

DOXIN Robin

Master 2 – Risques Environnementaux et Sûreté Nucléaire

Contexte général

- L'accident de Tchernobyl (1986) a provoqué une contamination radioactive durable (^{137}Cs , ^{90}Sr , les isotopes du Pu, ^{241}Am) sur plusieurs milliers de km², notamment dans la **zone d'exclusion de 30 km** autour de la centrale $\approx 2800 \text{ km}^2$.
- La zone d'exclusion a ensuite été élargie pour inclure des zones supplémentaires contaminées par les retombées radioactives, atteignant ainsi environ **4 800 km²** [1]
- Le changement climatique et la guerre en Ukraine ont **augmenté de 30 %** les incendies ces dernières années en Europe de l'Est, **remobilisant les radionucléides** déposés dans la végétation et les sols.
- En avril 2020** : des incendies exceptionnels jamais enregistrés à proximité de Tchernobyl ont brûlé **870 km²** en seulement 19 jours. [1]

Problématique :

- Que se passerait-il si un **incendie majeur ou une série d'incendies** touchaient une grande partie de la zone d'exclusion et quelles seraient les **conséquences radiologiques pour la France** située à 2000 km à l'Ouest ?

Objectif de l'étude :

- Évaluer les conséquences en France selon le **scénario le plus pessimiste**, basé sur les **incendies d'avril 2020 dans la zone d'exclusion** avec une **météorologie défavorable**. [1]

