiments de la chaîne alimentaire à cause de leur mobilité élevée et de leur accumulation progressive dans les sols. Leur longue période et leur mobilité entretiennent une contamination qui ne diminue que lentement depuis le milieu des années 60.

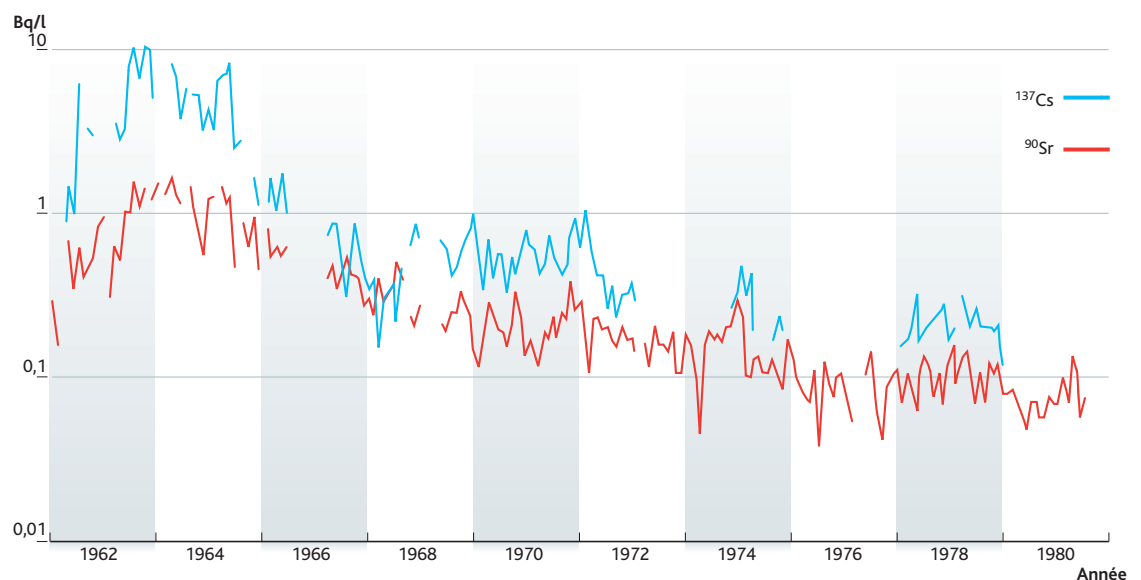
### Activité du lait

Les longues périodes du césium 137 (30 ans) et du strontium 90 (28 ans) prolongent les effets des retombées de chacun des essais nucléaires. Leurs activités dans les produits alimentaires, proportionnelles aux dépôts durant les années 60, ont diminué lentement au cours des décennies suivantes, régulièrement ré-alimentées par les essais chinois des années 70 et par les stocks de ces radionucléides dans les sols.

De 1962 à 1964, l'activité du lait de vache normand dépasse 1 Bq/l en  $^{90}\text{Sr}$  et atteint certains mois 10 Bq/l en  $^{137}\text{Cs}$ .

Au cours des années 70, le  $^{137}\text{Cs}$  n'est mesuré au-dessus de 0,1 Bq/l que durant les mois suivant les principaux essais chinois. En revanche, le stock de  $^{90}\text{Sr}$  dans le sol et son transfert à l'herbe, plus élevé que celui du césium, maintiennent des activités en strontium dans les fourrages à un niveau suffisant pour que l'activité du lait reste mesurable tout au long de l'année.

Aujourd'hui encore, l'activité en  $^{90}\text{Sr}$  du lait français reste comprise entre 0,01 et 0,1 Bq/l.



Activité du lait en Normandie (en Bq/l)



Système de management  
de la qualité IRSN certifié

#### Contact

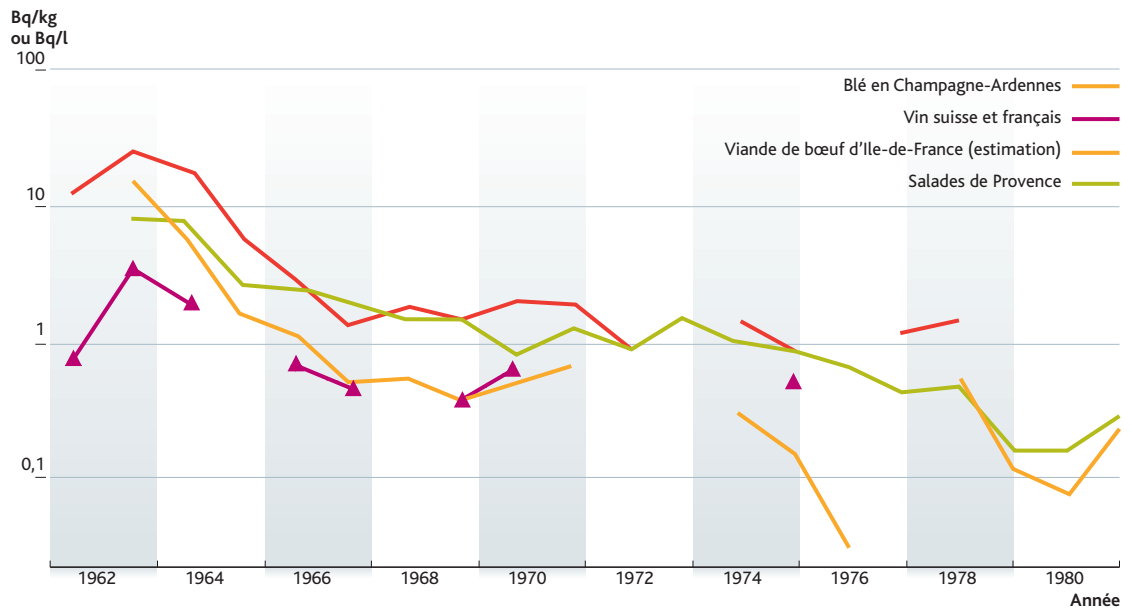
Philippe Renaud  
 DEI/SESURE/LERCM  
 Tél + 33(0) 04 42 19 96 71  
 philippe.renaud@irsn.fr

