

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE



Tchernobyl

Fin avril 1986,
lors d'un accident
nucléaire majeur,
un nuage radioactif
était rejeté dans
l'atmosphère...

Radioactivité naturelle

Les unités

Becquerel

Le becquerel est l'unité de mesure de la radioactivité. Il correspond à une désintégration par seconde, quel que soit le type de rayonnement émis (α , β , γ ou neutron).

Gray

Le gray (Gy) est l'unité de dose absorbée. Il correspond à la production d'un joule obtenue par l'interaction entre le rayonnement reçu et un kilogramme de matière.

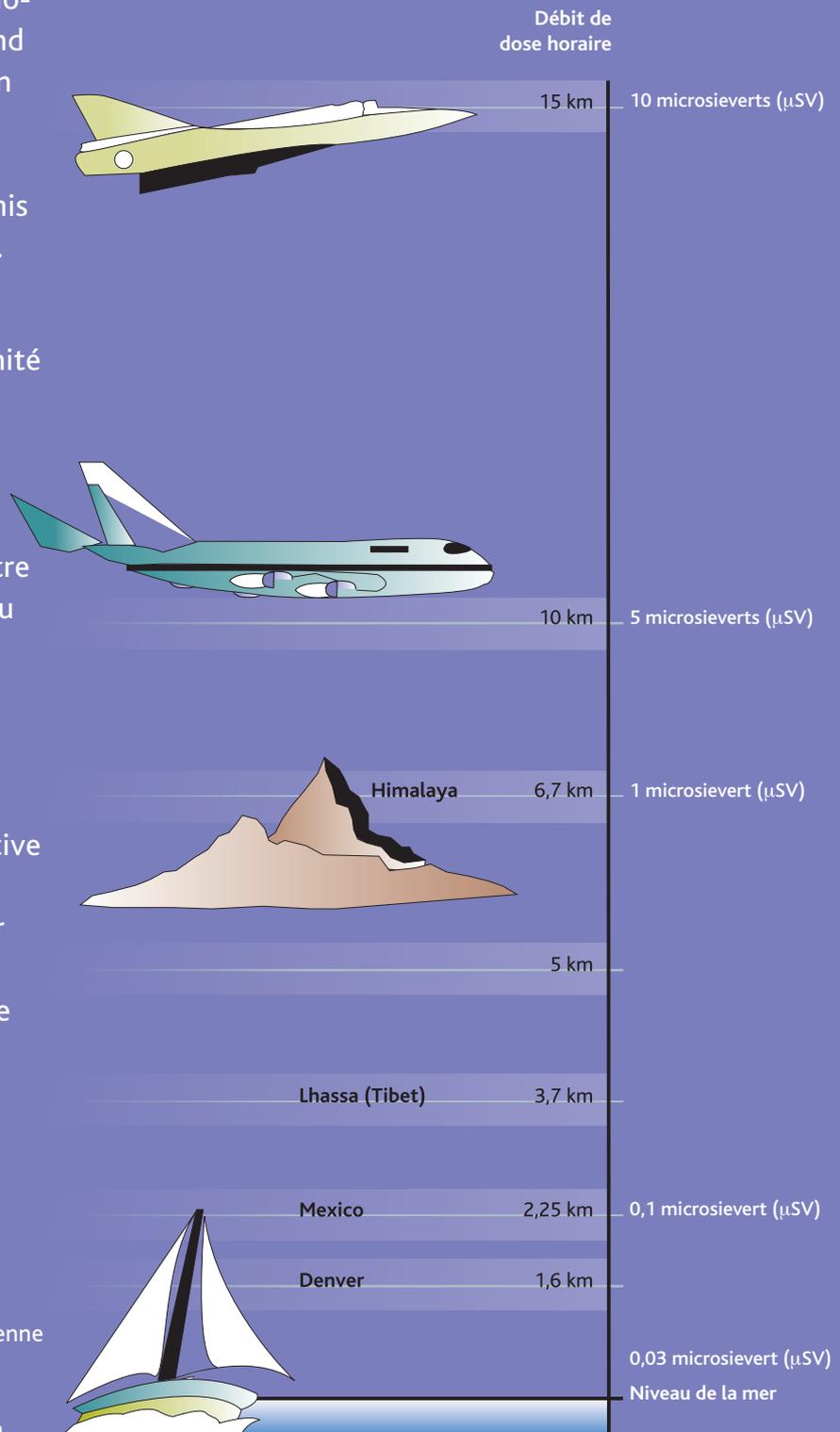
Sievert

Le sievert (Sv) est l'unité de dose relative aux rayonnements ionisants. Pour tenir compte des effets différents de chaque rayonnement sur l'organisme, on multiplie la dose absorbée par un facteur Q.

Rappel

La dose individuelle moyenne due à la radioactivité naturelle en France est de 2,4 millisieverts par an.

La dose due aux rayonnements cosmiques croît avec l'altitude





Que faut-il savoir sur Tchernobyl ?

- Qu'est-ce que la radioactivité ? p. 2
- 1 ■ L'accident** p. 4
- 2 ■ Les rejets** p. 7
- 3 ■ La dispersion du panache radioactif
sur l'Europe** p. 8
- 4 ■ La formation des dépôts radioactifs
en Europe** p. 12
- 5 ■ La contamination des milieux
et de la chaîne alimentaire** p. 17
- 6 ■ L'impact sanitaire dans les territoires
les plus contaminés** p. 24
- 7 ■ Les doses reçues en France et les risques
associés** p. 28
- 8 ■ Le site aujourd'hui** p. 31
- 9 ■ Les leçons de Tchernobyl** p. 33

Qu'est-ce que la radioactivité ?

La radioactivité est un phénomène naturel qui existe depuis que les atomes se sont formés, il y a des milliards d'années.

Tous les atomes sont bâtis sur le même modèle : un noyau formé de protons et de neutrons qu'entoure un cortège d'électrons.

La plupart des atomes ont un noyau stable et restent indéfiniment identiques à eux-mêmes. D'autres atomes ont un noyau instable en raison d'un excès de neutrons ou de protons : ils se transforment spontanément en un atome plus stable en libérant de l'énergie sous forme de rayonnements ; c'est le phénomène de la radioactivité.

Une source composée d'éléments radioactifs est caractérisée par son activité, exprimée en becquerels (Bq) : 1 Bq correspond à une transformation radioactive par seconde. Plus l'activité d'une source est élevée, plus la quantité de rayonnement émis est importante. Au fur et à mesure que les noyaux radioactifs contenus dans une source se transforment, l'activité de la source décroît : la demi-vie, ou période radioactive, est le temps nécessaire pour que l'activité d'une source diminue de moitié.

Le rayonnement émis par une source radioactive transporte une énergie importante qui est progressivement absorbée par la matière qu'il traverse. Ce transfert d'énergie dans la matière est quantifié par la dose absorbée, exprimée en grays (Gy).

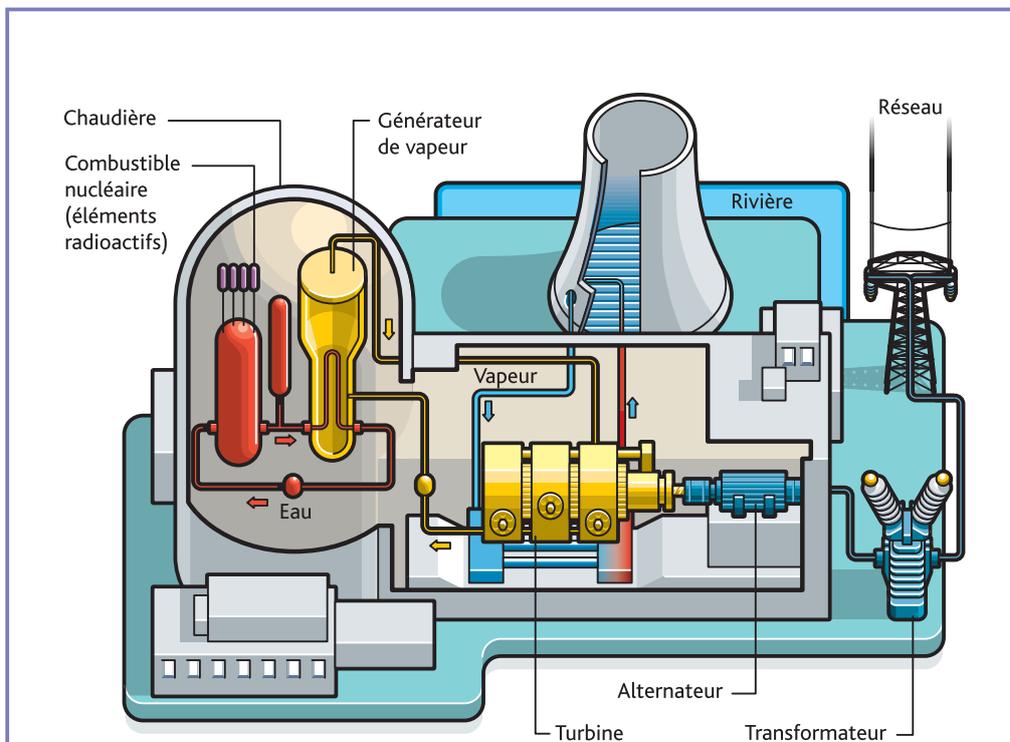
Lorsqu'une personne est exposée au rayonnement émis par une source radioactive, la dose absorbée par les tissus traversés par ce rayonnement peut provoquer des dommages biologiques. En fonction des caractéristiques du rayonnement et de la sensibilité des organes irradiés, le risque de détriment sur la santé est évalué par la dose efficace (corps entier) ou à l'organe, exprimée en sieverts (Sv).

Nous sommes exposés en permanence à des sources naturelles de radioactivité, dans notre environnement, dans l'air que nous respirons, dans les aliments que nous consommons ou au sein même de notre propre corps. Nous sommes également exposés à des rayonnements provenant de sources artificielles créées par



l'homme (radiographies médicales, retombées des essais d'armes nucléaires dans l'atmosphère, installations nucléaires, etc.).

La dose individuelle moyenne due à la radioactivité naturelle en France est de 2,4 millisieverts par an.



LE FONCTIONNEMENT D'UNE CENTRALE

Les centrales thermiques, hydrauliques et nucléaires sont basées sur un même principe : une turbine dont le mouvement entraîne un alternateur qui fabrique de l'électricité. Dans les centrales thermiques classiques, on utilise la combustion du charbon, du gaz naturel ou du pétrole pour transformer de l'eau en vapeur capable d'entraîner la turbine. Dans les centrales nucléaires, les noyaux d'uranium radioactifs remplacent le combustible fossile. Bombardés par des neutrons, ils se cassent et libèrent de la chaleur, qui sera utilisée pour produire la vapeur d'eau qui activera la turbine.

