

LA VULNÉRABILITÉ DES CENTRALES NUCLÉAIRES LORS DE CONFLITS MILITAIRES

Parallèle avec Fukushima Daiichi Focus sur Zaporizhzhia, Ukraine

Briefing - Greenpeace International

par Jan Vande Putte (conseiller en radioprotection et chargé de campagne Nucléaire pour Greenpeace Asie de l'Est & Greenpeace Belgique) et Shaun Burnie (spécialiste nucléaire senior, Greenpeace Asie de l'Est)

[Traduit de l'anglais](#)

L'Ukraine possède une large et complexe infrastructure nucléaire, avec 15 réacteurs nucléaires opérationnels, dont 9 étaient en service le 28 février 2022, et la centrale nucléaire de Chornobyl¹, dont le réacteur de l'unité 4 a été détruit lors de l'accident de 1986. Il est évident qu'en temps de guerre, le fonctionnement de ces systèmes risque d'être perturbé avec des conséquences potentielles importantes, voire graves.

Les centrales nucléaires font partie des installations industrielles les plus complexes et les plus sensibles, qui nécessitent un ensemble très complexe de ressources prêtes à l'emploi à tout moment pour les maintenir opérationnelles. Ces conditions ne peuvent pas être garanties en temps de guerre.

Une centrale nucléaire en exploitation a besoin à tout moment d'une alimentation électrique pour alimenter les pompes, et d'une alimentation en eau pour refroidir son combustible nucléaire, à la fois dans le réacteur et dans la piscine de combustible nucléaire usé adjacente (piscine de désactivation). Même lorsque le réacteur est à l'arrêt, il reste une énorme quantité de chaleur résiduelle dans le cœur du combustible qui nécessite un refroidissement continu. Sans refroidissement, l'eau du cœur du réacteur (et de la piscine de désactivation) commence à chauffer. Dans le cas d'un réacteur en fonctionnement, la

¹ Anciennement connue sous l'orthographe alternative "Tchernobyl"

montée en température est rapide. L'eau atteint le point d'ébullition et commence à s'évaporer, et les assemblages combustibles chauds du réacteur nucléaire risquent d'être exposés à l'air, ce qui entraînerait alors une réaction thermique de la gaine de l'assemblage du combustible nucléaire et la fonte du combustible au cœur du réacteur. Dans le cas du combustible nucléaire stocké dans la piscine de combustible usé, la réaction chimique hautement exothermique est appelée réaction d'oxydation du zirconium par emballement ou allumage autocatalytique, avec pour conséquence le rejet d'un très grand volume de radioactivité.

En mars 2011, le tremblement de terre et le tsunami de magnitude 9,0 au Japon ont entraîné la perte de l'alimentation du site de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi - le site n'était plus connecté au réseau. Le tsunami qui a ensuite frappé la centrale l'a inondée, y compris les générateurs diesel d'urgence (Emergency Diesel Generators, EDG) et leur alimentation en carburant, tous nécessaires pour alimenter les pompes de refroidissement². Même avec un certain niveau de redondance au cas où les générateurs diesel d'urgence ne seraient pas disponibles, comme les batteries et les pompes à turbine³, le cœur des trois réacteurs qui étaient en fonctionnement au moment du tremblement de terre et de l'inondation sont entrés en fusion. Le bassin de combustible usé du réacteur 4 a frôlé l'ébullition, ce qui aurait pu déclencher une catastrophe nucléaire bien pire que la fusion du cœur des réacteurs 1 à 3⁴.

Ainsi, même sans dommage physique à la centrale, comme par exemple par un tir intentionnel ou accidentel d'artillerie ou de missile, une centrale nucléaire est très vulnérable à une perturbation des systèmes d'urgence. Une centrale nucléaire en exploitation nécessite que les systèmes actifs restent fonctionnels à tout moment. Cela comprend de nombreux aspects, non seulement l'électricité, mais aussi l'eau de refroidissement ainsi que la présence continue de personnel qualifié pour faire fonctionner la centrale. Même dans des conditions normales de fonctionnement, des centaines de travailleurs doivent pouvoir se rendre à la centrale depuis leur domicile, ce qui n'est évidemment pas possible dans des circonstances de guerre.