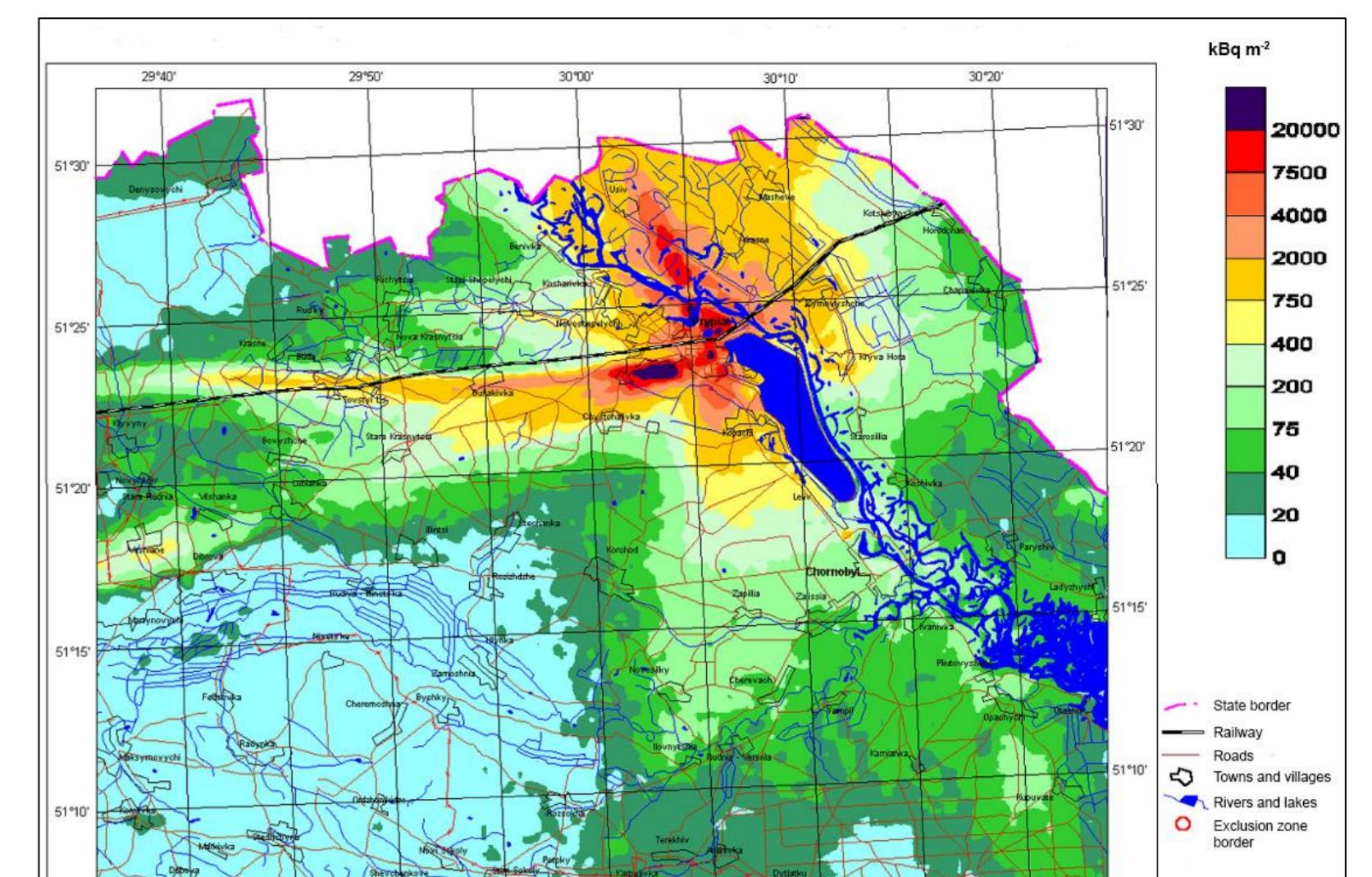


Figure 1 – Modélisation spatiale de la contamination au strontium-90 dans la zone des 30 km de Tchernobyl (estimé en 1997) [2]

I - Estimation du terme source le plus pénalisant

- L'étude vise à estimer les **concentrations maximales de radionucléides** (^{137}Cs , ^{90}Sr , isotopes du plutonium, ^{241}Am) pouvant atteindre la France lors d'**incendies majeurs dans la zone d'exclusion de Tchernobyl**.
- L'estimation repose sur les **observations réelles d'avril 2020**, durant lesquelles **870 km²** ont brûlé dans la zone d'exclusion, **seules les activités volumiques de ^{137}Cs** dans l'air pouvaient être distinguées du bruit de fond en France (réseau OPERA, IRSN).

Hypothèse retenue:

- En considérant que le phénomène durerait 15 jours et que **l'ensemble des 3 900 km²** restants brûlaient à leur tour, cela représenterait environ **4,5 fois plus d'émissions** qu'en 2020. [2]

Activités en GBq	Terme source d'avril 2020 ~	Terme source « Pire scénario »
^{137}Cs	1200	5368
^{90}Sr	613	2742
^{238}Pu	1,9	8
^{239}Pu	1,9	8
^{240}Pu	2,9	13
^{241}Pu	90,1	403
^{241}Am	29,6	132

Tableau 1 – Estimation des termes sources dans l'atmosphère par les incendies d'avril 2020 autour de Tchernobyl et extrapolation au pire scénario envisageable [1]

II - Sélection de la séquence météorologique pénalisante pour la période 2012-2021

- Les **conséquences radiologiques en France** liées à des incendies dans la région de Tchernobyl dépendent fortement des **conditions météorologiques** lors du transport des masses d'air.
- Une **modélisation statistique** a été réalisée à partir de **10 ans de données météorologiques (2012–2021)** issues du modèle **ARPEGE** (Météo-France).
- Des **simulations de la dispersion atmosphérique du ^{137}Cs** ont été effectuées tous les cinq jours. Le scénario considéré repose sur l'hypothèse d'un rejet unitaire continu de ^{137}Cs , correspondant à un débit d'émission de **1 Bq·s⁻¹**, **sur une période de 10 jours**. Les simulations couvrent l'Europe de l'Ouest jusqu'à l'ouest de la Fédération de Russie avec une résolution horizontale d'environ 50 km. [4]

