



# RÉSUMÉ EXÉCUTIF : Modélisation d'un accident nucléaire majeur hypothétique dans la centrale nucléaire de Cattenom (4 x 3817 MWth → 4 x 1300 MWe), à partir de 1'096 situations météorologiques : analyse de son impact sanitaire et de son impact sur les sols

European Nuclear Power Risk study → EUNUPRI 2024b/résumé exécutif

1<sup>re</sup> version non terminée 29 avril et 30 avril 2024, revue en profondeur 3 mai 2024,

Piguet Frédéric-Paul<sup>i</sup>, Eckert Pierre<sup>i</sup>, Knüsli Claudio<sup>ii</sup>, Peixoto Hélder<sup>iii</sup>, Giuliani Gregory<sup>iii</sup>

<sup>i</sup> Institut Biosphère, Genève; <sup>ii</sup> IPPNW (Suisse), Zürich; <sup>iii</sup> Institut des sciences de l'environnement, Université de Genève.

Sponsor de l'étude : Greenpeace (Luxembourg)

---

## Résumé exécutif

---

### 1. Actualisation des connaissances

#### 1.1. Contexte

Le site des quatre réacteurs de Cattenom est au Nord-Est de la France, proche du Luxembourg, de l'Allemagne, de la Belgique. Un accident nucléaire majeur pourrait impacter entre 4 et 64 millions de personnes sur le plan sanitaire.

L'étude envisage les risques et l'ampleur qu'un accident majeur ferait courir à la population de ces pays. Elle analyse la variabilité du nuage radioactif à partir de 1096 simulations météorologique, soit une simulation par jour pendant 3 ans. Elle soutient la comparaison avec les recherches officielles basées sur moins de 200 simulations choisies au hasard,<sup>2</sup> et elle est forte de 130 références bibliographiques. Elle a aussi bénéficié d'améliorations méthodologiques par suite des remarques de l'*Institut fédéral de la sécurité nucléaire* à notre analyse des conséquences d'un accident majeur à la centrale du Bugey et dans quatre centrales suisses.<sup>3</sup>

L'étude de Cattenom permet de se figurer les conséquences sanitaires et socio-économiques que les différents acteurs de la région pourraient subir si le pire survenait. Elle renouvelle la compréhension du risque d'un accident nucléaire majeur au moment où, le fonctionnement des réacteurs nucléaires est marqué par un contexte géopolitique instable, le développement d'armes nouvelles, une insécurité croissante.

Le scénario du pire mérite d'être mis à jour. Considérant un réacteur de 2785 MWth/900 MWe, l'*Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire* chiffrait, en 2007, le coût d'un accident majeur de type S1 à 760 Md€, le coût sanitaire des cancers ne représentant qu'un septième des coûts totaux ; et dans le 5% des situations météorologiques les plus sévères, le coût total dépassait 5'800 Md€, les coûts sanitaires n'en représentant qu'un vingtième (IRSN 2007, annexes au rapport DSR n°157, 62).

Et en 2013, pour un même type d'accident, l'IRSN révisait le montant des coûts à 450 Md€ (IRSN 2013, 55). La compréhension des risques évoluant sans cesse, la gravité potentielle des dommages mérite un réexamen – ce

---

<sup>1</sup> Auteur pour la correspondance : Frédéric-Paul Piguet (PhD), Institut Biosphère, CH-1226 Genève, fppiguet@institutbiosphere.ch

<sup>2</sup> Des études qui sont discutées dans la suite du texte.

<sup>3</sup> ENSI, Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate. 2020. *Stellungnahme des ENSI zur Studie "Modeling of a Major Accident in Five Nuclear Power Plants From 365 Meteorological Situations in Western Europe and Analysis of the Potential Impacts on Populations, Soils and Affected Countries" des Institut Biosphère*. Bern. 18 p. Voir aussi notre réponse à l'ENSI : Piguet, F-P, Eckert P., and Knüsli C. 2024a. 'Réponse de l'Institut Biosphère aux critiques de l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN/ENSI)', Étude stratégique n°4, 10. <https://institutbiosphere.ch/eunupri2024a.pdf>

qui vaut mieux que ressasser le nombre de victimes de l'accident historique de Fukushima. L'actualisation des connaissances est impérative pour trois raisons :

- 1° *Risque d'attaque* ; les *infrastructures critiques* constituent des cibles stratégiques potentielles que différentes entités, étatiques et non-étatiques, mues par une intention de type terroriste, pourraient viser afin de désorganiser durablement un pays (Ramberg 1984, 1 ; Kean and Hamilton 2004, 154, 530 ; DDPS 2024, 24-25 ; Piguët et al. 2024a, 5-7).
- 2° *Probabilité non négligeable* ; un accident majeur de type S1 est certes *improbable* (Wheatley et al. 2017, 112 ; Piguët et al. 2024a, 5-7),<sup>4</sup> mais ce terme indique un risque plus élevé que le niveau *très improbable* demandé par l'*Agence internationale de l'énergie atomique* – moins d'un accident par réacteur et par million d'années de fonctionnement – IAEA (2009, 8 ; 2018, 45) ; conséquemment, vu la menace terroriste, la probabilité d'un accident nucléaire majeur est supérieure à la norme IAEA, et *inacceptable*.
- 3° Effets potentiellement délétères des faibles doses de rayonnements ionisants ; les faibles doses font désormais l'objet d'un consensus scientifique plus assuré qu'à l'époque de Fukushima et des études IRSN de 2007 et 2013. Il faut désormais les appréhender comme plus dommageables pour la santé que par le passé ; d'où accentuation de la sévérité des conséquences sanitaires potentielles d'un accident nucléaire majeur, et un besoin d'anticipation accru pour éviter un désastre (*infra*).

La réévaluation des faibles doses est résumée ci-après.

### 1.2. Les études récentes confirment l'effet des faibles doses sur la santé

Des études épidémiologiques récentes et de grande envergure démontrent – à l'échelle d'une population – l'existence de l'impact sanitaire des rayonnements ionisants bien inférieurs à 100 millisieverts ; le cancer est donc aussi déclenché par de faibles doses de rayonnements ionisants (Hauptmann et al. 2020). Parmi les enfants de 1 à 15 ans exposés aux faibles doses dites du fond, une augmentation du risque des cancers radio-induits de 4% est déjà discernable de façon significative pour 1 mSv de plus (*Mazzei-Abba 2021*). Selon l'*Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire*, le consensus scientifique est solide : « Plusieurs synthèses ou analyses conjointes réalisées par des consortiums internationaux (CIPR, NCRP, UNSCEAR, NCI) concluent qu'il existe de plus en plus de preuves des effets cancérigènes des rayonnements ionisants à faibles doses, et que l'hypothèse de l'absence d'un seuil à des fins de radioprotection semble pertinente et raisonnable. » (IRSN 2022, 57). Davantage d'exemples référencés se trouvent dans notre étude.

→ <https://institutbiosphere.ch/eunupri2024a.html> → sections 1.3 ; 2.7, 4.2

Autrement dit, les données récentes du consensus scientifique confirment que les radiations ionisantes des faibles doses sont potentiellement dangereuses pour la santé des personnes qui y sont exposées ; un accroissement de la *dose efficace individuelle engagée* – de quelques mSv dans les régions un peu en retrait de l'accident nucléaire – aurait déjà des effets sanitaires délétères et mesurables à l'échelle des populations exposées. Dans cette perspective, il est pertinent d'utiliser un facteur EAR (*excess absolute risk*) en phase avec le progrès des connaissances sur l'effet des faibles doses sur la santé.<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> L'IFSN a tenté de s'opposer au bien-fondé de notre emploi du qualificatif *improbable* – et la probabilité qui lui est associée – pour lui préférer *très improbable* au motif que le rééquipement des centrales nucléaires de conception ancienne diminuait considérablement le risque d'accident majeur (IFSN 2020, 7-8). Mais sa position est intenable parce que son analyse n'intègre pas le rééquipement – en armes plus précises et puissantes – d'armées et de groupes terroristes (SIPRI 2022), ni les tactiques permettant de saturer à moindre frais une défense aérienne sophistiquée (Boyd 2023 ; Dorfman 2023), ni les réflexions des stratèges militaires qui préconisent de désorganiser le tissu socioéconomique d'un pays pour affaiblir sa capacité d'action (Pénisson 2019, 331 ; Minic 2022). Pour conclure ce point, il a été montré qu'une destruction ciblée des installations nucléaires de Cattenom par un groupe terroriste pourrait provoquer des dommages équivalents ou plus dramatiques que les accidents les plus graves (Becker et al. 2017, 5).

<sup>5</sup> Le facteur EAR (Excess Absolute Risk) définit la probabilité d'apparition d'un cancer mortel dans une population exposée à une source radioactive. L'IRSN rappelle que selon la CIPR 60 (1990), il y a différentes estimations de la probabilité d'apparition d'un cancer mortel pour la population qui varient entre  $6 \cdot 10^{-4}/\text{rem}$  et  $13 \cdot 10^{-4}/\text{rem}$  (selon les pays), et que la valeur "recommandée" et "retenue par la NRC" est de  $7 \cdot 10^{-4}/\text{rem}$  (IRSN 2007, 62). → Vu les facteurs de conversion entre le *rem* et le *Sievert*, le facteur EAR de la NRC est de 0.07/Sv. → L'IRSN ne dévoile pas le facteur EAR utilisé dans son étude de 2007 (transparence ?), mais comme elle ne critique pas le choix de la NRC, il est vraisemblable qu'elle l'ait utilisé. Or, l'essentiel de nos résultats sont calculés à partir de facteurs EAR différents ; pour les décès, le facteur EAR est énoncé comme suit : *Modèle B* (0.25/Sv), il est donc 3.57 plus élevé que le facteur recommandé par la NRC et que

### 1.3. Conclusion sur l'actualisation du risque

Il est avisé de redouter la survenue d'un accident majeur dont les conséquences seraient dommageables à un degré non-enregistré jusqu'ici, pour trois raisons : 1° une centrale nucléaire constitue une cible potentielle pour une action terroriste ; 2° la probabilité d'un rejet de type S1 est plus élevée que celle reconnue par l'IAEA en tant que norme à respecter ; 3° l'impact des doses basses est plus dommageable pour la santé que l'IRSN semblait l'admettre dans l'étude de 2007, les conséquences d'un accident majeur seraient donc plus sévères qu'il était écrit.

L'étude des conséquences d'un accident nucléaire majeur mérite un réexamen.