Dans un scénario où il y aurait une perturbation technique, qui pourrait être par exemple une panne du réseau électrique, ou le non-démarrage de certains des générateurs diesel, il serait nécessaire de mobiliser rapidement de grandes quantités d'équipements et de personnel supplémentaire, tels que pompiers ou grutiers. L'exemple de Fukushima a de nouveau démontré la nécessité de pouvoir faire venir des équipements lourds tels que des grues massives et des grutiers spécialisés, des pompiers, des pompes lourdes, etc⁵. Toute perturbation technique, quelle qu'en soit la raison, pourrait nécessiter une opération logistique majeure à l'échelle nationale sujette à être gravement compromise par les activités de guerre autour de la centrale. Dans le cadre d'un conflit armé, il ne peut être

² Diète du Japon, « Commission d'enquête indépendante sur l'accident nucléaire de la Diète nationale du Japon à Fukushima », 2012, https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/3856371/naiic.go.jp/wp-content/uploads/2012/09/NAIIC_report_lo_res10.pdf

³ AIEA, L'accident nucléaire de Fukushima Daiichi. Tome technique 1/5. 2015.

<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/AdditionalVolumes/P1710/Pub1710-TV1-Web.pdf>

⁴ Frank N. von Hippel et Michael Schoeppner, "Reducing the Danger from Fires in Spent Fuel Pools", Program on Science and Global Security, Princeton University, Princeton, NJ, USA, Science & Global Security, 2016, <https://scienceandglobalsecurity.org/archive/sqs24vonhippel.pdf>

⁵ Op.cit. AIEA, 2015

exclu qu'une centrale électrique soit isolée du réseau pendant une période plus longue, ce qui nécessiterait que les générateurs diesel de secours restent fiables et disposent d'un approvisionnement suffisant en carburant jusqu'à ce que la connexion au réseau soit rétablie.

Les centrales nucléaires présentent des risques singuliers si l'on considère les conséquences potentielles d'un accident grave. Les réacteurs nucléaires, et les lieux de stockage de combustible usé de haut niveau associés, sont vulnérables aux catastrophes naturelles, comme l'a montré Fukushima Daiichi, mais ils sont également vulnérables en temps de conflit. Ce mémo vise à expliquer certains des dangers et des conséquences potentielles qui existent aujourd'hui en Ukraine.

État actuel de l'exploitation de la centrale nucléaire en Ukraine



There are 4 NPPs in operation in Ukraine, namely:

- Zaporizhzhya NPP
- South-Ukraine NPP
- Rivne NPP
- Khmelnytsky NPP

Source : AIEA https://nucleus.iaea.org/sites/INPRO/df17/VI.14-Ukraine_Leonid%20Benkovski.pdf

L'exploitant nucléaire ukrainien EnergoAtom a annoncé⁶ le 1er mars que ses centrales nucléaires de Zaporizhzhia, Rivne, Khmelnytsky et Ukraine du Sud fonctionnaient normalement. Sur les quinze réacteurs commerciaux en Ukraine, 9 des 15 réacteurs opérationnels fonctionnent actuellement.

Les six réacteurs non opérationnels au 28 février sont :

- Rivne-1 – arrêt programmé
- Khmelnytsky 2 – arrêt programmé
- Zaporizhzhia – 5 & 6 – [selon EnergoAtom , ont été déconnectés du réseau et mis à l'arrêt le 25 février pour des raisons de « sécurité de fonctionnement » \(restant en arrêt froid\)](#)
- Zaporizhzhia 1 - arrêt le 27 février [selon EnergoAtom pour la "maintenance programmée"](#).
- Ukraine du sud - 3 arrêts le 26 février (restant en réserve froide).

⁶ EnergoAtom, "La centrale nucléaire de Zaporizhzhya continue de fonctionner normalement", 1er mars 2022, voir <https://www.npp.zp.ua/uk/node/5483>

Zaporizhzhia

La récente confirmation du conflit armé dans la région de la ville d'Energo et de Zaporizhzhia fait planer le spectre de risques majeurs pour la plus grande centrale nucléaire d'Europe à Zaporizhzhia. Il y a six réacteurs russes VVER-1000/320 (unités 1 à 6) sur le site, chacun d'une capacité de production de 950 MWe. Il existe également une installation de stockage à sec sur le site pour le combustible nucléaire utilisé hautement radioactif. En 2017, 2204 tonnes de combustible usé étaient entreposées sur le site - 855 tonnes à l'intérieur des piscines de combustible usé et 1349 tonnes en stockage à sec⁷.