1

L'accident



*La centrale de Tchernobyl compte quatre réacteurs.
Le 26 avril 1986, le réacteur n° 4 explose.*

□ La centrale de Tchernobyl

Le réacteur nucléaire n° 4 de la centrale de Tchernobyl, en service depuis 1983, explose accidentellement le 26 avril 1986 à 1h23.

Il s'agit d'un réacteur de type RBMK, modèle soviétique conçu au milieu des années soixante. Il est refroidi par de l'eau bouil-

lante circulant en contact avec des gaines contenant de l'uranium enrichi.

La modération de la vitesse des neutrons, nécessaire à l'efficacité de la réaction de fission, est assurée par des blocs de graphite répartis autour du combustible nucléaire.

□ Trois causes conjuguées pour un accident

La première cause de l'accident est le réacteur lui-même : les autorités soviétiques n'ont pas assez pris en compte les problèmes de sûreté lors de sa conception.

La seconde cause est la mauvaise maîtrise de l'essai d'un nouveau système de refroidissement de secours du cœur, alors que le réacteur était en puissance réduite, état qui le rendait dif-

ficile à contrôler. Lors de cet essai, les opérateurs n'ont pas respecté des consignes de sécurité et ont désactivé certains systèmes d'arrêt et de refroidissement.

□ Un engrenage fatal

Le 25 avril 1986, entre 13h et 23h, le réacteur est maintenu à mi-puissance sur demande du centre de distribution électrique pour préparer l'essai.

Vers 23h, la réduction de puissance reprend. Une conduite inappropriée des opérateurs entraîne une baisse excessive de la puissance : dans cet état, le réacteur devient difficile à contrôler.

Le 26 avril à 1h15, en violation de la procédure, les opérateurs décident d'effectuer l'essai prévu et désactivent des systèmes d'arrêt d'urgence et de refroidissement.

À 1h22, le système automatique de contrôle du réacteur ordonne l'arrêt immédiat. Le personnel décide toutefois de continuer l'essai.

Enfin, le personnel n'a pas su anticiper et stopper à temps le processus destructeur. Il l'a même amplifié par des actions inappropriées.

À 1h23'04", les vannes d'alimentation de la turbine en vapeur sont fermées contrairement à ce qu'indique la procédure. La pression de vapeur produite par le réacteur augmente dans les circuits ainsi isolés.

À 1h23'21", les barres de contrôle de la réaction nucléaire descendent automatiquement sans effet notable.

À 1h23'40", le chef opérateur ordonne l'arrêt d'urgence : la totalité des barres est descendue dans le cœur. Cela devrait théoriquement arrêter la réaction en chaîne, mais rien ne se passe.

À 1h23'44", le pic de puissance est atteint en quelques secondes, dépassant de plus de 100 fois la puissance normale de ce réacteur.

□ Une explosion, puis un incendie

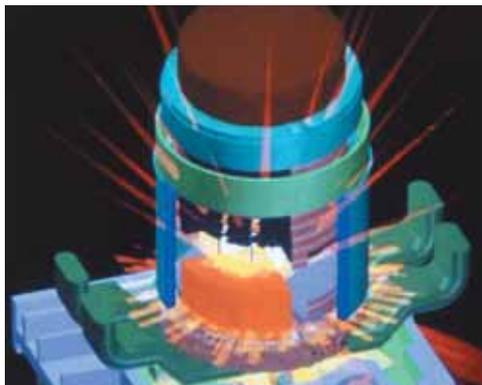
Dans le cœur, les crayons de combustible se fragmentent. Les pastilles d'oxyde d'uranium, surchauffées, explosent et provoquent une déflagration qui soulève la dalle supérieure du réacteur, d'un poids de 2 000 tonnes.

La partie supérieure du cœur du réacteur est à l'air libre. Le graphite prend feu, trente foyers

s'allument dans l'installation et la tranche voisine.

Il faudra trois heures aux pompiers pour les éteindre. Le feu du graphite reprend. Il ne sera vaincu que le 9 mai.

Du 27 avril au 10 mai, 5 000 tonnes de matériaux (sable, bore, argile, plomb, etc.) sont déversées par hélicoptère pour recouvrir le réacteur.



Dans le cœur, les crayons de combustible se fragmentent. Les pastilles d'oxyde d'uranium, surchauffées, explosent et provoquent une déflagration qui soulève la dalle supérieure du réacteur, d'un poids de 2 000 tonnes.

2

Les rejets



Les rejets radioactifs les plus importants se produisent au moment de l'explosion du réacteur.

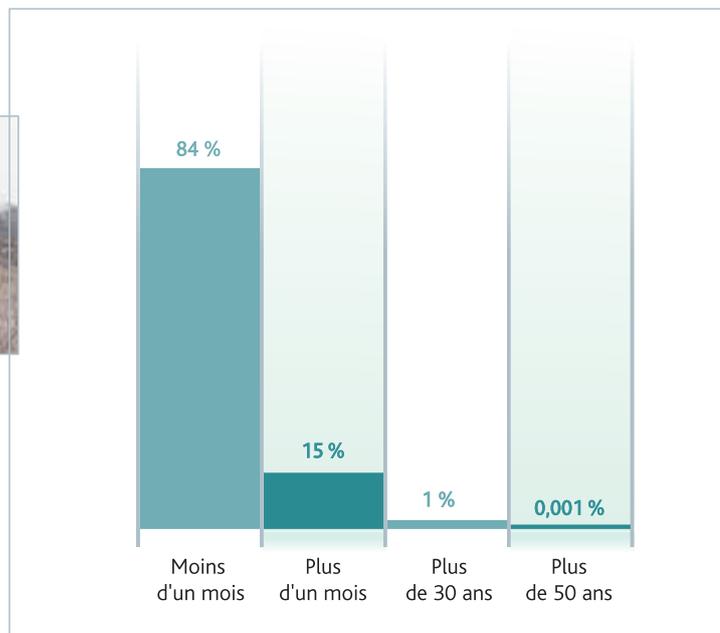
Sous l'effet de l'énergie libérée par l'accident, les produits radioactifs émis s'élèvent jusqu'à plus de 1 200 mètres de hauteur. Les rejets se poursuivent jusqu'au 5 mai, sous l'effet de l'incendie consécutif à l'accident puis de l'énergie dégagée en continu par le cœur détruit du réacteur.

Au total, ce sont près de 12 milliards de milliards de becquerels qui, en 10 jours, partent dans

l'environnement, soit 30 000 fois l'ensemble des rejets radioactifs atmosphériques des installations nucléaires dans le monde en une année.

* LA DEMI-VIE (OU PÉRIODE)

La demi-vie, ou période radioactive, est le temps nécessaire pour que l'activité d'une source diminue de moitié.



Proportion des éléments radioactifs rejetés par l'explosion du réacteur n° 4 selon leur demi-vie*.

3

La dispersion du panache radioactif sur l'Europe

Des débris de combustible nucléaire et des morceaux du réacteur sont projetés dans l'environnement proche de la centrale. Les poussières, les nuages de particules (aérosols) et les gaz partent en altitude et forment un panache entraîné au gré des vents par les masses d'air, sur des grandes distances.

Entre le 26 avril et la mi-mai 1986, le panache radioactif dissémine des éléments radioactifs tels que l'iode 131, le césium 134 et le césium 137 sur la plupart des pays d'Europe.

Au fil du temps, cette dispersion entraîne la dilution des éléments radioactifs dans l'air. Une partie des aérosols se dépose sur le trajet, appauvrissant le nuage radioactif dans la suite de son parcours. Enfin, les éléments

radioactifs ayant une demi-vie très courte (quelques heures) disparaissent par décroissance radioactive. Ainsi, la concentration des éléments radioactifs dans l'air, qui dépassait le 26 avril les 10 millions de becquerels par mètre cube (Bq/m^3) autour du réacteur accidenté, diminue en s'éloignant et n'atteint au maximum que quelques dizaines de becquerels par mètre cube le 1^{er} mai en France.

□ Les trajectoires du panache

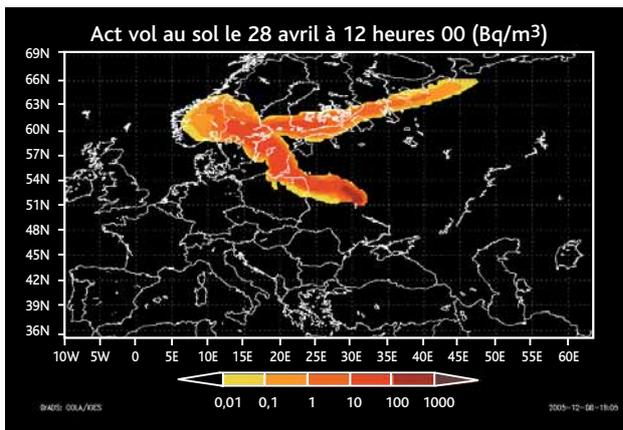
Dans un premier temps, le vent emporte vers le nord-ouest les matières radioactives rejetées le 26 avril. Parvenu au-dessus des pays baltes puis de la Scandinavie le 28 avril, ce premier panache est rabattu vers l'est, puis vers le sud, ramenant les polluants vers l'Europe centrale et les Balkans. Le panache correspondant aux rejets du 27 avril se dirige vers l'Europe de l'Ouest, l'Allemagne, la France et le nord de l'Italie, où il parvient entre le 30 avril et le

5 mai, avant d'être repris par un vent du sud qui le conduit sur les îles britanniques, épargnant ainsi l'Espagne et le Portugal.

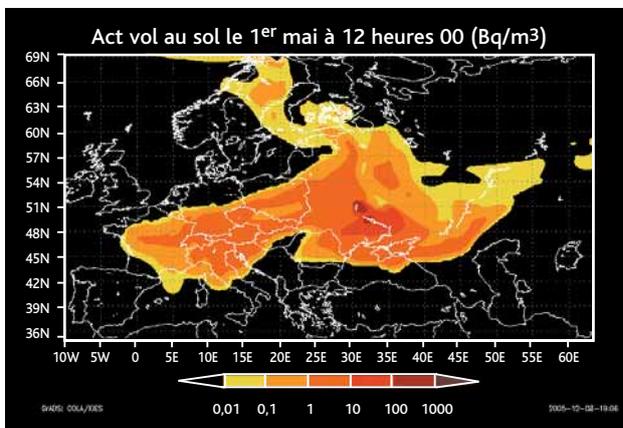
Les rejets émis par la centrale à partir du 28 avril sont emportés vers l'est et le sud, en direction de la Russie, du Caucase, de la Méditerranée orientale et de l'Europe centrale. **Ce faisant, les matières radioactives correspondant aux différents rejets et trajectoires se mélangent pour former une masse d'air conta-**

minée qui recouvre la majeure partie de l'Europe à des concentrations variables. Les éléments radioactifs se dissipent ensuite.

