



Réponse de l'Institut Biosphère aux critiques de l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN/ENSI)

Piguet Frédéric-Paulⁱ, Eckert Pierreⁱ, Knüsli Claudioⁱⁱ,

Première mise en ligne le 23.06.2023 ; dernière version 05.03.2024

ⁱ Institut Biosphère, Genève; ⁱⁱ IPPNW (Suisse), Zürich.

I Introduction

L'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) est l'autorité de surveillance de la Confédération pour la sécurité et la sûreté des installations nucléaires. Elle a publié une analyse de l'étude *EUNUPRI-2019* de l'Institut Biosphère dans un document en ligne.² Le temps que l'IFSN a consacré à lire et commenter cette étude est une reconnaissance de son importance. L'IFSN l'a critiquée, et il y a lieu de s'interroger sur la qualité de son analyse. Nous développons notre réponse selon le plan suivant :

- Taille des rejets radioactifs en cas d'accident majeur (II) ;
- Approche linéaire sans seuil (III) ;
- Hypothèses de la planification de la radioprotection (IV) ;
- Probabilité d'un accident nucléaire majeur et évaluation du risque d'attaque (V) ;
- Résumé de notre réponse à l'IFSN (VI) ;
- Conclusion (VII) ;
- Références bibliographiques (VIII).

Au terme de cet examen, nous montrons que l'IFSN procède en isolant une donnée ou une affirmation de son contexte afin de critiquer la méthodologie que nous avons suivie. Cette décontextualisation est parfois accompagnée d'une surenchère méthodologique parce qu'il est toujours séduisant de demander plus de preuves sur des détails afin de flétrir la crédibilité d'une expertise.

Nous montrons toutefois que cette façon de décontextualiser des détails est, ou sans intérêt pratique pour simuler un accident nucléaire majeur (II, III) ; ou trompeuse lorsqu'il s'agit d'évaluer l'impact sanitaire global (IV) ; ou encore inadéquate à l'évaluation de la probabilité d'un accident majeur (V). Le résumé de notre réponse à l'IFSN permet au lecteur pressé de comprendre rapidement l'enjeu des discussions (VI). En conclusion, nous faisons le bilan des limites de la contribution de l'IFSN au débat public sur le risque d'accident nucléaire majeur ; puis nous situons cette question en regard du débat sur la politique énergétique (VII).

Résumé du présent papier en page 8 → Probabilité et évaluation du risque d'attaque en page 5 →

II Taille du terme source utilisé dans les simulations

Le terme source est l'expression par laquelle on désigne les rejets de matières radioactives d'un réacteur accidenté, principalement les aérosols. Toutes choses égales par ailleurs, plus le montant du terme source est élevé, plus l'accident est dommageable. Les autres facteurs à prendre en compte sont la composition du terme source, les conditions météorologiques et la densité de population dans la trajectoire du nuage près du sol.

¹ Auteur pour la correspondance : Frédéric-Paul Piguet, fppiguet (at) institutbiosphere.ch, Institut Biosphère, CH-1226 Genève.

² IFSN/ENSI. 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". Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat. Bern. https://www.ensi.ch/de/wp-content/uploads/sites/2/2021/05/ENSI-AN-10939_geschwaerzt.pdf.

Critique de l'IFSN

L'IFSN relève que l'étude de l'Institut Biosphère (Piguet et al. 2019) a utilisé différentes références bibliographiques distinctes afin de composer un terme source « suffisamment grand » (« *den Quellterm entsprechend gross zu halten* » (IFSN/ENSI 2020, 10)). Les rejets pris en compte correspondent ainsi à des séquences distinctes d'accidents, ce qui est incohérent. Surtout, l'IFSN se focalise sur l'exemple du Césium-137 et conclut que « les auteurs utilisent la valeur 8 fois plus élevée du terme source de Tchernobyl et non celle de Fukushima, également disponible, bien que cette dernière conviendrait mieux au regard du déroulement supposé de l'accident et du type de réacteur » (IFSN/ENSI 2020, 10). L'IFSN admet toutefois que « la composition des termes source était suffisamment décrite par l'Institut Biosphère » (*“Die Zusammenstellung des Quellterms für die Ausbreitungsrechnungen wird zwar von den Autoren der Biosphère-Studie hinreichend beschrieben”*) (IFSN/ENSI 2020, 10).

Notre réponse à l'IFSN

L'IFSN se base sur un seul isotope pour affirmer que les termes source de l'Institut Biosphère seraient 6 à 8 fois plus élevés que ceux de Fukushima parce que basés sur les ordres de grandeur de Tchernobyl. L'Institut Biosphère accepte la critique de la composition inélégante des termes source, mais l'ordre de grandeur global du terme source global est correct ; et il est facile de montrer que l'IFSN décontextualise un détail pour lui faire dire ce qu'elle souhaite dire.

Deux tableaux d'*EUNUPRI-2019* montrent que les termes source pris en compte sont sensiblement inférieurs à celui de Tchernobyl et plus élevé que celui de Fukushima selon un facteur allant de 1.4 à 2.9 (*infra* tableaux 2.4 et 2.6 – *EUNUPRI-2019*). Considérant les aérosols – *qui composent l'essentiel du terme source en Becquerels et en Sieverts* – le tableau 2.4 indique que les termes source des centrales suisses en activité en 2019, Beznau, Goesgen, Leibstadt et Muehleberg³ sont sensiblement inférieurs à celui de Tchernobyl, y compris celui de l'unique réacteur de Leibstadt qui est pourtant 11% plus puissant que celui de Tchernobyl.