## Activité des autres produits alimentaires

Les activités en  $^{137}\text{Cs}$  des autres produits alimentaires suivent la même évolution que celle du lait. De l'ordre de 10 Bq/kg en moyenne au début des années 60, elles diminuent régulièrement jusqu'à 0,1 Bq/kg au début des années 80.

Pour les productions continues tout au long de l'année, comme la viande et les légumes, ces valeurs moyennes annuelles cachent des fluctuations mensuelles semblables à celles du lait.

Après une brutale augmentation en 1986, à la suite de l'accident de Tchernobyl, les activités en  $^{137}\text{Cs}$  des produits alimentaires sont revenues aujourd'hui au niveau, voire en dessous de celles des années 80.



Activité de différents produits en  $^{137}\text{Cs}$  (en Bq/l ou Bq/kg)

### Adresse postale

Institut de radioprotection  
et de sûreté nucléaire  
DEI/SESURE/LERCM  
Philippe Renaud  
B.P. 3  
13115 St Paul-lez-Durance

### Siège social

31, av. de la Division Leclerc  
92260 Fontenay-aux-Roses  
Tél. +33 (0)1 58 35 88 88  
RCS Nanterre B 440 546 018

**IRSN**

 INSTITUT  
 DE RADIOPROTECTION  
 ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

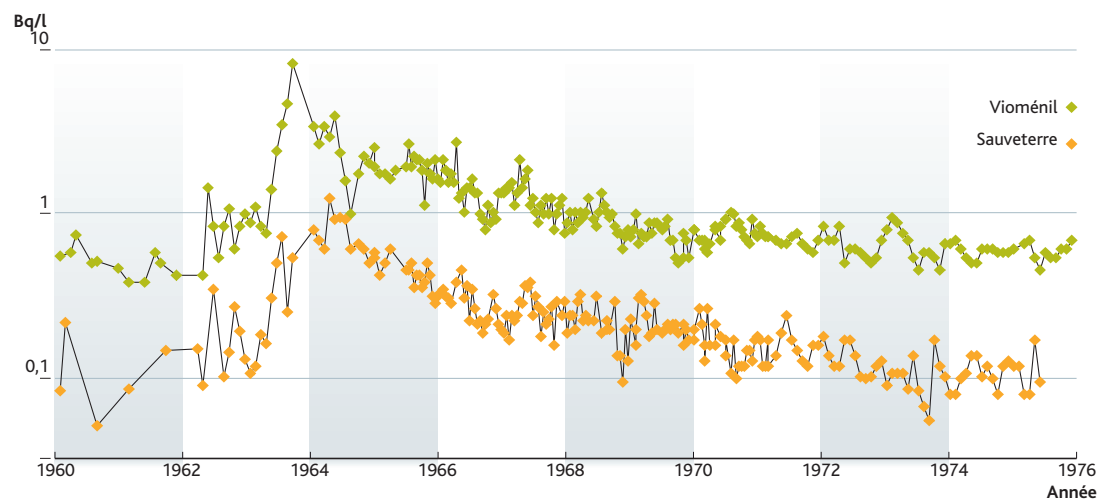
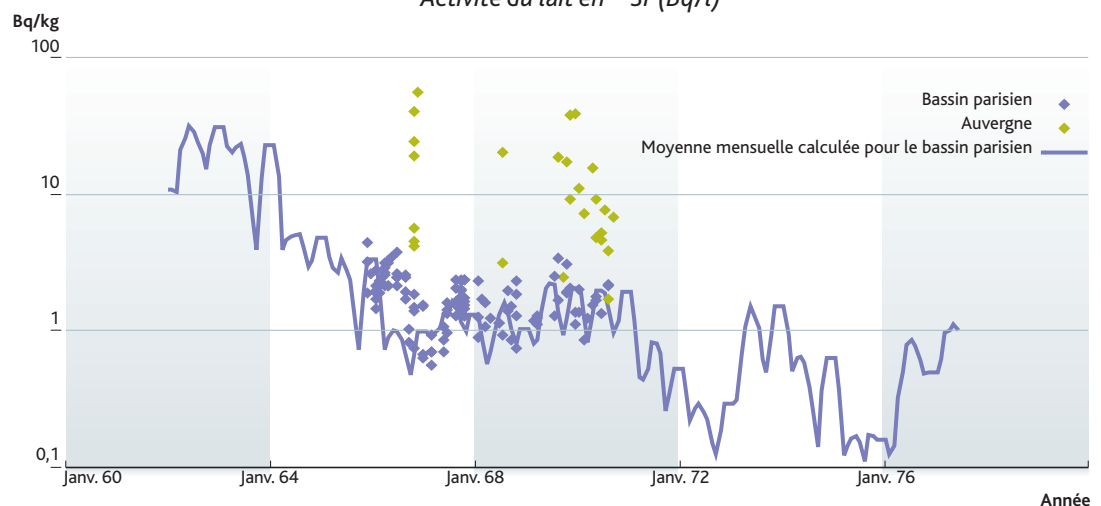
## LA CONTAMINATION DES PRODUITS AGRICOLES

# La contamination de certaines denrées varie d'une région à l'autre

Le lait, la viande et les légumes produits dans les régions les plus arrosées peuvent être jusqu'à 5 fois plus contaminés que les denrées provenant des régions où les précipitations sont faibles. Cet écart se retrouve dans l'assiette des consommateurs : jusqu'au début des années 80, les enfants d'Auvergne ou des Vosges ingèrent en moyenne 2,5 fois plus de césium 137 que ceux de la Région parisienne.