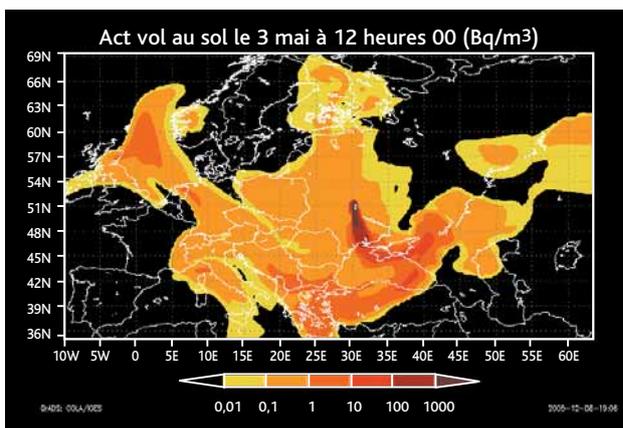
Ils finissent par être détectés en Amérique du Nord et au Japon, mais en quantité extrêmement faible.



Dispersion dans l'atmosphère du césium 137 rejeté par l'accident de Tchernobyl : situation le 28 avril 1986 à 12 heures (modélisation IRSN 2006).



Contamination de l'air par le césium 137 : situation le 1^{er} mai 1986 à 12 heures (modélisation IRSN 2006).



Contamination de l'air par le césium 137 : situation le 3 mai 1986 à 12 heures (modélisation IRSN 2006).

□ En France

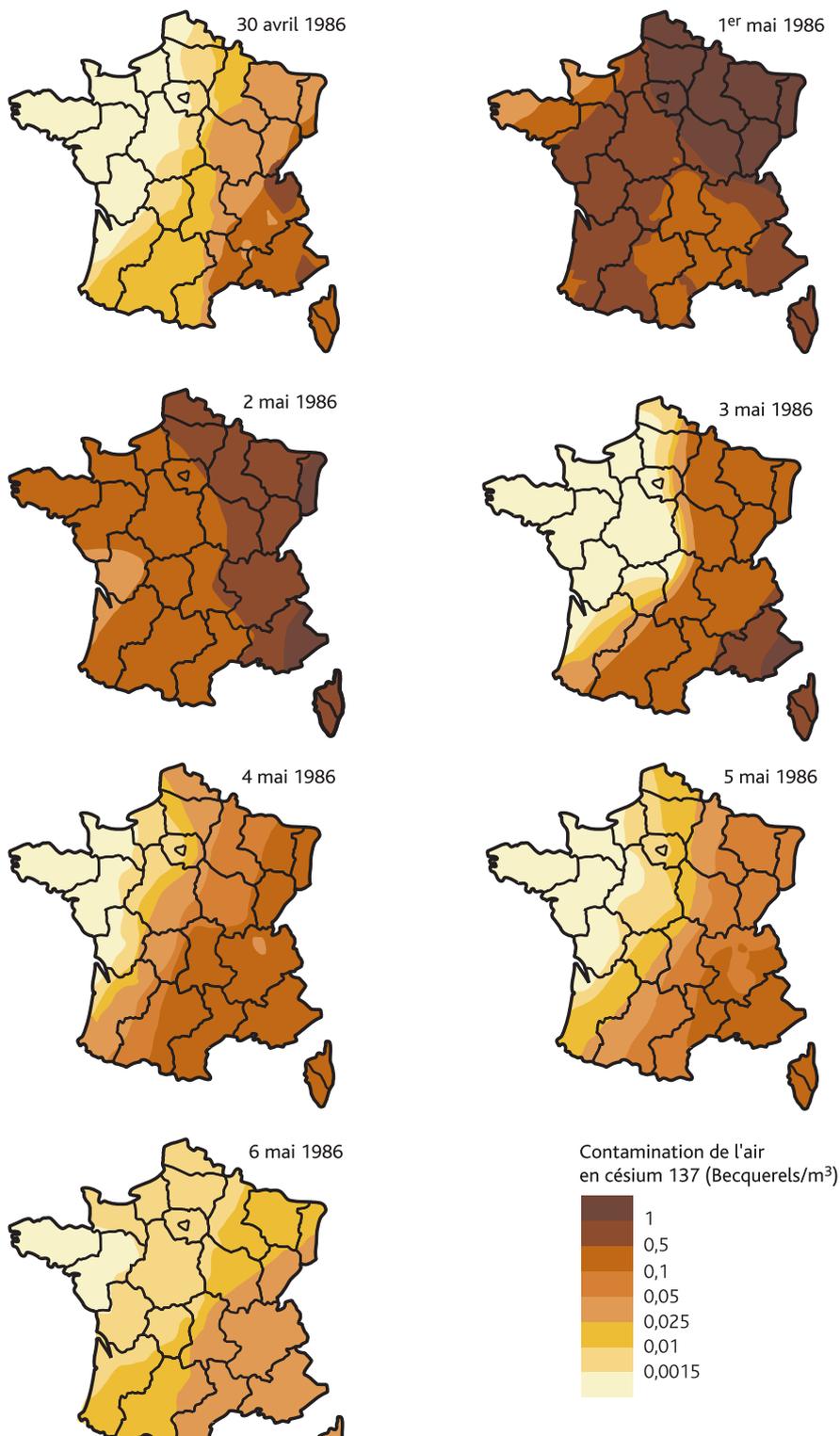
En France, la concentration des éléments radioactifs dans l'air augmente au cours du 30 avril 1986 dans l'extrême est du pays, pour atteindre un maximum le 1^{er} mai.

Les principaux éléments radioactifs mesurés dans l'air au début mai 1986, sont par ordre décroissant de concentration :

Éléments radioactifs	Période radioactive (demi-vie)
■ Iode 131.....	■ 8 jours
■ Tellure 132.....	■ 78 heures
■ Tellure 129m.....	■ 33 jours
■ Ruthénium 103.....	■ 39 jours
■ Césium 137.....	■ 30 ans
■ Césium 134.....	■ 2 ans
■ Baryum 140.....	■ 13 jours

La contamination de l'air persiste jusqu'au 5 mai tout en diminuant. C'est à l'est qu'elle demeure la plus élevée.

À partir du 6 mai, elle diminue fortement, le panache repartant vers l'est de l'Europe.



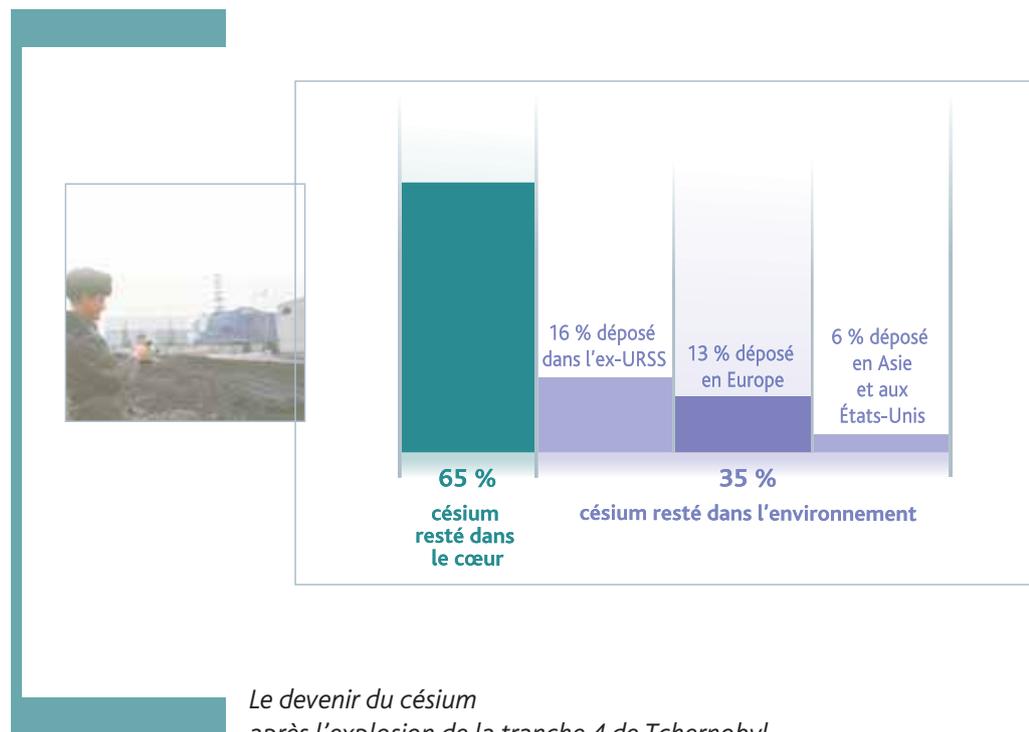
(Cartes construites par l'IRSN en 2004 à partir des mesures des prélèvements quotidiens d'aérosols obtenus par le réseau de balises du SCPRI).

Concentration moyenne du césium 137 dans l'air en France, entre le 30 avril et le 6 mai 1986.

4

La formation des dépôts radioactifs en Europe

Les particules radioactives transportées dans les masses d'air finissent par retomber au sol sous forme d'un dépôt sec lorsque les particules sont à proximité du sol et sous forme de dépôt humide, sous l'effet de la pluie ou de la neige contaminée par les éléments radioactifs de l'air.



Ces dépôts recouvrent aussi bien les végétaux, la terre qui les supporte, les plans d'eau mais aussi les surfaces bâties et les lieux de vie. Lorsque le dépôt est formé par les pluies, il se distribue au gré du ruissellement.