	Bez. to	Bug. to	Goe. to	Lei. to	Mue. to
	Cherno.	Cherno.	Cherno.	Cherno.	Cherno.
Categories	Bq/Bq	Bq/Bq	Bq/Bq	Bq/Bq	Bq/Bq
Aerosols	0.15	0.43	0.29	0.30	0.32

	Bez. to	Bug. to	Goe. to	Lei. to	Mue. to
	Fukush.	Fukush.	Fukush.	Fukush.	Fukush.
Categories	Bq/Bq	Bq/Bq	Bq/Bq	Bq/Bq	Bq/Bq
Aerosols	1.36	3.93	2.66	2.79	2.93

Bez. = Beznau ; Bug = Bugey ; Goe = Goesgen ; Lei = Leibstadt ; Mue = Muehleberg – Source des tableaux 2.4 et 2.6 : *EUNUPRI-2019*, p. 12

Quant au tableau 2.6, il indique clairement que les termes source des réacteurs suisses étaient jusqu'à 3 fois plus importants que celui de Fukushima, loin des facteurs 6 à 8 fois suggérés par l'IFSN.

Le but d'*EUNUPRI-2019* était de simuler un accident nucléaire dont l'ordre de grandeur est crédible, y compris en cas d'acte terroriste ou d'acte de guerre, afin d'estimer le nombre de personnes impactées dans leur santé, en tenant compte de l'influence de la météorologie sur la distribution de la radioactivité parmi les populations. Pour juger de la qualité de la réponse donnée à cette question, il faut estimer la sévérité globale des aérosols rejetés, et non se focaliser sur la quantité d'un seul radioélément.

Pour conclure cette question sur le fond, pour qui s'intéresse à la physique des réacteurs, les termes source de l'étude *EUNUPRI-2019* sont incohérents car complétés par des sources bibliographiques traitant d'accidents différents. Mais l'ordre de grandeur des termes source est adapté à une étude sur les risques que court la population en cas d'accident nucléaire majeur, ce qui était le sujet de notre étude ; l'IFSN ne démontre pas le contraire.

³ Muehleberg a été fermée depuis.

III L'approche linéaire sans seuil

Critique de l'IFSN

Selon l'IFSN, l'approche linéaire sans seuil est facile à manier et s'est imposée notamment pour cette raison ; l'addition linéaire des doses permet d'effectuer des comparaisons pratiques dans le domaine de la radioprotection opérationnelle ; les auteurs de l'étude de l'Institut Biosphère ne discutent pas de la scientificité du modèle ; ils *dissimulent* le fait que la confirmation scientifique du modèle LNT dans la gamme des très faibles doses fait défaut (IFSN 2020b). L'IFSN a d'ailleurs effectué des simulations pour un accident de dimensionnement avec une fréquence de 1 tous les 10'000 ans et est arrivée à la conclusion que la dose effective moyenne pour les 95'000 personnes touchées serait de 0,3 mSv par personne, ce qui représente effectivement une dose très faible (IFSN/ENSI 2020a) (la *dose efficace collective engagée* totale de cette étude est donc de 29 Sv).

Notre réponse à l'IFSN

Dans le tableau, pour comparaison, la *dose efficace collective engagée* (DECE) d'un accident à Goesgen s'élèverait à 86'656 Sv (3000 fois plus que les 29 Sv de l'étude de l'IFSN mentionnée ci-dessus). La dose individuelle la plus basse calculée est de 0.86 mSv, cependant que 89% de la DECE concerne des doses individuelles supérieures à 5.15 mSv ; au moins 75% de la DECE de Goesgen concerne des doses individuelles supérieures à 41.27 mSv (un seuil 138 fois supérieures au 0.3 mSv de l'IFSN) ; enfin, le calcul a été fait à partir de 9 seuils étagés de 0.86 mSv à 413 mSv. L'examen des autres réacteurs est dans cet ordre de grandeur et montre que notre étude ne portait que très marginalement sur les très faibles doses.

