



# Tchernobyl : 1986-2021

## Avant-propos

Le but de ce document est de faire un rappel simple et succinct de la situation radiologique au Luxembourg à l'occasion des 35 ans de Tchernobyl. L'année 2021 est aussi marquée par les 10 ans de Fukushima<sup>1</sup>. Deux événements liés à des accidents de centrales nucléaires qui ont marqué notre civilisation ces quatre dernières décennies.

## Contexte

Lors d'une catastrophe telle que l'accident de la centrale de Tchernobyl, la Division de la Radioprotection (DRP) de la Direction de la Santé joue un rôle primordial. En effet, la DRP a pour mission principale de surveiller les activités, les pratiques et les situations qui engendrent une exposition aux rayonnements ionisants. La DRP observe en permanence les niveaux de la radioactivité dans l'environnement non seulement à l'échelle du pays mais aussi au-delà des frontières du Luxembourg grâce à des plateformes d'échanges d'informations européennes et internationales.

## Rappel de l'évènement

Les médias parlaient dès le 29 avril 1986 d'une explosion tout en restant très vague sur le sujet. Puis, fin avril 1986-début mai 1986, les chaînes de télévision du monde entier diffusaient des images sur un événement survenu en Ukraine à la centrale nucléaire de Tchernobyl (Fig.1). En fait, un accident venait d'avoir lieu dont les conséquences n'étaient pas encore mesurables. Dans le climat politique de l'époque, les échanges d'informations étaient complexes. C'est d'ailleurs la Finlande et la Suède qui ont d'abord détecté des niveaux de radioactivité anormaux sur leur territoire et ont donc contraint l'URSS à donner des explications.

Pourtant, tout avait commencé par un simple test...

---

<sup>1</sup> cf. rapport «Fukushima: 10 ans déjà»

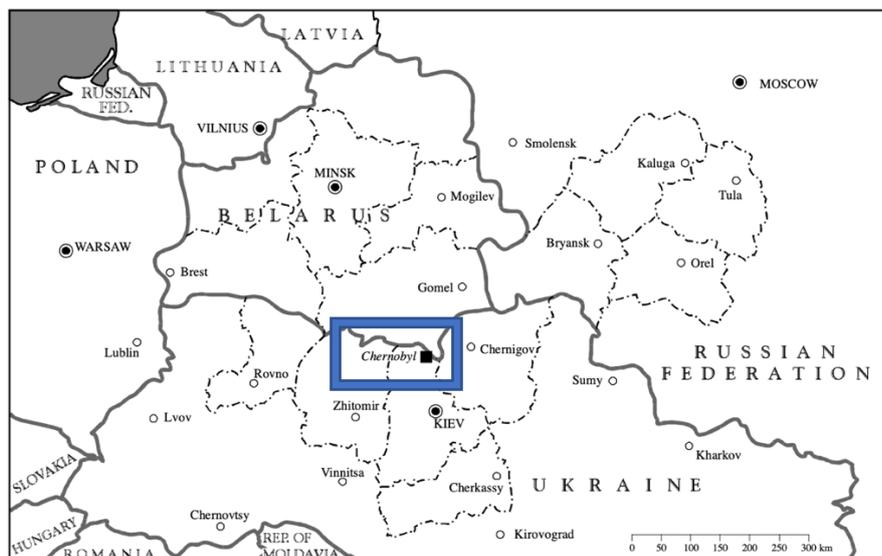


Fig. 1 : Localisation de la centrale nucléaire de Tchernobyl [1].

## Chronologie de l'accident

L'idée de départ reposait sur le lancement d'un exercice pour tester le comportement du réacteur n°4 en cas de coupure d'électricité jusqu'à la mise en service des groupes électrogènes. Le réacteur devait rester malgré tout en fonctionnement. Par contre, des systèmes de secours et le refroidissement d'urgence furent déconnectés. Après quelques contretemps, l'exercice a finalement été lancé le 25 avril 1986, à 23h10. La puissance du réacteur est alors diminuée pour atteindre 25% de sa capacité totale. En réalité, pour une raison inconnue, la baisse de puissance est beaucoup plus importante et atteint un niveau pour lequel le réacteur est instable. Pour contrecarrer cette situation, les techniciens de la centrale essaient de remonter sa puissance. A 1h 23min 04s, le 26 avril, les vannes d'alimentation en vapeur de la turbine sont fermées, ce qui entraîne une augmentation de la pression dans le circuit primaire. Comme la puissance du réacteur croît extrêmement rapidement, un arrêt d'urgence est décidé. A 1h 23min 40s, les barres de contrôle qui doivent permettre de freiner les réactions sont descendues dans le cœur du réacteur mais elles sont sans effet. Pire, elles restent bloquées. A 1h 23min 44s, c'est l'explosion. La puissance du réacteur avait dépassé de cent fois sa puissance nominale en quelques secondes. A 1h 23min 47s, le toit du réacteur est soulevé. Le cœur du réacteur est à l'air libre. Des incendies sont déclarés.

Ces détails chronologiques montrent la rapidité avec laquelle l'événement s'est déroulé.

Pour réduire les conséquences de la catastrophe, de l'eau est d'abord injectée dans le cœur du réacteur pour l'éteindre. Puis, divers matériaux tels que du sable, du plomb, du bore... furent jetés pour tenter d'étouffer les flammes et recouvrir le réacteur. Finalement, l'incendie est éteint courant mai.