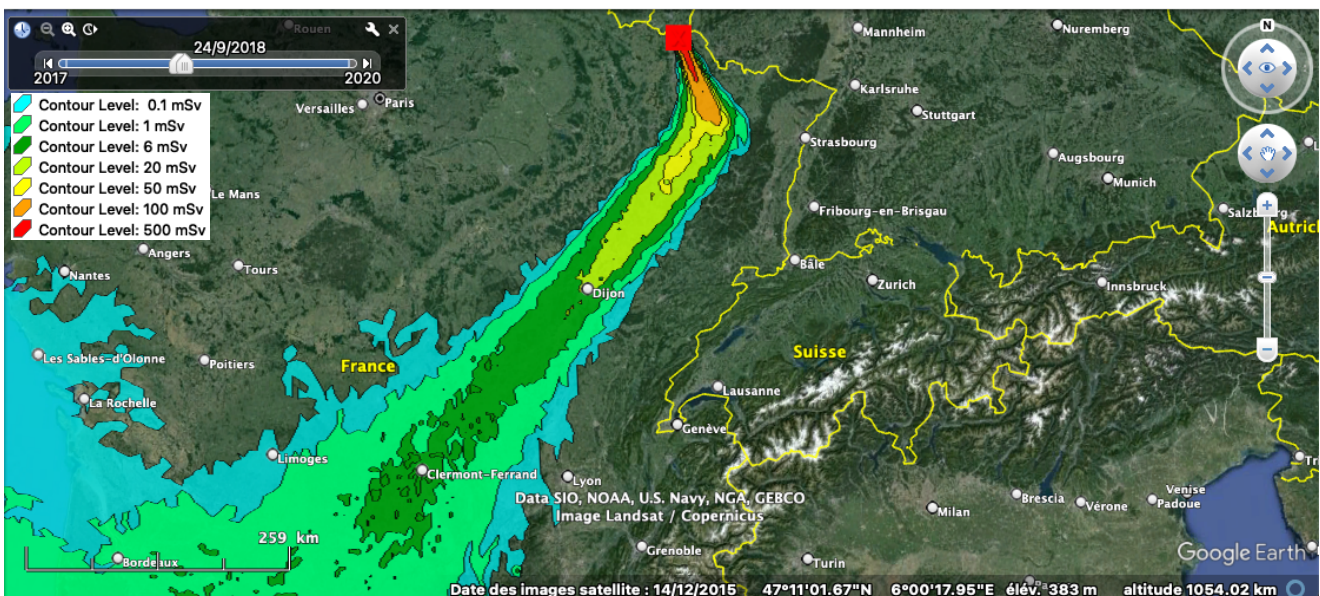
## 2. Taille du terme source et rejets radioactifs

### 2.1. Taille et source bibliographique

Le terme source a été calculé à partir de l'inventaire cœur détaillé d'une réacteur de 3817 MWth → 1300 MWe (EDF 2008)<sup>6</sup>, et la sévérité de l'accident majeur de type S1 utilise les fractions publiées par Jacquemain et al. (IRSN 2013a, 77). Le terme source des réacteurs de 3817 MWth comporte 59 nucléides, pour une radioactivité initiale de de  $4.21E+18$  Bq (Becquerels) ; il est détaillé dans l'Annexe I en fin de document.

### 2.2. Comparaison avec Tchernobyl

Le terme source d'un réacteur de 3817 MWth représenterait 96 % du rejet de Tchernobyl (comparaison sur 18 nucléides en commun), sachant toutefois que le réacteur français est plus puissant que le réacteur russe de près d'un cinquième (Eunupri2024b/étude stratégique n°6, 2.3).<sup>7</sup>



Simulation du 24 sept. 2018, la radioactivité visualisée sur la carte évolue dans les 100 premiers mètres au-dessus du sol. La dose efficace collective engagée est de  $101'445$  persSv ; considérant les 1096 simulations, centile 6 = degré de sévérité à l'échelle de l'Europe, mais centile 59 en regard d'un impact en France.

l'IRSN aurait employé. Pour les maladies graves radio-induites le facteur EAR sélectionné est le suivant : *Modèle B* (0,55/Sv), dont les cancers (0,4/Sv) et les maladies cardiovasculaires radio-induites (0,15/Sv) → (Eunupri2024b/étude stratégique n°6, 2.7, 4.2). Si nos hypothèses sont correctes, le facteur EAR utilisé en 2007 par l'IRSN ne correspondrait plus à l'état de l'art, d'où l'intérêt de réévaluer l'impact sanitaire d'un accident de type S1 avec une méthode à jour. → L'IRSN n'a pas communiqué le facteur EAR des maladie cancéreuses employé dans l'étude 2007, ni aucun facteur EAR dans l'étude 2013b, une étape pourtant indispensable à l'évaluation du coût sanitaire d'un accident majeur.

<sup>6</sup> (EDF 2008) EDF, SEPTEN. 2008. EPS N2 1300 MWe post VD2: Évaluation probabiliste des conséquences radiologiques "court terme" à 7 jours des catégories de rejets d'intérêt. Annexe 2 : Inventaire cœur et termes sources associés aux catégories de rejets. Non publié. p. 33.

<sup>7</sup> Et donc, après normalisation de leur puissance, le terme source de Cattenom représenterait le 4/5 de celui de Tchernobyl (étude stratégique n°6, 2.3, voir le tableau dédié).

Pendant la simulation du nuage radioactif (72h), la demi-vie de chaque nucléide a été prise en compte ; leur demi-vie a aussi été intégrée dans le calcul de l'impact de la déposition sur les sols, pendant une année, et non au-delà. Pour les détails de la méthodologie, voir Eunupri2024b/étude stratégique n°6, 2.2.

### 3. Situation géographique de Cattenom

#### 3.1. Distances aux frontières

Situation de Cattenom. La centrale de Cattenom est proche des frontières de la France avec la Belgique (34 km), le Luxembourg (11 km) et l'Allemagne (18 km) – les zones frontières des deux derniers pays ayant une densité de population moyenne à élevée.



Carte 3.1. Situation géographique de la centrale nucléaire de Cattenom (4 x 3817 MWth).

#### 3.2. Distances à quelques villes

La centrale nucléaire de Cattenom est située à 81 km de Nancy, 69 km de Verdun, 33 km de Metz, 23 km de Luxembourg, 23 km de Merzig, 60 km de Saarbrücken, 142 km de Koblenz, 142 km de Liège, 178 km de Cologne, 200 km de Troyes, 209 km de Bruxelles...

### 4. Résumé des résultats

#### 4.1. Résultats et norme légale

La législation européenne mentionne les seuils de *dose efficace individuelle engagée* qu'il convient de respecter. Les seuils de 1 mSv, 6 mSv, 20 mSv, 100 mSv et 500 mSv disent les intérêts que le législateur entend protéger. Éclairer les résultats par les seuils de dose légaux révèle les tensions entre, d'une part, certaines exigences sanitaires à respecter et, d'autre part, les risques que le législateur semble accepter pour répondre à la demande énergétique, et de puissance.

→ Présentation de la directive 2013/59/EURATOM, cf. Eunupri2024b/étude stratégique n°6, 1.5.

La *dose efficace individuelle engagée* dit une pression potentielle, au sens où le public discipliné et disposant, au bon moment, de conditions socio-économiques adéquates, pourrait échapper à une partie de la dose ; ce n'est pas le cas de tout le monde ; l'heure, la saison, le lieu et le type d'activité au moment de l'alarme jouent un rôle important (*infra*). Il est prudent de dire que le public est *potentiellement confronté* à une dose égale ou supérieure au montant commenté. La présentation va par ordre croissant ; la dimension légale est indicative.

#### 4.2. Passage du nuage radioactif

**1 mSv**, lors du passage d'un nuage radioactif qui serait issu de la centrales de Cattenom, en moyenne, 26'301'000 personnes seraient potentiellement confrontées à une contamination radioactive d'un niveau égal ou supérieur à 1 mSv.

Dans le 10% des configurations météorologiques où le nuage radioactif à tendance à s'éloigner des zones habitées, moins de 10,6 millions de personnes seraient touchées, mais dans le 10% des situations où le nuage radioactif se rapproche des habitations, le nombre de personnes touchées pourrait dépasser 43,9 millions.

Le seuil de 1 mSv est la limite de dose pour le public pour chaque année (2013/59/EURATOM, Art. 12, §2) ; il constitue aussi – dans un espace professionnel aux prises avec une ou plusieurs sources de radioactivité – la limite pour l'enfant à naître d'une travailleuse enceinte (2013/59/EURATOM, Art. 10).

Le seuil légal exprime un premier danger, à la marge, qu'il convient d'éviter ; mais la directive est rédigée de telle sorte que le seuil de 1 mSv n'a pas d'application concrète en cas d'accident nucléaire ; de même le seuil de 6 mSv.

**6 mSv** : quelque 7'840'000 personnes seraient potentiellement confrontées à une dose supérieure à 6 mSv, qui est la limite d'exposition pour les apprentis et étudiants âgés de 16 à 17 ans travaillant près de sources de radioactivité (2013/59/EURATOM, Art. 11.2).

Tableau 4.2.1. Distribution en centiles (et moyenne) du nombre de personnes impactées par le nuage radioactif 1096 simulations météorologiques sur 3 ans (chacune de 72h), jusqu'à fin 2020								
Dose efficace individuelle engagée (millisievert)								
Cattenom 3817 MWth								
	Europe 51 ≥ 1 mSv Indiv.(nbr)	Europe 51 ≥ 6 mSv Indiv.(nbr)	Europe 51 ≥ 20 mSv Indiv.(nbr)	Europe 51 ≥ 50 mSv Indiv.(nbr)	Europe 51 ≥ 100 mSv Indiv.(nbr)	Europe 51 ≥ 500 mSv Indiv.(nbr)	Europe 51 ≥ 1000 mSv Indiv.(nbr)	Europe 51 ≥ 2000 mSv Indiv.(nbr)
Moyenne	26 301 615	7 840 353	2 017 499	603 858	276 960	80 910	40 191	14 635
Max	85 995 623	41 651 134	16 137 152	8 104 829	2 115 438	450 565	284 730	176 427
C90	43 999 113	15 301 919	4 542 327	1 149 750	523 273	207 188	113 576	43 943
C75	34 839 491	10 659 734	2 427 391	688 397	359 012	127 777	55 407	17 398
C50	24 282 106	6 370 676	1 391 318	423 565	231 163	51 588	18 682	2 661
C25	16 185 967	3 775 788	732 306	266 539	123 363	18 284	4 602	0
C10	10 644 573	2 324 069	462 441	136 815	61 388	5 183	53	0
Min	978 804	205 653	48 469	19 138	7 072	0	0	0

**20 mSv** : quelque 2'017'000 personnes seraient potentiellement confrontées, en moyenne, à une dose égale ou supérieure à 20 mSv, qui est la limite légale annuelle pour les radiologues et les salariés du nucléaire (2013/59/EURATOM, Art. 9.2, 53.1).