Simulation de rejets radioactifs dans 365 situations météo, pour 5 centrales nucléaires, EUNUPRI-2019, Données 2017, aérosols --> Dose efficace individuelle engagée = DEIE (mSv)										
Distribution de la <i>dose efficace collective engagée</i> (DECE) pour la Suisse et les 4 pays européens qui l'entourent.										
Beznau	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	Totaux
Seuils des DEIE (mSv)	0.99	2.95	5.90	14.76	47.23	118.09	191.89	295.22	354.26	(...)
DECE (Sv)	3 591	2 414	2 891	3 620	4 239	3 536	3 754	1 987	8 395	34 427
DECE (%)	10%	7%	8%	11%	12%	10%	11%	6%	24%	100%
DECE cumulée (%)	100%	90%	83%	74%	64%	51%	41%	30%	24%	
Bugey	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	Totaux
Seuils des DEIE (mSv)	0.86	2.58	5.16	12.90	41.27	103.18	167.67	257.95	412.73	(...)
DECE (Sv)	6 394	5 316	5 842	5 771	4 723	3 731	3 975	4 623	10 599	50 974
DECE (%)	13%	10%	11%	11%	9%	7%	8%	9%	21%	100%
DECE cumulée (%)	100%	87%	77%	66%	54%	45%	38%	30%	21%	
Goesgen	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	Totaux
Seuils des DEIE (mSv)	0.86	2.57	5.15	12.86	41.27	103.19	167.78	258.05	413.07	(...)
DECE (Sv)	4 869	4 859	6 827	5 468	8 758	6 103	5 653	10 746	33 373	86 656
DECE (%)	6%	6%	8%	6%	10%	7%	7%	12%	39%	100%
DECE cumulée (%)	100%	94%	89%	81%	75%	64%	57%	51%	39%	
Leibstadt	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	Totaux
Seuils des DEIE (mSv)	1.01	3.02	6.04	15.10	48.33	120.83	196.33	302.04	483.27	(...)
DECE (Sv)	5 906	4 498	5 452	5 955	6 149	5 451	7 535	4 714	13 729	59 388
DECE (%)	10%	8%	9%	10%	10%	9%	13%	8%	23%	100%
DECE cumulée (%)	100%	90%	82%	73%	63%	53%	44%	31%	23%	
Muehleberg	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	(>= mSv)	Totaux
Seuils des DEIE (mSv)	0.93	2.78	5.55	13.88	44.41	111.03	180.43	277.58	444.13	(...)
DECE (Sv)	5 890	4 769	6 646	8 242	6 937	4 749	4 584	5 364	11 109	58 290
DECE (%)	10%	8%	11%	14%	12%	8%	8%	9%	19%	100%
DECE cumulée (%)	100%	90%	82%	70%	56%	44%	36%	28%	19%	

L'étude EUNUPRI-2019 s'interrogeait en termes d'*utilité* et de *priorité* de l'information qu'il convient de fournir à la population pour débattre de ce risque hors norme, et à la protection civile pour planifier une réponse crédible. Mais l'IFSN a sorti un détail de son contexte pour se lancer dans une surenchère méthodologique dénuée de pertinence.

IV Hypothèses issues de la planification de la radioprotection

Critique de l'IFSN

« Les auteurs de l'étude Biosphère supposent, pour le calcul des doses effectives engagées, qu'aucune mesure de protection d'urgence n'est efficace. Ils renoncent sciemment aux facteurs de protection des bâtiments et justifient cela par la procédure de l'IFSN selon la directive IFSN-G14, qui est utilisée pour l'analyse des accidents et qui contient des hypothèses conservatrices. (...) Cette approche peut être raisonnable et conservatrice pour la planification de la radioprotection, mais elle n'est pas pertinente pour l'estimation des doses en cas d'événement réel » (*eines real eintretenden Ereignisses*) (IFSN/ENSI 2020, 15).

Notre réponse à l'IFSN

Il y a un premier paradoxe dans la critique ci-dessus : l'IFSN nous reproche d'avoir suivi les indications de la directive IFSN-G14 produite par l'IFSN, directive qui traite de la planification de la radioprotection par simulation, alors que notre étude contribuait précisément, par simulation, à informer une discussion sur la planification de la radioprotection. Second paradoxe, pour anticiper avec précision la réponse à donner à l'« événement réel » redouté, l'IFSN recommande implicitement d'attendre que l'« événement réel » ait lieu, pour disposer enfin de données mesurées sur le terrain, et en prévoir les conséquences dramatiques...

Au-delà de ses contradictions, l'IFSN se focalise sur une seule des nombreuses hypothèses de calcul qui déterminent l'impact sanitaire, celle du comportement des populations lors du passage du nuage radioactif. Selon l'IFSN, qui a raison sur ce point précis, les populations peuvent se protéger en se cloitrant chez elles, plutôt que paniquer et fuir en s'exposant au nuage radioactif comme le supposent habituellement les hypothèses de la protection d'urgence. L'argument est correct et nos explications auraient dû être plus claires. Le raisonnement de l'IFSN est toutefois biaisé sur deux points-clé : 1° le comportement des populations ne peut pas être modélisé à l'avance avec des hypothèses optimistes sur le respect des consignes du fait de la variabilité, et des comportements humains, et des conditions météorologiques, et de la saison, et du moment où les habitants seraient surpris dans leurs activités ; 2° le passage du nuage radioactif n'est qu'un seul aspect du risque à prendre en compte dans l'évaluation de l'impact sanitaire d'un accident nucléaire majeur.

Et de fait, outre le passage du nuage, il faut considérer plusieurs risques, sachant que certains pèsent sur le résultat en sens contraires. Pour faire le point sur cette question, nous énumérons ci-dessous les deux classes d'hypothèses qui sous-tendent le calcul de l'impact sanitaire dans EUNUPRI-2019 ; la première catégorie mènerait à surévaluer l'impact sanitaire, cependant que la deuxième tendrait à le sous-évaluer.

(a) Une *surévaluation* de l'impact sanitaire par la méthode de la planification de la radioprotection peut être due aux hypothèses suivantes : non-prise en compte des comportements permettant aux individus confrontés à un nuage radioactif de se mettre à l'abri lors de son passage et d'en diminuer considérablement l'impact sanitaire par des mesures simples ; non-prise en compte du lessivage des éléments radioactifs déposés sur les surfaces étanches des centres urbains.