Pour en savoir plus: **INSAG-7, The Chernobyl accident, 1992** [2]

Les autorités russes ont donné de plus amples explications lors de la conférence sur l'accident de Tchernobyl en août 1986 notamment sur la conception de ce type de réacteur (RMBK) et surtout sur le déroulement de l'accident mettant en cause le non-respect de règles de sûreté.



## Conséquences

Avec la destruction du cœur du réacteur, des rejets émettent des quantités énormes de radionucléides dans l'atmosphère.

Les modélisations des panaches, c'est-à-dire des rejets émis par les incendies du réacteur, permettent de visualiser l'ampleur des contaminations des pays européens dans les jours suivant la catastrophe (Fig. 2).

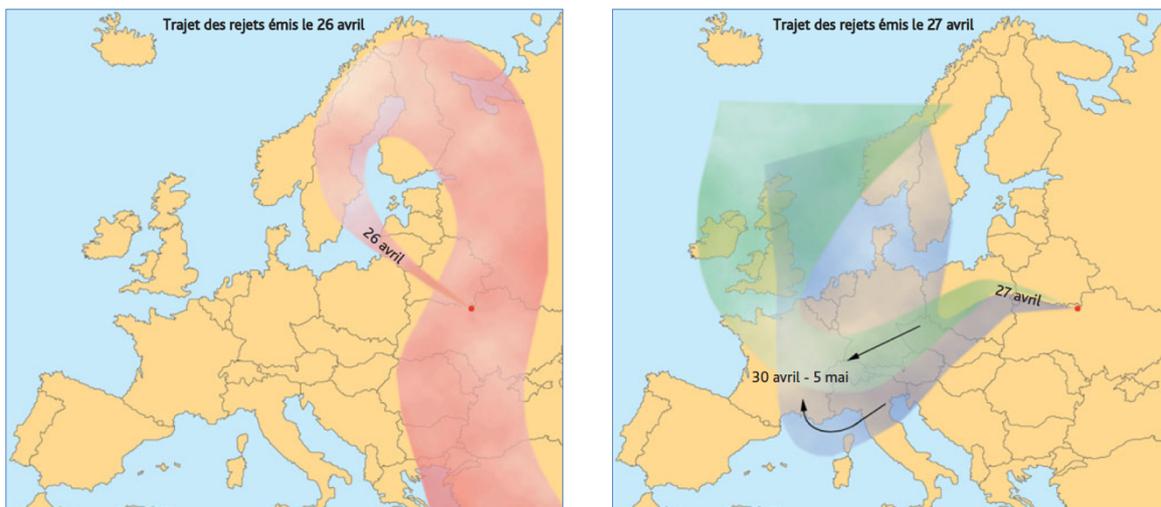


Fig. 2: Rejets contaminés se dispersant au cours du temps en Europe [3].

## Rejets

Lors des explosions et des incendies, plusieurs types de rejets ont eu lieu. Ce sont:

- des gaz rares,
- des particules volatiles qui sont dispersées dans l'atmosphère,
- des particules lourdes qui retombent à proximité de la centrale.

Parmi les différents radionucléides, l'iode (I-131) et le césium (Cs-134 et Cs-137) ont été les principaux contributeurs à la contamination en tant que dose totale. D'autres radionucléides tels que le zirconium (Zr-95), le ruthénium (Ru-103 et Ru-106), l'argent 110m (Ag-110m), le tellure (Te-132), le baryum (Ba-140) ont été détectés dans l'air ou les dépôts (liste non exhaustive). Ils ont contribué à une contamination à court terme de l'irradiation externe. La grande majorité des radionucléides émis avaient une demi-vie<sup>2</sup> inférieure à un mois.

## Dépôts de plutonium et de strontium

Des isotopes du plutonium et du strontium ont été également dispersés lors de l'accident. En raison d'une volatilité plus faible et des formes chimiques sous lesquelles ils ont été rejetés, ces derniers se sont déposés principalement à proximité de la centrale dans un rayon de cent

<sup>2</sup> ou période radioactive: temps au bout duquel la moitié des atomes se désintègrent.



kilomètres environ. Le plutonium est à l'origine d'une contamination radioactive de longue durée. Son activité est toujours très haute.

### Répartition de la contamination

Plusieurs cartes ont été établies après l'accident dont celles publiées par l'UNSCEAR [1] ou encore par la Commission européenne dans l'atlas de Tchernobyl en 1998 [4]. Pour créer cet atlas, un programme spécifique de recherche a été mis en œuvre de 1993 à 1995. Les dépôts du césium 137, en particulier, ont été estimés. Des cartes de la répartition à l'échelle nationale et régionale des dépôts de ce radionucléide ont été élaborées (Fig. 3 et Fig. 4).