En considérant la variabilité météorologique, si l'on regarde le 10% des situations météo où le nuage s'écarte le plus des lieux habités (au centile 10 – noté C10 dans le tableau), le nombre de personnes qui seraient confrontées à une dose égale ou supérieure à 20 mSv s'établirait à 462'000. Mais dans le 10% des cas où le nuage radioactif se concentrerait près du sol et impacterait davantage le public (centile 90), le nombre de personnes touchées dépasserait 4'542'000, un chiffre qui pourrait presque quadrupler dans la pire des situations (Max).

**Nuage, ≥ 20 mSv** : plus de 2 millions de personnes seraient potentiellement confrontées à une *dose efficace individuelle engagée* égale ou supérieure à 20 mSv (premier seuil légal pour une situation d'urgence) ; mais dans le 1% des situations les plus sévères, le nombre de personnes confrontées à ce seuil de dose pourrait être égal ou supérieur à 10,7 millions ; toutefois, dans le 1% des situations les moins sévères, le nombre de personnes confrontées à une dose égale ou supérieure à 20 mSv serait égale ou inférieure à 179'000. **Nuage, ≥ 100 mSv** : Plus de 276'000 personnes seraient potentiellement confrontées à une *dose efficace individuelle engagée* égale ou supérieure à 100 mSv (seuil légal maximal pour une situation d'urgence) ; mais dans le 1% des situations les plus sévères, le nombre de personnes confrontées à ce seuil de dose serait égal ou supérieur à 1,2 millions.

**100 mSv**, en cas d'accident majeur, en moyenne, 276'000 personnes seraient potentiellement confrontées à une dose égale ou supérieure à 100 mSv, qui est la limite légale supérieure à laquelle le public peut être exposé en situation d'urgence (2013/59/EURATOM, Annexe I §1).

En considérant la variabilité météorologique, dans le 10% des situations météo où le nuage radioactif a tendance à s'éloigner des établissements humains (centile 10), le nombre de personnes confrontées à une dose égale ou supérieure à 100 mSv serait égal ou inférieur à 61'000. Et dans le 10% des cas où le nuage radioactif se rapprocherait le plus des agglomérations (centile 90), ce nombre dépasserait 523'000 personnes, un chiffre qui ne serait pas loin de quadrupler dans la pire des situations.

**500 mSv**, en cas d'accident majeur, en moyenne, 80'900 personnes seraient potentiellement confrontées à une dose supérieure à 500 mSv, qui est la limite légale supérieure à laquelle le personnel d'urgence susceptible de sauver des vies ne peut pas être exposé (2013/59/EURATOM, Art. 53, §2, (b)).

En considérant la variabilité météorologique, dans le 10% des situations météo où le nuage radioactif a tendance à s'éloigner des établissements humains (centile 10), le nombre de personnes confrontées à une dose égale ou supérieure à 500 mSv serait égal ou inférieur à 5'100. Et dans le 10% des cas où le nuage radioactif se rapprocherait le plus des agglomérations (centile 90), ce nombre dépasserait 207'000 personnes, un chiffre qui ne serait pas loin de doubler dans la pire des situations.

La totalité des résultats des différents pays est en ligne avec accès direct aux cartes

→ <https://nrisk.institutbiosphere.ch> → Cattenom / Cartes et données à disposition

#### 4.3. Impact sur les habitants de villes et d'agglomération

L'étude quantifie l'impact d'un accident nucléaire majeur sur plus de 300 villes de France et d'Europe. Le choix des villes et localités vise principalement à illustrer un espace vécu, en incluant les localités de petites tailles situées à environ 30 km de la centrale, sur les 8 points cardinaux. Le temps de rejet des matières radioactives étant de 3h, le nuage prend une direction et, le plus souvent, varie peu, ce qui diminue la probabilité qu'une ville soit touchée. L'évaluation de l'impact sur les villes a bénéficié Pour 1461 simulations, soit une par jour pendant 4 ans (une année de plus que les pays et les sols).

Situat° critiques à Hivange ->NW (LUX) Accident majeur à Cattenom (3817 MWth) De la centrale à Hivange ->NW (km) Pour 1461 simulat° du nuage	Situat° critiques à Junglinster ->N (LUX) Accident majeur à Cattenom (3817 MWth) De la centrale à Junglinster ->N (km) Pour 1461 simulat° du nuage	Situat° critiques à Fisch ->NE (DEU) Accident majeur à Cattenom (3817 MWth) De la centrale à Fisch ->NE (km) Pour 1461 simulat° du nuage
Dose efficace individuelle engagée (mSv) Moyenne des 15 situat° les + élevées (mSv) 2 065	Dose efficace individuelle engagée (mSv) Moyenne des 15 situat° les + élevées (mSv) 1 638	Dose efficace individuelle engagée (mSv) Moyenne des 15 situat° les + élevées (mSv) 2 659
Nbr des situat° critiques, vu 6 seuils légaux 1) [500, [ mSv -> situations (No) 69 2) [100,500[ mSv -> situations (No) 48 3) [50, 100[ mSv -> situations (No) 18 4) [20,50[ mSv -> situations (No) 22 5) [6, 20[ mSv -> situations (No) 36 6) [1, 6[ mSv -> situations (No) 85 [0.01, 0.99[ mSv -> situations (No) 41 TOTAL 319	Nbr des situat° critiques, vu 6 seuils légaux 1) [500, [ mSv -> situations (No) 71 2) [100,500[ mSv -> situations (No) 77 3) [50, 100[ mSv -> situations (No) 18 4) [20,50[ mSv -> situations (No) 35 5) [6, 20[ mSv -> situations (No) 55 6) [1, 6[ mSv -> situations (No) 37 [0.01, 0.99[ mSv -> situations (nbr) 87 TOTAL 380	Nbr des situat° critiques, vu 6 seuils légaux 1) [500, [ mSv -> situations (No) 134 2) [100,500[ mSv -> situations (No) 190 3) [50, 100[ mSv -> situations (No) 33 4) [20,50[ mSv -> situations (No) 48 5) [6, 20[ mSv -> situations (No) 56 6) [1, 6[ mSv -> situations (No) 100 [0.01, 0.99[ mSv -> situations (nbr) 37 TOTAL 598
Situat° critiques à Ville-au-Montois ->W (FRA) Accident majeur à Cattenom (3817 MWth) De la centrale à Ville-au-Montois ->W (km) Pour 1461 simulat° du nuage	<b>CATTENOM</b>	Situat° critiques à Mechern ->E (DEU) Accident majeur à Cattenom (3817 MWth) De la centrale à Mechern ->E (km) Pour 1461 simulat° du nuage
Dose efficace individuelle engagée (mSv) Moyenne des 15 situat° les + élevées (mSv) 1 758		Dose efficace individuelle engagée (mSv) Moyenne des 15 situat° les + élevées (mSv) 2 313
Nbr des situat° critiques, vu 6 seuils légaux 1) [500, [ mSv -> situations (No) 105 2) [100,500[ mSv -> situations (No) 81 3) [50, 100[ mSv -> situations (No) 22 4) [20,50[ mSv -> situations (No) 26 5) [6, 20[ mSv -> situations (No) 40 6) [1, 6[ mSv -> situations (No) 49 [0.01, 0.99[ mSv -> situations (nbr) 31 TOTAL 354	Nbr des situat° critiques, vu 6 seuils légaux 1) [500, [ mSv -> situations (No) 141 2) [100,500[ mSv -> situations (No) 119 3) [50, 100[ mSv -> situations (No) 24 4) [20,50[ mSv -> situations (No) 26 5) [6, 20[ mSv -> situations (No) 45 6) [1, 6[ mSv -> situations (No) 78 [0.01, 0.99[ mSv -> situations (nbr) 37 TOTAL 470	
Situat° critiques à Valleroy ->SW (FRA) Accident majeur à Cattenom (3817 MWth) De la centrale à Valleroy ->SW (km) Pour 1461 simulat° du nuage	Situat° critiques à Metz ->S (FRA) Accident majeur à Cattenom (3817 MWth) De la centrale à Metz ->S (km) Pour 1461 simulat° du nuage	Situat° critiques à Ottonville ->SE (FRA) Accident majeur à Cattenom (3817 MWth) De la centrale à Ottonville ->SE (km) Pour 1461 simulat° du nuage
Dose efficace individuelle engagée (mSv) Moyenne des 15 situat° les + élevées (mSv) 2 544	Dose efficace individuelle engagée (mSv) Moyenne des 15 situat° les + élevées (mSv) 2 423	Dose efficace individuelle engagée (mSv) Moyenne des 15 situat° les + élevées (mSv) 2 123
Nbr des situat° critiques, vu 6 seuils légaux 1) [500, [ mSv -> situations (No) 163 2) [100,500[ mSv -> situations (No) 68 3) [50, 100[ mSv -> situations (No) 16 4) [20,50[ mSv -> situations (No) 26 5) [6, 20[ mSv -> situations (No) 46 6) [1, 6[ mSv -> situations (No) 69 [0.01, 0.99[ mSv -> situations (nbr) 31 TOTAL 419	Nbr des situat° critiques, vu 6 seuils légaux 1) [500, [ mSv -> situations (No) 75 2) [100,500[ mSv -> situations (No) 37 3) [50, 100[ mSv -> situations (No) 18 4) [20,50[ mSv -> situations (No) 17 5) [6, 20[ mSv -> situations (No) 41 6) [1, 6[ mSv -> situations (No) 83 [0.01, 0.99[ mSv -> situations (nbr) 32 TOTAL 303	Nbr des situat° critiques, vu 6 seuils légaux 1) [500, [ mSv -> situations (No) 73 2) [100,500[ mSv -> situations (No) 49 3) [50, 100[ mSv -> situations (No) 19 4) [20,50[ mSv -> situations (No) 26 5) [6, 20[ mSv -> situations (No) 43 6) [1, 6[ mSv -> situations (No) 75 [0.01, 0.99[ mSv -> situations (nbr) 36 TOTAL 321

Tableau 4.3.1. Impact sur huit localités situées à environ 30 km de Cattenom et situées aux huit points cardinaux. Le Sud-Ouest, le Nord-Est et l'Est de Cattenom semblent plus exposés que les 5 autres directions. Mais Cattenom n'est qu'à 23 km de Luxembourg et de Merzig. Vivre loin de la centrale est un avantage, avec des exceptions ; les habitants de Lille et de Besançon sont à une distance presque équivalente de Cattenom, mais si la *dose efficace individuelle engagée* maximale est de 124 mSv à Lille, elle atteint presque le double à Besançon (228 mSv). Paris est à 289 km de Cattenom (dose maximale de 76 mSv) et Fribourg<sup>8</sup> en est à 299 km (mais dose maximale de 291 mSv le 05.01.2017) ; certaines concentrations, extrêmes, paraissent s'affranchir des distances de façon aléatoire.