(b) Les hypothèses suivantes peuvent mener à une *sous-évaluation* de l'impact sanitaire : les *doses efficaces individuelles engagées* supérieures à 355 mSv (Beznau) ou, dans la partie supérieure du spectre, 484 mSv (Leibstadt), qui seraient reçues lors du passage du nuage radioactif ne sont pas prises en compte dans le calcul de la *dose efficace collective engagée*, alors qu'elles pourraient être cinq ou dix fois plus élevés jusqu'à 10 à 20 km des réacteurs endommagés ; le calcul *des doses efficaces individuelles engagées* dues à la déposition fait l'hypothèse de l'évacuation durable des populations situées sur des zones où la dose individuelle annuelle n'excède pas 20 mSv (après intégration d'un facteur *indoor* de 0.4), alors que le seuil pourrait être repoussé à 50 ou 100 mSv par des autorités décidant de limiter le nombre de personnes à reloger dans une autre partie du pays ; la simulation de l'impact de la radioactivité des sols sur la population a été limitée à une année, alors qu'elle se poursuit bien au-delà ; enfin, l'inhalation de matières radioactives soulevées du sol par les vents et l'ingestion de matières radioactives contaminant eau et aliments ne sont pas intégrées dans nos calculs.

Qu'elle en est la résultante des deux classes d'hypothèses ci-dessus ? Les plus et moins semblent se compenser. Le nombre de maladies graves et de décès radio-induits publiés dans EUNUPRI-2019 se trouverait ainsi dans la *zone de vraisemblance des dommages* qui seraient causés aux populations par un accident nucléaire majeur. Nous osons cette interprétation car prévenir la survenue d'un pareil événement implique de figurer, par un ordre de grandeur, l'événement que l'on souhaite éviter.

Par contraste, l'IFSN concentre ses critiques sur notre estimation de l'impact sanitaire lors du seul passage du nuage, une décontextualisation *inadéquate* pour qui discute de l'impact sanitaire *global* d'un accident majeur.

V Probabilité d'un accident nucléaire majeur et évaluation du risque d'attaque

Contexte de la discussion

L'IFSN donne raison à l'étude de l'Institut Biosphère sur un point capital, à savoir que les attaques terroristes ou la guerre ne sont pas prises en compte dans les « Analyses probabiliste de sûreté » (*Probabilistic Safety Analysis, PSA*).⁴ Les Analyses probabilistes de sûreté visent à identifier les séquences qui conduisent à la dégradation du cœur du réacteur (déclencheurs et chemins d'événements), et à quantifier les séquences plus fréquentes conduisant à des scénarios de dommages limités ou d'absence de dommages (IAEA 2009, 8; Wheatley, Sovacool, and Sornette 2017, 99; IFSN/ENSI 2014, 11).

L'IFSN prétend toutefois que l'étude de l'Institut Biosphère (Piguet et al. 2019) ne prouverait pas que la démarche PSA sous-estime massivement le risque, car l'Institut Biosphère *ne disposerait pas de données suffisantes pour étayer ses affirmations* (IFSN/ENSI 2020b). Cet argument paraît redoutable, mais il est facile à résoudre ; et c'est l'IFSN qui nous en donne les moyens puisqu'elle écrivait – cinq lignes avant – que les études PSA ne prennent pas en compte le sabotage industriel, ni les attaques terroristes, ni la guerre (*supra* & (IFSN/ENSI 2020b) p.8) ; il est évident que ces risques sont bien réels au vu de la croissance des tensions et des arsenaux qui les soutiennent.

Pour avoir une idée réaliste du risque, il convient de passer par une approche historique des accidents ayant eu lieu. En raffinant cette méthode sur le plan statistique, il a été montré que la probabilité d'un accident nucléaire majeur, en termes de coûts, après l'accident de Fukushima, est la suivante : il y a 50 % de risque qu'un accident de type Fukushima se produise une fois tous les 62 ans, dans l'hypothèse d'un nombre constant de centrales nucléaires (Wheatley, Sovacool, and Sornette 2017, 112). Autrement dit, sachant les 448 réacteurs nucléaires en fonction lors de la publication de l'étude de *Weathley et al.*, l'étude *EUNUPRI-2019* en déduit que la probabilité historique d'un accident nucléaire majeur est de 0.0018% (1/56'000) à l'échelle d'un réacteur pendant une année, cependant que la norme légale à laquelle les exploitants doivent tendre pour un réacteur est d'un accident par million d'année de fonctionnement 0.0001% (1/1'000'000) (IAEA 2009; 2018).⁵ L'IFSN ne remet pas en cause le résultat de *Wheatley et al.* ni sa méthode d'évaluation, ce qui confirme une fois encore que l'IFSN admet que la démarche PSA sous-estime massivement le risque.

Critique de l'IFSN

Mais l'IFSN soutient que l'Institut Biosphère n'a pas interprété cette étude historique de façon correcte du fait des rééquipements opérés sur les réacteurs nucléaires suisses, avant et après Fukushima, en vue d'augmenter leurs marges de sécurité ; par suite, la probabilité calculée par *Wheatley et al.* ne devrait plus être utilisée pour décrire le risque représenté par les réacteurs suisses, contrairement à ce qu'a fait l'étude *EUNUPRI-2019* (IFSN/ENSI 2020b) p.8).

Notre réponse à l'IFSN

Après l'accident de Fukushima, la probabilité historique d'un accident nucléaire majeur a été établie, à l'échelle d'un réacteur pendant une année, à 0.0018% (1/56'000) ; nous maintenons que ce chiffre est le moins inexact à disposition et qu'il est davantage pertinent que les chiffres issus des PSA qui fournissent un sentiment de sécurité illusoire (*supra*). Surtout, l'argument du *rééquipement* des réacteurs suisses ne dit rien de la croissance de certains risques potentiels, externes et susceptibles de contrebalancer les bienfaits du rééquipement.