Les risques

Il y a eu de multiples problèmes de sécurité avec les réacteurs de Zaporizhzhia au cours des dernières décennies, notamment parce que ces réacteurs vieillissent après avoir été conçus et construits entre les années 1970 et 1990⁸. Les aspects suivants sont particulièrement préoccupants, entre autres, dans le contexte de conflit actuel :

1. Vulnérabilité à la perte d'alimentation électrique
2. Entreposage du combustible usé
3. Risques d'inondation et de rupture de barrage



Centrale nucléaire de Zaporizhzhia <https://www.npp.zp.ua/uk/press-center/gallery/plant-site>

⁷ AIEA, « Ukraine National Report: On Compliance with Obligations under the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management », 2017, voir https://www.iaea.org/sites/default/files/national_report_of_ukraine_for_the_6th_review_meeting_-_english_.pdf

⁸ Pour le contexte et les détails sur Zaporizhzhia, voir les archives de Bankwatch, <https://bankwatch.org/tag/zaporizhye>

1. Générateurs diesel de secours

Comme indiqué ci-dessus, la perte d'alimentation électrique hors site nécessite le fonctionnement de générateurs diesel d'urgence. En 2020, l'ONG ukrainienne EcoAction à Kyiv a reçu des informations de lanceurs d'alerte de l'industrie nucléaire sur la fonctionnalité des 20 générateurs diesel d'urgence AC-5600 à Zaporizhzhia. Produit par "Diesel Energo" à Saint-Pétersbourg, en Russie (anciennement Leningrad), leur fonctionnement a été considéré comme non garanti, principalement en raison d'un manque de pièces de rechange. Le 24 septembre 2020, le régulateur nucléaire ukrainien SNRIU a publié sur sa page Facebook officielle que l'un des générateurs diesel avait mal fonctionné⁹. Cet incident a été classé INES1. En octobre 2020, en réponse à une enquête de Greenpeace International¹⁰, le régulateur nucléaire a confirmé les tests mensuels et la pleine fonctionnalité des générateurs diesel. Il reste cependant des doutes importants quant à la fiabilité des générateurs diesel de Zaporizhzhia, et à l'état actuel de des mises à niveau techniques.

Les générateurs diesel de Zaporizhzhia auraient dû être modernisés dans le cadre du programme de mise à niveau de la sécurité complexe (CCSUP) d'Energoatom, financé par un prêt Euratom (BEI) et de la BERD de 600 millions d'euros. La BERD dirige ce programme. Dans ce programme, les diesels auraient dû recevoir des commandes électroniques modernes. La date limite de réalisation du CCSUP a été repoussée de 2017 à 2023.

Les générateurs diesel sur place à Zaporizhzhia auraient suffisamment de carburant pour sept jours¹¹.

En plus des générateurs diesel de secours sur site, la centrale nucléaire de Zaporizhzhia a installé des générateurs diesel mobiles. Ceux-ci ont été installés à la suite de l'événement de Fukushima Daiichi. En 2012, dans le cadre de l'évaluation des stress tests de l'Ukraine après Fukushima, il a été indiqué que 16 unités de générateurs mobiles seront disponibles à la centrale nucléaire de Zaporizhzhia, et qu'elles fonctionneront au diesel pendant 8 heures¹². Si le réservoir de carburant diesel est continuellement rempli, les générateurs sont censés fonctionner « indéfiniment ». En 2013, il a été signalé que « pour assurer l'alimentation électrique en cas d'événements extrêmes susceptibles de provoquer une panne de courant de longue durée dans la centrale, des générateurs diesel mobiles distincts de 0,4 kV et 6,0 kV seront utilisés pour alimenter au moins un panneau de distribution électrique de secours »¹³.

⁹ Inspection nationale de la réglementation nucléaire d'Ukraine, octobre 2020, https://www.facebook.com/permalink.php?story_fbid=3435209429874103&id=171734492888296

¹⁰ Jan Haverkamp, « Functionality of diesel generators at the NPP Zaporizhzhia Request for access to information », lettre de Greenpeace International à M. Hryhorii Plachkov, président de l'Inspection nationale de la réglementation nucléaire d'Ukraine, 14 octobre 2020.