### Lait et viande

La variabilité des dépôts liée à la pluviométrie explique en grande partie la variabilité régionale des niveaux de contamination du lait et de la viande. Le lait produit à Vioménil dans les Vosges (1200 mm de précipitations moyennes annuelles) présente 5 fois plus de  $^{90}\text{Sr}$  que celui produit près de Sauveterre dans la basse vallée du Rhône (640 mm). D'autres facteurs comme la qualité des sols, les pratiques de culture ou d'affouragement des animaux, peuvent atténuer ou renforcer l'influence des dépôts. Ainsi, des dépôts 2 à 3 fois plus importants en Auvergne qu'en Région parisienne se traduisent ponctuellement par une viande de bœuf 10 fois plus contaminée.


 Activité du lait en  $^{90}\text{Sr}$  (Bq/l)

 Activité de la viande en  $^{137}\text{Cs}$  (Bq/kg)

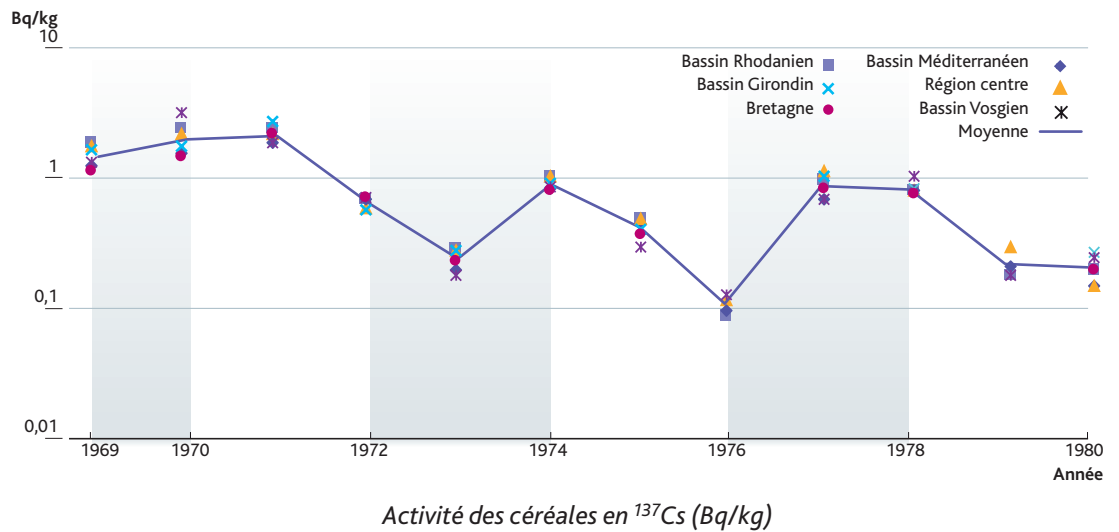
 Système de management  
 de la qualité IRSN certifié

#### Contact

 Philippe Renaud  
 DEI/SESURE/LERCN  
 Tél + 33(0) 04 42 19 96 71  
 philippe.renaud@irsn.fr

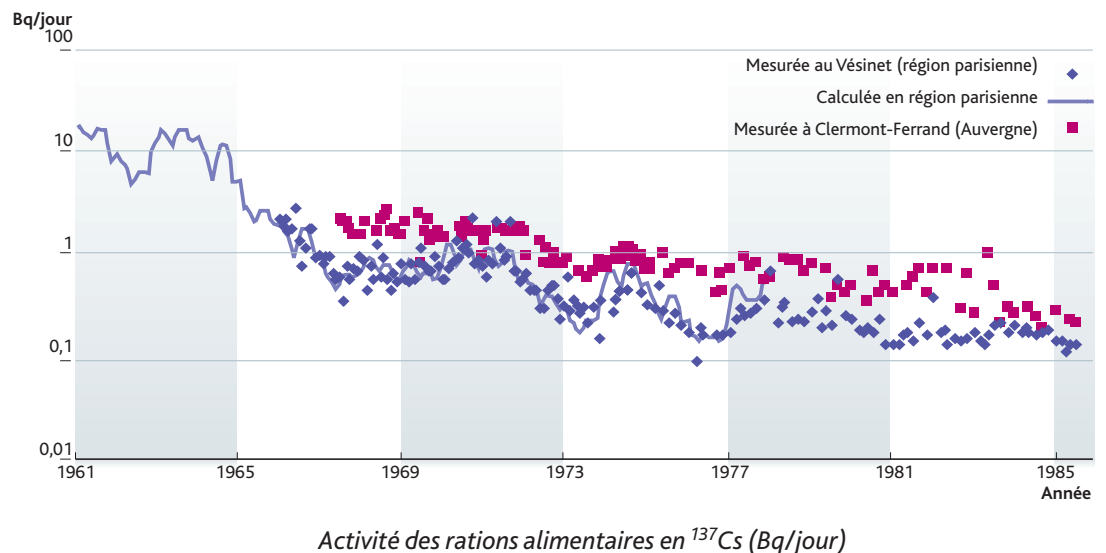
## Céréales

En revanche, les mesures de céréales ne montrent pas de différences régionales significatives. Les céréales sont le plus souvent produites en plaine dans de grands bassins de production soumis à des pluviométries moyennes et donc à des dépôts moyens similaires, spatialement comme temporellement.