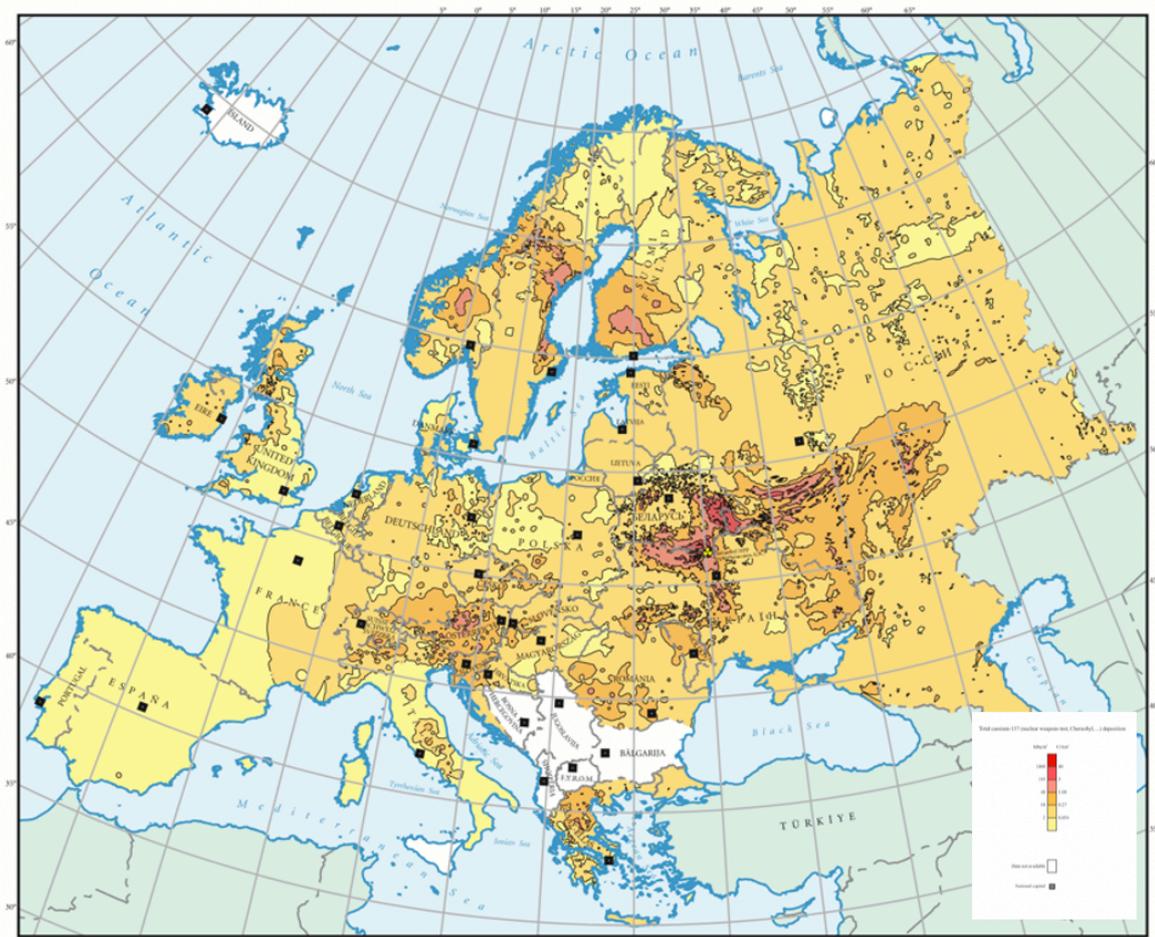


Fig. 3: Dépôts de césium 137 au sol après l'accident en Europe [1]. Les dépôts de césium 137 ont des niveaux s'étalant entre 0, 2, 10, 40, 185 et 1480 kBq/m<sup>2</sup>. Les données indisponibles apparaissent en blanc.

Ces cartes ont permis de définir les zones de dépôts plus élevées (Fig. 4). La zone des trente kilomètres autour de Tchernobyl et les régions de la Biélorussie, de l'Ukraine et de la Russie sont contaminées (en rouge) entre 1480 kBq/m<sup>2</sup> et 3700 kBq/m<sup>2</sup>.

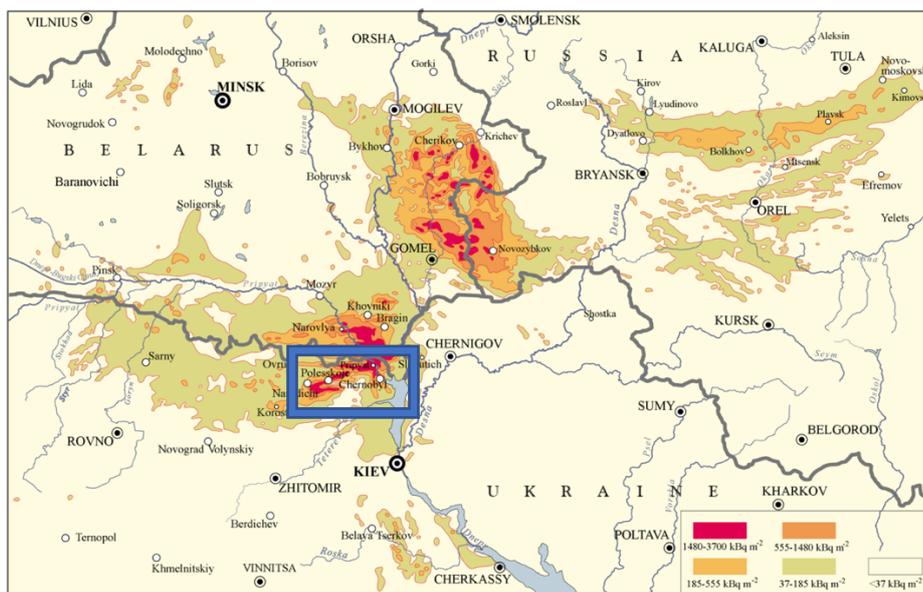


Fig. 4: Dépôts de césium 137 au sol après l'accident dans la région de la centrale [1].