L'importance des dépôts formés en Europe est modulée par de très nombreux facteurs :

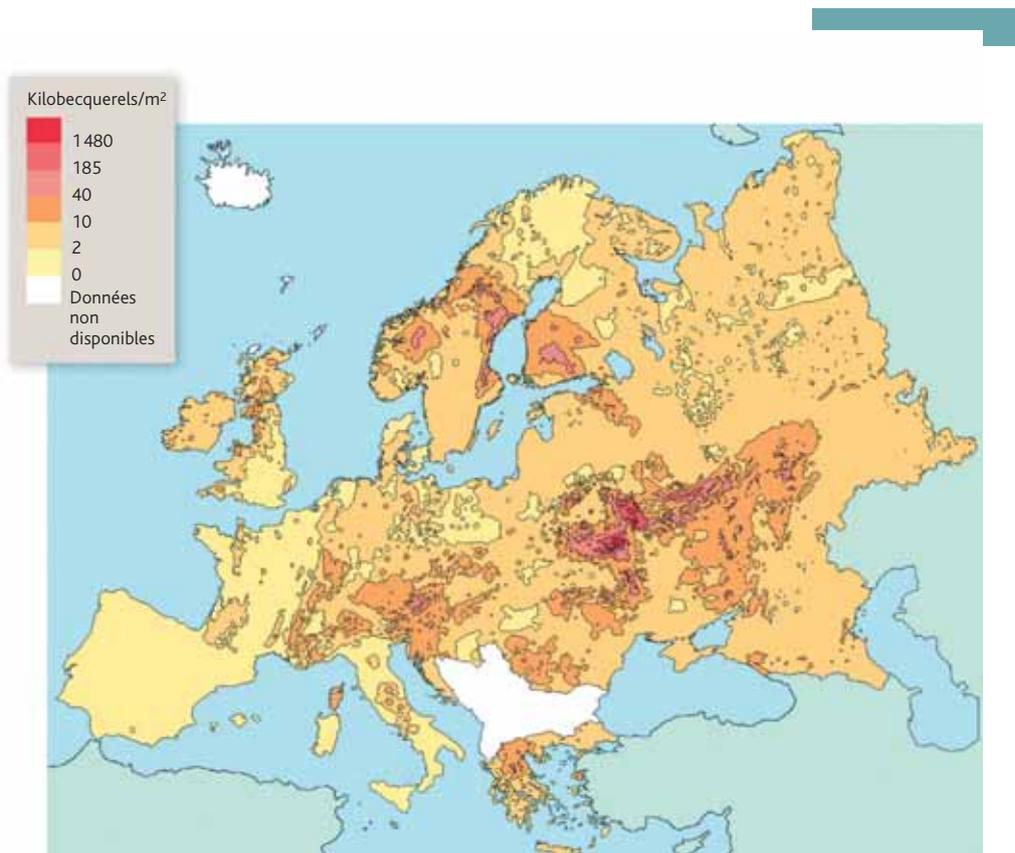
- Les particules les plus grosses et massives, notamment les débris de combustible nucléaire,

retombent au voisinage immédiat de la centrale, formant des dépôts très élevés. Ce périmètre correspond maintenant à la zone d'exclusion de 30 kilomètres autour de la centrale.

- L'importance de la concentration des éléments radioactifs dans l'air et la durée de présence du panache radioactif entraînent des dépôts élevés dans les trois pays les plus touchés : l'Ukraine, la Biélorussie et la Russie.

- Les dépôts sont fortement amplifiés sur les territoires où il a plu. Ils sont jusqu'à 10 fois plus importants que les dépôts secs formés aux mêmes endroits. Des « taches » de contamination se constituent au gré des épisodes pluvieux.
- Dans les zones montagneuses, où les pluies sont plus abondantes, les dépôts sont plus importants. Dans les zones forestières, le feuillage des arbres

capte plus facilement les poussières radioactives contenues dans l'air, ce qui contribue à y augmenter les dépôts radioactifs. Il en résulte des dépôts très hétérogènes, les plus importants étant répartis autour du site de Tchernobyl et dans les pays limitrophes de la centrale. Le césium 137 est un bon indicateur de la répartition des dépôts à l'échelle de l'Europe.

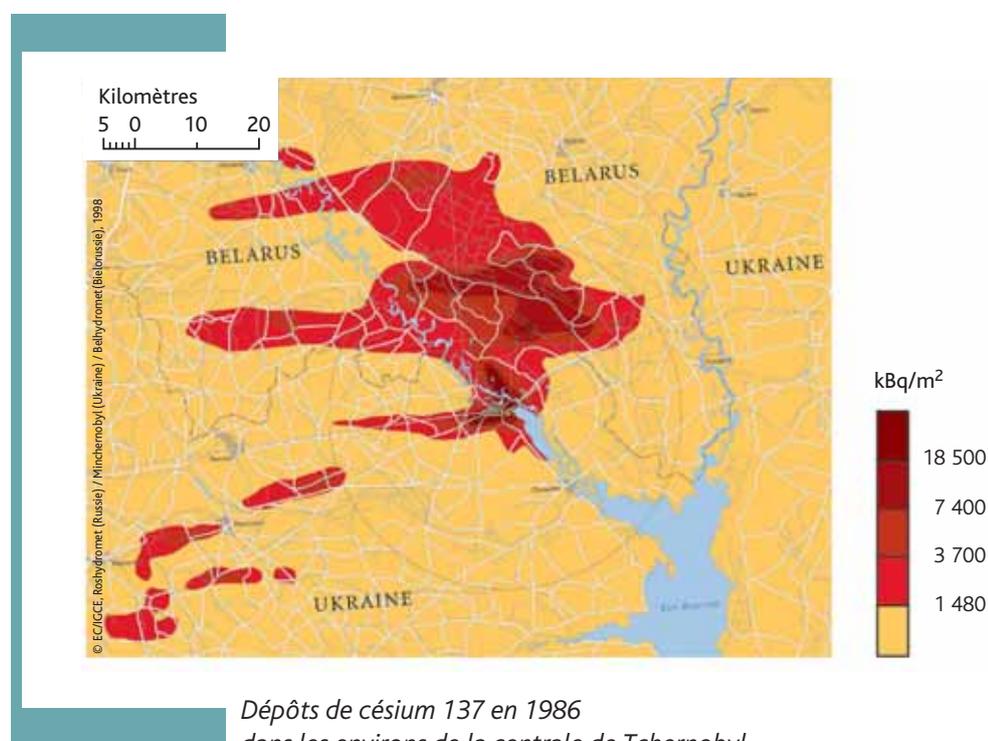


Carte des dépôts de césium 137 juste après l'accident de Tchernobyl à l'échelle de l'Europe (source : Atlas européen EC/IGCE 1998 et IRSN). Aucune donnée disponible sur les Balkans.

□ Territoires contaminés des pays de l'ex-URSS

En Russie, en Biélorussie et en Ukraine, de vastes territoires contaminés discontinus se forment, avec des dépôts pouvant atteindre plusieurs centaines de milliers, voire dépasser le million de becquerels par mètre

carré. Dans la zone proche de la centrale, des dépôts importants de strontium 90, de plutonium etc. se constituent en fonction des trajectoires des panaches de rejet.



□ Europe centrale et occidentale

Hors de l'ex-Union soviétique, on retrouve des dépôts dépassant 40 000 becquerels par mètre carré en Scandinavie (sud de la Finlande, partie centrale et orientale de la Suède, centre de la Norvège), en Europe centrale, notamment dans le sud

de la Roumanie, au niveau de la frontière entre la République tchèque et la Pologne, en Autriche et au nord de la Grèce, ainsi que sur des surfaces plus réduites en Suisse, en Bavière et en Italie (région des lacs et massif des Dolomites).

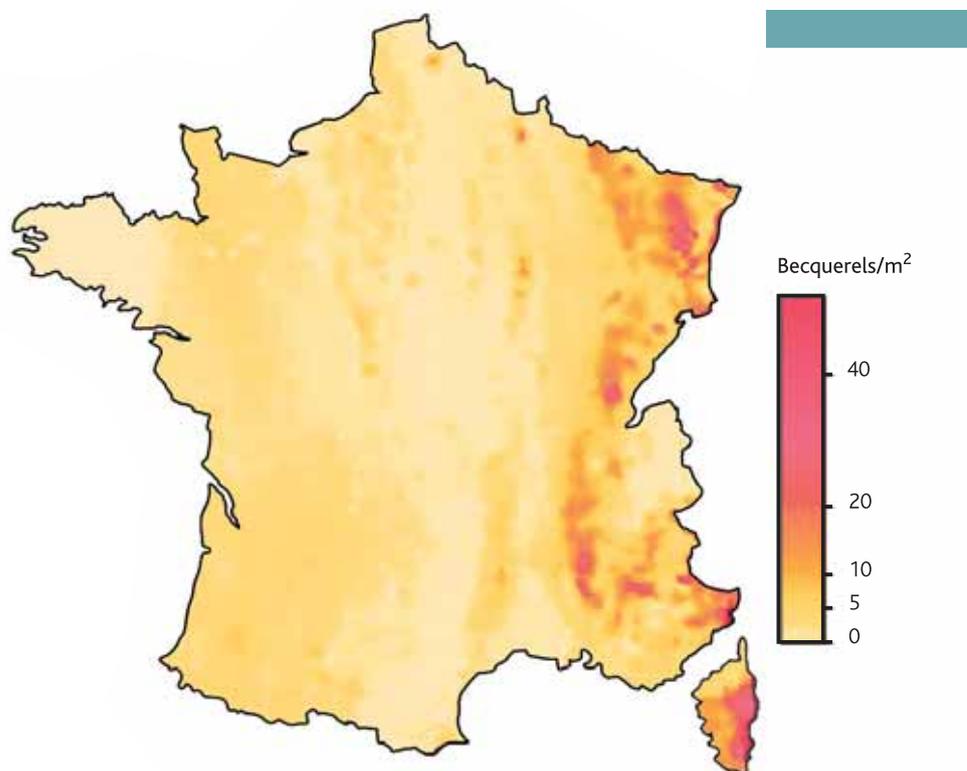
□ France

En raison de l'appauvrissement du panache radioactif et de la courte durée de contamination de l'air en France (cinq jours) les dépôts sont globalement faibles et tendent à être plus importants à l'est qu'à l'ouest de l'Europe.

Ainsi, les dépôts secs de césium 137 sont estimés autour de 1 000 becquerels par mètre carré dans l'est et à environ 100 becquerels par mètre carré dans les départements les plus à l'ouest.

Toutefois, des pluies fortes et localisées, notamment entre le 2 et le 4 mai, provoquent des dépôts humides plus importants à l'est d'une ligne allant globalement de la Moselle jusqu'à la Corse.

Certains territoires reçoivent des dépôts dépassant 10 000 becquerels par mètre carré voire, localement, 20 000 becquerels par mètre carré. Les départements du nord-est, de Franche-Comté, du sud des Alpes et de la Corse sont les plus concernés.



Reconstitution des retombées de césium 137 en mai 1986 à l'échelle de la France à l'aide d'une modélisation fondée sur l'intensité des pluies tombées début mai 1986 (IRSN 2005).

Très localement, des averses très intenses conduisent à des dépôts encore plus importants.

En montagne, la concentration du dépôt sous l'effet du ruissellement, de l'égouttement des arbres et de la fonte des amas de neige provoquent des taches de forte activité sur de très faibles surfaces (plusieurs becquerels par kilogramme de terre sur quelques décimètres carrés).

Dans le détail, un fort contraste de dépôt peut être observé au

sein d'un même département, pouvant atteindre un facteur 10 à 15 entre les extrêmes. Ceci rend très difficile la réalisation d'une cartographie précise.