## Rations alimentaires

La variabilité régionale observée dans le lait et la viande suffit à influencer l'activité ingérée par la population. Ainsi, les activités en  $^{137}\text{Cs}$  et  $^{90}\text{Sr}$  mesurées dans les plateaux-repas des cantines de Clermont-Ferrand sont en moyenne 2,5 fois supérieures à celles mesurées au Vésinet en Région parisienne. Ces activités sont cohérentes avec les valeurs calculées à partir des dépôts et de la contamination mesurée dans la chaîne alimentaire, ce qui permet de déduire qu'au début des années 60, l'ingestion se situait autour de 10 Bq/jour et par personne pour le césium 137 et 3 Bq/jour et par personne pour le strontium 90.



### Adresse postale

Institut de radioprotection  
et de sûreté nucléaire  
DEI/SESURE/LERCM  
Philippe Renaud  
B.P. 3  
13115 St Paul-lez-Durance

### Siège social

31, av. de la Division Leclerc  
92260 Fontenay-aux-Roses  
Tél. +33 (0)1 58 35 88 88  
RCS Nanterre B 440 546 018

**IRSN**INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

## LES DOSES REÇUES PAR LA POPULATION

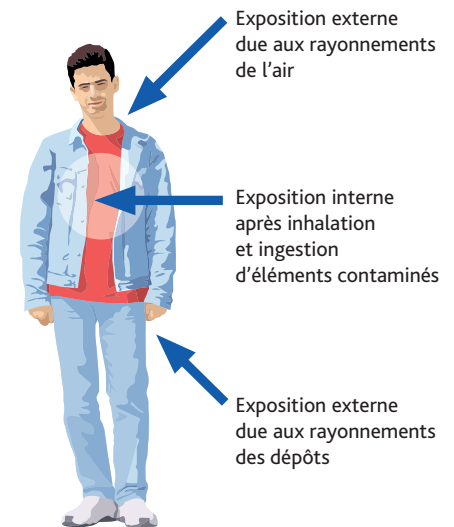
En France métropolitaine, la dose annuelle due aux essais nucléaires atteint 300  $\mu\text{Sv}$  (microsieverts) en moyenne, en 1963

La génération la plus exposée aux retombées des essais atmosphériques est celle des enfants nés en 1961 : leur dose cumulée à 18 ans est estimée à 1,5 millisievert (mSv) en moyenne et jusqu'à 5 mSv dans les régions les plus arrosées. L'essentiel de ces estimations repose sur des mesures dans l'environnement.

L'air, le sol et les denrées contaminés sont les trois sources d'exposition aux rayonnements.

La population est d'abord exposée aux particules radioactives contenues dans l'air (exposition externe due aux rayonnements de l'air et exposition interne après inhalation). Elle est ensuite exposée aux rayonnements émis par les dépôts radioactifs sur les sols et les végétaux (exposition externe due aux rayonnements des dépôts), ainsi qu'à la contamination de la chaîne alimentaire qui en résulte (exposition interne par ingestion).

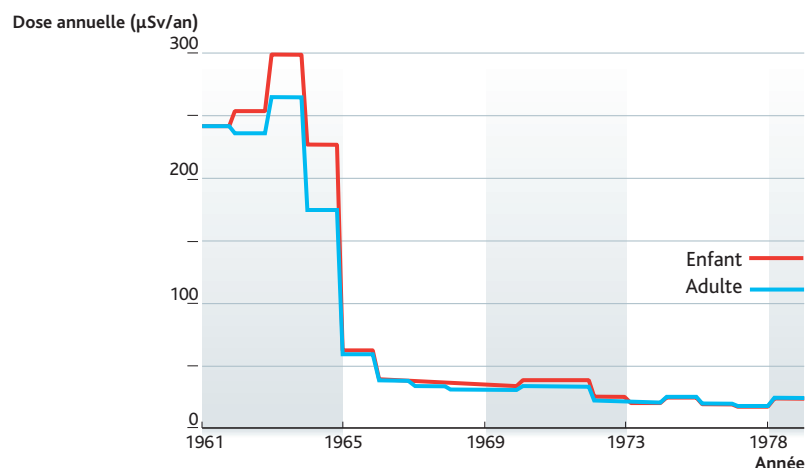
La dose, plus précisément la "dose au corps entier", est un indicateur global d'évaluation du risque qui permet d'effectuer des comparaisons entre des situations très diverses (radioactivité naturelle, accident de Tchernobyl, retombées des tirs, etc.).



Les voies d'exposition aux rayonnements

## 1963, une dose proche de celle de 1986, année de l'accident de Tchernobyl

La dose est maximale pour l'année 1963 : 300 microsieverts ( $\mu\text{Sv}$ ). C'est l'année où les activités dans l'air et les dépôts, responsables des doses par inhalation et exposition, sont les plus élevées. De plus, le  $^{137}\text{Cs}$  et le  $^{90}\text{Sr}$  des retombées des essais antérieurs, accumulés dans les sols, entraînent une exposition externe et une contamination supplémentaire de la chaîne alimentaire. En France, la dose de 1963 est du même ordre de grandeur que celle de l'année 1986, due aux retombées de l'accident de Tchernobyl.