## Au Luxembourg

### Témoignage

En 1986, Monsieur Michel Feider, ingénieur nucléaire à la DRP, se remémore les faits:

« Le 1<sup>er</sup> mai 1986 à 16h, le réseau des mesures automatiques de la Division de la Radioprotection commençait à enregistrer une augmentation de la radioactivité atmosphérique sur son territoire national, pour atteindre son maximum 2 heures plus tard.

Le samedi 3 mai, des précipitations orageuses ont provoqué une contamination très significative du sol, de la végétation et de l'eau et jamais vue sur le territoire luxembourgeois.

A cette époque, la Division de la Radioprotection était le seul laboratoire de radiophysique pour analyser la radioactivité dans l'environnement et dans la chaîne alimentaire, mais son équipement était plutôt modeste : essentiellement il comportait deux chaînes de mesurages gammamétriques et un réseau de 9 stations de mesures automatiques de la radioactivité dans l'air atmosphérique.

De même, les effectifs étaient modestes: un seul ingénieur nucléaire était chargé de l'exploitation du laboratoire de radiophysique et qui réalisait tous les mesurages gammamétriques. Alors que le temps de ces mesurages s'élevait à 48-72 heures par échantillon, avant le 1<sup>er</sup> mai 1986 (essentiellement pour détecter la radioactivité artificielle résiduelle de plus de 400 essais nucléaires atmosphériques et pour établir un état des lieux en vue de la divergence du premier réacteur de Cattenom en octobre 1986), la demande époustouflante de demandes d'analyses radiologiques réduisait les temps de mesurage à parfois quelques minutes.

Il fallait non seulement se faire rapidement une image du degré de contamination du territoire national, mais il fallait également satisfaire toutes les demandes individuelles d'analyses radiologiques.



La Division de la Radioprotection a rapidement mis en place un programme de surveillance national de la radioactivité, notamment du sol, de l'air, de l'eau, de la végétation et surtout des denrées alimentaires comme le lait et les produits laitiers, la viande, les légumes et les fruits, les céréales, les poissons, le gibier, les champignons, les œufs, le miel ou encore le vin.

De même, la Division de la Radioprotection a mis sur pied un programme de surveillance de toutes les importations et exportations de denrées alimentaires, puisque la Commission Européenne avait adopté d'urgence des limites de contamination relatives à l'importation de denrées alimentaires, qu'il fallait appliquer.

De cette façon, plus de 2000 analyses gammamétriques étaient réalisées endéans quelques mois.

Mais les tâches de la Division de la Radioprotection ne se limitaient pas seulement à ces programmes de mesurages. Il lui incombait entre autres:

- de suivre et d'évaluer continuellement la situation radiologique sur le territoire national,
- d'élaborer les avis au Gouvernement relatifs aux recommandations à fournir à la population,
- d'informer régulièrement les médias de la situation radiologique,
- de répondre aux multiples demandes d'information et des demandes d'analyses radiologiques de la population (plusieurs milliers en quelques mois),
- l'échange régulier avec les autres autorités de radioprotection des pays européens,
- de satisfaire aux multiples demandes d'information des institutions nationales mais surtout internationales (AIEA, CEE, OMS, OECD,...),
- de participer aux multiples réunions de la Commission Européenne, qui était devenue très active dans le cadre de ses compétences instituées par le Traité EURATOM ».

Finalement, la DRP a publié en novembre 1986 un rapport détaillé sur ce sujet.

Pour en savoir plus: **Les conséquences radiologiques de l'accident nucléaire de Tchernobyl, Ministère de la Santé, Luxembourg, 1986** [5]

## Dépôts

Au Luxembourg, une quinzaine de radionucléides étaient principalement contenus dans le panache qui a atteint le pays début mai comme indiqué dans le rapport de 1986 [5]. Rapidement, seuls trois radionucléides ont joué un rôle en ce qui concerne l'exposition de la population. Ce sont le césium 134, le césium 137 et l'iode 131. En raison de sa demi-vie de trente ans, la contribution du césium 137 est plus marquante et reste alors la seule source de contamination. Par comparaison, l'iode 131 a disparu au bout de trois mois.

Les dépôts radioactifs sont hétérogènes et se font sous forme de taches. De plus, la répartition des concentrations de radionucléides peut être localement très irrégulière lors de dépôts pluvieux. Des phénomènes dus au ruissellement au pied d'arbres ou en bordures de toits sont ainsi possibles.

Les contaminations plus élevées en mai 1986 ont été relevées plutôt au sud du pays.



## Organisation des mesures

Suite à l'annonce de l'accident, la DRP a rapidement augmenté la cadence de la surveillance de l'environnement surtout du compartiment atmosphérique à l'aide des stations de mesure de l'air grâce à des comptages continus et ponctuels. Pour les stations non automatisées, les filtres ont été changés plus souvent qu'à l'habitude. L'eau de pluie a permis également de compléter ces données. Des échantillons du compartiment terrestre ont aussi très vite étoffé ces informations.