En clair, si l'IFSN veut rejeter le résultat de l'étude de *Wheatley et al.* comme inactuel et non applicable aux réacteurs qu'elle a la charge de surveiller, elle doit commencer par répondre à un certain nombre de questions

⁴ Nous écrivions, dans l'article de 2019 : « Additionally, as recognized by the Swiss official body ENSI and the study coordinated by the French official body IRSN, industrial sabotage, or terrorist attacks, such as willful plane crashes or acts of war are not taken into accounts by PSA (IFSN/ENSI 2014b, 11–12; Löffler et al. 2017, 65). » (Piguet 2019, p.6)

⁵ L'Institut Biosphère en avait déduit que pour 9 réacteurs de France et de Suisse de génération II, sur 50 ans d'activité, la probabilité d'un accident nucléaire majeur est voisine de 0.8%, donc *improbable*. Pour comparaison, selon la norme de l'IAEA, pour 9 réacteurs, sur 50 ans, la probabilité à respecter devrait être inférieure à 0.045% et rester *très improbable*.

sur le contexte global d'insécurité dans lequel les réacteurs fonctionnent. Ces questions relèvent peut-être d'une surenchère méthodologique, mais d'une surenchère adéquate au sens où elles sont un préalable au profilage d'un événement susceptible de déclencher une catastrophe sanitaire majeure (sans parler de ses aspects sociaux et économiques). Les questions sont d'ordre *stratégique (a)* et *tactique (b)*.

(a) Sur le plan stratégique, l'IFSN se demande-t-elle si le risque d'attaque terroriste contre un réacteur nucléaire est avéré⁶ ? N'est-ce pas l'action délibérée d'au moins un des belligérants qui a dégradé la sécurité des six réacteurs de Zaporijjia ?⁷ Que dit l'histoire des relations internationales sur la faiblesse de la protection que confère le statut de pays neutre face à des attaquants potentiels ?⁸ L'histoire ne suggère-t-elle pas que la neutralité, aujourd'hui encore, pourrait être foulée au pied par un belligérant qui attaquerait les *infrastructures critiques* d'un État neutre et non-membre de l'OTAN, avec l'objectif d'affaiblir un État membre de cette organisation ?⁹ Le concept de *guerre totale*, qui justifie cyniquement des attaques très à l'arrière du front, n'a-t-il pas été théorisé il y a près d'un siècle et ne s'est-il pas concrétisé dans les faits à maintes reprises ?¹⁰

⁶ Nous pensons à un acte de l'ampleur de celui envisagé d'abord par Khalid Sheikh Mohammed et planifié ensuite par Mohamed Atta contre la centrale nucléaire de *Indian Point*, à 30 km de New-York (sans aller heureusement au terme du processus) ; ces deux chefs étaient impliqués dans Al Q'Aida qui perpétra les attentats du 11 septembre 2001 (Kean and Hamilton 2004, 154, 530).

⁷ La dégradation de la sécurité des six réacteurs par l'action d'un belligérant est avérée (Moore 2022; Dorfman 2023).

⁸ L'Histoire suggère fortement que la *neutralité* n'offre pas une protection en toutes circonstances, à l'exemple de l'attaque du 10 mai 1940 contre un pays neutre, la Belgique, dans le but d'atteindre la France et l'Angleterre. Un fait qui n'est pas isolé ; l'affirmation de la neutralité par la Diète fédérale le 13 mai 1792 a été foulée au pied par la France dès 1797 et par l'Autriche dès 1799 (Wikipedia 2022).

⁹ Comme les nuages radioactifs traversent les frontières selon des schémas que les prévisions météorologiques permettent d'anticiper, frapper plusieurs réacteurs (voire la salle de contrôle, ou/et les générateurs diésels d'ultime secours, ou/et les piscines de stockage du combustible usagé) dans un pays neutre hors OTAN avec pour objectif d'impacter l'un de ses voisins immédiats pourrait être compris par un ennemi aux abois comme une option aux risques calculés, mais susceptible d'affaiblir une coalition. Une attaque de ce type est *improbable*, mais sa puissance destructive potentielle suffirait pour contrebalancer le rééquipement des réacteurs nucléaires (alors que ce risque devrait rester *très improbable*).

