



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

Piguet Frédéric-Paul¹ ⁱ, Eckert Pierreⁱ, Knüsli Claudioⁱⁱ,

Première mise en ligne le 23 juin 2023 ; version 6, 01.07.23 ; version 7, 06.07,23

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. L'IFSN 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 notre travail est une reconnaissance de son importance. L'IFSN a certes critiqué notre étude, mais il y a lieu de s'interroger sur la qualité de son analyse sur les points essentiels : probabilité d'un accident nucléaire majeur ; taille des rejets radioactifs en cas d'accident majeur ; approche linéaire sans seuil ; hypothèses de la planification de la radioprotection. Au terme de cet examen, le lecteur pourra juger du niveau de l'esprit scientifique propre à l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire.

II Probabilité d'un accident nucléaire majeur

Contexte de la discussion et concepts principaux

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*).³ 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).

Dans la suite de son exposé, 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). L'IFSN se contredit 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). L'IFSN semble exclure une attaque militaire contre des réacteurs nucléaires, tout comme l'IFSN ignore que la guerre est un phénomène récurrent (guerre qui est pourtant revenue en Europe le 24 février 2022).

Par définition, seule une méthode historique analysant l'occurrence des accidents nucléaires majeurs, l'occurrence des attaques terroristes et l'occurrence des guerres dans le monde permettrait de se faire une idée de cette probabilité. On rappellera que, de 1981 à 2021, des acteurs étatiques ont attaqué, dans un but destructif avéré, l'enceinte de confinement de plusieurs réacteurs nucléaires, trois en Irak et deux en Syrie (quoique la Syrie ait prétendu que les cibles n'avaient pas une vocation nucléaire), sans parler de l'alerte sur les six réacteurs nucléaires de Zaporizia, en Ukraine (Moore 2022), alertes qui se poursuivent en 2023. Pour le dire

¹ Auteur pour la correspondance : Frédéric-Paul Piguet, fppiguet@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.

³ 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)

autrement, estimer la probabilité d'un accident nucléaire majeur ne peut se faire qu'au travers d'une approche historique, telle celle mentionnée ci-après.

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). L'Étude *EUNUPRI-2019 (European Nuclear Power Risk study)* avait repris ce chiffre pour dire la probabilité d'un accident majeur dans une centrale nucléaire suisse.

L'IFSN ne remet pas en cause le calcul ci-dessus, mais elle soutient que l'Institut Biosphère n'a pas intégré, depuis l'étude de Wheatley *et al.*, les rééquipements opérés sur les centrales nucléaires suisses avant et après Fukushima, ce qui augmenterait les marges de sécurité en cas d'événement géologique d'une violence exceptionnelle. Aussi, les chiffres de Wheatley reflétaient-ils la situation moyenne mondiale juste après Fukushima, mais non celle des réacteurs nucléaires suisses lors de l'étude *EUNUPRI-2019*.

Notre réponse

Nous montrons ci-dessous que l'IFSN n'a pas compris la portée de l'article de Wheatley ; que plusieurs stratégies militaires ont développé des schémas tactiques pouvant mener à l'attaque d'un ou de plusieurs réacteurs nucléaires ; que le rééquipement de certains États, en armes capables de percer le béton le plus épais, est une réalité qui contrebalance le rééquipement de sécurité des centrales nucléaires (juillet 2023, après 500 jour de guerre en Ukraine, rééquipement armé du pays non réalisé - *infra* p. 8, note 12) ; que la neutralité ne protège pas d'une attaque ; que l'on sait par expérience que le début et le déroulement d'une guerre sont imprévisibles ; qu'une attaque contre un réacteur avec l'intention de provoquer un accident nucléaire majeur est certes *improbable* (de l'ordre de probabilité annoncé par Wheatley), cependant que le standard de sécurité exige qu'il reste *très improbable* – donc inférieur à 1 par million d'années de fonctionnement, $\leq 0.0001\%$ (IAEA 2009; 2018).

i L'IFSN n'a pas compris les limites méthodologiques de l'article de Wheatley

La réponse de l'IFSN ne semble pas pertinente si l'on observe que certains pays s'équipent et se rééquipent en armes, dont des missiles capables de percer des murs en béton d'une épaisseur de l'ordre du mètre (ou supérieure) et désignés notamment par le terme générique de « *bunker busters* ». Le rééquipement se fait selon des dynamiques variables, ce qui peut jouer en défaveur de certains pays, comme la Suisse.