<sup>8</sup> CH

Tableau 4.3.2. Impact possible de Cattenom sur 8 villes

Situations critiques à Luxembourg (LUX)		Situations critiques à Merzig (DEU)	
Après un accident majeur à Cattenom 3817 MWth		Après un accident majeur à Cattenom 3817 MWth	
Distance de la centrale nucléaire à Luxembourg (km)	23	Distance de la centrale nucléaire à Merzig (km)	30
Sur 1461 simulations du nuage (sans la déposition)		Sur 1461 simulations du nuage (sans la déposition)	
Dose efficace individuelle engagée (mSv)		Dose efficace individuelle engagée (mSv)	
Moyenne des 15 situations les plus élevées (mSv)	3 634	Moyenne des 15 situations les plus élevées (mSv)	2 179
Nombre de situations critiques selon 6 seuils légaux		Nombre de situations critiques selon 6 seuils légaux	
1) [500,[ mSv → situations (nbr)	128	1) [500,[ mSv → situations (nbr)	131
2) [100,500[ mSv → situations (nbr)	43	2) [100,500[ mSv → situations (nbr)	167
3) [50, 100[ mSv → situations (nbr)	18	3) [50, 100[ mSv → situations (nbr)	27
4) [20,50[ mSv → situations (nbr)	23	4) [20,50[ mSv → situations (nbr)	31
5) [6, 20[ mSv → situations (nbr)	34	5) [6, 20[ mSv → situations (nbr)	47
6) [1, 6[ mSv → situations (nbr)	87	6) [1, 6[ mSv → situations (nbr)	80
[0.01, 1[ mSv → situations (nbr)	26	[0.01, 1[ mSv → situations (nbr)	33
TOTAL	359	TOTAL	516
Situations critiques à Metz (FRA)		Situations critiques à Verdun (FRA)	
Après un accident majeur à Cattenom 3817 MWth		Après un accident majeur à Cattenom 3817 MWth	
Distance de la centrale nucléaire à Metz →S (km)	33	Distance de la centrale nucléaire à Verdun (km)	69
Sur 1461 simulations du nuage (sans la déposition)		Sur 1461 simulations du nuage (sans la déposition)	
Dose efficace individuelle engagée (mSv)		Dose efficace individuelle engagée (mSv)	
Moyenne des 15 situations les plus élevées (mSv)	2 423	Moyenne des 15 situations les plus élevées (mSv)	642
Nombre de situations critiques selon 6 seuils légaux		Nombre de situations critiques selon 6 seuils légaux	
1) [500,[ mSv → situations (nbr)	75	1) [500,[ mSv → situations (nbr)	15
2) [100,500[ mSv → situations (nbr)	37	2) [100,500[ mSv → situations (nbr)	106
3) [50, 100[ mSv → situations (nbr)	18	3) [50, 100[ mSv → situations (nbr)	20
4) [20,50[ mSv → situations (nbr)	17	4) [20,50[ mSv → situations (nbr)	41
5) [6, 20[ mSv → situations (nbr)	41	5) [6, 20[ mSv → situations (nbr)	42
6) [1, 6[ mSv → situations (nbr)	83	6) [1, 6[ mSv → situations (nbr)	82
[0.01, 1[ mSv → situations (nbr)	32	[0.01, 1[ mSv → situations (nbr)	34
TOTAL	303	TOTAL	340
Situations critiques à Saarbrücken (DEU)		Situations critiques à Nancy (FRA)	
Après un accident majeur à Cattenom 3817 MWth		Après un accident majeur à Cattenom 3817 MWth	
Distance de centrale nucléaire à Saarbrücken (km)	60	Distance de la centrale nucléaire à Nancy (km)	81
Sur 1461 simulations du nuage (sans la déposition)		Sur 1461 simulations du nuage (sans la déposition)	
Dose efficace individuelle engagée (mSv)		Dose efficace individuelle engagée (mSv)	
Moyenne des 15 situations les plus élevées (mSv)	541	Moyenne des 15 situations les plus élevées (mSv)	253
Nombre de situations critiques selon 6 seuils légaux		Nombre de situations critiques selon 6 seuils légaux	
1) [500,[ mSv → situations (nbr)	5	1) [500,[ mSv → situations (nbr)	1
2) [100,500[ mSv → situations (nbr)	74	2) [100,500[ mSv → situations (nbr)	26
3) [50, 100[ mSv → situations (nbr)	25	3) [50, 100[ mSv → situations (nbr)	25
4) [20,50[ mSv → situations (nbr)	43	4) [20,50[ mSv → situations (nbr)	27
5) [6, 20[ mSv → situations (nbr)	47	5) [6, 20[ mSv → situations (nbr)	46
6) [1, 6[ mSv → situations (nbr)	111	6) [1, 6[ mSv → situations (nbr)	92
[0.01, 1[ mSv → situations (nbr)	35	[0.01, 1[ mSv → situations (nbr)	28
TOTAL	340	TOTAL	245
Situations critiques à Koblenz (DEU)		Situations critiques à Liège (BEL)	
Après un accident majeur à Cattenom 3817 MWth		Après un accident majeur à Cattenom 3817 MWth	
Distance de la centrale nucléaire à Koblenz (km)	142	Distance de la centrale nucléaire à Liège (km)	142
Sur 1461 simulations du nuage (sans la déposition)		Sur 1461 simulations du nuage (sans la déposition)	
Dose efficace individuelle engagée (mSv)		Dose efficace individuelle engagée (mSv)	
Moyenne des 15 situations les plus élevées (mSv)	151	Moyenne des 15 situations les plus élevées (mSv)	109
Nombre de situations critiques selon 6 seuils légaux		Nombre de situations critiques selon 6 seuils légaux	
1) [500,[ mSv → situations (nbr)	0	1) [500,[ mSv → situations (nbr)	0
2) [100,500[ mSv → situations (nbr)	15	2) [100,500[ mSv → situations (nbr)	5
3) [50, 100[ mSv → situations (nbr)	40	3) [50, 100[ mSv → situations (nbr)	13
4) [20,50[ mSv → situations (nbr)	107	4) [20,50[ mSv → situations (nbr)	49
5) [6, 20[ mSv → situations (nbr)	111	5) [6, 20[ mSv → situations (nbr)	59
6) [1, 6[ mSv → situations (nbr)	149	6) [1, 6[ mSv → situations (nbr)	80
[0.01, 1[ mSv → situations (nbr)	53	[0.01, 1[ mSv → situations (nbr)	36
TOTAL	475	TOTAL	242

La totalité des résultats des 80 villes parmi les plus impactées est en ligne avec accès direct aux cartes

→ <https://nrisk.institutbiosphere.ch> → Cattenom / Cartes et données à disposition

La totalité des résultats de plus de 300 villes est en ligne dans un fichier Excel :

→ [https://nrisk.institutbiosphere.ch/vc\\_CAT\\_1461-fr.xlsx](https://nrisk.institutbiosphere.ch/vc_CAT_1461-fr.xlsx)

#### 4.4. Déplacement des populations sur une longue durée

Concernant le déplacement de longue durée des populations par suite de la contamination des sols, le premier seuil légal de *dose efficace individuelle engagée* qui détermine l'évacuation des personnes est fixé à 20 mSv par année et le seuil maximal à 100 mSv (2013/59/EURATOM, Annex I §1).

**20 mSv** : il faudrait, en moyenne, reloger durablement 960'000 personnes autour de Cattenom. Mais en regard de 10% des situations météo les moins impactantes, le nombre de personnes qui seraient potentiellement confrontées à une dose égale ou supérieure à 20 mSv s'établirait à moins de 227'000 personnes. Toutefois, dans le 10% des cas où la radioactivité impacterait le plus de personnes, le nombre de déplacés dépasserait 1'974'000.

**100 mSv** : quelque 177'000 personnes seraient potentiellement confrontées à une dose annuelle supérieure à 100 mSv. Elles devraient être relogées si cette limite d'exposition pour le public était sélectionnée (2013/59/EURATOM, Annex I §1). Mais, vu la variabilité météorologique, si l'on regarde le 10% des situations météo où la radioactivité impacte le moins de personnes (au centile C10), le nombre de personnes qui seraient confrontées à une dose égale ou supérieure à 100 mSv s'établirait à 29'000. A l'opposé, dans le 10% des cas où la radioactivité impacterait le plus de personnes (centile C90), ce nombre dépasserait 349'000 personnes, un chiffre qui pourrait être multiplié par 3 dans la pire des situations (Max).

Tableau 4.4.1. Distribution en centiles (et moyenne) du nombre de personnes impactées par la déposition radioactive 1096 simulations météorologiques sur 3 ans Radiation du sol pendant une année avec un facteur indoor de 0.4, dose efficace individuelle engagée (mSv) Cattenom 3817 MWth								
	Europe 51 ≥ 1 mSv Indiv.(nbr)	Europe 51 ≥ 6 mSv Indiv.(nbr)	Europe 51 ≥ 20 mSv Indiv.(nbr)	Europe 51 ≥ 50 mSv Indiv.(nbr)	Europe 51 ≥ 100 mSv Indiv.(nbr)	Europe 51 ≥ 500 mSv Indiv.(nbr)	Europe 51 ≥ 1000 mSv Indiv.(nbr)	Europe 51 ≥ 2000 mSv Indiv.(nbr)
Moyenne	19 571 404	4 421 794	960 715	314 746	177 569	47 255	18 721	4 976
Max	64 136 663	29 032 391	11 263 878	3 409 749	1 066 738	307 964	195 527	108 415
C90	33 823 006	8 775 159	1 974 905	595 275	349 883	131 513	57 786	15 164
C75	25 341 356	5 809 815	1 127 428	389 510	254 585	67 711	22 498	2 975
C50	17 703 287	3 342 913	629 543	256 260	153 805	23 854	5 608	0
C25	11 214 635	1 855 718	370 279	138 519	70 734	6 710	0	0
C10	7 679 968	1 113 118	227 137	70 908	29 304	642	0	0
Min	699 827	93 362	24 214	9 056	1 609	0	0	0

Les pouvoirs publics peuvent-ils reloger les personnes qui devraient l'être ? A partir de quel seuil n'y parviendraient-ils pas ? Dans le tableau ci-dessous, seule l'Espagne, à plus de 800 km de Cattenom, aurait une chance d'y parvenir dans la pire des situations. Mais les autres pays ? La mesure est pourtant importante à réaliser.

Par comparaison avec une non-évacuation, le déplacement des populations pour un seuil  $\geq 20$  mSv/1<sup>re</sup> année permettrait, en moyenne et potentiellement, pour "Europe 51", d'éviter près de 57'000 cas de maladies graves radio-induites, dont 26'000 décès ; cependant que les résultats au niveau du centile 99 indiquent, respectivement, 222'000 cas de maladies graves radio-induites en moins, dont 101'000 décès en moins si une évacuation durable est prononcée (tableau non publié ici). L'évacuation semble donc importante, mais encore faut-il réussir à la mener, et avant cela, que les pouvoirs publics en charge du dossier prouvent qu'une évacuation de cette ampleur serait gérable.