Finalement, dès la fin de l'année 1986, un programme de surveillance de routine longue durée a été mis en place. Il est d'ailleurs toujours en vigueur aujourd'hui. Les matrices concernées sont:

- les aérosols,
- l'eau de pluie,
- les eaux de surface: eau de la Moselle, du Baggerweiher, du lac d'Esch/Sûre,
- le sol et les sédiments,
- les végétaux: herbes, légumes à feuille,
- le lait et les oeufs,
- la viande de bétail d'élevage ou de gibier,
- autres aliments saisonniers comme les champignons des bois, les baies sauvages,...

Quelques extraits de mesures sont présentés dans les figures suivantes. Seules les activités du césium 137 complétées par le césium 134 ont été retenues.

## Compartiment atmosphérique

### - Aérosols

Comme indiqué précédemment, une augmentation de la radioactivité atmosphérique a été enregistrée dès le 1<sup>er</sup> mai 1986. La situation s'est ensuite rapidement normalisée pour revenir à des niveaux équivalents à ceux qui existaient avant le panache.

C'est la station située au Findel à proximité de l'aéroport qui sert de référence. Les filtres sont changés en routine chaque semaine. Les deux graphiques suivants montrent les variations des activités en césium 134 et césium 137 de mars 1986 à décembre 1999 (Fig. 5 et Fig. 6).

Pour le césium 134, la limite basse de report de 0,1 Bq/m<sup>3</sup> est atteinte dès le milieu de 1990 alors qu'il faut attendre le milieu de 1993 pour le césium 137. Les niveaux continuent à être très faibles encore aujourd'hui comme le prouvent les valeurs du tableau 1. La durée de comptage de plus de 55 heures permet d'atteindre des niveaux de détection extrêmement bas. Le béryllium 7 (Be-7), un radionucléide d'origine naturelle, est donné en parallèle pour comparaison.

Tab. 1: Activités volumiques du césium 134 et du césium 137 à la station du Findel en 2021.

Période	31.12.20 - 06.01.21	06.01.21 - 14.01.21	14.01.21 - 21.01.21	21.01.21 - 29.01.21
Réf. Labo	21-0015	21-0021	21-0039	21-0049
Cs-134 [Bq/m <sup>3</sup> ]	< 5,5E-07	< 4,3E-07	< 4,8E-07	< 4,2E-07
Cs-137 [Bq/m <sup>3</sup> ]	< 3,6E-07	< 3,8E-07	< 4,3E-07	< 3,7E-07
Be-7 [Bq/m <sup>3</sup> ]	1,17E-03	1,71E-03	2,96E-03	1,96E-03
Incertitude	1,4E-04	2,0E-04	3,5E-04	2,3E-04

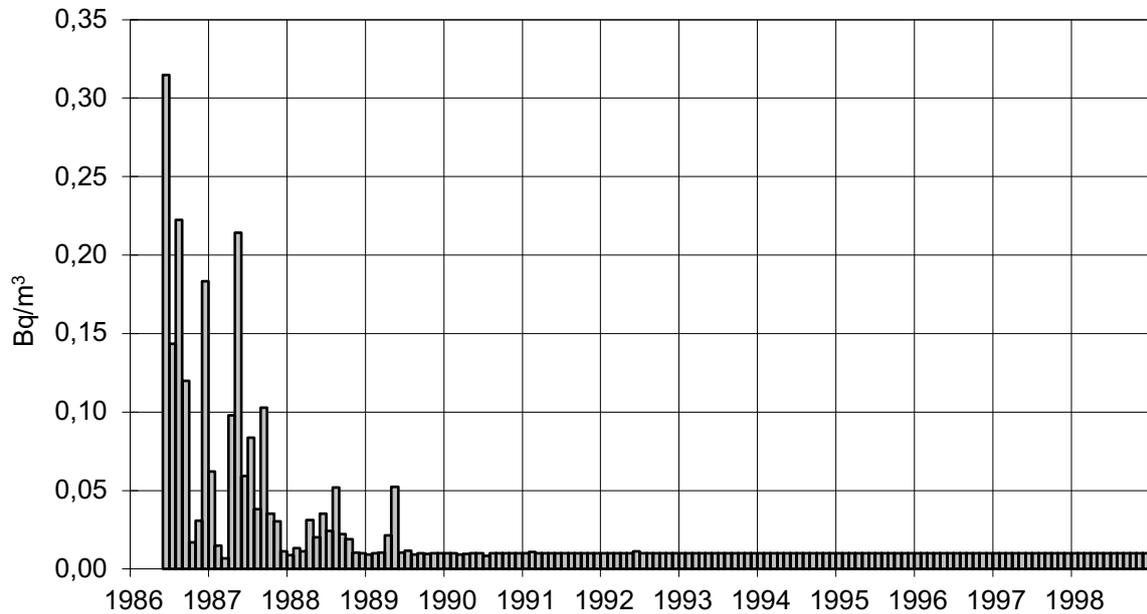


Fig. 5: Activités volumiques du césium 134 dans les filtres de la station du Findel (moyennes mensuelles).