¹¹ ENSREG, « Peer review country report Stress tests exécutés sur les centrales nucléaires européennes », 26 avril 2012, cf. <https://www.ensreg.eu/sites/default/files/Country%20Report%20UA%20Final.pdf>

¹² idem

¹³ ENSREG, « State Nuclear Regulatory Inspectorate of Ukraine », Kyiv, 2013, voir <https://www.ensreg.eu/sites/default/files/National%20Action%20Plan%20%28Ukraine%29.pdf>

« En cas de défaillance ou d'impossibilité d'utiliser les générateurs diesel ordinaires, des mesures sont prises pour doter les sites des centrales nucléaires d'unités de pompage et de générateurs diesel mobiles. Il est en outre prévu de développer des mesures pour leur ravitaillement en carburant si des performances à long terme sont nécessaires¹⁴». Comme indiqué dans cette note d'information, le fonctionnement de ces systèmes de sécurité, y compris la garantie d'un approvisionnement supplémentaire en carburant pendant un conflit armé, est une préoccupation majeure.

La fiabilité des équipements installés à la centrale nucléaire de Zaporizhzhia est certainement sujette à caution, une évaluation du gouvernement autrichien des risques pour la sécurité des réacteurs de Zaporizhzhia ayant conclu en 2017 que « les documents fournis et disponibles mènent à la conclusion qu'il existe une forte probabilité que les scénarios d'accident se transforment en un accident grave qui menace l'intégrité du confinement et entraîne un rejet important¹⁵.

2. La vulnérabilité du combustible nucléaire utilisé

2.1. État du combustible utilisé à l'usine de Zaporizhzhia

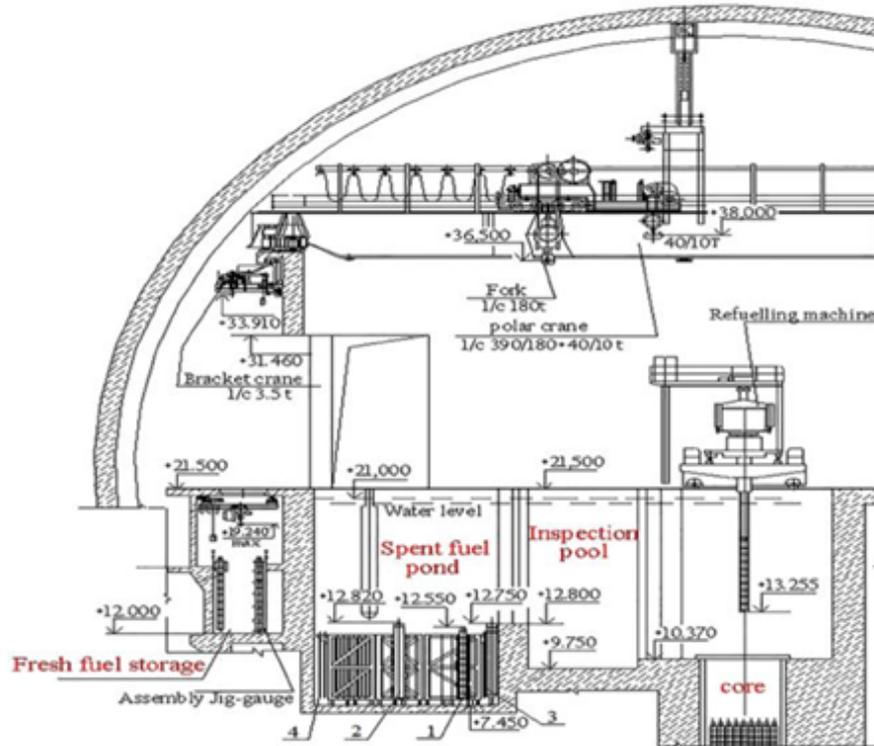
En ce qui concerne le stockage du combustible nucléaire utilisé, il faut faire la distinction entre la piscine adjacente au réacteur nucléaire et le stockage à plus long terme (stockage à sec) en dehors de l'enceinte de confinement, beaucoup plus grand.

Les piscines sont dans le cas des réacteurs de Zaporizhzhia à l'intérieur du bâtiment de confinement du réacteur (voir image ci-dessous), où le combustible utilisé très chaud est refroidi pendant environ cinq ans après avoir été déchargé du réacteur. Après cela, le combustible est transféré dans des fûts de stockage à sec en béton, qui sont stockés à l'air libre au stockage pour combustible usagé de la centrale (voir image ci-dessous).