Tableau 4.4.2. Distribution en centiles (et moyenne) du nombre de personnes impactées par la déposition radioactive  $\geq 20$  mSv  
1096 simulations météorologiques sur 3 ans  
Radiation du sol pendant une année avec un facteur indoor de 0.4, dose efficace individuelle engagée (mSv)  
Cattenom 3817 MWth

	Europe $\geq 20$ mSv Individ. (nbr)		France $\geq 20$ mSv Individ. (nbr)		DEU + AUT $\geq 20$ mSv Individ. (nbr)		Luxembourg $\geq 20$ mSv Individ. (nbr)		BEL + NLD $\geq 20$ mSv Individ. (nbr)		Italie $\geq 20$ mSv Individ. (nbr)		Suisse $\geq 20$ mSv Individ. (nbr)		Espagne $\geq 20$ mSv Individ. (nbr)	
Moy.	960 715	Moy.	283 962	Moy.	481 323	Moy.	60 502	Moy.	119 230	Moy.	7 316	Moy.	4 517	Moy.	174	
Max	11 263 878	Max	11 263 878	Max	8 490 258	Max	574 619	Max	8 129 179	Max	2 108 434	Max	1 087 055	Max	138 273	
C95	2 845 324	C95	878 291	C95	1 851 181	C95	333 231	C95	690 787	C95	0	C95	0	C95	0	
C90	1 974 905	C90	635 390	C90	1 331 537	C90	264 716	C90	160 959	C90	0	C90	0	C90	0	
C85	1 598 113	C85	521 259	C85	1 050 310	C85	165 361	C85	43 790	C85	0	C85	0	C85	0	
C75	1 127 428	C75	382 198	C75	698 146	C75	55 795	C75	0	C75	0	C75	0	C75	0	
C50	629 543	C50	65 855	C50	142 930	C50	3 704	C50	0	C50	0	C50	0	C50	0	
C25	370 279	C25	22 242	C25	0	C25	0	C25	0	C25	0	C25	0	C25	0	
C15	293 058	C15	17 393	C15	0	C15	0	C15	0	C15	0	C15	0	C15	0	
C10	227 137	C10	14 706	C10	0	C10	0	C10	0	C10	0	C10	0	C10	0	
C5	149 028	C5	13 275	C5	0	C5	0	C5	0	C5	0	C5	0	C5	0	
Min	24 214	Min	6 301	Min	0	Min	0	Min	0	Min	0	Min	0	Min	0	

Europe = 51 territoires, jusqu'à Moscou, y compris Maroc, Algérie, Tunisie, Moldavie, etc. ; DEU + AUT = Allemagne + Autriche ; BEL + NLD = Belgique + Pays Bas.

#### 4.5. Impact sanitaire : dose efficace collective engagée

La dose collective est le point de départ pour calculer l'impact sanitaire, <sup>9</sup>

La dose efficace collective engagée, s'établirait, en moyenne, à 375'186 persSv. Elle se distribue comme suit : Nuage radioactif, estimé dans l'intervalle [1, 2000] → 302'347 pSv ; Rayonnement des sols, dans l'intervalle [1, 20] → 72'839 pSv.

#### 4.6. Impact sanitaire : nombre de maladies graves radio-induites selon le Modèle B

Les résultats ci-dessous reposent sur l'hypothèse que l'évacuation durable des personnes est un succès pour celles vivant dans des régions impactée à plus de 20 mSv durant la 1<sup>re</sup> année.

Tableau 5.3. Distribution du nombre potentiel de cas de maladies sévères radio-induites (cardio-vasculaires & cancers) selon Modèle B, facteur EAR 0,55/persSv  
[Nuage  $\leq 2000$  mSv (72 heures)] + [déposition  $< 20$  mSv (1<sup>re</sup> année)]  
Cattenom (3817 MWth)

Impact	Europe		France		DEU + AUT		Luxembourg		BEL + NLD		Italie		Suisse		Espagne	
Moy.	206 352	Moy.	67 658	Moy.	81 775	Moy.	15 788	Moy.	17 653	Moy.	2 738	Moy.	1 485	Moy.	638	
Max	834 938	Max	495 715	Max	560 585	Max	247 382	Max	527 384	Max	177 672	Max	112 909	Max	51 895	
C95	406 290	C95	236 945	C95	243 635	C95	105 629	C95	119 452	C95	17 337	C95	7 024	C95	1 685	
C90	348 280	C90	184 762	C90	193 860	C90	62 758	C90	64 483	C90	3 671	C90	1 349	C90	57	
C85	306 878	C85	151 795	C85	166 567	C85	29 188	C85	27 716	C85	488	C85	137	C85	0	
C75	263 531	C75	106 089	C75	128 275	C75	10 604	C75	3 045	C75	3	C75	0	C75	0	
C50	186 130	C50	28 584	C50	65 672	C50	518	C50	0	C50	0	C50	0	C50	0	
C25	127 967	C25	7 916	C25	578	C25	0	C25	0	C25	0	C25	0	C25	0	
C15	103 024	C15	5 216	C15	0	C15	0	C15	0	C15	0	C15	0	C15	0	
C10	88 513	C10	3 938	C10	0	C10	0	C10	0	C10	0	C10	0	C10	0	
C5	69 784	C5	2 758	C5	0	C5	0	C5	0	C5	0	C5	0	C5	0	
Min	11 708	Min	1 353	Min	0	Min	0	Min	0	Min	0	Min	0	Min	0	

Résultats sur 1096 simulations météorologiques (sans les doses inférieures à 1 mSv) DEU = Allemagne ; BEL + NLD = Belgique + Pays Bas.

A l'échelle de l'Europe, les maladies graves radio-induites s'élèveraient, pour la médiane et la moyenne, à 186'000 et 206'000 respectivement. Dans le 15% des cas où le nuage radioactif s'éloignerait le plus des populations, ces chiffres seraient inférieurs 103'000 personnes et, dans le 15% des cas où le nuage radioactif se rapprocherait le plus des populations, le chiffre serait supérieur à 306'000 personnes pour Cattenom.

<sup>9</sup> Les facteurs EAR qui entrent dans le calcul sont précisés en fin de la note n°5, ou dans le document principal → <https://institutbiosphere.ch/eunupri2024a.html> → section 2.7, 4.2

La question de l'exportation des dommages dans un autre pays européen est traité après la question des dommages sanitaires.

#### 4.7. Impact sanitaire : nombre de décès radio-induits

Tableau 4.7.1. Nombre potentiel de décès radio-induits selon le Modèle B, facteur EAR 0,25/persSv																
[Nuage ≤ 2000 mSv (72 heures)] + [déposition < 20 mSv (1 <sup>re</sup> année)]																
Centrale et puissance thermique : Cattenom (3817 MWth)																
Impact :	Europe		France		DEU + AUT		Luxembourg		BEL + NLD		Italie		Suisse		Espagne	
	Moy.	93 797	Moy.	30 754	Moy.	37 170	Moy.	7 176	Moy.	8 024	Moy.	1 245	Moy.	675	Moy.	290
Max	379 517		Max	225 325	Max	254 811	Max	112 446	Max	239 720	Max	80 760	Max	51 322	Max	23 589
C95	184 677		C95	107 702	C95	110 743	C95	48 013	C95	54 296	C95	7 881	C95	3 193	C95	766
C90	158 309		C90	83 983	C90	88 118	C90	28 526	C90	29 310	C90	1 669	C90	613	C90	26
C85	139 490		C85	68 998	C85	75 712	C85	13 267	C85	12 598	C85	222	C85	62	C85	0
C75	119 787		C75	48 222	C75	58 307	C75	4 820	C75	1 384	C75	1	C75	0	C75	0
C50	84 605		C50	12 993	C50	29 851	C50	235	C50	0	C50	0	C50	0	C50	0
C25	58 167		C25	3 598	C25	263	C25	0	C25	0	C25	0	C25	0	C25	0
C15	46 829		C15	2 371	C15	0	C15	0	C15	0	C15	0	C15	0	C15	0
C10	40 233		C10	1 790	C10	0	C10	0	C10	0	C10	0	C10	0	C10	0
C5	31 720		C5	1 254	C5	0	C5	0	C5	0	C5	0	C5	0	C5	0
Min	5 322		Min	615	Min	0	Min	0	Min	0	Min	0	Min	0	Min	0

Résultats sur 1096 simulations météorologiques (sans les doses inférieures à 1 mSv)  
 EU50 = Europe + voisins - France ; DAU = Allemagne + Autriche ; Lux = Luxembourg ; FRA = France ; BNL = Belgique + Pays Bas ; ITA = Italie ; CHE = Suisse ; ESP = Espagne

Les résultats ci-dessus reposent sur l'hypothèse que l'évacuation durable des personnes a réussi pour les personnes vivant dans des régions impactées à plus de 20 mSv durant la 1<sup>re</sup> année.

A l'échelle de l'Europe, le nombre potentiel de décès radio-induits serait, pour la médiane et la moyenne, à 84'000 et presque 94'000 respectivement ; en C5, à moins de 31'700, et en C95 à plus de 184'600.

Par contraste, en cas d'accident majeur dans un réacteur de 2785 MWth, l'IRSN évaluait le nombre de décès à 28'607 en tout sur plusieurs décennies (2007, annexes au rapport DRS n°157, 41) ; le total se décomposait comme suit : 4'167 décès dus à l'ingestion de matières radioactives ; 14'442 dus au panache ; 9'998 par suite de mesures de protection sous-optimales.<sup>10</sup>

#### 4.8. Potentiel d'exportation de l'impact sanitaire de Cattenom chez les autres membres de l'Union européenne

L'impact sanitaire global de Cattenom, maladies graves et décès potentiels, impacterait la France et ses voisins. Le tableau ci-dessus dessine la distribution statistique de l'impact envisageable entre le pays abritant les réacteurs nucléaires et quelques-uns des autres membres de l'Union européenne.

Tableau 4.8.1. Occurrence des situations météorologiques où la dose efficace collective engagée (personsSv) serait plus élevée au-delà des frontières de la France (sur 1096 simulations météorologiques – 3 ans)							
Compar. entre territoires	(persSv > persSv) EU50 > FRA	(persSv > persSv) DAU > FRA	(persSv > persSv) LUX > FRA	(persSv > persSv) BNL > FRA	(persSv > persSv) ITA > FRA	(persSv > persSv) CHE > FRA	(persSv > persSv) ESP > FRA
1er terri. imp > 2e terri. No	729	608	265	127	39	3	0
(%)	67%	55%	24%	12%	4%	0.3%	0%

EU50 = Europe + voisins - France ; DAU = Allemagne + Autriche ; Lux = Luxembourg ; FRA = France ; BNL = Belgique + Pays Bas ; ITA = Italie ; CHE = Suisse ; ESP = Espagne

L'Allemagne et l'Autriche considérées ensemble seraient plus touchées que la France dans 55% des situations météorologiques ; puis vient le Luxembourg dans 24% des simulations, son existence en tant qu'État serait menacée faute de pouvoir replier ses habitants, ses institutions publiques et son activité économique sur une partie non contaminée du territoire ; puis viennent la Belgique et les Pays-Bas ensemble, qui seraient plus touchés que la France dans 12% des situations.