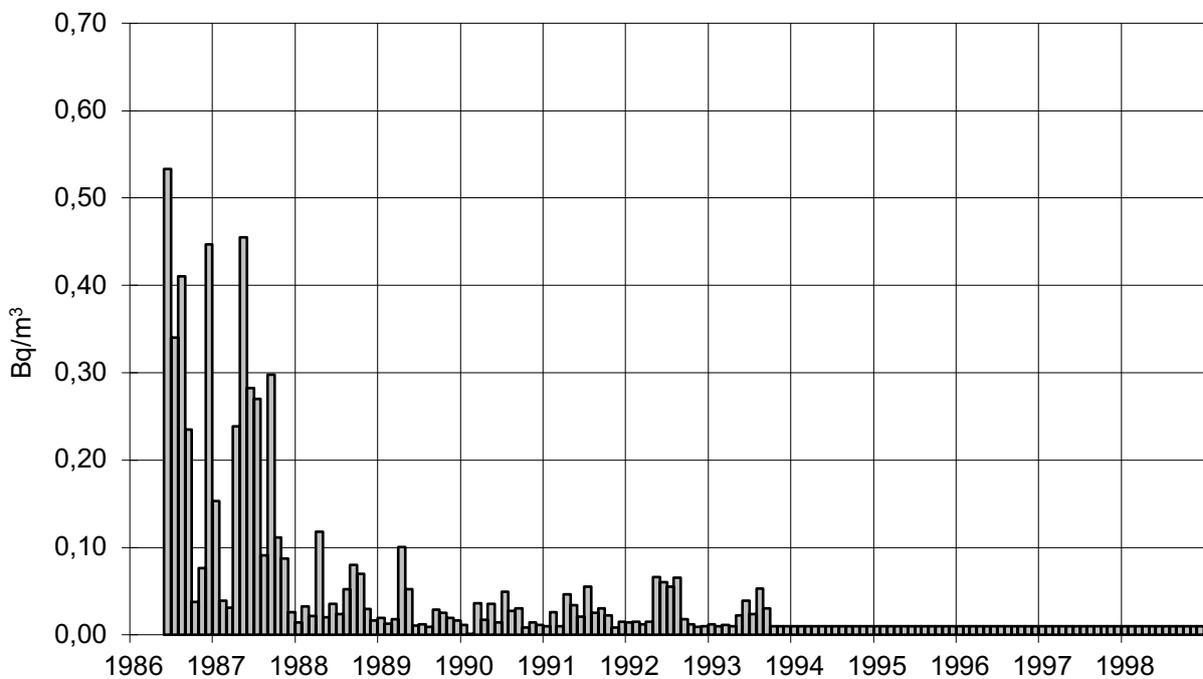


Fig. 6: Activités volumiques du césium 137 dans les filtres de la station du Findel (moyennes mensuelles).



### - Eau de pluie

Cette eau est recueillie à la station du Findel. Des pics d'activités ont été relevés en mai 1986 pour plusieurs radionucléides dont le césium 137 qui a prédominé dans les échantillons. Les valeurs de ce dernier ont atteint 82 Bq/l, puis sont très vite redescendues comme le montre le graphique de la figure 7.

Par comparaison, l'eau de pluie analysée pour la période 10/12/20 au 14/01/21 a révélé une activité inférieure à 0,047 Bq/l en césium 137.

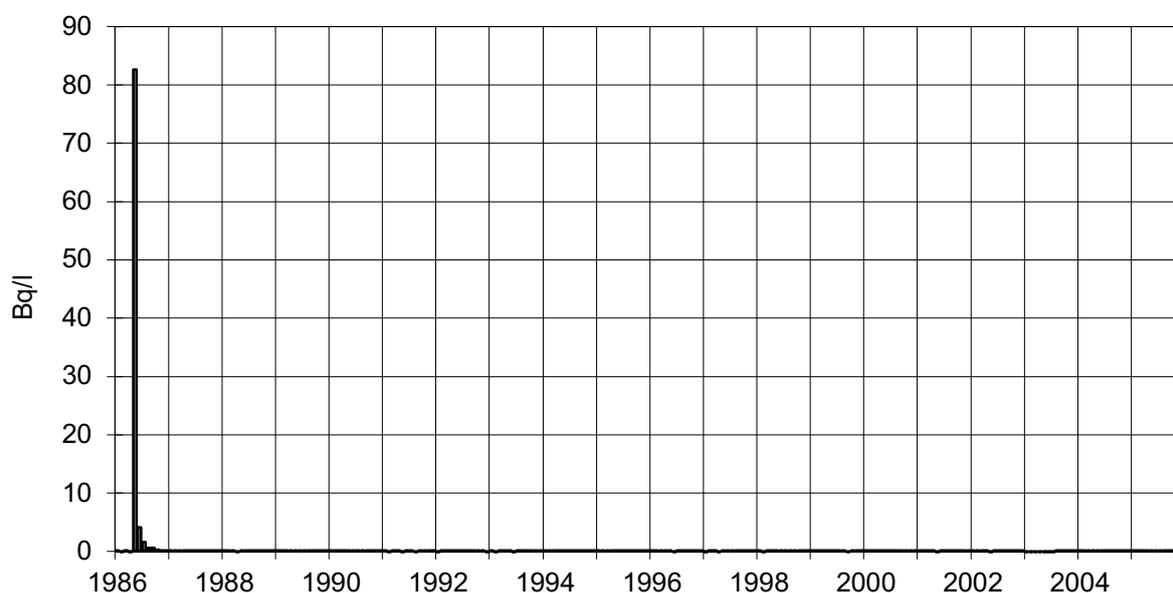


Fig. 7: Cs-137 dans l'eau de pluie recueillie à la station du Findel (moyennes mensuelles).