L'IFSN ne parvient pas à montrer que le rééquipement des réacteurs suisses est décisif pour les préserver d'une attaque militaire menée avec le soutien d'un État terroriste (nous parlons ici d'une attaque n'utilisant que des armes dites conventionnelles – sans têtes nucléaires). Dans les textes de Wheatley *et al.*, il apparaît que, si le terme de guerre (*war*) est écrit une fois dans un premier article (Wheatley, Sovacool, and Sornette 2016), il ne l'est pas dans l'article de 2017. Surtout, cette question n'est problématisée dans aucun des deux articles.⁴ Cet auteur ne s'est pas interrogé sur la neutralisation du rééquipement de sécurité de réacteurs nucléaires du fait du rééquipement militaire d'un ennemi potentiel. Et la comparaison des budgets militaires qui rendrait compte de dynamiques différentes dans le rééquipement militaire est absente de la réflexion. Il apparaît donc que la critique de l'IFSN à l'encontre de l'étude de l'Institut Biosphère est basée sur une compréhension superficielle des articles de Wheatley *et al.*

Si l'IFSN voulait rejeter notre interprétation, elle aurait dû se poser les questions suivantes en espérant pouvoir y répondre après un examen approfondi : le rééquipement bénéfique des réacteurs nucléaires suisses pourrait-il être annulé par le rééquipement des forces armées étrangères ? Le rééquipement permet-il à des réacteurs de fonctionner dans un contexte de guerre sans avoir été conçus pour ce type de risque à l'origine ? Le déséquilibre dans la croissance des vecteurs d'attaque – tels les missiles – au détriment des vecteurs de défense créerait-il une situation pouvant se traduire par une ou plusieurs attaques simultanées capables de provoquer un ou plusieurs accidents nucléaires majeurs ? L'IFSN ignore ces questions. Aussi, pour l'éclairer, nous avons analysé l'évolution des budgets militaires de différents pays. Les données sont éditées par le *Stockholm International Peace Research Institute* et publiées par la *Banque mondiale*. Selon les chiffres de la période 2001-2020, la dynamique de rééquipement militaire est clairement au désavantage de la Suisse.⁵ De ce point de vue,

⁴ Pour indices supplémentaires, les mots suivants ne sont mentionnés dans aucun des deux articles de Wheatley : *missil, rocket, bomb, strike, shell, strife, warfare, warhead, assault, target, arm races*.

⁵ Si le budget militaire de la Suisse en US dollars a doublé (x 2.06), 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

le rééquipement des centrales nucléaires suisses pourrait être insuffisant en regard des moyens d'attaque dont le volume va croissant. La fragilité des centrales nucléaires est augmentée en situation de conflit de haute intensité puisqu'il existe des armes capables de perforer les bétons les plus épais et de viser différents points névralgiques avec une grande précision pour annihiler certains dispositifs de secours, sans parler d'une destruction massive du système d'alimentation en eau et en électricité d'un ou plusieurs réacteurs. Autrement dit, l'IFSN n'a pas montré que le chiffre de Wheatley n'était plus pertinent. Cette erreur d'appréciation est regrettable car les guerres se manifestent lors de cycles imprévisibles, avec un taux de retour qui suggère la permanence de ce phénomène. Selon 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). Ce constat est préoccupant puisqu'« 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 defence strategy compared to many other civilian structures* (Alkis 2022). Nous discutons ci-après les arguments qu'on pourrait nous opposer, notamment sur le caprice des vents transportant les matières radioactives et celui de la neutralité de la Suisse.

ii Schéma tactique pouvant mener à l'attaque de réacteurs nucléaires

On nous répondra peut-être qu'un ennemi potentiel n'aurait aucun motif suffisant d'attaquer un ou plusieurs réacteurs nucléaires, notamment par peur d'être impacté par les radiations, du fait des vents. Dire cela revient à ignorer qu'un schéma tactique exploré par les états-majors depuis bientôt un siècle envisage des frappes sur de longues distance – à l'arrière du front – afin d'affaiblir les bases d'une coalition ou d'un État.⁶ La distance

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 (tous membres de l'Otan) ont moins fait progresser leurs dépenses militaires que la Suisse (SIPRI 2022). Mais la Suisse n'est pas membre de l'Otan.