<sup>10</sup> Si l'IRSN utilisait un facteur EAR de 0.07/Sv ainsi qu'il est plausible (*supra* note de bas de page n°5), la dose efficace collective engagée menant à tel bilan humain serait 408'670 persSv – donc plus élevée que celle estimée dans Eunupri2024b!

Enfin, l'Europe et ses voisins seraient plus impactés que la France dans 67% des situations météorologiques. La centrale nucléaire de Cattenom aurait donc une propension certaine à exporter le risque nucléaire chez les autres membres de l'Union européenne.

#### 4.9. Contamination radioactive des sols

La contamination des sols agricoles lors d'un accident nucléaire majeur deviendrait une réalité durable dont il serait impossible de s'extirper rapidement. Un niveau de contamination des sols au césium-137 égal ou supérieur à 3.54E+04 Bq/m<sup>2</sup> pourrait déjà poser un problème à l'agriculture et aux consommateurs, la radioactivité se trouvant ensuite dans les aliments.

Centrale (MWth)	Cattenom 3817 MWth					
Zone impactée	Europe (39 pays)	Allemagne	France	BEL + NLD	Luxembourg	Suisse
Cs-137(t1) (Bq m <sup>-2</sup> )	3.54E+04	3.54E+04	3.54E+04	3.54E+04	3.54E+04	3.54E+04
Tous les nucléides (mSv (1 <sup>st</sup> year <sup>-1</sup> ))	≥1	≥1	≥1	≥1	≥1	≥1
Cultivation, moyenne (km <sup>2</sup> )	8 178	315	2 622	1 000	78	48
Herbacées, moyenne (km <sup>2</sup> )	15 795	5 963	4 370	982	65	139
Vignoble, moyenne (km <sup>2</sup> )	802	197	395	0	5	3
Autres surfaces, moyenne (km <sup>2</sup> )	80 258	26 967	16 829	2 615	258	681
TOTAL toutes surfaces, moyenne (km <sup>2</sup> )	105 032	33 441	24 216	4 598	406	871

Note : de Bq à mSv -> via les demi-vies & facteurs de dose 'rayonnement du sol', et via un facteur indoor de 0.4 (-60%)  
La catégorie "autres surfaces" comprend les forêts et les surfaces construites notamment, ainsi que les cours d'eau et les lacs, mais non les mers.

Le premier seuil considéré est certes un peu plus bas que le seuil de 3.7E+04 Bq/m<sup>2</sup> de Cs-137 que l'on trouve ailleurs dans la littérature comme référence pour la prise en compte de la contamination (IRSN 2007 ; IRSN 2023). Nous l'avons retenu puisqu'en considérant les autres nucléides du rejet modélisé, il coïncide avec un rayonnement des sols de 1 mSv pendant la première année suivant un accident nucléaire majeur.

Cela étant, dans l'hypothèse d'un accident majeur à Cattenom, un niveau de contamination égal ou supérieur à 3.54E04 Bq par m<sup>2</sup> de Césium 137 contaminerait, en moyenne, 802'000 hectares de vignoble cependant que le reste des activités agricoles (hors pâturage) se verrait amputée d'une surface un peu supérieure à 8'178'000 hectares. Et la surface contaminée totale dépasserait 105'000 km<sup>2</sup>.

Pour prendre la mesure de ce chiffre, selon Lelieveld et al. (2012, p. 4251), la déposition de 3,7E+04 Bq/m<sup>2</sup> de Cs-137 provenant de simulations sur plusieurs centrales nucléaires européennes recouvrait en moyenne 165'000 km<sup>2</sup>. Les résultats d'Eunupri 2024b sont à 105'032 km<sup>2</sup>, ce qui suggère que le rejet S1 utilisé, pour un 3817 MWth, n'était pas exagéré.

## 5. Clé de lecture des résultats de l'impact sanitaire

Les pouvoirs publics ont pour mandat de minimiser l'impact sanitaire d'un accident majeur. En cas d'accident majeur, la population exprimera des réactions de peur, de résignation, de colère, de révolte, de fuite, ... ; une situation susceptible de tourner en chaos collectif.

La simulation numérique reflète les données utiles à la protection des populations. Elle permet d'évaluer le nombre de personnes potentiellement confrontées à des *doses efficace individuelles engagées* ; elle indique aussi un impact sanitaire théorique.

Il faut distinguer trois types d'évaluations du risque : passage du nuage radioactif, sols contaminés, impact sanitaire.

### 5.1. Passage du nuage radioactif

Il semble prudent – dans la restitution des résultats – d'écrire et de comprendre que les "*personnes sont potentiellement confrontées à*" un nuage dont la radioactivité dépasse un seuil critique exprimé comme *dose efficace individuelle engagée*.<sup>11</sup>

Lors de l'arrivée du nuage, les habitants touchés auraient intérêt à suivre les recommandations des pouvoirs publics pour que l'impact sanitaire effectif sur leur personne et leur famille soit inférieur à la dose

<sup>11</sup> La dose est dite *engagée* car ses effets sanitaires peuvent se produire des décennies après l'événement.

indiquée ; certains habitants seraient évacués en urgence car trop proches de la source ; d'autres devraient se confiner chez eux, en obturant toutes les ouvertures de leur logement. Un grand nombre d'entre eux pourraient s'y conformer, d'autres pas, et un pronostic précis sur les comportements effectifs semble vain, notamment si les membres d'une famille sont dans des lieux différents et que leur priorité est de se retrouver pour protection mutuelle, et non de rester dans leur local du moment, à l'école, au travail...

Le nombre de "*personnes potentiellement confrontées*" à une *dose efficace individuelle engagée* pourrait être surévalué au sens où seule une partie des personnes recevrait une dose égale ou supérieure à la dose indiquée lors du passage du nuage radioactif ; mais le nombre pourrait signifier quelque chose de vrai dans certaines situations météorologiques, dans et autour de certaines villes, ou certains jours de l'année, cf. Eunupri2024b/étude stratégique n°6, 4.1(v).

### 5.2. Sols contaminés

L'estimation de la *dose efficace individuelle engagée* prend en compte l'exposition externe au rayonnement du sol et est limitée à une année, en intégrant la décroissance de la radioactivité durant cette période. Nous avons suivi l'IFSN qui préconise un facteur *indoor* (intérieur) de 0,4 (IFSN 2009, 67).

Ce choix méthodologique aurait tendance à *surévaluer* le nombre de personnes contaminées parmi celles qui transitent du domicile au lieu de travail en voiture, d'un garage sous-terrain à l'autre. Mais comme nous avons limité l'évaluation de la contamination des sols à une année – alors qu'elle se poursuit au-delà – le nombre de "*personnes potentiellement confrontées*" à une *dose efficace individuelle engagée* pourrait être sous-évalué pour ce qui concerne les sols, lorsque ce facteur entre dans le calcul de l'impact sanitaire, c'est à dire pour une exposition annuelle égale ou supérieure à 20 mSv.<sup>12</sup> Et en dessous de ce seuil, il faudrait informer le public des dangers d'une exposition prolongée à l'extérieur, dont les enfants qui apprécient de jouer à même le sol.

### 5.3. Impact sanitaire

L'estimation de l'impact sanitaire nécessite de chiffrer la *dose effective collective engagée* (Eunupri2024b/étude stratégique n°6, 2.3). Celle-ci est ensuite traduite en nombre de maladies graves, via un facteur EAR du *modèle linéaire sans seuil*. L'évaluation intègre les chiffres issus du passage du nuage radioactif dans l'intervalle [1 mSv, 2000 mSv], et ceux des sols contaminés dans l'intervalle [1 mSv, 20 mSv].

La premier intervalle relève d'une certaine prudence méthodologique pour éviter les erreurs éventuelles dans la partie élevée du spectre. Même si des personnes mal informées pourraient faire l'inverse de ce qui est recommandé, dans l'ensemble, les comportements réels contribueraient à réduire l'impact sanitaire de ce volet de nos simulations.

Le second intervalle intègre le déplacement durable des personnes, loin des sols ayant un rayonnement égal ou supérieur à 20 mSv/an lors de la première année. Le fait de ne retenir qu'une année tendrait à sous-évaluer l'impact sanitaire puisque la radioactivité persisterait au-delà en ne diminuant que progressivement. De même, si les pouvoirs publics devaient limiter le nombre de personnes à reloger durablement pour causes de logistique et de coût, ils pourraient repousser le seuil à 50 ou 100 mSv/an (2013/59/EURATOM, annexe 1, §1), et l'impact sanitaire serait plus élevé que celui estimé ici. Toutefois, en cas de comportement rigoureux des habitants, les résultats des simulations de l'impact sanitaire de la contamination des sols pourraient être surévalués.

L'étude n'évalue pas l'impact sanitaire de l'inhalation de matières radioactives soulevées du sol par les vents pendant les années qui suivraient l'accident.

Et l'étude n'évalue pas les effets de l'ingestion de matières radioactives contaminant eau et aliments, alors que ce facteur aurait un impact important sur la santé ; d'après l'IRSN, ce risque existe notamment en cas de hausse du prix des aliments ; la hausse proviendrait notamment de la contamination radioactives des terres cultivées ; la contamination par l'alimentation représenterait entre 10 et 15% des cancers radio-induits (IRSN 2007, annexes au rapport DSR n°157, 41). Sans parler des effets de la pression croissante des bouleversements climatiques sur l'agriculture, et les prix agricoles.

Dans l'ensemble, les chiffres de l'impact sanitaire seraient plus élevés dans les simulations que dans la réalité, et il est difficile d'évaluer cet écart du fait d'incertitudes peu compressibles.

---

<sup>12</sup> Le nombre de personnes potentiellement confrontées à un rayonnement annuel égal ou supérieur à 20 mSv est indicatif au sens où elles sont susceptibles d'être relogées durablement ailleurs dès ce niveau (2013/59/EURATOM, annexe 1, §1).

Prendre à la légère les résultats serait néanmoins contreproductif du fait de la variété des situations et des réactions envisageables. Il faut les lire en tant que *nombre potentiel de maladies graves radio-induites* et *nombre potentiel de décès radio-induits*.

## 6. Conclusion

Cette étude a simulé un accident nucléaire majeur à Cattenom, au Nord-Est de la France, à quelques kilomètres de la frontière avec le Luxembourg, l'Allemagne et la Belgique. Nous avons modélisé le rejet de 59 nucléides radioactifs ainsi que leur transport atmosphérique à l'aide de plus d'un millier de simulations météorologiques, sur trois ans pour l'impact sur les pays (nuage et déposition), et quatre ans pour les villes (nuage). Les calculs ont été faits sur une base documentée, claire et accessible. Le détail de la méthodologie avec les références bibliographiques est publié dans un document séparé. (Eunupri2024b/étude stratégique n°6, 2.1 à 2.7).