L'iode 131 a qualitativement le même comportement que le césium 137 en terme de dépôt, à un niveau initial environ 10 fois plus élevé.

Toutefois, sa courte demi-vie (huit jours) entraîne sa disparition rapide dans les sols, contrairement au césium.



Échantillon de sol servant à la mesure des dépôts.

5

La contamination des milieux et de la chaîne alimentaire

Les dépôts formés par les retombées radioactives atmosphériques se répartissent sur les différents milieux de l'environnement.



Les végétaux sont ainsi directement contaminés par interception du dépôt par les feuilles, beaucoup plus efficace pour les dépôts secs que pour les dépôts humides, qui entraîne une contamination des productions agricoles et naturelles.

Du fait de la saison, l'herbe et les légumes à feuilles, notamment les salades, les épinards et les poireaux, sont les végétaux les plus touchés en mai 1986. Les animaux d'élevage sont également atteints *via* leur nourriture. Ce phénomène s'étend à la production qui s'y rattache, comme les produits laitiers et les viandes.

La contamination atteint un pic immédiatement après les dépôts et diminue fortement

dans les semaines qui suivent en raison de la croissance continue des végétaux. Elle est 100 fois plus faible au bout de trois mois.

Le sol retient une partie des éléments radioactifs déposés et, pour ceux qui ont une demi-vie longue et une tendance à se fixer sur les minéraux du sol, tels que le césium 137, un stock durable se forme.

À partir de 1987, le transfert des éléments radioactifs par les racines, beaucoup moins efficace que le transfert direct par les feuilles, contribue à entretenir une contamination chronique des végétaux et du reste de la chaîne alimentaire dans les territoires les plus touchés autour du site de Tchernobyl.

Les territoires contaminés de Russie, Biélorussie et d'Ukraine

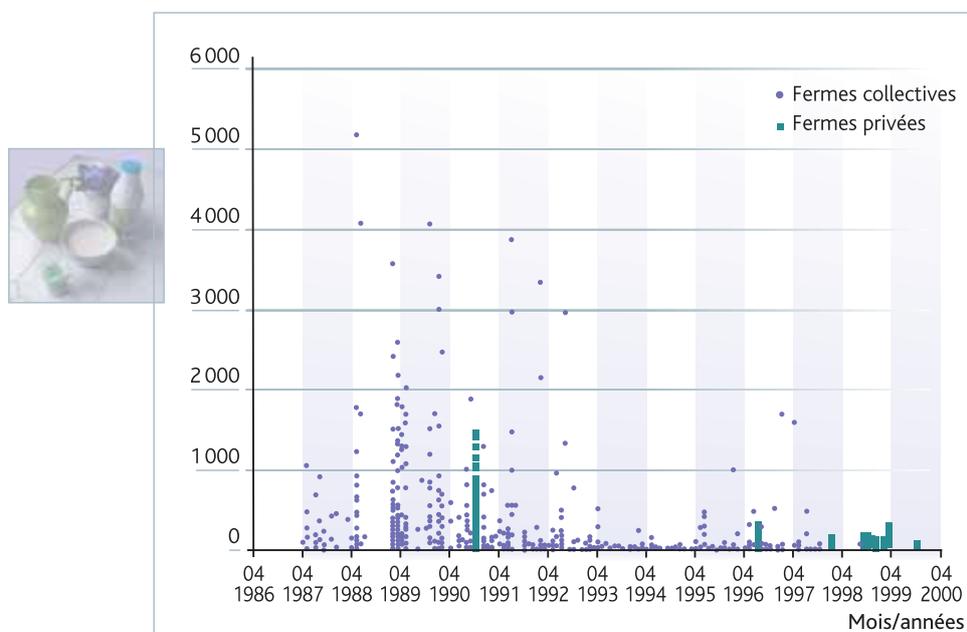
□ Les productions agricoles

Dans les territoires fortement touchés de Russie, Biélorussie et d'Ukraine, des niveaux élevés de contamination des productions agricoles sont observés en 1986, mais aussi durant les années suivantes.

Après 1986, la contamination reste surtout fixée dans les 10 à 20 premiers centimètres dans la majorité des sols.

Même si la contamination des produits agricoles diminue globalement au fil des années, il n'est pas rare d'observer fréquemment des valeurs élevées de concentration de césium 137 jusqu'au début des années 1990.

Ceci s'observe principalement dans la région de Gomel en Biélorussie, où l'on atteint plusieurs milliers de becquerels par



Activité du césium 137 (en becquerel/l) mesurée à partir de 1987 dans le lait de vache collecté dans les fermes des territoires contaminés. La contamination est très variable, en rapport avec l'intensité des retombées, mais aussi des actions de réhabilitation des surfaces agricoles.



litre pour le lait de vache, 1 000 à 5 000 becquerels par kilogramme dans la viande de bœuf ou 1 000 à 2 500 becquerels par kilogramme pour le chou.

La plus grande partie des céréales et des pommes de terre produites présente une activité

inférieure au seuil fixé à 100 becquerels par kilogramme.

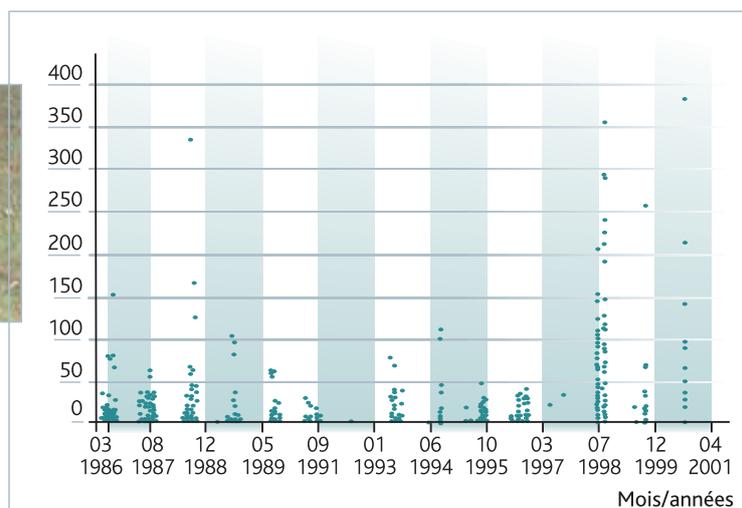
Cependant il subsiste des zones où ces activités sont restées notables, quelques milliers de becquerels par kilogramme dans les herbes naturelles ou certains fourrages.

▣ Les forêts

Les feuillages des arbres sont particulièrement sensibles à l'interception des aérosols ambiants. La chute des feuilles entraîne localement une contamination importante des arbres et des sols des forêts sur une surface

d'environ 40 000 kilomètres carrés.

Vingt ans après l'accident, la contamination par le césium 137 persiste dans la litière végétale et la terre, provoquant, *via* les racines, la contamination du bois,



Concentration du césium 137 mesurée dans des champignons récoltés entre 1986 et 2000 dans les territoires contaminés de Russie, Biélorussie et d'Ukraine.

ainsi que des champignons, des baies et du gibier.

Contrairement aux produits agricoles dont la contamination a généralement fortement diminué au fil du temps, on observe toujours de très fortes activités de césium 137 dans les produits

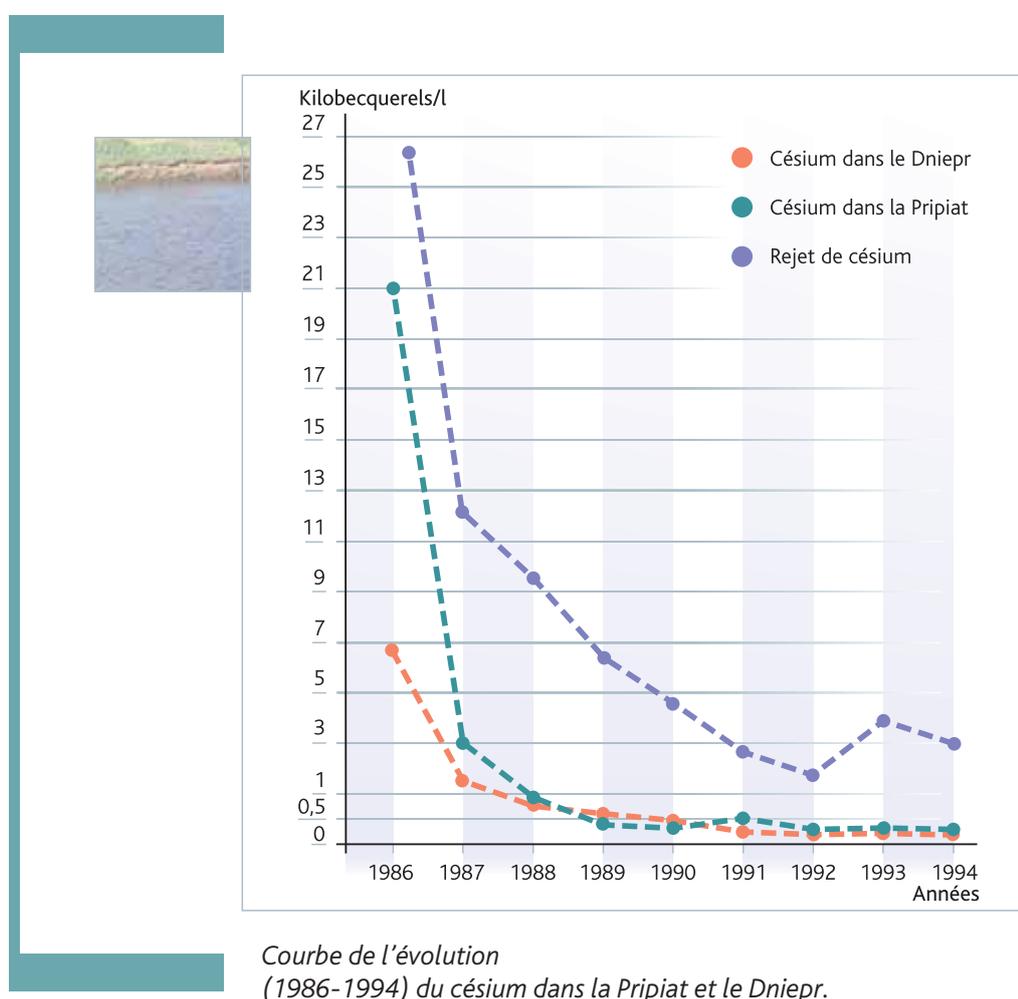
naturels récoltés dans les forêts des territoires les plus contaminés.

Ils atteignent parfois plusieurs dizaines de milliers de becquerels par kilogramme dans les champignons, le gibier et les baies sauvages.