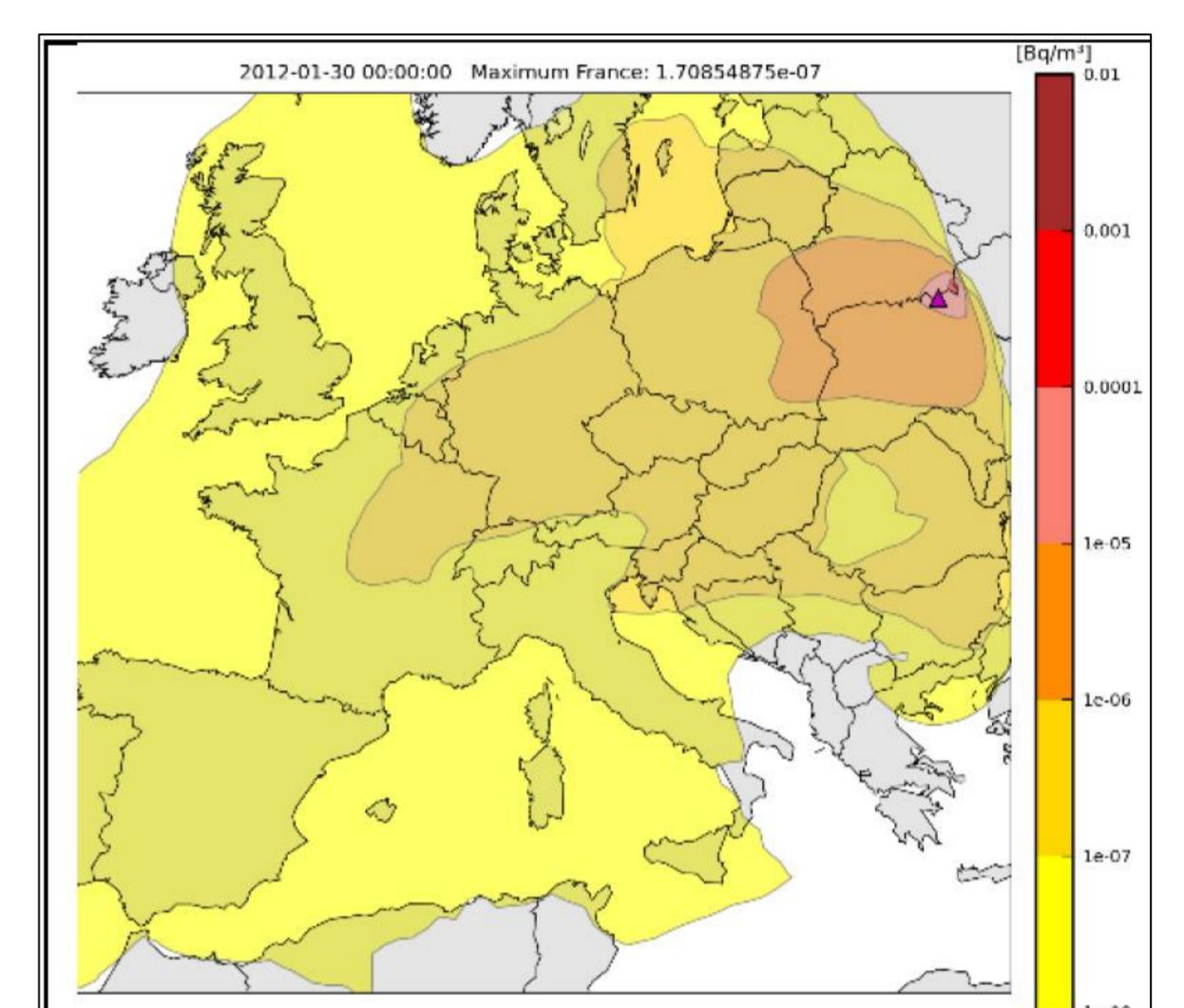


Figure 2 – Cartographies de concentrations intégrées (Bq/m³) de ^{137}Cs obtenus 15 jours après le début des rejets pour la période du 30 janvier. [1]

Résultats : une grande variabilité selon les situations météo

- Seules **15 % des simulations** aboutissent à une arrivée du panache radioactif en France.
- Les **conditions les plus défavorables** (impact maximal) correspondent à la période du **30 janvier au 14 février 2012**.
- Les **dépôts au sol** suivent la même tendance que les **concentrations dans l'air** : plus le panache atteint la France, plus les dépôts y sont élevés. [1]