¹⁰ Selon la perspective du stratège soviétique Mikhaïl Frounzé (1885-1925), un des premiers à se positionner dans une perspective de « guerre totale », les succès sur le front sont conditionnés par la situation à l'arrière (Pénisson 2019). Autrement dit, dans certains schémas tactiques, la victoire est envisagée par la destruction de l'économie et de la capacité d'organisation de l'ennemi, afin d'affaiblir ses forces armées. Un propos repris par de nombreux auteurs, dont Vladimir Triandafillov (1894-1931) pour qui, au début d'une guerre, il s'agit de « compromettre la capacité matérielle et politique de l'adversaire à effectuer sa propre mobilisation » (Pénisson 2019, 331). Cette option est encore valable aujourd'hui. Selon Dimitri Minic (2023), répondant aux questions de l'*Institut français des relations internationales* (IFRI), la stratégie de Vladimir Chevtchenko, général de brigade russe et théoricien militaire, grand connaisseur des opérations américaines et auteur de plusieurs ouvrages sur la guerre du futur, peut être résumée comme suit. « La guerre du futur sera une guerre où les armes de haute précision permettront, à distance, de façon sans contact au fond, d'asservir la cible, de contraindre la cible à respecter et accomplir sa volonté en détruisant des infrastructures économiques vitales, politiques, des centres de commandement militaire, des zones très ciblées, clé au fond du fonctionnement de l'État adverse, et provoquer un changement de régime, il l'imaginait aussi comme une exaspération spontanée de la population chez la cible. » (Minic 2022). Cela étant, nous manquons d'information sur la question de l'efficacité réelle des moyens qui pourraient concrétiser la destruction d'un ou de plusieurs réacteurs afin d'impacter un ou plusieurs membres d'une coalition (mais il serait téméraire de les croire insuffisants) ; de même, nous n'avons pas d'information sur les plans alternatifs qu'un dictateur pourrait préférer à la destruction de réacteurs nucléaires pour affaiblir une coalition. Nous savons cependant, de manière certaine, que la guerre est imprévisible et ne répond pas au schéma rationnel d'une évaluation coût avantage (Charap et al. 2023; Driedger and Polianskii 2023). L'un des belligérants peut être pris dans l'engrenage de la violence et, de là, se risquer à jouer un *coup impensable* parce que, précisément, son objectif est de *prendre ses ennemis au dépourvu* ; le coup paraîtra rationnel à celui qui le tente et irrationnel à celui qui est visé. Il est donc naïf de nier l'éventualité d'une attaque en invoquant le sens commun. Les guerres ont un caractère d'imprévisibilité qui s'impose nécessairement à au moins un des belligérants, contre tout ce qu'il pensait, comme l'ont vu les stratèges classiques, Sun Tzu et Clausewitz, ou contemporains ; Michael Moseley, général de l'armée des Etats-Unis : « *After World War II, the US has a 100 percent fail rate in predicting where we are going to go and who we are going to fight.* » (Hudson 2011). Vu cette incertitude, il est raisonnable d'estimer qu'une attaque sur un ou plusieurs réacteurs nucléaires – avec l'objectif d'affaiblir les bases-arrière d'une coalition – est

(b) Sur le plan tactique : l'IFSN s'est-elle intéressée à la neutralisation du rééquipement de sécurité de réacteurs nucléaires par le rééquipement militaire et balistique d'un ennemi potentiel ?¹¹ La facilité relative à produire et à lancer des vecteurs d'attaque de façon simultanée – drones et missiles conventionnels dépourvus de têtes nucléaires – est-il capable de submerger par le nombre les défenses antiaériennes comparativement plus onéreuses et de provoquer un ou plusieurs accidents nucléaires majeurs ?¹² Le rééquipement des réacteurs évite-t-il l'emballement d'un réacteur dans un contexte de destruction des infrastructures sans avoir été conçus pour ce type de risque à l'origine ?¹³

L'IFSN n'anticipe pas ces questions. Mais le lecteur qui a pris le temps de lire les ébauches de réponses dans les notes de bas de page correspondantes devrait comprendre que les réacteurs nucléaires s'insèrent dans un contexte d'insécurité bien réel... Et au moment où nous terminons la dernière version de ce papier, huit mois après sa première mise en ligne, le *Message sur l'armée 2024* du Département de la défense estime la probabilité d'une attaque contre la Suisse – sur une échelle de menaces allant de 1 "extrêmement improbables", à 8 "extrêmement probables". Le document se base sur *une autre méthodologie et une autre échelle que celle employée ici*,¹⁴ mais il n'est pas inintéressant de remarquer des similitudes, au moins au premier abord. Selon ce document, une attaque avec des missiles sur des "infrastructures critiques" en Suisse relève d'un scénario dont l'occurrence est de niveau 3, donc "improbable", cependant qu'une escalade entre la Russie et les pays de l'OTAN est notée de niveau 6, donc "probable" (Département fédéral de la défense, de la protection de la population et des sports 2024, 24, 25). Les réacteurs nucléaires relevant logiquement de la classe "infrastructures critiques" mentionnée dans ce document officiel, les grandes lignes du contexte d'insécurité des réacteurs nucléaires seraient confirmées. Ces sources corroboreraient ainsi ce que Ramberg

susceptible, vu la puissance des impacts redoutés, de contrebalancer les effets bénéfiques du rééquipement des réacteurs nucléaires. Qu'une telle attaque soit menée et détruise sa cible est *improbable* (dans l'ordre de grandeur défini après Fukushima par une analyse historique) cependant que selon l'AIEA, la probabilité d'un accident nucléaire majeur devrait rester *très improbable*.

¹¹ Concernant l'évolution des budgets militaires de différents pays et donc de leur rééquipement en capacité destructive, les données du *Stockholm International Peace Research Institute* publiées par la *Banque mondiale* permettent de se figurer le problème. Selon les chiffres de la période 2001-2020, le budget militaire de la Suisse en US dollars a doublé (x 2.06), cependant que 98 pays sur 135 l'ont fait croître davantage que la Suisse (SIPRI 2022). Ce constat chiffré suggère que le rééquipement d'ennemis potentiels peut être interprété comme le symptôme d'une menace croissante sur les centrales nucléaires suisses. Par comparaison, le budget militaire de la Fédération de Russie a crû d'un facteur cinq pendant cette période de temps (x 5,28) (SIPRI 2022) ; nos voisins proches et néanmoins amis tels que la France, l'Allemagne et l'Italie ont moins fait progresser leurs dépenses militaires que la Suisse (SIPRI 2022), mais ils sont membres solidaires de l'OTAN. De ce point de vue, le rééquipement des réacteurs nucléaires suisses pourrait être insuffisant en regard des moyens d'attaque dont le volume va croissant.