⁶ 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), Vladimir Chevtchenko, général de brigade russe et théoricien militaire, grand connaisseur des opérations américaines, a publié plusieurs ouvrages sur la guerre du futur, et sa stratégie 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 2023 ; dès 16'50'' <https://www.youtube.com/watch?v=Rig-Kv8ile0>). Minic ne mentionne pas explicitement les centrales nucléaires, mais elles sont incluses dans la catégorie des *infrastructures économiques vitales* ; la frappe d'un réacteur nucléaire plutôt qu'une centrale à gaz équivaldrait à passer un seuil critique dans la « montée aux extrêmes » – selon le mot du stratège prussien Clausewitz (1832). Et Minic précise que la stratégie russe en Ukraine est plus composite que celle imaginée par Chevtchenko, mais les options de ce stratège en font partie. De fait, nous constatons que l'armée russe cherche à désorganiser l'ennemi en frappant, notamment, les installations énergétiques depuis l'automne 2022 ; les 'négligences' des occupants de la centrale de Zaporizia montrent un mépris certain quant à l'occurrence d'un accident nucléaire, ce qui suggère que l'éventualité d'une attaque délibérée sur une installation de ce type ne peut être exclue *a priori*, car personne ne connaît précisément les cartes mentales des membres d'une organisation terroriste, ni leurs interactions. Cela étant, nous manquons d'information sur la question de l'efficacité réelle des moyens qui pourraient concrétiser une telle attaque (mais il pourrait être téméraire de les croire insuffisants) ; et nous manquons d'information sur les discussions entre les gradés des pays occidentaux avec leurs homologues russes ; il semble que les premiers tentent de convaincre les seconds de ne pas recourir à une bombe nucléaire tactique – puisque cette éventualité est prévue dans la doctrine russe – mais nous ignorons s'ils sont attentifs à les décourager, dans des termes similaires, à saboter la centrale de Zaporizia et/ou à mener une attaque conventionnelle contre d'autres réacteurs nucléaires, plus à l'Ouest ; de même, nous n'avons pas d'information sur les plans alternatifs qu'un dictateur acculé pourrait préférer à la destruction de réacteurs nucléaires pour affaiblir une coalition. Nous savons cependant, de manière certaine, que la guerre est imprévisible, notamment en cas de « montée aux extrêmes ». Il est ainsi raisonnable d'estimer qu'une attaque visant un

d'une telle cible aux frontières nationales pouvant être considérable, le retour éventuel des radiations sur le territoire de l'agresseur aura peu d'effet sur sa décision s'il cherche à conserver le pouvoir et sa vie. Autrement dit, les centrales nucléaires sont des armes à disposition de nos ennemis (Ramberg 1984).

iii *La neutralité ne protège pas des guerres ; caractère d'imprévisibilité des guerres*

On nous rétorquera que la Suisse n'a point d'ennemi du fait de sa *neutralité*. Mais l'histoire humaine et l'histoire de la neutralité sont régulièrement sujettes à des événements disruptifs et violents.⁷ Pourquoi en irait-il différemment aujourd'hui ? La Russie et l'Ukraine sont plongées dans un conflit de haute intensité impliquant indirectement les pays d'Europe. Le risque d'attaque terroriste contre un réacteur nucléaire est avéré ;⁸ et un État terroriste peut appuyer les préparatifs d'un groupe tiers chargé des opérations peu avouables.

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, tel Moseley (*supra*). Et comme les motifs des guerres évoluent au cours du temps, elles peuvent commencer quand on ne les attend pas, sur des territoires qui en semblaient préservés, mais que l'on ravage pour impacter un pays tiers. L'attaque de réacteur(s) nucléaire(s) suisse(s) n'est pas envisagée par une opinion habituée à la paix. Mais la violence historique mérite l'attention et correspond à une réalité militaire et stratégique indubitable, celle de conflits dont l'intensité va croissant. 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*, quitte à élargir le conflit. Le coup lui paraîtra rationnel ; mais ce qui est impensable pour l'ennemi est aussi voisin de l'irrationnalité... Nier l'éventualité d'une attaque est donc naïf.

Conclusion sur la probabilité d'un accident nucléaire majeur

Les centrales nucléaires d'un pays sont des armes potentielles à disposition d'un ennemi. La neutralité ne protège pas de toutes les situations de guerre, elle ne constitue donc pas une protection suffisante pour les centrales nucléaires disposées sur le territoire. Les guerres sont des phénomènes récurrents et croire en être définitivement préservé est illusoire.