## Compartiment terrestre

### - Lait

Le lait, aliment de base, profite d'une attention particulière. En 1986, des collectes ont eu lieu dans une laiterie et des fermes. Malgré tout, l'intérêt est porté plutôt sur les résultats de la laiterie car les échantillons sont issus d'un mélange de laits d'origines géographiques variées ce qui donne une bonne représentation globale à l'échelle du pays (Fig. 8 et Fig. 9).

Les valeurs du césium 134 et du césium 137 montrent deux pics dans les graphiques suivants. Le premier pic est observé en mai 1986 lors du passage du nuage radioactif. Le deuxième pic est expliqué par un fourrage contaminé par le césium.

Dans les deux graphiques, les valeurs baissent rapidement et restent en dessous de la limite de report.

Le tableau 2 affiche les valeurs obtenues dans les échantillons contrôlés en janvier 2021 pour comparer. Le potassium 40 (K-40) est d'origine naturelle.

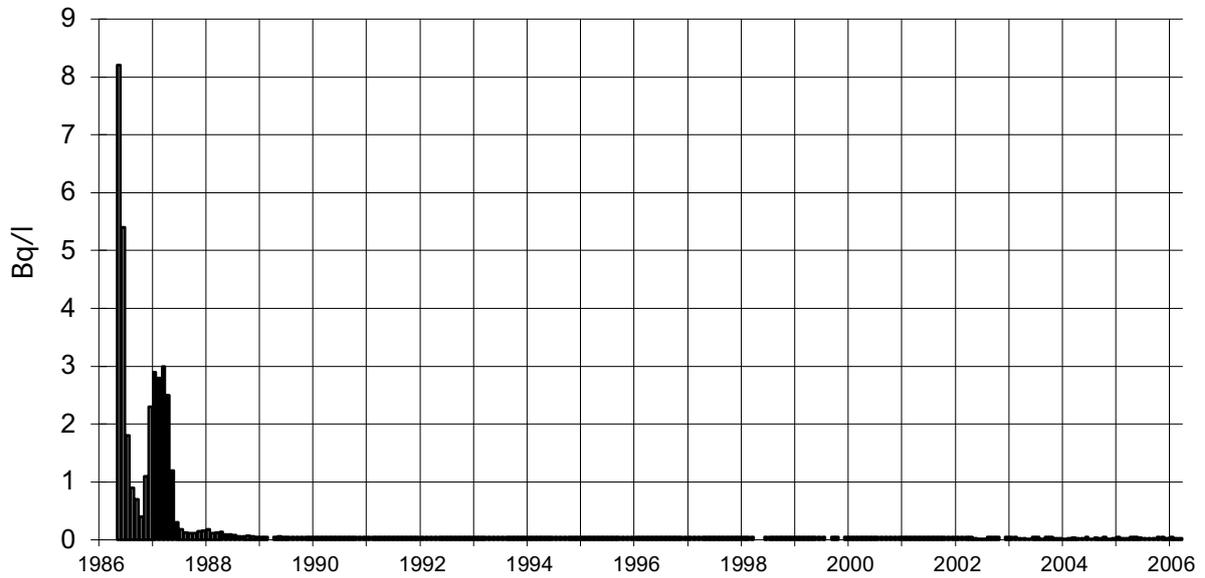


Fig. 8 : Cs-134 dans le lait issu d'une laiterie (moyennes mensuelles).