¹⁴ Idem

¹⁵ Ministère fédéral de l'environnement, Autriche, "NPP Zaporizhzhya Lifetime-Extension Environmental Impact Assessment Expert Statement", 2017, voir

<https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0775.pdf>



Confinement du réacteur VVER-1000/320 montrant l'emplacement de la piscine de combustible usé (source¹⁶)

À la centrale de Zaporizhzhia, les six réacteurs ont chacun une piscine de désactivation ou de refroidissement à leur niveau. En outre, il existe une zone de stockage à sec centralisée, où des conteneurs de stockage à sec en béton sont alignés (voir ci-dessous).

¹⁶ VVER-1000/V446 Évaluation des risques de la piscine de désactivation et assistance par le biais d'équipements d'atténuation portables N. Afshar a, A. Pirouzmand a,b, ↑, F. Faghihi, 2021, Annals of Nuclear Energy 156 (2021), voir [108204](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306454921000803), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306454921000803>



Installation de stockage à sec sur le site de Zaporizhzhia avec fûts de stockage à sec en béton

Les dernières données complètes disponibles datent de 2017, lorsqu'au niveau des piscines de désactivation ou de refroidissement, la quantité de combustible utilisé était comprise entre 132 et 157 tHM¹⁷. Il y avait au total 2204 tonnes de combustible utilisé entreposées sur le site - 855 tonnes à l'intérieur des piscines et 1349 tonnes dans l'installation de stockage à sec¹⁸.

Fin 2020, le site de stockage à sec comptait 163 emballages contenant 3912 éléments combustibles.

¹⁷ Op.Cit. AIEA, 2017.

¹⁸ AIEA, « Ukraine National Report: On Compliance with Obligations under the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management », 2017, voir https://www.iaea.org/sites/default/files/national_report_of_ukraine_for_the_6th_review_meeting_-_english_.pdf

Annex 2. Inventory of Spent Fuel as of 1 July 2017

Material	Location	Number of SFAs	Weight of heavy metal, t
VVER-1000 SFAs	KhNPP Unit 1	433	184.75
VVER-1000 SFAs	KhNPP Unit 2	491	212.56
VVER-440 SFAs	RNPP Unit 1, 2	1217	146.47
VVER-1000 SFAs	RNPP Unit 3	508	212.45
VVER-1000 SFAs	RNPP Unit 4	421	177.79
VVER-1000 SFAs	SUNPP Unit 1	270	117.29
VVER-1000 SFAs	SUNPP Unit 2	252	111.09
VVER-1000 SFAs	SUNPP Unit 3	424	180.82
VVER-1000 SFAs	ZNPP Unit 1	326	141.32
VVER-1000 SFAs	ZNPP Unit 2	305	131.65
VVER-1000 SFAs	ZNPP Unit 3	356	153.82
VVER-1000 SFAs	ZNPP Unit 4	334	144.77
VVER-1000 SFAs	ZNPP Unit 5	363	157.25
VVER-1000 SFAs	ZNPP Unit 6	299	129.25
VVER-1000 SFAs	ZNPP DSFSF	3354	1349.87
RBMK-1000 SFAs	ChNPP ISF-1	21284	2396.111
Research reactor VVR-M SFAs	NRI	0	0
Research reactor IR-100 SFAs	SUNEI	0 *	0

Les conteneurs à sec ont un refroidissement passif, la chaleur des 24 éléments combustibles à l'intérieur de l'emballage est estimée à moins de 24 kW, et peut se dissiper par la circulation d'air autour du conteneur sans surchauffe du combustible. Un tel conteneur pourrait être endommagé par une explosion, par exemple celle d'une grenade antichar, mais cela n'entraînerait probablement pas un rejet à grande échelle comparable à un accident grave dans un réacteur ou une piscine de désactivation. C'est pourquoi notre attention se porte à ce stade sur les piscines de désactivation du combustible utilisé.

2.2. Le cas de la piscine de désactivation de Fukushima Daiichi 4 suite au séisme du 11 mars 2011

Pour évaluer le risque d'un accident lié au combustible utilisé, examinons d'abord ce qui s'est passé dans la piscine de combustible utilisé de Fukushima Daiichi-4. Cette piscine contenait 2,4 cœurs de combustible, contenant 900 PBq de Cs-137¹⁹.