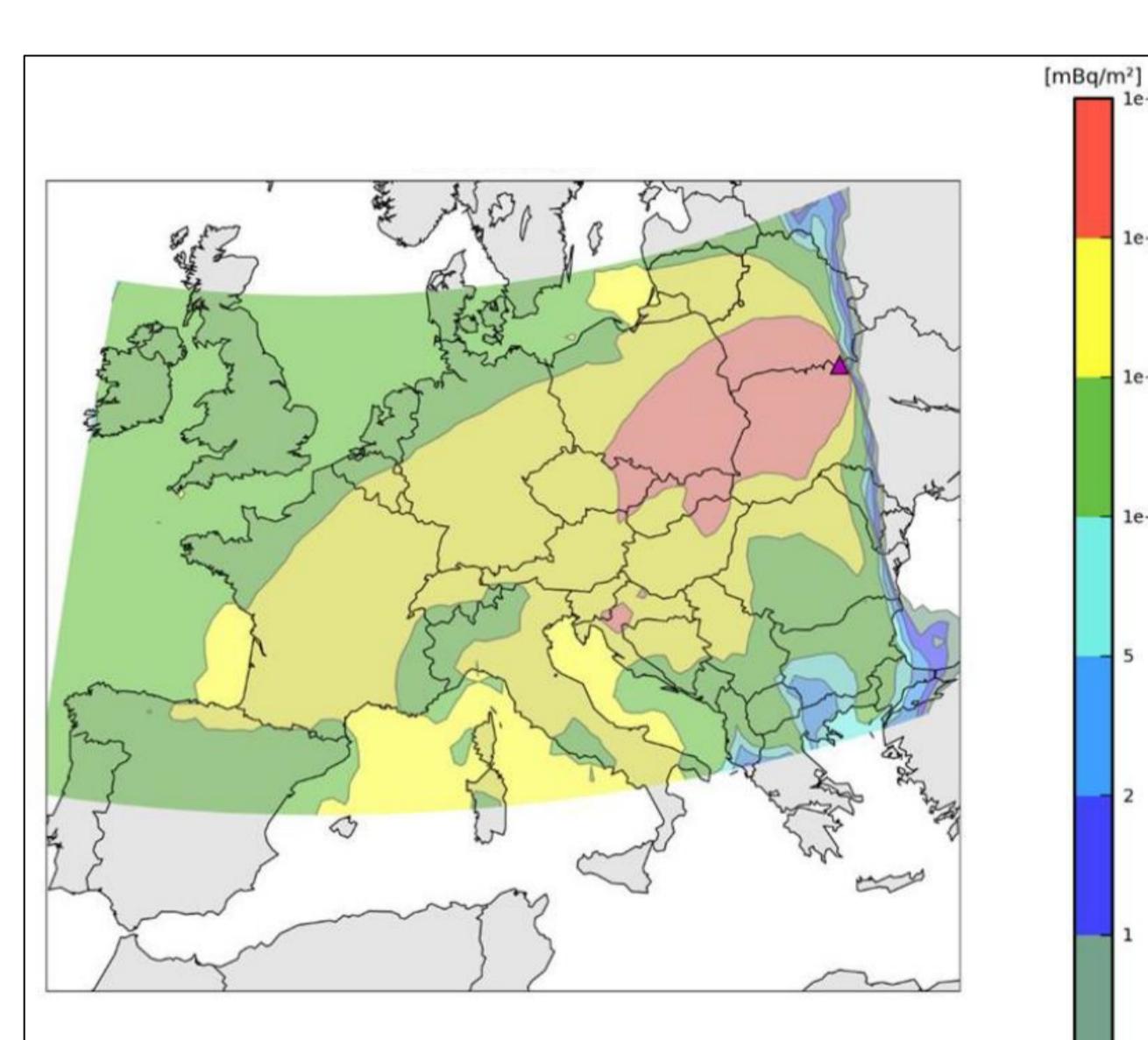


Figure 3 - Cartographie des dépôts de ^{137}Cs simulés à partir du modèle LdX dans le cadre du scénario pénalisant (mBq/m²) [2]