□ Les eaux de rivière

L'impact sur les eaux de surface est surtout observé dans les territoires proches de la centrale

accidentée, où elles ont été contaminées directement par les retombées radioactives.





Ainsi, la Pripiat et le Dniepr, réservoirs en eau potable des principales villes d'Ukraine, sont contaminés au point de nécessiter, durant les premiers mois, la mise en œuvre d'actions préventives : mise en place de digues, approvisionnement des villes en eau depuis des zones non contaminées, restrictions d'usage. Certaines de ces mesures sont toujours en vigueur aujourd'hui.

En 1986 et les années suivantes, le ruissellement des eaux de pluie, la fonte de la neige ou les crues favorisent le lessivage d'une partie des dépôts de la surface du sol vers les cours d'eau. Les nappes phréatiques ne sont pas touchées, si ce n'est à proximité même du site en raison de l'infiltration dans

le sol où des débris contaminés ont été hâtivement enfouis. Le ruissellement des eaux de pluie ou les crues ont ensuite favorisé le drainage d'une partie des dépôts au sol.

L'interception des aérosols par le feuillage, puis la chute des feuilles ont entraîné une contamination localisée de la litière des forêts sur une surface d'environ 40 000 kilomètres carrés.

Plus de 12 ans après l'accident, la contamination se concentre dans les cinq premiers centimètres de la litière végétale et favorise la contamination du bois par les racines, surtout pour les jeunes pousses.

C'est pourquoi la commercialisation du bois est réglementée.

En France

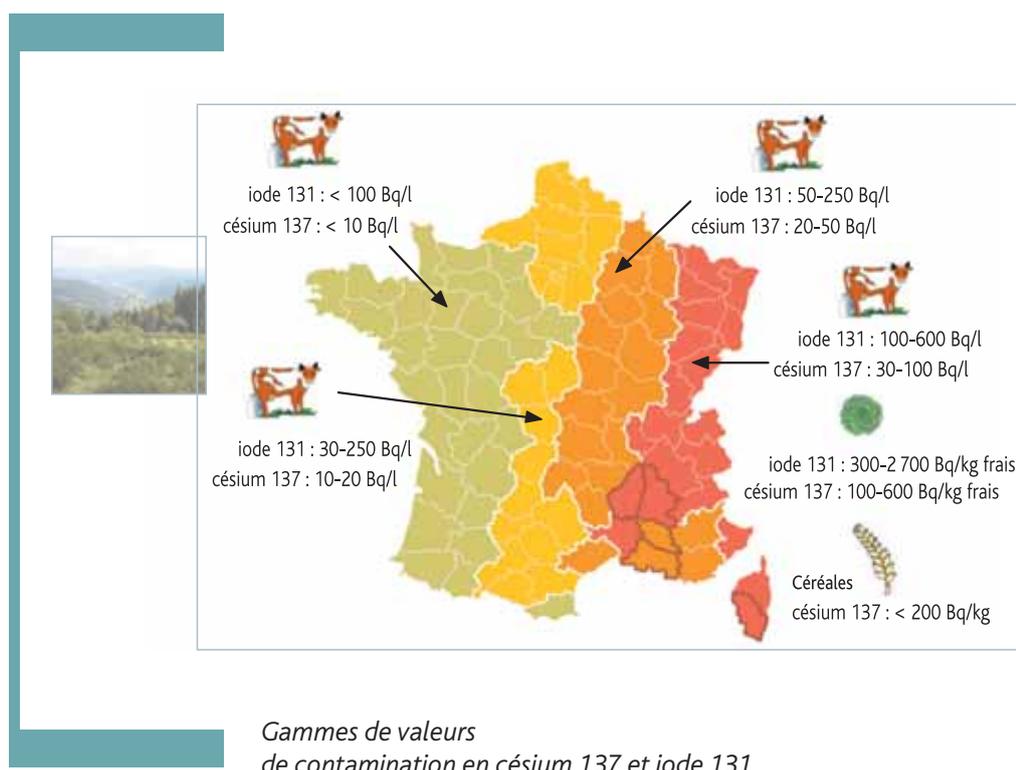
En France, c'est dans les régions de l'est que les valeurs de contamination les plus élevées sont atteintes dans les productions agricoles et naturelles.

Les valeurs maximales mesurées sur le lait de vache et les salades sont observées au cours de la première quinzaine de mai 1986. Dans les zones de l'est du pays ayant reçu des dépôts humides particulièrement importants, la perte d'efficacité de l'interception du dépôt par les feuilles liée aux fortes pluies entraîne une contamination de ces produits qui n'est que deux à trois fois

plus élevée que celle mesurée dans les zones moins touchées des mêmes régions.

Au cours des semaines suivant le dépôt radioactif initial, les concentrations en iode 131 et en césium 137 dans les légumes et les produits laitiers diminuent très rapidement sous l'effet de la croissance des végétaux.

Certains produits sont extrêmement sensibles aux effets des retombées radioactives. C'est notamment le cas du lait de chèvres et de brebis qui, en zone méditerranéenne, se nourrissent de plantes pauvres en eau col-



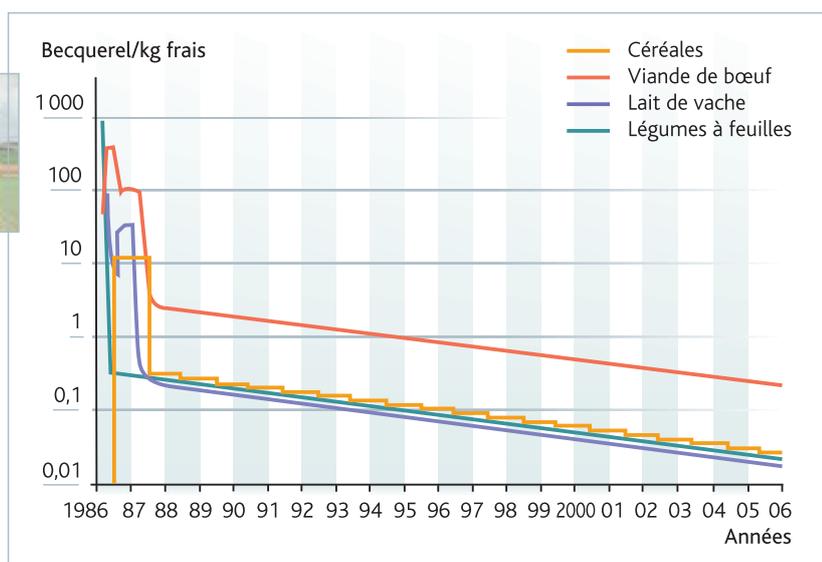
lectées sur de grandes surfaces : immédiatement après le dépôt, la contamination de ce lait peut atteindre 10 000 becquerels par litre en iode 131 et 500 becquerels par litre en césium 137.

À partir de 1987, la contamination des productions agricoles provient de l'absorption par les racines du césium 137 et du césium 134 présents dans les sols. Dès lors, elle est beaucoup plus faible et diminue régulièrement au fil des années. Cette diminution s'explique par la décroissance radioactive et la diminution de la disponibilité du césium pour les plantes.

Aujourd'hui, la contamination des produits agricoles est 10 à 30 fois plus faible qu'en 1987, et 1 000 à 10 000 fois plus faible qu'immédiatement après les dépôts de mai 1986.

Certains sols forestiers de l'est de la France contiennent encore près de 60 % du césium initialement déposé.

Cet élément radioactif peut encore être mesuré à des concentrations de l'ordre de 100 becquerels par kilogramme dans certaines espèces de champignons récoltés sur ces sols.



Évolution de la contamination en césium 137 de diverses denrées en France depuis 1986.

Le césium 134 n'est plus détectable depuis le milieu des années 90.

6

L'impact sanitaire dans les territoires les plus contaminés —

Dans les jours qui suivent l'accident, la population de la majeure partie de l'Europe est exposée à des degrés variables aux retombées de l'accident de Tchernobyl.



Quelques habitants ont choisi de rester dans la zone d'exclusion.

Dès le 26 avril 1986, les personnes présentes sur le site ou dans son voisinage immédiat sont fortement exposées aux rayonnements émis par le réacteur, aux éléments radioactifs rejetés à l'extérieur et aux dépôts formés au sol. Il s'agit principalement des travailleurs présents sur le site, et de leurs familles, qui vivent dans la ville de Pripiat, toute proche.

Ces populations sont d'abord exposées au panache fortement chargé en fines poussières radioactives. L'importance de cette exposition décroît en s'éloignant de la centrale. La population est

ensuite exposée aux rayonnements émis par les dépôts radioactifs sur les sols. Enfin, les personnes sont exposées *via* la contamination des aliments consommés résultant du dépôt sur les feuilles (facteur important dans les mois suivant l'accident) ou du transfert par les racines de la contamination résiduelle des sols. Bien que ces deux dernières sources d'exposition aient considérablement diminué au fil des années, elles perdurent encore aujourd'hui sur les territoires les plus contaminés de Russie, Biélorussie et d'Ukraine en raison de la longue demi-vie du césium 137 (30 ans).

Les doses reçues par les personnes soumises à ces différentes voies d'expositions dépendent de l'importance respective de celles-ci et du mode de vie de chacun. Leur intensité détermine le risque d'apparition de cancers parmi les populations exposées. Pour

les situations de très forte exposition auxquelles ont été soumis le personnel du site et les premiers intervenants, les doses absorbées sont telles que les seuils d'apparition de symptômes d'irradiation aiguë sont dépassés pour certaines personnes.

□ **Pompiers, personnels de la centrale**

Parmi les 600 intervenants du premier jour, qui reçoivent les doses les plus élevées, deux sont morts immédiatement de brûlures et 28 autres décèdent

dans les semaines qui suivent l'accident des suites de leur irradiation.

De 1987 à 2004, 17 autres intervenants décèdent.

□ **Liquidateurs**

Les « liquidateurs », environ 600 000 personnes civiles et militaires, interviennent dans les premières années qui suivent l'accident pour effectuer diverses tâches : travaux auprès du réacteur, décontamination du site, construction du sarcophage, enfouissement de déchets radioactifs dans la zone d'exclusion. Certains des intervenants des premières semaines reçoivent des doses élevées, mais pour la plupart des liquidateurs, les doses reçues sont faibles car ils ont exercé des tâches de courte durée, parfois plusieurs années après

l'accident. Les doses reçues par les liquidateurs sont généralement estimées avec une grande imprécision, sauf pour ceux qui portaient un dosimètre au moment de l'intervention. Les cancers ne semblent pas être en excès sur les 15 dernières années. Des résultats apparemment contradictoires ont été observés quant à un excès de leucémies sur des liquidateurs ukrainiens ou russes.