Dans la piscine de Fukushima Daiichi-4, il y avait, conformément à sa conception, 7m d'eau au-dessus du point supérieur des assemblages de combustible. Dans un scénario où la vapeur d'eau aurait pu s'échapper, les 2 MWt de chaleur auraient augmenté la température

¹⁹ Frank N. von Hippel et Michael Schoeppner, "Reducing the Danger from Fires in Spent Fuel Pools", Program on Science and Global Security, Princeton University, Princeton, NJ, USA, Science & Global Security, 2016, <https://scienceandglobalsecurity.org/archive/sgs24vonhippel.pdf> (page 143)

des 1400m³ d'eau de la piscine à un niveau proche de l'ébullition en trois jours environ²⁰. Ensuite, le taux de perte d'eau par évaporation aurait été d'environ 0,67 m/jour. Le niveau de l'eau aurait baissé, découvrant la moitié du combustible en 16 jours environ jusqu'au 27 mars 2011. À cette date, un feu de zirconium incontrôlable se serait déclaré, libérant la majeure partie du Cs-137 radioactif ainsi que d'autres isotopes. L'enceinte de confinement autour de la piscine ayant déjà été endommagée par une explosion d'hydrogène quatre jours après que le tsunami a frappé la centrale, la radioactivité aurait pu s'échapper librement.

Une étude de l'USNRC²¹ de 2014 a expliqué que :

"Si le refroidissement du combustible utilisé n'avait pas été rétabli, le combustible aurait pu s'échauffer jusqu'à des températures de l'ordre de 1000°C. À cette température, la gaine de zirconium du combustible utilisé aurait commencé à réagir avec l'air dans une réaction chimique hautement exothermique appelée réaction d'oxydation du zirconium par emballement ou allumage autocatalytique. Ce scénario d'accident est souvent appelé « incendie de zirconium dans une piscine de combustible utilisé ». Les aérosols radioactifs et les vapeurs libérées par le combustible utilisé endommagé auraient pu être transportés dans tout le bâtiment de la piscine de combustible utilisé et dans le milieu environnant."²²

Ce n'est pas ce qui s'est passé.

Une grue spéciale a réussi à ajouter plus d'eau dans la piscine, et une autre source d'eau involontaire a empêché le carburant de s'enflammer. On peut considérer qu'il s'agit d'un "quasi-accident" car l'eau a atteint le 22 avril un niveau situé à seulement 1,5 m au-dessus du sommet des éléments combustibles²³.

Le graphique ci-dessous présente le niveau d'eau réel par rapport au niveau d'eau calculé (y compris l'eau ajoutée). La ligne pointillée montre que sans l'ajout d'eau, le combustible aurait été à moitié exposé à l'air vers le 27 mars²⁴.

²⁰ Idem

²¹ United States Nuclear Regulatory Commission

²² Idem

²³ Idem

²⁴ Idem

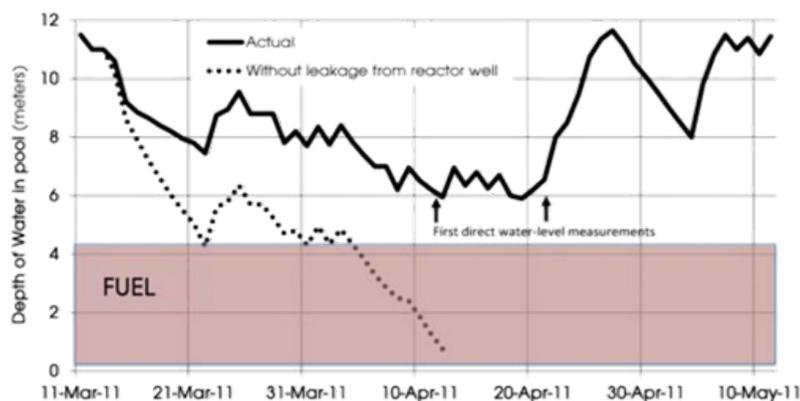


Figure 2. Solid line: TEPCO reconstruction of the history of the water level in pool 4 during the two months after the earthquake.²¹ The arrows show the first actual measurements, the first of which was made on 12 April and the second on 22 April. The dotted line below shows an estimate in the National Academy of Sciences report of the amount of water that would have been in the pool in the absence of water leaking into the pool from the adjacent reactor well.²²