III - Estimation des conséquences en France à partir du terme source et de la séquence météorologiques sélectionnés

1. Les concentrations volumiques dans l'air

- Simulation réalisée pour un **panache de ^{137}Cs** en considérant la séquence météorologique du **29/01/2012 au 14/02/2012**.
- Il faut **environ 2 jours après les premiers rejets** pour que le panache parvienne à atteindre la France et pendant 15 jours le territoire va être **touché à plusieurs reprises**.
- Les données révèlent que les niveaux de concentrations horaires de ^{137}Cs simulés en France sont systématiquement **inférieurs à 1 mBq/m³** mais restent largement au-dessus des valeurs normalement hors événements (< 0,2 µBq/m³).
- De plus, des précipitations ont touché l'extrême **sud-est de la France et la Corse** lors du passage du panache, ce qui tend à **augmenter les activités déposées**. [2]

2. Les dépôts radioactifs

- Simulation des **dépôts de ^{137}Cs après 15 jours** d'incendies dans la zone d'exclusion de Tchernobyl.
- Certaines zones d'**Europe de l'Est** peuvent atteindre **10 000 mBq/m²**.
- En **France**, les niveaux simulés sont plus faibles, variant entre **10 et 1 000 mBq/m²**. [3]

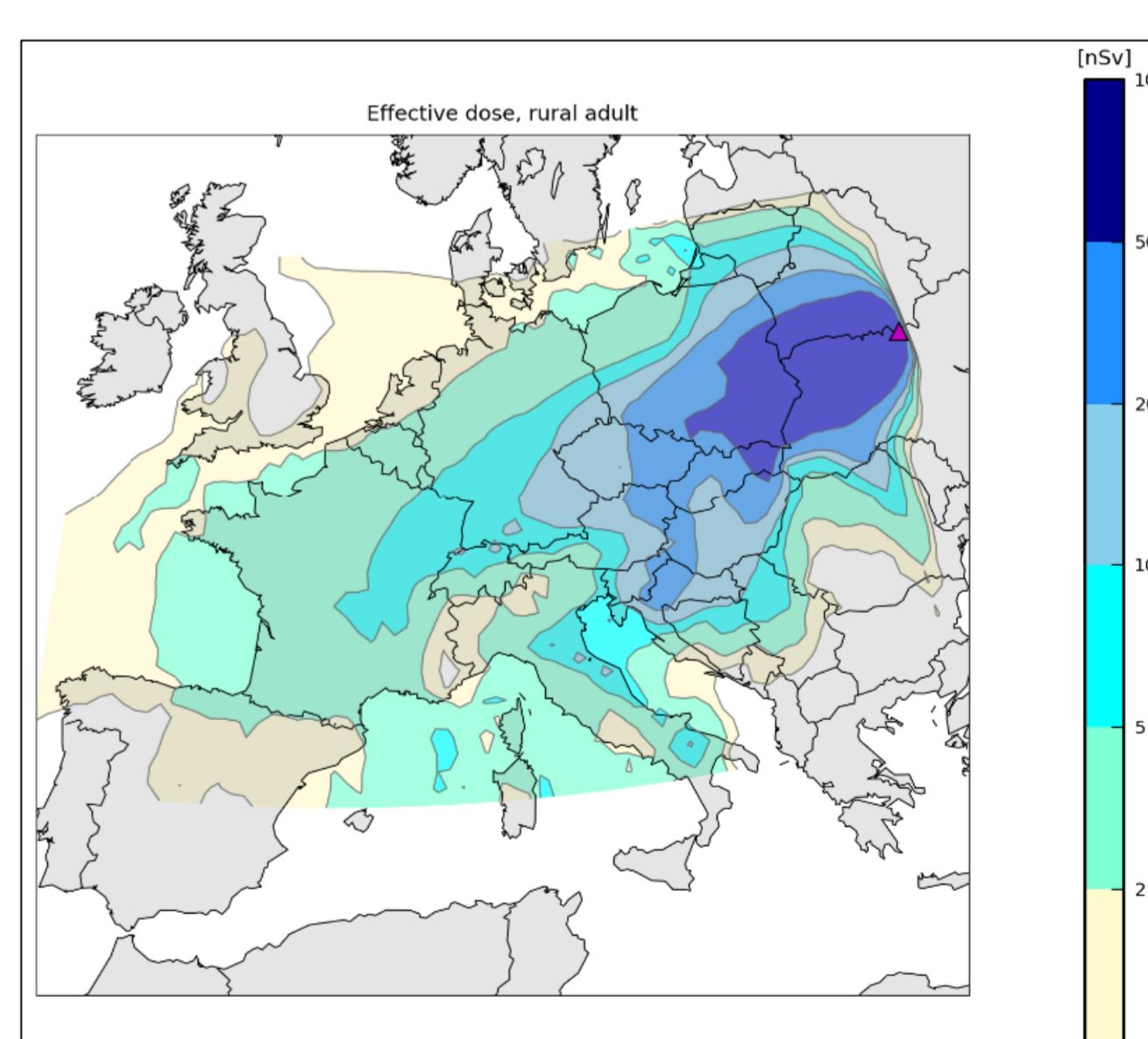


Figure 4 - Cartographie de la dose efficace totale pour un adulte (toutes voies d'expositions confondues, en nSv) dans le cadre du scénario pénalisant. [1]

3. La contamination des denrées alimentaires les plus sensibles

- Les **légumes-feuilles** faisant partie des denrées alimentaires les plus sensibles ont été présentés dans l'étude.
- En **Europe**, les niveaux simulés de la contamination des légumes-feuilles sont principalement **inférieurs à 1 000 mBq/kg** à la fin des rejets.
- En **France**, les niveaux sont plus faibles, variant entre **20 et 100 mBq/kg** avec un maximum de **100 mBq/kg** dans l'est de la France. [3]

4. La dose efficace totale (modèle paZ)