De nombreuses études font également état de maladies autres que des cancers mais leurs résultats nécessitent confirmation.

□ Les populations dans les trois républiques

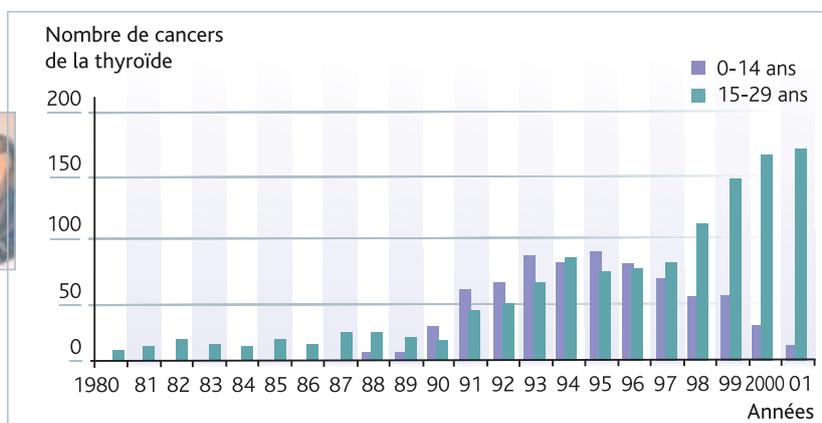
Au moment de l'explosion, entre cinq et six millions de personnes vivent sur les territoires les plus touchés par les retombées radioactives. La population des villes et des villages situés sur les territoires contaminés par le césium 137 à plus de 185 000 becquerels par mètre carré représente 800 000 habitants.

Les plus affectés sont les enfants et les adolescents exposés au moment de la catastrophe.

Leur thyroïde est particulièrement irradiée par l'iode radioactif qu'ils respirent et ingèrent.

En Biélorussie, où sont détectés les premiers cancers, le nombre de cancers de la thyroïde chez les enfants de moins de

15 ans était très faible avant l'accident. Après un temps de latence de quatre ans, ce nombre augmente rapidement au début des années 90, pour atteindre un maximum vers les années 1995-1996. Parallèlement, une augmentation des cancers chez les adolescents et jeunes adultes est observée, dans le groupe d'âge 15-29 ans notamment. Par contre, depuis 2000, le taux d'apparition de cancers chez les enfants de moins de cinq ans redevient proche de celui observé avant l'accident. La radioactivité résiduelle existant dans certaines régions de Biélorussie ne semble donc pas induire d'excès de cancer de la thyroïde



Augmentation des cancers de la thyroïde en Biélorussie (âge au moment du diagnostic). Source : IFA et registre national des cancers de Biélorussie.

chez les jeunes nés après l'accident. De 1990 à 2005, l'excès constaté de cancers de la thyroïde (cancers quasiment tous curables) s'élève à 4 000 cas environ.

Le risque de cancers de la thyroïde sur les personnes touchées lors de leur enfance ou de leur

adolescence continue à s'exprimer vingt ans après Tchernobyl. La surveillance de ces cancers doit donc être poursuivie. Des résultats similaires ont été observés sur les adolescents et jeunes adultes en Ukraine et dans certains territoires fortement contaminés de Russie.

□ Conséquences psychologiques

Le choc de l'accident et le fait de vivre dans des zones contaminées affectent les populations. Des troubles psychologiques

sont observés chez les personnes résidant dans les zones contaminées, mais aussi chez celles qui ont été évacuées.

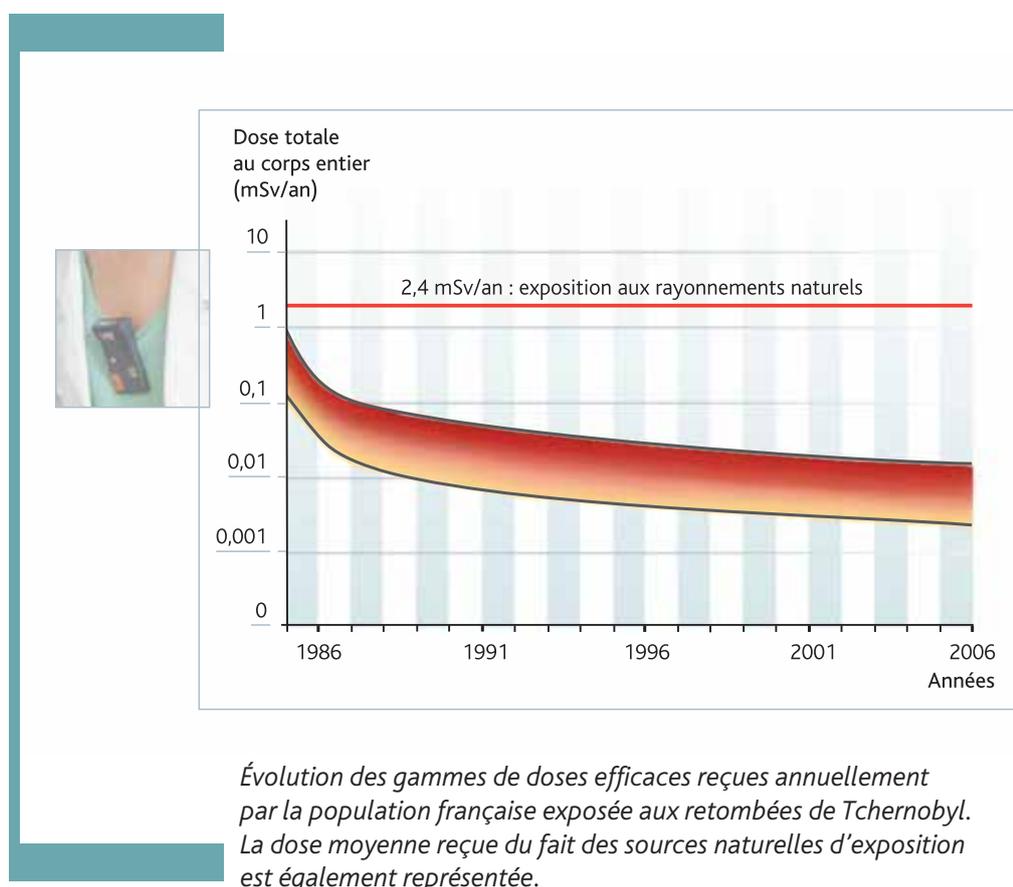
7

Les doses reçues en France et les risques associés

En France, les doses efficaces (corps entier) reçues par la population sont faibles. Les niveaux les plus élevés sont reçus dans l'est de la France.

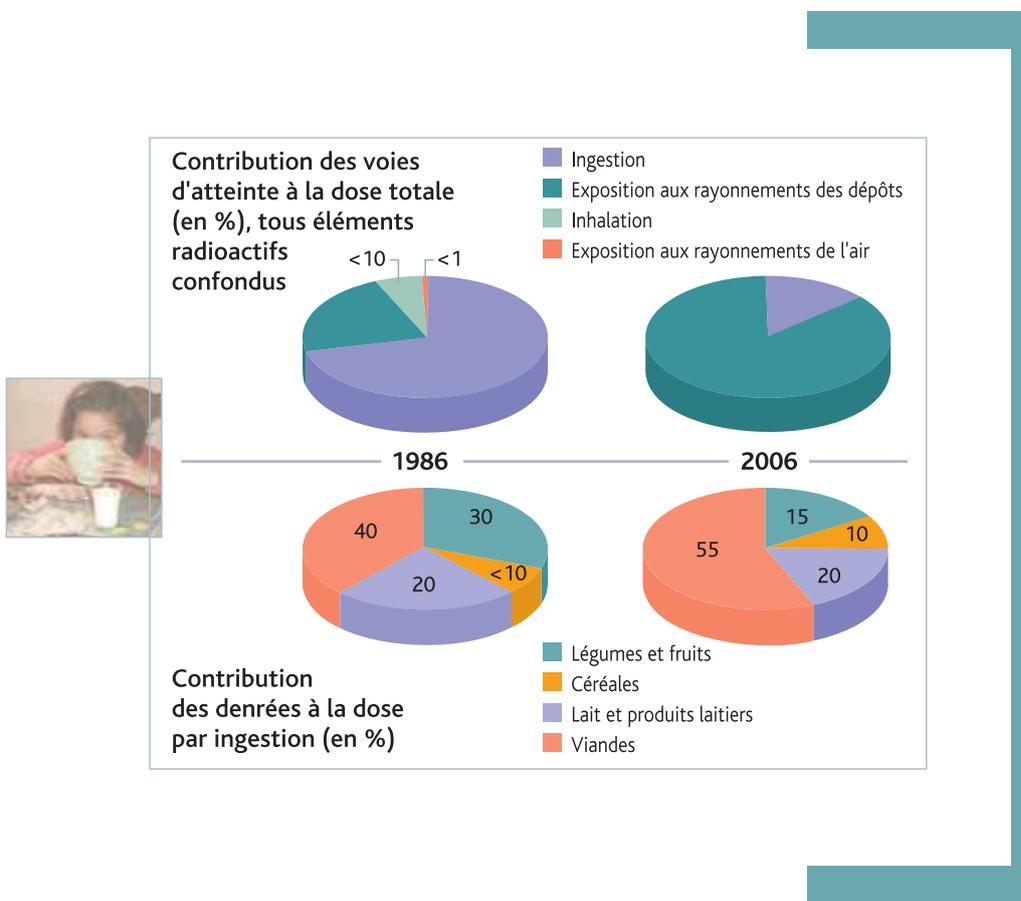
En 1986, les doses reçues par les personnes résidant dans les zones les plus touchées de l'est du pays sont en dessous de 1 mSv pour l'année. Les années

suivantes, les doses reçues du fait des éléments radioactifs persistant dans l'environnement sont beaucoup plus faibles et décroissent continûment.



En 1986, les doses reçues sont principalement liées à l'ingestion de denrées contaminées, notamment le lait et les produits laitiers, les légumes à feuilles et la viande de bœuf. À partir de 1987,

la contamination de la chaîne alimentaire étant beaucoup plus faible, c'est l'exposition aux rayonnements émis par ce qu'il reste des dépôts qui contribue le plus à la dose annuelle.



Aujourd'hui, la dose reçue par la population française du fait de la contamination résiduelle héritée de l'accident de Tchernobyl est inférieure à 10 microsieverts par an. Toutefois, certains comportements alimentaires très particuliers, comme par exemple une importante consommation de champignons de forêt et de gibier provenant de l'est du pays, peuvent conduire à des doses plus élevées.