Système de management  
de la qualité IRSN certifié

## Contact

Philippe Renaud  
DEI/SESURE/LERCM  
Tél + 33(0) 04 42 19 96 71  
philippe.renaud@irsn.fr

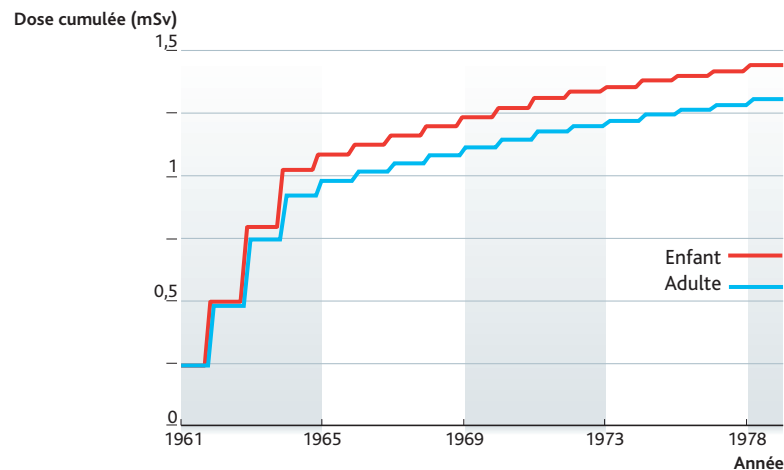
L'arrêt des essais américains et soviétiques a entraîné une diminution rapide de la dose à moins de 40  $\mu\text{Sv}$  en 1966. La rémanence dans les sols et les retombées des essais chinois l'entretiennent jusqu'au début des années 80, la dose est alors de l'ordre de 20  $\mu\text{Sv}/\text{an}$ . Depuis, elle diminue régulièrement.



## Dose cumulée

Pendant la même période, la dose cumulée attribuée aux essais augmente lentement, passant de 1 mSv en 1966 à 1,5 mSv en 1978. Depuis, elle n'augmente presque plus. Près de 70% de la dose totale due aux retombées des essais nucléaires (hors  $^{14}\text{C}$ ) aura été délivrée avant 1967.

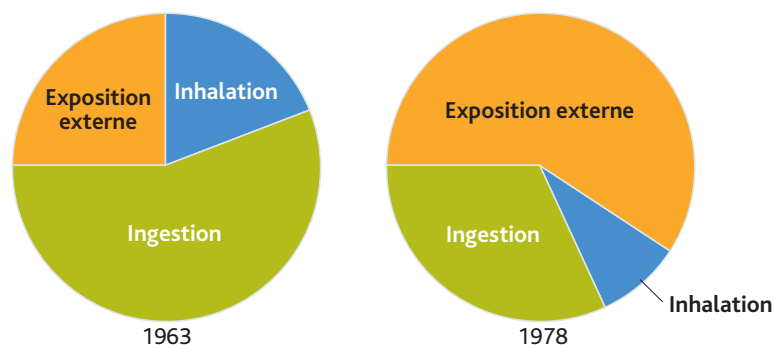
Cette dose cumulée sur 18 ans (de 1961 à 1978), de l'ordre de 1,5 mSv sur la majeure partie du pays et jusqu'à 5 mSv dans les régions où les précipitations moyennes annuelles ont été les plus fortes, correspond à une ou deux années d'exposition aux rayonnements naturels.



## Voies d'exposition

En 1963, la dose par ingestion a représenté 60% de la dose totale. Elle a résulté majoritairement de la présence de  $^{137}\text{Cs}$  et de  $^{90}\text{Sr}$ . La mesure de ces deux radionucléides dans les plateaux-repas des cantines constitue un élément de validation important de la dose par ingestion. L'exposition externe aux dépôts est la deuxième composante de la dose totale.

En 1977, la contamination de la chaîne alimentaire, qui ne provient plus que du  $^{137}\text{Cs}$  et du  $^{90}\text{Sr}$  accumulés dans les sols ainsi que des retombées de l'unique essai chinois de puissance moyenne de l'automne 76, est beaucoup plus faible, ramenant la contribution de la dose par ingestion à 30%. La contribution de l'exposition externe aux dépôts devient prépondérante. Plus de la moitié de cette exposition est imputable au  $^{95}\text{Zr}$ , très régulièrement mesuré dans l'air et dans l'eau de pluie, et dont les dépôts sont bien connus.