- Le modèle paZ (IRSN) a été utilisé de nouveau pour **quantifier l'exposition de la population en Europe**.
- La **dose efficace** estimée pour un adulte (toutes les voies d'exposition aux radionucléides sont considérées dans le terme source, tableau 1) représente en **Europe** une dose **inférieure à 100 nSv**.
- En **France**, elle est encore plus faible, variant entre **1 et 10 nSv** dans l'est du pays. [3]

Répartition des voies d'exposition :

- L'**ingestion** de denrées représente **50 %** de la dose totale (dont $\frac{2}{3}$ dus au ^{137}Cs et le reste principalement dû au ^{90}Sr).
- L'**inhalation** représente le tiers de la dose totale principalement dû aux isotopes du plutonium.
- L'**exposition externe** est associée aux dépôts de césum 137 et de baryum 137m. [1]

Conclusion

Même dans le **pire scénario** envisageable (incendie total + météo défavorable), les **conséquences radiologiques en France resteraient insignifiantes** pour la population (dose inférieure à 100 nSv). [2]

En revanche

- Ces incendies **remobilisent néanmoins la radioactivité au niveau local** (Ukraine et Biélorussie) et soulignent la nécessité d'une **surveillance permanente** de la zone d'exclusion et d'un **suivi européen des retombées atmosphériques**.
- Ce **scénario est transposable** à d'autres événements comparables, y compris à des situations futures impliquant la remobilisation de sols contaminés. [3]

Bibliographie

- [1] - ASNR- Estimation des conséquences radiologiques en France métropolitaine pouvant résulter d'incendies sur des zones contaminées par l'accident de Tchernobyl, juillet 2024
- [2] - ASNR- Les territoires-contaminés-autour-Tchernobyl
- [3] - Resuspension and atmospheric transport of radionuclides due to wildfires near the Chernobyl Nuclear Power Plant in 2015: An impact assessment
- [4] - ASNR- Détection de traces de ^{137}Cs dans l'air en Europe consécutives à des incendies dans la zone d'exclusion de Tchernobyl, août 2024