La sûreté nucléaire implique de rester en état d'alerte, sans se retrancher derrière les analyses probabilistes de sûreté, sans s'illusionner sur la retenue d'un ennemi potentiel, en étant conscient que le rééquipement des centrales nucléaires pourrait être pulvérisé par des États terroristes,⁹ en provoquant un accident nucléaire majeur.¹⁰ Sachant qu'une étude historique des accidents nucléaires est la moins mauvaise façon d'estimer la probabilité d'un accident nucléaire majeur, l'éventualité d'une attaque guerrière contre un réacteur en Suisse

ou plusieurs réacteurs nucléaires – afin de provoquer un accident nucléaire majeur impactant les bases-arrière d'un ennemi – est *improbable* si l'on reste dans le cadre de l'analyse historique des accidents nucléaires de Wheatley (sans intégrer l'analyse probabiliste des stratèges militaires) ; pour comparaison, il convient de rappeler que, selon les normes de sécurité et d'acceptabilité d'un accident nucléaire, ce risque devrait rester *très improbable* (IAEA 2009; 2018). Les réacteurs nucléaires constituant des cibles militaires potentielles, le rééquipement des centrales nucléaires pour en améliorer la sécurité ne modifie toutefois pas la probabilité calculée par Wheatley après Fukushima.

⁷ L'Histoire suggère fortement que la neutralité n'offre pas une protection suffisante, à l'exemple de l'attaque du 10 mai 1940 contre un pays neutre, la Belgique. 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 janvier 1797 et par l'Autriche dès le mois de mai 1799 (Wikipedia 2022). 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 pour impacter ses voisins pourrait être compris par un ennemi aux abois comme présentant un intérêt tactique à exploiter ; malgré les limites de notre connaissance sur la question militaire et les schémas alternatifs à la destruction de réacteurs (voir la note précédente), nous pensons être habilité à soutenir qu'une telle éventualité est *improbable*, cependant que, selon les normes de radioprotection, cette probabilité devrait être *très improbable*, donc moindre d'un à deux ordres de magnitude).

⁸ 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 la mouvance d'Al Q'Aida qui perpétra les attentats du 11 septembre 2001 (Kean and Hamilton 2004, 154, 530).

⁹ Notre propos ne remet pas en cause l'utilité du rééquipement pour faire face à une catastrophe naturelle.

¹⁰ La destruction, par des moyens militaires, de plusieurs réacteurs nucléaires éloignés de centaines de kilomètres créerait une simultanéité de catastrophes nucléaires qu'aucun tremblement de terre ne pourrait provoquer.

est *improbable* si l'on regarde l'analyse historique des accidents nucléaires, ce qui semble rassurant ; mais ce résultat est supérieur d'un à deux degrés de magnitude à la norme légale définie par l'IAEA. Notre conclusion de 2019 est toujours valable : il est pertinent d'affirmer, au vu des accidents historiques, 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 les 9 réacteurs, sur 50 ans, la probabilité à respecter devrait être inférieure à 0.045% et rester *très improbable* (IAEA 2009; 2018). Il est donc vraisemblable que les centrales nucléaires suisses ne respectent pas la norme légale ; et il est certain que l'IFSN n'est pas parvenue à démontrer le contraire.

III 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 grave. Dans les faits, cela dépend encore de la composition du terme source, des conditions de la météorologie et de la densité de populations dans la trajectoire du nuage près du sol.

Critique de l'IFSN

L'IFSN relève que l'étude de l'Institut Biosphère 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, avec pour résultat que les différentes parties des termes source des centrales nucléaires publiés par l'Institut Biosphère relèvent de séquences d'accident différentes, ce qui serait 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 sources 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 est correct et c'est ce qui importe ; il est facile de montrer pourquoi.

i Deux tableaux d'*EUNUPRI-2019* montrent que les termes source pris en compte sont sensiblement inférieurs à celui de Tchernobyl et à peine plus élevé que celui de Fukushima. Afin de clarifier ce point, nous reproduisons ci-dessous les tableaux 2.4 et 2.6 d'*EUNUPRI-2019*. Le tableau 2.4 indique que – considérant les aérosols qui composent l'essentiel du terme source en Becquerels et en millisieverts – les termes source des quatre centrales suisses en activité en 2019, Beznau, Goesgen, Leibstadt et Muehleberg¹¹ sont sensiblement inférieurs à celui de Tchernobyl, y compris celui simulé pour le réacteur de Leibstadt qui est pourtant 11% plus puissant

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

	Bez. to Fukush.	Bug. to Fukush.	Goe. to Fukush.	Lei. to Fukush.	Mue. to 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

que celui de Tchernobyl. Quant au tableau 2.6, il indique clairement que les termes sources d'*EUNUPRI-2019* étaient jusqu'à 3 fois plus importants que celui de Fukushima, loin des facteurs 6 à 8 fois suggérés par l'IFSN.