¹² La réponse est oui : le système anti-aérien le plus sophistiqué peut être submergé par le nombre (Boyd 2023). Paul Dorfman soutient lui aussi ce point et il ajoute : "*Advances in specific technologies and manufacturing are broadening access to ranging precision-strike capabilities. The current rapid pace of technological evolution means that non-aligned states, non-state and 'bad actors' are pursuing increasingly complex military capabilities. (...) For many years, I and others have made a point of not discussing this publicly, for fear of encouraging bad actors – but events have overtaken us. Whether we turn a blind eye or not, these significant risks remain. It is time to accept the fact that civil reactors and associated spent fuel, high and medium level radioactive waste stores are on the front-line of an increasingly unstable world – and all that implies for the nuclear arena.*" (Dorfman 2023)

¹³ Il est reconnu qu'« aucune centrale nucléaire au monde n'a été construite pour fonctionner dans un contexte de guerre ! » (Toussaint 2023). Un propos corroboré ailleurs : « nuclear facilities are not designed for war zones, even though the Design Basis Threat (DBT) requires states to implement a more substantial level of defense strategy compared to many other civilian structures (Alkis 2022).

¹⁴ Dans une perspective de prévisions militaires, la situation internationale est faite d'une succession de tensions et de détentes qu'il convient de suivre en notant le niveau d'alerte approprié. En revanche, pour ce qui concerne notre appréciation des résultats de l'étude historique de Wheatley *et al.*, nous constatons que le rééquipement des réacteurs nucléaires est vraisemblablement annulé par le rééquipement tendanciel d'ennemis potentiels en vecteurs d'attaque ; nous remarquons aussi qu'une période de tension extrême peut se former à tout moment – à l'échelle de la durée d'un réacteur) – d'où le fait que notre interprétation est peu sensible aux variations des tensions enregistrées par les militaires. Malgré cette divergence méthodologique, nous signalons une convergence de résultats.

avait montré il y a quatre décennies : *les réacteurs nucléaires sont des armes à disposition de nos ennemis* (Ramberg 1984).¹⁵

Les éléments ci-dessus ne permettent pas de penser qu'une attaque destructrice délibérée par un État terroriste est imminente ou probable, et ce n'est pas leur sens ; mais ils suggèrent que l'argument du rééquipement des centrales nucléaires n'a pas le poids nécessaire pour remettre en cause le résultat de l'étude historique de Wheatley *et al.* Il est donc avisé d'estimer – à moyen terme vu la durée potentielle du fonctionnement des réacteurs nucléaires – que la probabilité annuelle d'un accident nucléaire majeur est plus proche de 0.0018% (1/56'000) par réacteur, donc *improbable*, que de la norme AIEA, 0.0001% (1/1'000'000) donc *très improbable* (IAEA 2009; 2018). Pour conclure ce point, l'IFSN ne peut pas invoquer le rééquipement des réacteurs nucléaires avec le dessein d'infirmier les chiffres de Wheatley *et al.* si elle ne s'interroge pas, symétriquement, sur le rééquipement militaire et les motifs stratégiques qu'un ennemi aurait d'attaquer un pays neutre pour nuire à l'un de ses voisins immédiats. Cette ouverture méthodologique est indispensable pour comprendre la nature et la probabilité des risques potentiels et en informer ceux qui ont la charge de dissuader un belligérant de recourir à pareil extrémité, en espérant qu'ils y parviennent ; elle est à l'opposé d'une surenchère méthodologique façon IFSN.

VI Résumé des quatre points de notre réponse à l'IFSN

L'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire est une *institution indépendante de droit public suisse*. Au vu du document qu'elle a produit et que nous venons d'analyser, les experts de l'IFSN semblent s'être focalisés sur des détails de peu d'intérêt tout en les sortant de leur contexte. Nous résumons ci-dessous les quatre points développés dans les sections II à V, puis nous concluons

II Lorsque l'IFSN sort un radioélément de son contexte pour dire que les termes source d'EUNUPRI-2019 sont trop élevés, alors que ce radioélément n'est pas représentatif du terme source global, elle isole un détail de son contexte et déforme l'enjeu de la discussion qui est de savoir si le terme source global est crédible. Et elle déforme la question de recherche qui porte sur l'impact sanitaire global d'un accident nucléaire majeur. L'IFSN n'a donc pas montré que les termes source d'EUNUPRI-2019 n'étaient pas adaptés à une étude sur l'impact sanitaire d'un accident nucléaire majeur. Et un terme source plus cohérent sur le plan de la physique est pris en compte dans nos études sur l'impact sanitaire dès 2021 (<https://nrisk.institutbiosphere.ch>).

III Concernant l'explication du *modèle linéaire sans seuil* pour les *doses efficaces individuelles engagées* (DEIE) de niveau « très faible », l'IFSN illustre son propos par une dose individuelle de 0.3 mSv. Cette demande de discussion scientifique est certes intéressante ; mais elle n'a pas d'intérêt pratique, ni informationnel, lorsque le seuil le plus bas de l'étude est de 0,86 mSv et que les 3/4 de la *dose efficace collective engagée* sont dus à des doses individuelles supérieures à 40 mSv (un seuil quelque 130 fois plus élevé que les 0,3 mSv de l'IFSN).