L'objectif était d'évaluer les situations d'urgence lors du passage du nuage, le déplacement forcé des populations touchées au vu de la déposition sur les sols, les impacts différés sur la santé des populations de pays européens et de quelques-uns de leurs voisins, l'impact sur les sols agricoles, et l'impact du nuage sur plus de 300 localités françaises et européennes.

Les résultats de l'analyse spatiale de la distribution des impacts montrent que les conditions météorologiques influencent considérablement l'amplitude des dommages aux personnes, aux sols et lieux de vie.

Ce qui pose la question des moyens à disposition des pouvoirs publics pour protéger les populations en situation d'urgence. Les moyens doivent permettre de répondre à un accident d'un certain type. *Si la malignité la plus inhumaine devient le facteur causal et violent d'un accident nucléaire majeur, il est irresponsable de dimensionner la protection d'urgence de la population sur l'accident médian ou moyen ; les pouvoirs publics n'ont pas d'autre choix que de la dimensionner sur l'accident du centile 99.* Cela vaut pour la protection d'urgence, et pour le déplacement durable des populations loin des zones fortement impactées par la déposition. Les résultats des simulations donnent la mesure de la tâche.

Nuage,  $\geq 20$  mSv : en moyenne, plus de 2 millions de personnes seraient potentiellement confrontées à une *dose efficace individuelle engagée* égale ou supérieure à 20 mSv (premier seuil légal pour une situation d'urgence) ; le nombre de personnes potentiellement atteintes dans le 1% des situations les plus sévères serait 5,3 fois plus élevés que le nombre moyen.

Nuage,  $\geq 100$  mSv : en moyenne, plus de 276'000 personnes seraient potentiellement confrontées à une *dose efficace individuelle engagée* égale ou supérieure à 100 mSv (seuil légal maximal pour une situation d'urgence) ; le nombre de personnes potentiellement atteintes dans le 1% des situations les plus sévères serait 4,3 fois plus élevé que le nombre moyen.

Déposition,  $\geq 20$  mSv/1<sup>re</sup> année : en moyenne, près de 960'000 habitants seraient potentiellement confrontés à une *dose efficace individuelle engagée* égale ou supérieure à 20 mSv (premier seuil légal pour une évacuation durable avec relogement) ; le nombre potentiel d'habitants à déplacer dans le 1% des situations les plus sévères serait 5,7 fois plus élevés que le nombre moyen.

Déposition,  $\geq 100$  mSv : en moyenne, près de 177'000 habitants seraient potentiellement confrontés à une *dose efficace individuelle engagée* égale ou supérieure à 100 mSv pendant le cours d'une année (seuil légal maximal pour une évacuation durable avec relogement) ; le nombre potentiel de personnes à déplacer dans le 1% des situations les plus sévères serait 3,4 fois plus élevés que le nombre moyen de personnes dans cette situation, à presque 596'000 personnes.

Cela étant, le *nombre potentiel de décès radio-induits* pourrait être de 93'000 en moyenne dans les décennies suivant l'accident, et il pourrait s'approcher, voire dépasser, les 266'000 décès dans le 1% des situations les plus sévères. En comparaison, l'IRSN a chiffré à 28'607 le nombre médian de décès que provoquerait un accident nucléaire majeur dans un réacteur de 2785 MWth.<sup>13</sup> La différence interroge l'actualisation des hypothèses de départ.<sup>14</sup>

---

<sup>13</sup> Le total se décompose ainsi : 4'167 décès dus à l'ingestion de matières radioactives ; 14'442 dus au panache ; 9'998 par suite de mesures de protection sous-optimales (2007, annexes au rapport DRS n°157, 41).

<sup>14</sup> Comme l'IRSN mentionnait le facteur EAR déterminé par la NRC à 0.07/Sv (*supra*, note n°5), cela laisserait entendre son adoption dans les calculs de l'IRSN ; si l'hypothèse est correcte, la dose effective collective engagée en personsV

L'inhumanité dopée à la haine, et avide de techniques destructrices, constitue la cause la plus vraisemblable d'un accident nucléaire et de ses conséquences funestes. Il semble téméraire d'asséner que la probabilité d'un accident nucléaire majeur sur le site de Cattenom est *très improbable* puisque l'analyse statistique des accidents passés, pour des causes à chaque fois différentes, a démenti la norme IAEA pour ce genre d'accident. Sachant que le contexte d'exploitation des réacteurs nucléaires de génération II et des installations connexes *n'est pas totalement imperméable* à l'emploi d'armes précises et puissantes par des acteurs non-étatiques, il est vraisemblable qu'ils ne peuvent plus fonctionner dans des conditions de sécurité acceptables. Le constat contredit de fausses évidences qui minimisaient les conséquences de l'accident majeur de Fukushima en laissant accroire qu'elles valaient aussi dans une région autrement plus peuplée.

Vu l'ampleur extraordinairement élevée d'un accident sur les populations et les pays touchés, même si l'accident reste improbable, son occurrence doit être intégrée dans le troisième réexamen périodique des réacteurs de 3817 MWth → 1300 MWe, et dans le débat sur la transition énergétique. L'ampleur considérable des dommages d'un accident nucléaire majeur à Cattenom n'est pas compensée par son *improbabilité* lorsque la norme en vigueur exige qu'il reste *très improbable*.

## 7. BIBLIOGRAPHIE

- Boyd, Iain. 2023. 'How Hamas Evaded Israel's Iron Dome Air Defense System'. Defense One. 17 October 2023. <https://www.defenseone.com/ideas/2023/10/how-hamas-evaded-israels-iron-dome-air-defense-system/391285/>.
- Département fédéral de la défense, de la protection de la population et des sports. 2024. 'Message Sur l'armée 2024 (Version Provisoire, Divulguée Au Public Par Conférence de Presse)'. Confédération suisse. [https://www.vtg.admin.ch/fr/actualite/themes/armeebotschaft-2024.html#infotabs\\_1](https://www.vtg.admin.ch/fr/actualite/themes/armeebotschaft-2024.html#infotabs_1).
- Dorfman, Paul. 2023. 'Civil Nuclear Security Risk in an Increasingly Unstable World - NCT CBNW'. 24 July 2023. <https://nct-cbnw.com/civil-nuclear-security-risk-in-an-increasingly-unstable-world/>.
- EDF, SEPTEN. 2008. EPS N2 1300 MWe post VD2: Évaluation probabiliste des conséquences radiologiques "court terme" à 7 jours des catégories de rejets d'intérêt. Annexe 2 : Inventaire cœur et termes sources associés aux catégories de rejets. Non publié. 40.
- IAEA, International Atomic Energy Agency. 2009. 'Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants : Safety Guide'. Vienna: IAEA safety standards series. [https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1428\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1428_web.pdf).
- IAEA, International Atomic Energy Agency. 2018. 'Radiation Protection of the Public and the Environment': IAEA Safety Standards. Vienna: IAEA and United Nations Environment Programme. [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1781\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1781_web.pdf).
- IFSN, Inspection Fédérale de la Sécurité Nucléaire. 2014. 'Examen Des Scénarios de Référence Pour La Planification d'urgence Au Voisinage Des Centrales Nucléaires'. Confédération Suisse. [https://www.ensi.ch/wp-content/uploads/sites/4/2014/06/examen\\_des\\_scenarios\\_de\\_reference\\_ida\\_nomex\\_ensi-an-8293.pdf](https://www.ensi.ch/wp-content/uploads/sites/4/2014/06/examen_des_scenarios_de_reference_ida_nomex_ensi-an-8293.pdf).
- IFSN, Inspection Fédérale de la Sécurité Nucléaire. 2020a. 'Surestimation Du Danger En Cas de Défaillance Survenant Tous Les 10'000 Ans Dans Une Centrale Nucléaire Suisse'. <https://www.ensi.ch/fr/2018/10/12/surestimation-du-danger-en-cas-de-defaillance-survenant-tous-les-10-000-ans-dans-une-centrale-nucleaire-suisse/>.
- IFSN, Inspection Fédérale de la Sécurité Nucléaire. 2020b. 'Stellungnahme Des ENSI Zur Studie "Modeling of a Major Accident in Five Nuclear Power Plants From 365 Meteorological Situations in Western Europe and Analysis of the Potential Impacts on Populations, Soils and Affected Countries" Des Institut Biosphère.' Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Bern. [https://www.ensi.ch/de/wp-content/uploads/sites/2/2021/05/ENSI-AN-10939\\_geschwaerzt.pdf](https://www.ensi.ch/de/wp-content/uploads/sites/2/2021/05/ENSI-AN-10939_geschwaerzt.pdf).

---

expliquant les 28'607 décès avoisinait les 408'670 persSv:  $28'607/0.07 = 408'670$  persSv. Un chiffre plus élevé que le nôtre à 375'186 persSv.