¹¹ Muehleberg a été fermée depuis.

ii 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 radioélément.

Pour conclure cette question sur le fond, les termes source de l'étude EUNUPRI-2019 sont crédibles et utiles à une étude sur les risques sanitaires en cas d'accident majeur ; l'IFSN n'est pas parvenue à démontrer le contraire. Et sur la forme, l'IFSN a développé un argument biaisé.

IV L'approche linéaire sans seuil

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 le 95'000 personnes touchées serait de 0,3 mSv par personne, ce qui représente une dose très faible (IFSN/ENSI 2020a) ; la *dose efficace collective engagée* totale de cette étude est donc de 29 Sv.

Notre première réponse à cette critique peut être vue dans le tableau ci-dessous où, par comparaison avec l'étude de l'IFSN, la *dose efficace collective engagée* (DECE) d'un accident à Goesgen s'élèverait à 86'656 Sv (3000 fois plus). La dose individuelle la plus basse calculée est de 0.86 mSv, cependant que 87% de la DECE con-

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 dose efficace collective engagée (DECE) pour la Suisse et les 4 pays européens qui l'entourent.										
Bezau	(>= 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%	

cerne des doses individuelles supérieures à 2.58 mSv ; et qu'au moins 77% de la DECE concerne des doses supérieures à 5.16 mSv (donc 17 fois supérieures aux doses faibles calculées par l'IFSN). Précisons encore que le calcul a été fait à partir de 9 seuils étagés de 1 mSv à 483 mSv (à l'exemple de Leibstadt), et non de manière continue, une simplification des calculs qui a réduit le montant de la dose collective d'EUNUPRI-2019.

Vu l'introduction d'un seuil minimal à 0.86 mSv dans la simulation d'accidents majeurs et une DECE jusqu'à 3000 fois plus importante que l'étude de l'IFSN citée ci-dessus, nous ne comprenons pas pourquoi – en termes d'utilité et de priorité quant à l'information due à la population et à la protection civile – l'IFSN nous reproche de n'avoir pas discuté de la solidité du modèle linéaire sans seuil pour les très faibles doses. Vu le seuil que nous avons introduit et le montant comparativement élevé des doses issues d'un accident majeur, en quoi ces précisions auraient-elles modifié l'ordre de grandeur de l'impact sanitaire ? L'IFSN ne le dit pas. Est-ce parce que la différence aurait été dérisoire ?

V Hypothèses issues de la planification de la radioprotection

Selon 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. »

Il y a un paradoxe dans la critique ci-dessus. L'IFSN nous reproche d'avoir suivi les indications de la directive IFSN-G14 produite par l'IFSN et qui traite de la planification de la radioprotection par simulation, alors que nous discutons précisément de la planification de la radioprotection. Second paradoxe, la seule manière d'anticiper avec précision la réponse à donner à l'« événement réel » que l'on redoute implique d'attendre que l'« événement réel » ait lieu pour en évaluer les conséquences. Chacun appréciera la cohérence de l'autorité de surveillance de la Confédération.

L'IFSN mentionne encore un biais dans les calculs de la planification de la radioprotection, mais il y en a d'autres qu'elle omet. La vérité est que les hypothèses de calcul pèsent sur les résultats en des sens contraires, sans qu'une résultante claire apparaisse. Voici quelques éléments, non exhaustifs, de cette tension.

(a) Dans l'étude *EUNUPRI-2019*, 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 du lessivage des éléments radioactifs déposés sur les surfaces étanches des centres urbains ; sous-estimation des comportements permettant aux individus confrontés à un nuage radioactif de se mettre à l'abri lors de son passage.

(b) Dans l'étude *EUNUPRI-2019*, 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 dix fois plus élevés ; l'inhalation de matières radioactives soulevées par les vents et l'ingestion de matières radioactives contaminant eau et aliments ne sont pas prises en compte dans les années qui suivent l'accident ; le calcul *des doses efficaces individuelles engagées* qui seraient dues à la déposition est limité aux populations situées sur des zones où la dose individuelle n'excède pas 20 mSv (après intégration d'un facteur *indoor* de 0.4), or, le seuil pourrait être repoussé à 50 ou 100 mSv par des autorités décidant de limiter le nombre de personnes devant être relogées de façon durable 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 au-delà.