IV Lorsque l'IFSN estime que la *dose efficace collective engagée* due au passage du nuage radioactif, et simulée par la méthode de la planification de la radioprotection, mène à surestimer l'impact sanitaire, elle a raison sur ce point précis ; mais elle décontextualise l'évaluation correcte de l'impact sanitaire. En effet, si deux hypothèses d'EUNUPRI-2019 ont tendance à surestimer l'impact sanitaire, il en est au moins quatre qui mènent à le sous-évaluer. Critiquer notre étude par une information scientifique de qualité aurait impliqué, ou d'estimer le bilan des plus et des moins, ou de relever l'incertitude qui entoure ce bilan. En tous les cas, il est antiscientifique de focaliser les critiques sur une des hypothèses en omettant celles qui pèsent en sens contraire sur le résultat final.

V Selon l'IFSN, le rééquipement des réacteurs réduit le risque d'accident nucléaire majeur et l'étude EUNUPRI-2019 n'en tient pas compte dans son interprétation de la probabilité d'un tel accident. En se focalisant sur ce seul détail, l'IFSN oublie le contexte général de la discussion qui mentionnait le risque d'attaque contre un réacteur. Les guerres sont des phénomènes récurrents et imprévisibles dans leurs développements concrets puisque les belligérants essaient de se prendre au dépourvu par des actes disruptifs ; l'histoire a montré que le statut de pays neutre ne met pas à l'abri d'un mauvais coup ; de plus, le rééquipement des centrales nucléaires est contrebalancé par le rééquipement d'armées potentiellement ennemies. Autrement dit, par défaut de contextualisation, l'IFSN surévalue le bienfait d'un rééquipement des réacteurs nucléaires suisses.

¹⁵ Ce constat vaut aussi pour un État que ses habitants imaginent sans ennemi.

VII Pour conclure

Au vu du document que les experts de l'*Inspection fédérale de la sécurité nucléaire*, tout indique que cet organisation a tenté de neutraliser l'étude *EUNUPRI-2019* par un flot de détails ; ces derniers étaient sortis de leur contexte et d'une utilité très relative pour éclairer la probabilité et l'ampleur de l'impact sanitaire d'un accident nucléaire majeur.

Les arguments de l'IFSN contre EUNPRI-2019 manquent de la pertinence scientifique que le peuple et ses représentants élus sont en droit d'attendre d'une autorité de surveillance de la Confédération. Cette attitude est préoccupante dans un pays où les citoyens et citoyennes doivent compter sur une information de qualité pour s'exprimer sans regret sur les moyens de la politique énergétique. Un organisme chargé par le Conseil fédéral de la sécurité des installations nucléaires civiles devrait faire preuve de davantage d'objectivité.

Par contraste, l'Institut Biosphère et ses partenaires scientifiques se sont donnés pour tâche d'informer le public sur le risque sanitaire d'un choix énergétique bien précis, les réacteurs nucléaires de génération II et de génération III ; notre expertise expose la probabilité et l'ampleur d'un accident nucléaire majeur et de son impact sanitaire potentiel à travers un grand nombre de simulations météorologiques. Comprendre les conséquences potentielles d'un accident nucléaire majeur importe au choix des infrastructures énergétiques utiles et sûres, d'où l'intérêt prépondérant qu'il y a de traiter ce volet spécifique de façon correcte. A ce titre, nos conclusions sur l'occurrence et l'ampleur d'un accident nucléaire majeur méritent d'être mises en perspective des autres aspects de la politique énergétique.

Pour plus d'information sur les accidents nucléaires majeurs, voir <https://nrisk.institutbiosphere.ch>

VIII Références bibliographiques

- Alkis, Ali. 2022. 'Nuclear Security: A Case Study at Zaporizhzhia'. Geopolitics. http://odcnp.com.ua/image/pdf/Nuclear_Security_Zaporizhzhia.pdf.
- 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/>.
- Charap, Samuel, Irina A. Chindea, Molly Dunigan, Alyssa Demus, John J. Drennan, Jonathan Welch, and Nathan Vest. 2023. Anticipating Flashpoints with Russia: Patterns and Drivers. Research Report (Rand Corporation), RR-A791-1. Santa Monica, Calif: Rand Corporation. <https://doi.org/10.7249/RRA791-1>.
- 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.
- 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/>.
- Driedger, Jonas J, and Mikhail Polianskii. 2023. 'Utility-Based Predictions of Military Escalation: Why Experts Forecasted Russia Would Not Invade Ukraine'. Contemporary Security Policy 44 (4): 544–60.
- 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.
- . 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.
- IFSN/ENSI, 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.

- . 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/>.
- . 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.
- 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
- 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.
- 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?>
- Toussaint, Gilles. 2023. "'Aucune Centrale Nucléaire Au Monde n'a Été Construite Pour Fonctionner Dans Un Contexte de Guerre ! ». Interview de Mycle Schneider.' La Libre Belgique, 2023. <https://www.lalibre.be/international/2023/02/16/guerre-en-ukraine-aucune-centrale-nucleaire-au-monde-na-ete-construite-pour-fonctionner-dans-un-contexte-de-guerre-ANR4YNOTVNEM3JGJVZVFXOM6FU/>.
- 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.
- Wikipedia. 2022. 'Histoire de La Suisse Sous Domination Française'. Wikipedia. 12 May 2022. https://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire_de_la_Suisse_sous_domination_fran%C3%A7aise.