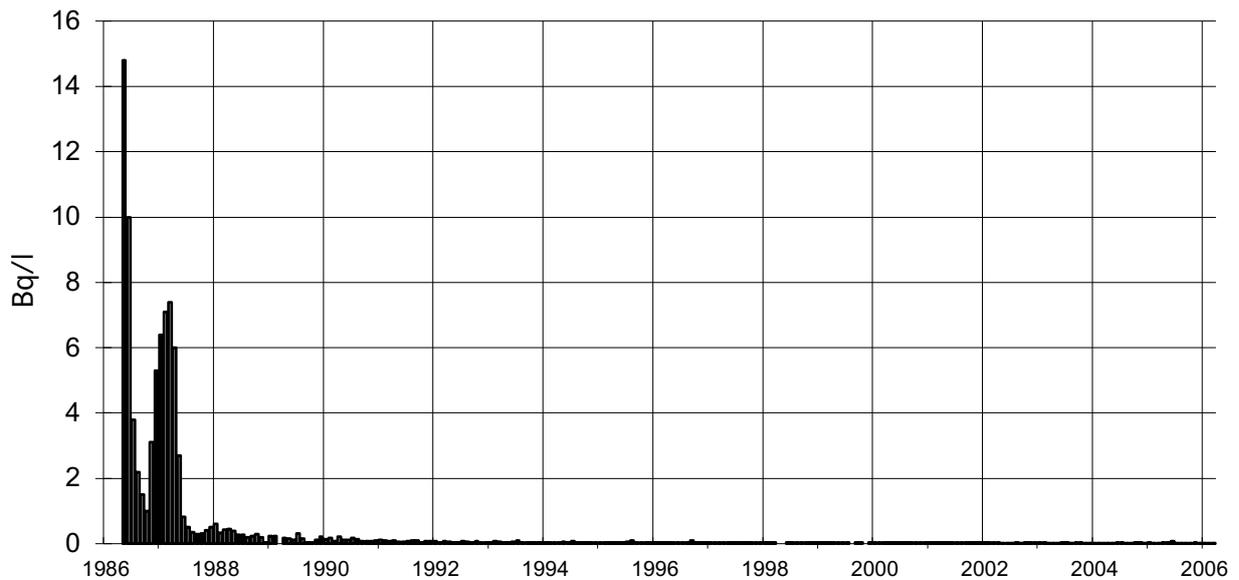


Fig. 9 : Cs-137 dans le lait issu d'une laiterie (moyennes mensuelles).



Tab. 2: Résultats de mesures récentes dans plusieurs échantillons de lait.

Origine		Laiterie	Ferme 1	Ferme 2	Ferme 3
Date de l'échantillonnage		06/01/21	05/01/21	05/01/21	15/01/21
Réf. Labo		21-0018	21-0011	21-0012	21-0026
Cs-134	[Bq/kg]	< 0,077	< 0,055	< 0,068	< 0,054
Cs-137	[Bq/kg]	< 0,071	< 0,057	< 0,071	< 0,044
I-131	[Bq/kg]	< 0,25	< 0,059	< 0,076	< 0,056
K-40	[Bq/kg]	53,5	48,0	52,7	52,7
	Incertitude	9,0	8,1	8,8	8,9

Pour en savoir plus: **Rapports mensuels** dans lesquels les résultats des mesures de l'environnement et de la chaîne alimentaire sont publiés sur le portail [www.Sante.lu](http://www.Sante.lu)

## Echanges rapides d'informations

Après l'accident de Tchernobyl, la Commission européenne a décidé de développer et d'améliorer la diffusion des données entre les Etats membres. Une plateforme d'échange des résultats de la surveillance radiologique a été créée, la plateforme européenne d'échange de données radiologiques (EURDEP). De même, un système d'échange d'informations radiologiques rapide (ECURIE) a été mis en place. Un accès au public des données est possible via le site REMon sous la rubrique *Radiological maps* dont un exemple est donné dans la figure 10.

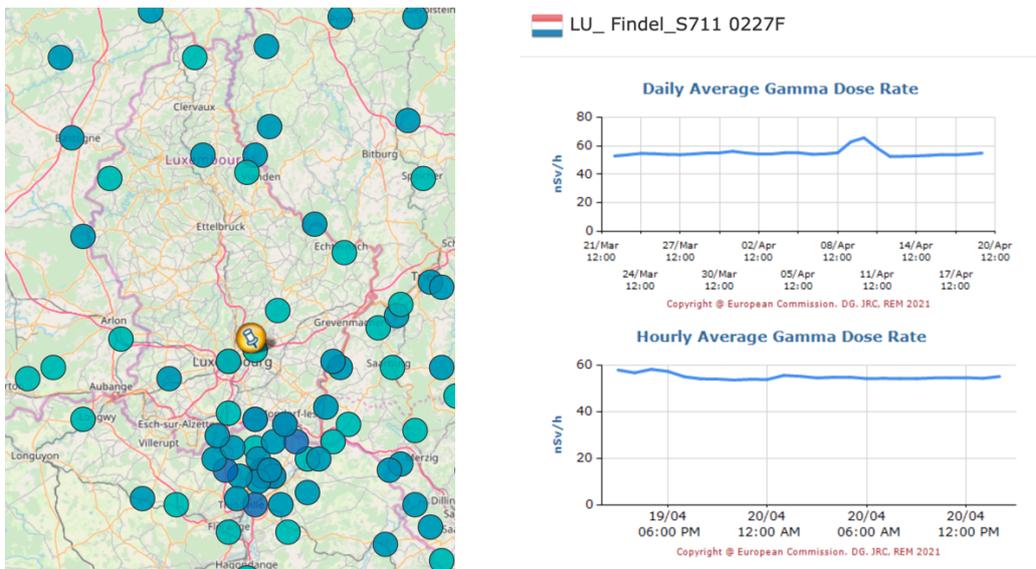


Fig. 10 : Débit de dose gamma ambiant à la station du Findel.



## Bibliographie

- [1] UNSCEAR Report Sources and effects of ionizing radiation. Annex J Exposures and effects of the Chernobyl accident. New York, pp. 453-566, 2000
- [2] IAEA Safety series. INSAG-7 The Chernobyl accident: updating of INSAG-1. Vienna, 135p., 1992
- [3] IRSN Contamination de l'air. Fiche 1, 2006
- [4] EC Atlas of caesium deposition on Europe after the Chernobyl accident, Luxembourg, 1998
- [5] Ministère de la Santé Grand-Duché de Luxembourg. Les conséquences radiologiques de l'accident nucléaire de Tchernobyl au Luxembourg. Luxembourg, 74p., 1986