Contribution des différentes voies d'exposition à la dose

### Adresse postale

Institut de radioprotection  
et de sûreté nucléaire  
DEI/SESURE/LERCM  
Philippe Renaud  
B.P. 3  
13115 St Paul-lez-Durance

### Siège social

31, av. de la Division Leclerc  
92260 Fontenay-aux-Roses  
Tél. +33 (0)1 58 35 88 88  
RCS Nanterre B 440 546 018

**IRSN**INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

## LES DOSES REÇUES PAR LA POPULATION

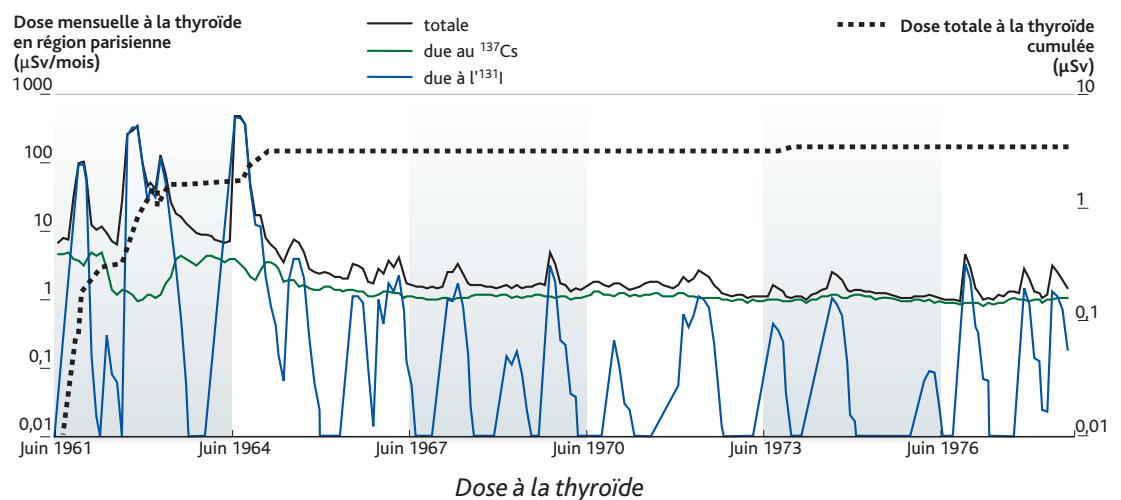
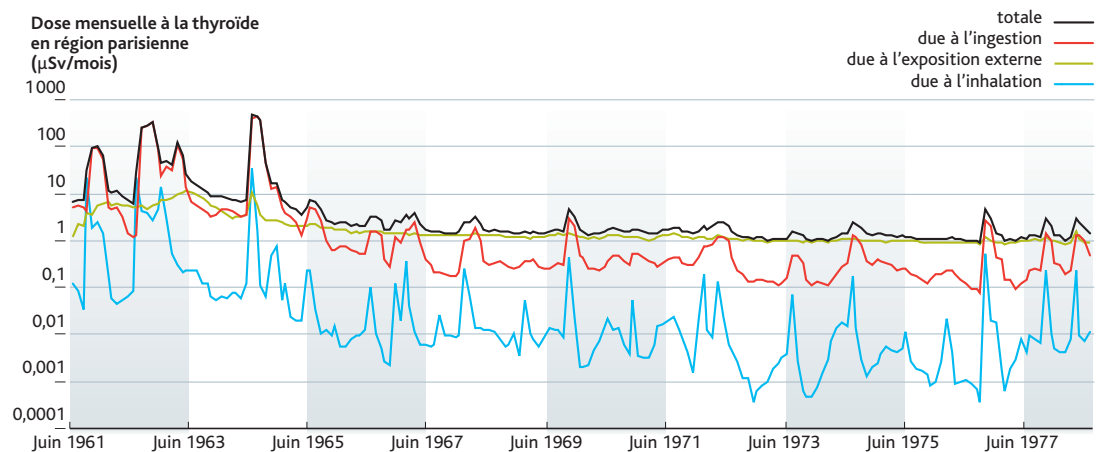
Avec une valeur maximale de 1 mSv  
pour l'année 1963, les doses à la thyroïde  
sont faibles au regard des doses efficaces

Les bouffées d'iode  $^{131}\text{I}$ , principales responsables de l'exposition de la thyroïde, sont brèves, alors que d'autres radionucléides contribuent faiblement mais de manière prolongée aux doses à la thyroïde. Ainsi, depuis le début des années 70, le césium 137 accumulé dans les sols est devenu le principal contributeur aux doses à la thyroïde.

Le calcul de la dose à la thyroïde permet d'évaluer le risque de développer des maladies spécifiques à cet organe, particulièrement sensible aux rayonnements chez l'enfant.

Pour les enfants nés au début des années 60, la contamination des denrées par l'iode  $^{131}\text{I}$ , résultant des bouffées successives des nombreux essais, constitue la composante principale des doses à la thyroïde. En région parisienne, les doses fluctuent brutalement d'un mois à l'autre, passant de 10  $\mu\text{Sv}/\text{mois}$  jusqu'à près de 500  $\mu\text{Sv}/\text{mois}$ , en juin et juillet 1964 notamment. La dose cumulée augmente après chacun des épisodes "iode  $^{131}\text{I}$ ", pour atteindre 3 mSv en août 1964.

A partir de 1965, les activités en  $^{131}\text{I}$  sont plus faibles et plus rares. Entre deux épisodes, le  $^{137}\text{Cs}$  provoque une exposition de la thyroïde d'un peu plus de 1  $\mu\text{Sv}/\text{mois}$  (soit 15  $\mu\text{Sv}/\text{an}$ ). Cette dose beaucoup plus faible résulte de l'exposition externe aux rayonnements émis par le  $^{137}\text{Cs}$  accumulé dans les sols, et, dans une moindre mesure, de l'ingestion de ce radionucléide.