- IRSN, Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire. 2007. Examen de la méthode d'analyse coût-bénéfice pour la sûreté. Annexe du Rapport DSR N°157, Réunion du Groupe permanent chargé des réacteurs nucléaires du 5 juillet 2007.  
[https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/44/089/44089309.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/44/089/44089309.pdf)
- IRSN, Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire. 2007. Examen de la méthode d'analyse coût-bénéfice pour la sûreté. Annexe du Rapport DSR N°157, Réunion du Groupe permanent chargé des réacteurs nucléaires du 5 juillet 2007.  
[https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/44/089/44089309.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/44/089/44089309.pdf)
- IRSN, Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire. 2013a. Les accidents de fusion du cœur des réacteurs nucléaires de puissance : État des connaissances. Jacquemain Didier, Ahmed Bentaïb, Hervé Bonneville, Gérard Cénérino, Bernard Clément, François Corenwinder, Michel Cranga, Gérard Ducros, Florian Fichot, Christophe Journeau, Vincent Koundy, Denis Leteinturier, Daniel Magallon, Renaud Meignen, Frédérique Monroig, Georges Nahas, Frédérique Pichereau, Emmanuel Raimond, Jean-Marie Seiler, Bruno Tourniaire, Jean-Pierre Van-Dorsselaere. EDP sciences. 444 p.  
[https://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/collection-ouvrages-IRSN/Documents/IRSN\\_Livre-Accidents-fusion-coeur\\_2013.pdf](https://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/collection-ouvrages-IRSN/Documents/IRSN_Livre-Accidents-fusion-coeur_2013.pdf)
- IRSN, Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire. 2013b. *Méthodologie appliquée par l'IRSN pour l'estimation des coûts d'accidents nucléaires en France*. Pôle radioprotection, environnement, déchets et crise. Service des Situations d'Urgence et d'organisation de Crise. Rapport PRP-CRI/SESUC/2013-00261. 68 p.  
[https://www.irsn.fr/sites/default/files/documents/expertise/rapports\\_expertise/IRSN-PRP-CRI-SESUC-2013-00261\\_methodologie-cout-accident.pdf](https://www.irsn.fr/sites/default/files/documents/expertise/rapports_expertise/IRSN-PRP-CRI-SESUC-2013-00261_methodologie-cout-accident.pdf)
- Kean, Thomas H, and Lee H Hamilton. 2004. 'Public Statement Release of the 9/11 Commission Report'. National Commission on Terrorist Attacks Upon the United States.  
<https://govinfo.library.unt.edu/911/report/911Report.pdf>.
- Minic, Dimitri. 2022. 'Guerre En Ukraine : Une Rupture Stratégique Dans La Culture Stratégique Russe ?' Institut français des relations internationales. Dès 16'50". <https://www.youtube.com/watch?v=Rig-Kv8ile0>.
- Moore, George M. 2022. 'How International Law Applies to Attacks on Nuclear and Associated Facilities in Ukraine'. The Bulletin of the Atomic Scientists, March. <https://thebulletin.org/2022/03/how-international-law-applies-to-attacks-on-nuclear-and-associated-facilities-in-ukraine/>.
- Pénisson, Bernard. 2019. Histoire de La Pensée Stratégique : De Sun Zi Au Nucléaire. Ellipses.
- Piguet, Frédéric-Paul, Pierre Eckert, Claudio Knüsli, Bastien Deriaz, Walter Wildi, and Gregory Giuliani. 2019. 'Modeling of a Major Accident in Five Nuclear Power Plants from 365 Meteorological Situations in Western Europe and Analysis of the Potential Impacts on Populations, Soils and Affected Countries'. [https://www.institutbiosphere.ch/eunupri\\_2019.html](https://www.institutbiosphere.ch/eunupri_2019.html)
- Ramberg, Bennett. 1984. Nuclear Power Plants as Weapons for the Enemy: An Unrecognized Military Peril. Univ of California Press.  
[https://books.google.ch/books/about/Nuclear\\_Power\\_Plants\\_as\\_Weapons\\_for\\_the.html?id=1TIOBHDKqLgC&redir\\_esc=y](https://books.google.ch/books/about/Nuclear_Power_Plants_as_Weapons_for_the.html?id=1TIOBHDKqLgC&redir_esc=y).
- SIPRI, Stockholm International Peace Research Institute. 2022. 'Military Expenditure (Current USD)'. Data base. World Bank Data Base. 1 June 2022.  
<https://data.worldbank.org/indicator/MS.MIL.XPND.CD?>
- Wheatley, Spencer, Benjamin Sovacool, and Didier Sornette. 2017. 'Of Disasters and Dragon Kings: A Statistical Analysis of Nuclear Power Incidents and Accidents'. Risk Analysis 37 (1): 99–115.  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/risa.12587>

Table A.1. List of 'parent' nuclides of the source term following a major accident in a 3817 MWth (1300 MWe) PWR				
Parent nuclides	Group	Fraction of the core inventory	Source term Bq	Half-Life T1/2 s
I-129	2	6.00E-01	6.54E+10	4.95E+14
I-131	2	6.00E-01	2.41E+18	6.95E+05
Cs-134	3	4.00E-01	2.24E+17	6.51E+07
Cs-135	3	4.00E-01	6.08E+11	7.26E+13
Cs-136	3	4.00E-01	9.28E+16	1.13E+06
Cs-137	3	4.00E-01	1.50E+17	9.47E+08
Rb-86	3	4.00E-01	2.26E+15	1.61E+06
Sb-124	4	8.00E-02	2.19E+14	5.20E+06
Sb-125	4	8.00E-02	2.29E+15	8.74E+07
Sb-126	4	8.00E-02	1.66E+14	1.07E+06
Sb-127	4	8.00E-02	2.78E+16	3.33E+05
Te-125m	4	8.00E-02	3.57E+14	5.10E+06
Te-127m	4	8.00E-02	3.58E+15	9.42E+06
Te-129m	4	8.00E-02	2.26E+16	2.90E+06
Te-132	4	8.00E-02	4.50E+17	2.82E+05
Ba-140	5	5.00E-02	3.46E+17	1.10E+06
Sr-89	5	5.00E-02	1.91E+17	4.36E+06
Sr-90	5	5.00E-02	1.32E+16	9.19E+08
Ag-108m	6	2.00E-02	1.42E+08	4.04E+09
Ag-110m	6	2.00E-02	3.10E+14	2.16E+07
Ag-111	6	2.00E-02	4.38E+15	6.44E+05
Ru-103	6	2.00E-02	1.20E+17	3.39E+06
Ru-106	6	2.00E-02	2.97E+16	3.18E+07
Tc-99	6	2.00E-02	9.48E+11	6.72E+12
Am-241	7	3.00E-03	1.23E+12	1.36E+10
Am-243	7	3.00E-03	2.25E+11	2.33E+11
Cm-242	7	3.00E-03	4.59E+14	1.41E+07
Cm-243	7	3.00E-03	4.11E+11	8.99E+08
Cm-244	7	3.00E-03	3.60E+13	5.72E+08
Eu-152	7	3.00E-03	4.41E+10	4.21E+08
Eu-154	7	3.00E-03	1.04E+14	2.78E+08
Eu-155	7	3.00E-03	3.96E+13	1.57E+08
Eu-156	7	3.00E-03	2.18E+15	1.31E+06
Nb-93m	7	3.00E-03	1.20E+09	4.29E+08
Nb-94	7	3.00E-03	6.89E+06	6.41E+11
Nb-95	7	3.00E-03	2.01E+16	3.04E+06
Nb-95m	7	3.00E-03	4.38E+11	3.12E+05
Nd-147	7	3.00E-03	7.89E+15	9.49E+05
Pm-147	7	3.00E-03	1.90E+15	8.28E+07
Pm-148	7	3.00E-03	1.95E+15	4.64E+05
Pm-148m	7	3.00E-03	4.08E+14	3.57E+06
Pr-143	7	3.00E-03	1.85E+16	1.17E+06
Sm-147	7	3.00E-03	1.16E+04	3.35E+18
Sm-151	7	3.00E-03	3.52E+12	2.87E+09
Y-91	7	3.00E-03	1.49E+16	5.06E+06
Zr-93	7	3.00E-03	1.98E+10	4.83E+13
Zr-95	7	3.00E-03	2.01E+16	5.52E+06
Ce-141	8	3.00E-03	1.98E+16	2.81E+06
Ce-144	8	3.00E-03	1.40E+16	2.45E+07
Np-237	8	3.00E-03	3.45E+09	6.75E+13
Pu-236	8	3.00E-03	2.96E+10	9.00E+07
Pu-238	8	3.00E-03	3.12E+13	2.77E+09
Pu-239	8	3.00E-03	3.87E+12	7.59E+11
Pu-240	8	3.00E-03	4.95E+12	2.06E+11
Pu-241	8	3.00E-03	1.33E+15	4.54E+08
Pu-242	8	3.00E-03	2.06E+10	1.19E+13
U-234	8	3.00E-03	1.20E+08	7.72E+12
U-235	8	3.00E-03	3.39E+08	2.22E+16
U-238	8	3.00E-03	3.66E+09	1.41E+17
<b>TOTAL (Bq)</b>			<b>4.21E+18</b>	

1\* Fractions are published by IRSN (2013a, 77) and the core inventory is edited by (EDF 2008).  
2\* The present study doesn't care for parent rare gas.

Table A.2. List of 'parent' nuclides (of the source term) and the related 'progeny' taken into account in this study			
Parent nuclides	Progeny	Progeny's T1/2 (s)	Progeny's yield
I-131	Xe-131m	1.02E+06	1.18E-02
CS-137	Ba-137m	1.53E+02	9.44E-01
SB-125	Te-125m	4.96E+06	2.31E-01
SB-127	Te-127	3.37E+04	8.23E-01
SB-127	Te-127m	9.42E+06	1.77E-01
TE-127M	Te-127	3.37E+04	9.76E-01
TE-129M	Te-129	4.18E+03	6.30E-01
TE-129M	I-129	4.96E+14	3.70E-01
TE-132	I-132	8.26E+03	1.00E+00
BA-140	La-140	1.45E+05	1.00E+00
SR-90	Y-90	2.31E+05	1.00E+00
Ag-108m	Ag-108	1.42E+02	8.70E-02
Ag-110m	Ag-110	2.46E+01	1.36E-02
RU-103	Rh-103m	3.37E+03	9.88E-01
RU-106	Rh-106	2.98E+01	1.00E+00
AM-241	Np-237	6.77E+13	1.00E+00
AM-243	Np-239	2.04E+05	1.00E+00
CM-242	Pu-238	2.77E+09	1.00E+00
CM-243	Pu-239	7.61E+11	9.98E-01
CM-243	Am-243	2.33E+11	2.40E-03
CM-244	Pu-240	2.07E+11	1.00E+00
Eu-152	Gd-152	3.41E+21	2.79E-01
NB-95M	Nb-95	3.02E+06	9.44E-01
ND-147	Pm-147	8.28E+07	1.00E+00
Pm-147	Sm-147	3.35E+18	1.00E+00
Pm-148	Sm-148	2.21E+23	1.00E+00
Pm-148m	Sm-148	2.21E+23	9.58E-01
Pm-148m	Pm-148	4.64E+05	4.20E-02
ZR-93	Nb-93m	5.09E+08	9.75E-01
ZR-95	Nb-95	3.02E+06	9.89E-01
ZR-95	Nb-95m	3.12E+05	1.08E-02
CE-144	Pr-144	1.04E+03	9.90E-01
CE-144	Pr-144m	4.32E+02	9.77E-03
NP-237	Pa-233	2.33E+06	1.00E+00
PU-236	U-232	2.18E+09	1.00E+00
PU-238	U-234	7.75E+12	1.00E+00
PU-239	U-235m	1.56E+03	9.99E-01
PU-239	U-235	2.22E+16	6.00E-04
PU-240	U-236	7.40E+14	1.00E+00
PU-241	Am-241	1.36E+10	1.00E+00
PU-241	U-237	5.83E+05	2.45E-05
PU-242	U-238	1.41E+17	1.00E+00
U-234	Th-230	2.38E+12	1.00E+00
U-235	Th-231	9.19E+04	1.00E+00
U-238	Th-234	2.08E+06	1.00E+00

Source: (EPA 2019a, Table A-1. Nuclides of ICRP Publication 107 ordered by atomic number)

Source of Table A.1.: (EDF 2008) EDF, SEPTEN. 2008. EPS N2 1300 MWe post VD2: Évaluation probabiliste des conséquences radiologiques "court terme" à 7 jours des catégories de rejets d'intérêt. Annexe 2 : Inventaire cœur et termes sources associés aux catégories de rejets. p. 33.