Des biais mentionnés dans ces deux listes, l'IFSN n'a relevé que la sous-estimation des comportements de protection des personnes lors du passage du nuage, alors qu'elle prétendait montrer que notre étude était biaisée. Qui espère-t-elle convaincre avec cet argument ? L'IFSN nous reproche d'employer une méthode qu'elle a produite et dont elle semble ne pas comprendre la complexité, ni l'utilité vu ses propos paradoxaux.

VI Pour conclure : notre réponse à l'IFSN

L'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire est une *institution indépendante de droit public suisse*. Au vu du document que nous venons d'analyser, *les experts de l'IFSN semblent ne pas comprendre les quatre points développés dans les sections précédentes, et résumés ci-après.*

- I 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 ; nos centrales nucléaires sont des armes à disposition de nos ennemis ou à disposition des ennemis de nos voisins immédiats ; le rééquipement des centrales nucléaires étant contrebalancé par le rééquipement des armées potentiellement ennemies, il est téméraire de croire qu'un rééquipement des réacteurs réduit le risque d'accident nucléaire majeur face à ce risque, d'autant que, au niveau de l'armée, le manque d'anticipation du rééquipement d'un système antimissile est patent¹² ; il n'y a donc aucune raison de ne pas considérer la probabilité calculée par Wheatley *et al.* comme la moins mauvaise à disposition dans le champ d'évaluation du risque d'accident nucléaire, malgré ses limites ; de cela nous concluons que le risque d'une attaque destructrice est certes *improbable*, cependant que selon la norme légale il devrait être *très improbable*.
- II L'important est d'avoir un terme source qui soit globalement cohérent, sur le plan quantitatif, lorsque l'on étudie l'impact sanitaire d'un accident majeur, en évitant de se focaliser sur un seul radioélément (question de priorité).
- III Les détails du *modèle linéaire sans seuil* pour les *doses efficaces individuelles engagées* (DEIE) de niveau « très faible » n'ont pas d'intérêt pratique lorsque 4/5 de la *dose efficace collective engagée* est due à des doses individuelles supérieures à 5 mSv. La distribution des doses ne peut être négligé, d'autant que notre méthode de calcul comporte un premier seuil presque trois fois plus élevé que la moyenne de la DEIE calculée dans l'étude 2020a de l'IFSN (2020a).
- IV L'estimation de la *dose efficace collective engagée* par la méthode de la planification de la radioprotection repose sur un certain nombre d'hypothèses simplificatrices (IFSN/ENSI 2014). Dans notre étude, il en est au moins deux qui ont tendance à surestimer l'impact sanitaire ; il en est au moins quatre qui mènent à sous-évaluer l'impact sanitaire. Critiquer notre étude par une information scientifique de qualité implique, 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 se focaliser sur une seule des hypothèses en ignorant celles qui pèsent en sens contraire sur le résultat final.

Au vu du document que les experts de l'*Inspection fédérale de la sécurité nucléaire* ont produit sur l'étude *EUNUPRI-2019* de l'Institut Biosphère, tout indique que l'IFSN n'a pas compris les points ci-dessus ; les arguments de l'IFSN 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.

Références

Alkis, Ali. 2022. 'Nuclear Security: A Case Study at Zaporizhzhia'. *Geopolitics*. http://odcnp.com.ua/images/pdf/Nuclear_Security_Zaporizhzhia.pdf.

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->

¹² Le rééquipement militaire est à considérer, mais il est loin d'être à la hauteur de sa mission en juillet 2023 lorsque nous écrivons ces lignes : la Suisse n'a pas encore reçu de système antimissile Patriot n'y n'a adhéré au tout nouveau "European Sky Shield Initiative" qui vise à installer et mutualiser un système de défense antimissile européen. Voir le Temps : <https://www.letemps.ch/suisse/bouclier-antimissiles-europeen-viola-amherd-veut-en-etre-mais-n-a-pas-informe-le-parlement> ; & OTAN : https://www.nato.int/cps/en/natohq/news_208103.htm

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>.

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'.

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 K Sovacool, and Didier Sornette. 2016. 'Reassessing the Safety of Nuclear Power'. *Energy Research & Social Science* 15: 96–100.

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.