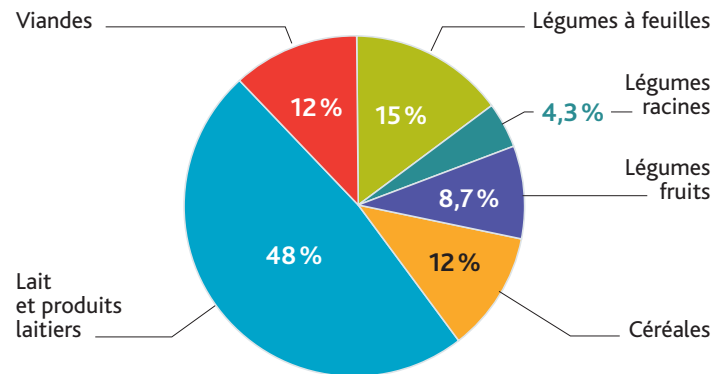
Système de management  
de la qualité IRSN certifié

## Contact

Philippe Renaud  
DEI/SESURE/LERCM  
Tél + 33(0) 04 42 19 96 71  
philippe.renaud@irsn.fr

Globalement, pour un enfant né en 1961, la dose due à l'ingestion de denrées contaminées représente plus de 80 % de la dose cumulée à la thyroïde. L'ingestion de lait et de produits laitiers y contribue majoritairement.

Contrairement aux doses au corps entier, peu variables, les doses à la thyroïde sont sensibles aux variations de la contamination en <sup>131</sup>I des produits laitiers, ainsi qu'aux habitudes de consommation de ces produits : quantités consommées, lait maternel ou en poudre, frais ou de longue conservation. Leur estimation est par ailleurs basée sur un nombre beaucoup plus restreint de mesures.



*Contribution des denrées alimentaires à la dose à la thyroïde pour un enfant né en 1961, tout au long de ses 17 premières années*

#### Adresse postale

Institut de radioprotection  
et de sûreté nucléaire  
DEI/SESURE/LERCM  
Philippe Renaud  
B.P. 3  
13115 St Paul-lez-Durance

#### Siège social

31, av. de la Division Leclerc  
92260 Fontenay-aux-Roses  
Tél. +33 (0)1 58 35 88 88  
RCS Nanterre B 440 546 018

**IRSN**INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

## LES DOSES REÇUES PAR LA POPULATION

# Le carbone 14 dû aux essais nucléaires : une faible contribution aux doses

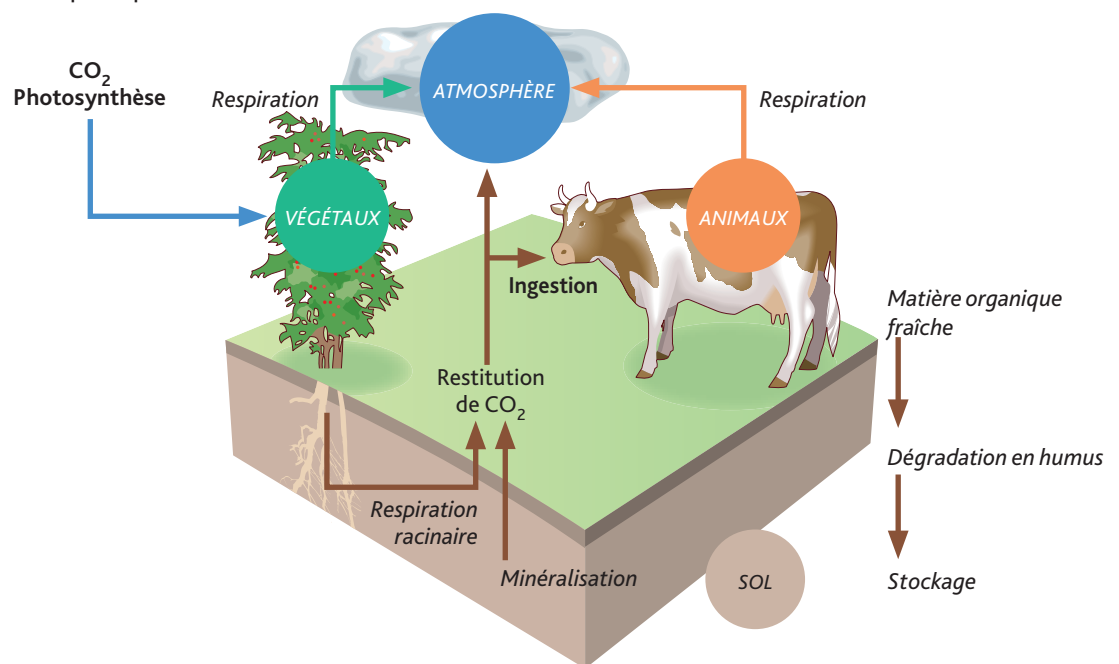
**Le carbone 14 résultant des essais nucléaires atmosphériques s'est ajouté au carbone 14 naturellement produit dans la haute atmosphère. Sa teneur a pratiquement doublé entre 1955 et 1965, au plus fort des retombées des essais nucléaires.**

Le **carbone est un constituant fondamental de la matière vivante**. Il est également présent dans le dioxyde de carbone de l'atmosphère ( $\text{CO}_2$ ), les roches calcaires, en particulier les carbonates des océans et les combustibles fossiles (pétrole, charbon, etc.). Il est constitué principalement de  $^{12}\text{C}$  stable, d'une très faible proportion de  $^{13}\text{C}$  et d'une infime quantité de  $^{14}\text{C}$ .

Le  $^{14}\text{C}$  (appelé radiocarbone) est radioactif avec une période de 5 730 ans.