En France, le questionnement sur les risques associés aux

retombées de l'accident de Tchernobyl se focalise sur les cancers de la thyroïde, en raison de l'épidémie observée dans les territoires les plus contaminés de Biélorussie. Ce sont plus particulièrement les enfants résidant dans l'est de la France en 1986 qui reçoivent les doses à la thyroïde les plus importantes en moyenne. Les doses reçues par cet organe sont très majoritairement imputables à l'iode 131 ingéré par la consommation de produits frais (lait, légumes et viande) contaminés

par cet élément radioactif. Compte tenu de la faible demi-vie de l'iode 131 (huit jours),

l'exposition de la thyroïde ne dure que les trois premiers mois suivant les dépôts radioactifs.

Âge des enfants	Doses reçues
■ Nourrissons	■ entre 1,3 et 2,5 mSv
■ Enfants de 1 an	■ entre 6,6 et 13 mSv
■ Enfants de 5 ans	■ entre 4 et 7,8 mSv
■ Enfants de 10 ans	■ entre 2,1 et 3,9 mSv

Doses moyennes à la thyroïde reçues par les enfants résidant dans l'est de la France en 1986. L'âge ainsi que les habitudes alimentaires sont des paramètres très sensibles sur la dose.

En 2000, une étude de l'IRSN et de l'Institut national de veille sanitaire a estimé le nombre théorique de cancers de la thyroïde en excès susceptibles d'apparaître entre 1991 et 2015 parmi les 2,3 millions d'enfants de moins de 15 ans qui résidaient dans l'est de la France en 1986.

Ce nombre étant inférieur ou comparable aux incertitudes sur l'estimation du nombre de cancers de la thyroïde devant apparaître spontanément au sein de cette population, les cancers en excès associés aux retombées de l'accident de Tchernobyl, s'ils existent, seront très difficilement détectables par une étude épidémiologique.

Période de projection	Nombre de cancers de la thyroïde spontanés	Nombre de cas en excès théoriquement imputable à l'accident
■ 1991-2015	■ 899 (± 60).....	■ 7 à 55



Le site aujourd'hui



Construit en six mois, pour une durée de vie de 30 ans, le sarcophage qui devait confiner les matières radioactives dans le réacteur n° 4 se dégrade rapidement.

□ Le sarcophage

Bâti sur des fondations fragilisées, avec un toit non étanche, des structures vieillies par le rayonnement, l'édifice risque de s'effondrer.

Un programme d'actions destiné à réduire les risques présentés par le sarcophage a été lancé en 1997. Le financement du programme, dont le coût s'élève à 900 millions d'euros, sera assuré par l'Ukraine et par un

fonds international placé auprès de la Banque européenne pour la reconstruction et le développement.

Les actions destinées à stabiliser la structure actuelle et à rénover les systèmes de surveillance du sarcophage ont été engagées en 1998. **La construction d'un nouveau sarcophage recouvrant l'ancien devrait s'achever fin 2010.**



La centrale de Tchernobyl.
Un écroulement du sarcophage aboutirait à la mise en suspension de poussières radioactives qui ne contamineraient que le voisinage du site.

*À l'intérieur
du sarcophage.
Le cœur fondu
est encore radioactif
pour des milliers
d'années.*



Pendant longtemps, la principale inquiétude a concerné les autres réacteurs, potentiellement dangereux. En 1991, le réacteur n° 2 a été mis hors service suite

à un incendie dans la salle des machines. Le dernier réacteur, le n° 4, a été fermé le 15 décembre 2000.

□ La coopération internationale

L'IRSN et la GRS, son homologue allemand, apportent un soutien à l'autorité de sûreté ukrainienne afin de préparer la phase de démantèlement de la centrale de Tchernobyl. Il s'agit de rédiger la réglementation technique et administrative pour répondre à la future demande d'autorisation de

démantèlement présentée par l'exploitant.

Les prochaines coopérations internationales vont concerner l'évaluation de la sûreté de nouvelles installations sur le site dédiées à la gestion des déchets ainsi que la sûreté du sarcophage actuel et de l'ouvrage qui le recouvrira.

9

Les leçons de Tchernobyl

L'accident a profondément changé la perception de la gestion des conséquences d'un accident grave. Il a également mis en exergue l'importance de l'information pour cette gestion.

□ La protection des personnes

Au-delà des morts et des effets aigus immédiats liés à l'irradiation apparus peu après l'accident, les études réalisées depuis 1986 font clairement apparaître une augmentation du taux d'apparition de cancers de la thyroïde, notamment chez les enfants ayant inhalé ou ingéré de l'iode radioactif.

Des études sont poursuivies pour détecter ou apprécier d'autres conséquences sanitaires pouvant être en rapport avec l'accident. Aucune conclusion nette ne peut être établie aujourd'hui.

En tout état de cause, les conditions de vie dans les territoires contaminés continuent de poser



La pilule d'iode, prévention la plus efficace contre les cancers de la thyroïde.

des difficultés. Des actions sont menées pour réduire les doses pouvant résulter de l'ingestion de produits contaminés.

Aujourd'hui, la gestion de crise prévoit de prendre si nécessaire des comprimés d'iode stable (une distribution préventive a été réalisée à la fin des années 90 autour des centrales d'EDF et est renouvelée périodiquement) pour éviter les doses à la thyroïde par inhalation.

Par ailleurs, des interdictions de consommation et de commercialisation de produits contaminés seraient prononcées en référence aux niveaux maximaux admissibles définis par un règlement européen.

□ La transparence et l'information

Une convention internationale a été mise au point dès 1986 pour qu'une information immédiate soit donnée par les pays concernés en cas d'accident dans une de ses installations nucléaires.

Par ailleurs, une échelle internationale des événements nucléaires a été définie (échelle INES) pour faciliter la compréhension de l'importance relative des différents incidents et accidents survenus dans les installations nucléaires.

Depuis 1981, des Commissions locales d'information sont créées autour des installations nucléaires, et notamment des centrales électronucléaires. L'IRSN apporte

son appui à ces Commissions locales d'information, soit directement, soit *via* leur association nationale, dénommée ANCLI.

Le rôle dévolu à ces instances doit être renforcé par la loi sur la transparence et la sûreté nucléaire qui est en cours de discussion au parlement.

D'autres formes de dialogue devraient se développer dans l'avenir, comme par exemple les groupes d'expertise pluralistes, dans lesquels un sujet technique peut être débattu sur la base d'un rapport d'expertise de l'IRSN en faisant intervenir les parties prenantes concernées avant que les décisions ne soient prises.

□ La gestion de crise

Depuis 1986, les moyens utilisables en cas de crise ont connu des développements importants. Aussi bien les exploitants que les administrations et leurs appuis techniques ont modernisé leurs centres de crise, y compris sur les aspects de communication. Dans ce cadre, l'IRSN a progressivement renforcé sa capacité technique concernant :

- la surveillance de la radioactivité de l'environnement, notamment avec la mise en place du réseau Téléray qui permet de détecter en temps réel toute élévation anormale du rayonnement ambiant ;

- les méthodes et les outils de calcul permettant de prévoir, en situation de crise, les conséquences sur l'environnement et sur les personnes, pour mieux anticiper les actions de protection à prendre ;

- les moyens d'intervention sur le terrain mobilisables en urgence pour mesurer les contaminations accidentelles de l'environnement et des personnes.

Une quinzaine d'exercices de crise sont réalisés chaque année pour entraîner les différents acteurs. Pour la phase d'urgence, l'organisation est aujourd'hui considérée comme bien rôdée,



Intérieur d'une balise SARA (surveillance des aérosols).

même s'il convient de veiller attentivement au maintien de son efficacité.

Des réflexions sont poursuivies pour améliorer la préparation au

traitement des situations faisant suite aux accidents : Tchernobyl a bien mis en évidence les difficultés pour gérer de telles situations, à grande échelle.

□ La sûreté des centrales

La sûreté des centrales a été nettement améliorée dans les pays d'Europe de l'Est, avec l'aide internationale et surtout européenne. Une grande vigilance reste néanmoins nécessaire, compte tenu de la conception d'origine de certaines installations et des difficultés économiques rencontrées par nombre des pays concernés.

À l'ouest, l'accident de Tchernobyl, survenant après celui de Three Mile Island, a relancé les études sur les accidents graves, dont l'objectif est de rechercher toutes les dispositions qui permettraient de réduire les rejets dans un tel cas, tant pour les installations existantes que pour les éventuelles installations futures.

Un cas particulier est constitué par les accidents de réactivité qui pourraient résulter d'une dilution du bore (qui absorbe les neutrons et permet de réguler les réactions nucléaires) présent dans l'eau du circuit primaire. Des améliorations importantes ont été apportées aux installations dès les années 90.

Concernant les interventions humaines dans la sûreté des centrales nucléaires, l'accident de Tchernobyl a conduit à des réflexions approfondies sur la notion de culture de sûreté et sur sa mise en œuvre.

Ceci concerne non seulement les opérateurs mais aussi les dirigeants et les organisations.

Crédits photos : **Sygma** ■ **Claude Cieutat** ■ **Campagne-Campagne** ■ **D.R.** ■ **IRSN/Hôpital
Cochin/Seignette-Lafontan** ■ **Pascal Landmann** ■ Illustration P.3 / **Stéphane Jungers**.
Aide à la réalisation : **summer time**.

L'IRSN

L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire est en charge de l'évaluation scientifique du risque nucléaire et radiologique. Établissement public de l'état à caractère industriel et commercial (EPIC), l'IRSN exerce des missions de recherche et d'expertise au service des autorités et de la société. Organisme de référence en France et à l'international, il rassemble plus de 1700 personnes qui couvrent des disciplines diverses depuis les sciences de la vie jusqu'à la physique nucléaire. Il conduit des recherches et des expertises dans ces domaines d'application :

- la protection de l'homme et de l'environnement contre les risques liés aux rayonnements ionisants ;
- la sûreté des installations et le transport de matières radioactives ainsi que leur protection contre les actes de malveillance ;
- le contrôle des matières nucléaires et des produits pouvant concourir à la fabrication d'armes ;
- la gestion de crise.

Il contribue également à l'information du public.



Tchernobyl

L'accident survenu en 1986 dans la centrale nucléaire de Tchernobyl, en Ukraine, a profondément marqué l'opinion publique européenne. Depuis lors, l'IRSN n'a pas cessé de s'impliquer pour mieux comprendre et combattre les conséquences de cette catastrophe tant sur la sûreté du sarcophage, que sur la santé des populations et sur l'environnement.



Système de management
de la qualité IRSN certifié

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Siège social

31, avenue de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses
RCS Nanterre B 440 546 018

Téléphone

+33 (0)1 58 35 88 88

Courrier

B.P. 17
92262 Fontenay-aux-Roses Cedex

Site Internet

www.irsn.fr