Il est formé en permanence dans l'atmosphère par action des rayonnements cosmiques sur l'azote de l'air, à raison d'environ  $1,54 \cdot 10^{15}$  Bq/an. Sa production évolue donc en permanence avec la variation de l'énergie émise par le soleil et avec celle du champ magnétique terrestre.

À ce radiocarbone naturel se sont ajoutés environ  $213 \cdot 10^{15}$  Bq émis lors des essais nucléaires atmosphériques.



Cycle du carbone (représentation simplifiée)

Le  $^{14}\text{C}$  est intégré au cycle du carbone. Dans les végétaux, son incorporation résulte de la photosynthèse et, dans les animaux, de l'ingestion de matière organique végétale.

Grâce à la photosynthèse, les végétaux incorporent le carbone présent dans le gaz carbonique de l'air et fabriquent leur matière organique. Les animaux se nourrissent de végétaux et le carbone devient ainsi partie intégrante de tous les organismes vivants. Ceux-ci en restituent une faible part directement dans l'air par leur respiration et, surtout, après leur mort par leur propre décomposition. Dans le sol, le carbone organique est lentement décomposé en carbone minéral et peut retourner à l'atmosphère.



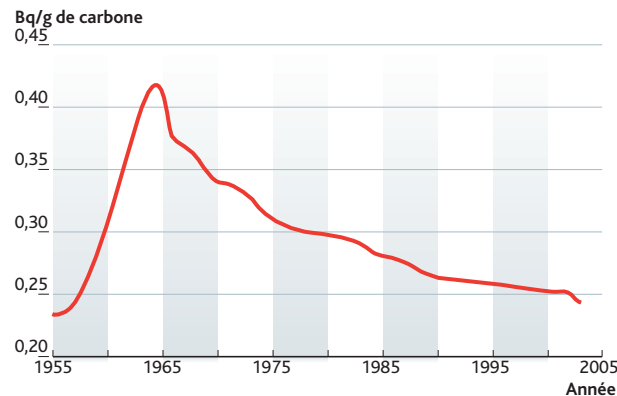
Système de management  
de la qualité IRSN certifié

### Contact

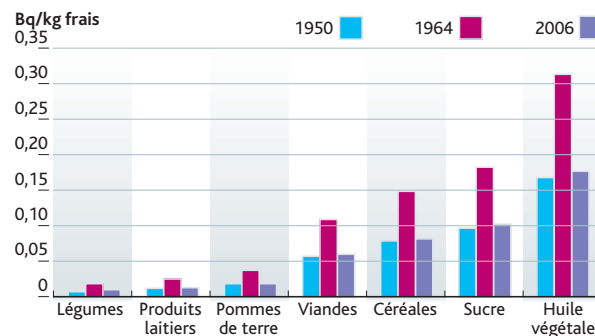
Sylvie Roussel - Debet  
DEI/SESURE/LERCM  
Tél + 33(0) 4 42 19 96 83  
sylvie.roussel-debet@irsn.fr

## Un pic de carbone 14 en 1965

Dans l'hémisphère nord, la contamination en  $^{14}\text{C}$  de la biosphère a pratiquement doublé entre 1955 et 1965, au plus fort des retombées des essais nucléaires. Depuis cette date, elle décroît lentement, en raison de l'arrêt de ces essais et de l'augmentation régulière du carbone provenant de combustibles fossiles, dépourvus de  $^{14}\text{C}$ .



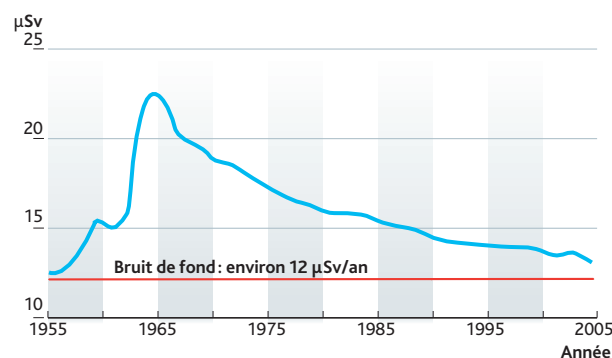
Concentration en  $^{14}\text{C}$  du carbone de la biosphère



Contamination en  $^{14}\text{C}$  des denrées alimentaires

## Dose annuelle due au carbone 14

Pour un adulte, la dose est passée de 12  $\mu\text{Sv}/\text{an}$  en 1950 à un maximum de l'ordre de 22  $\mu\text{Sv}/\text{an}$  en 1964, pour redescendre ensuite à 13  $\mu\text{Sv}/\text{an}$ , niveau à peine supérieur à sa valeur initiale.



Dose annuelle par ingestion pour l'adulte ( $^{14}\text{C}$  naturel et  $^{14}\text{C}$  dû aux essais)

En 1964, la contribution à la dose annuelle du  $^{14}\text{C}$  provenant des essais nucléaires a été de 10  $\mu\text{Sv}$ , soit 5% de la dose totale imputable aux essais nucléaires cette année-là (200  $\mu\text{Sv}$ ). Aujourd'hui, cette contribution est négligeable.

### Adresse postale

Institut de radioprotection  
et de sûreté nucléaire  
DEI/SESURE/LERCM  
Sylvie Roussel-Debet  
B.P. 3  
13115 St Paul-lez-Durance

### Siège social

31, av. de la Division Leclerc  
92260 Fontenay-aux-Roses  
Tél. +33 (0)1 58 35 88 88  
RCS Nanterre B 440 546 018