2.3. Conséquences d'un rejet à grande échelle d'une piscine de désactivation

Des recherches approfondies ont été menées sur la quasi-catastrophe de la piscine de combustible usé de Fukushima Daiichi-4. La simulation ci-dessous compare, à gauche, le niveau de contamination suite aux rejets réels résultant de la fusion des réacteurs 1 à 3. En moyenne, seul 2% de l'inventaire de Cs-137 a été libéré. Sur la carte du milieu, la simulation montre la contamination qui aurait eu lieu si le rejet avait eu lieu le 9 avril, avec des vents différents. La carte de droite montre une estimation de la contamination du territoire si le rejet avait eu lieu le 19 mars, après un incendie de combustible usé dans la piscine, avec un vent soufflant vers Tokyo. La piscine contenait 2,4 cœurs de réacteur équivalents à 900 PBq.²⁵

Les cartes ci-dessous montrent en rouge la zone où la contamination est supérieure à 1000 kBq/m². À la demande du Premier ministre japonais de l'époque Naoto Kan, Shunsuke Kondo, le président de la Commission japonaise de l'énergie atomique avait calculé que si les critères utilisés autour de Chernobyl pour une évacuation obligatoire à long terme étaient appliqués, la zone au-dessus de 1 480 kBq/m² devrait être définitivement évacuée, ce qui aurait concerné un périmètre jusqu'à 170 km de la centrale (donc pas toute la zone rouge).

Il ressort clairement des cartes ci-dessous qu'en cas d'accident dans une piscine de combustible, même si elle contenait moins de combustible usé en stockage que dans la piscine de Fukushima Daiichi-4, le rejet de Cs-137 provenant d'un incendie de zirconium serait d'une ampleur sans précédent.

²⁵ Idem

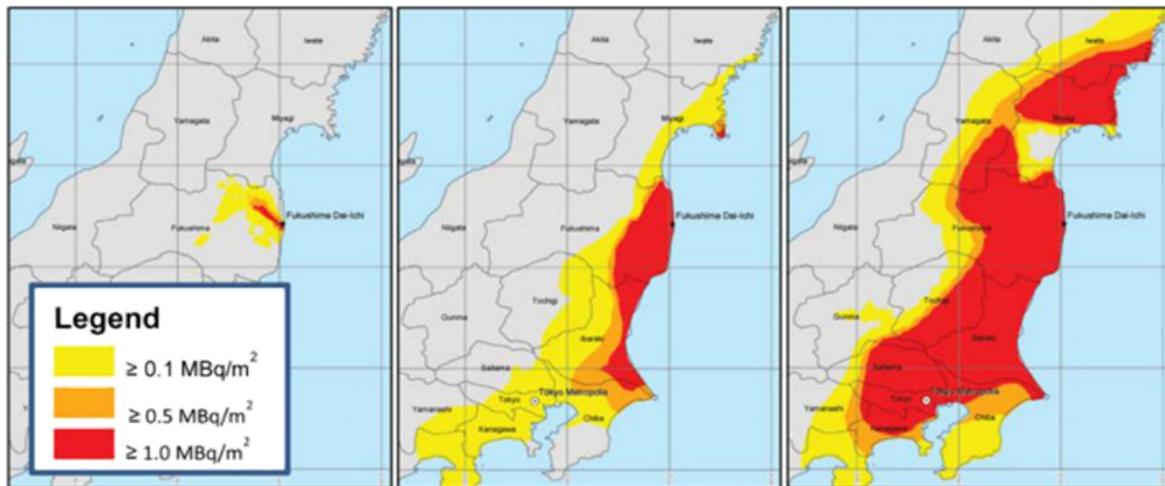


Figure 5. Left: Actual contamination levels after the Fukushima Daiichi accident.³³ Middle: Contamination levels after a hypothetical spent fuel fire in pool 4 starting, as per the scenario in Figure 4, on 9 April 2011 when the wind was blowing mostly to sea. Right: Contamination levels after a hypothetical spent fuel fire in pool 4 starting on 19 March 2011 when the wind was blowing toward Tokyo. This is a scenario that physically could only have occurred had there been a leak in pool 4. The maps show the levels of cesium-137 contamination with the red areas contaminated to above 1 MBq/m², which led to compulsory relocation for the actual accident. The orange areas are contaminated to between 0.5 and 1 MBq/m². The huge difference in the areas contaminated above 1 MBq/m² in the left and right figures is due to the fact that the destruction of the roof and walls surrounding pool 4 by a hydrogen explosion would have allowed the cesium-137 in the pool to be released directly into the atmosphere. In contrast, the primary containments of reactors 1–3 at Fukushima Daiichi released on average only about 2% of their core inventories of cesium-137.

2.4. Importance pour Zaporizhzhia

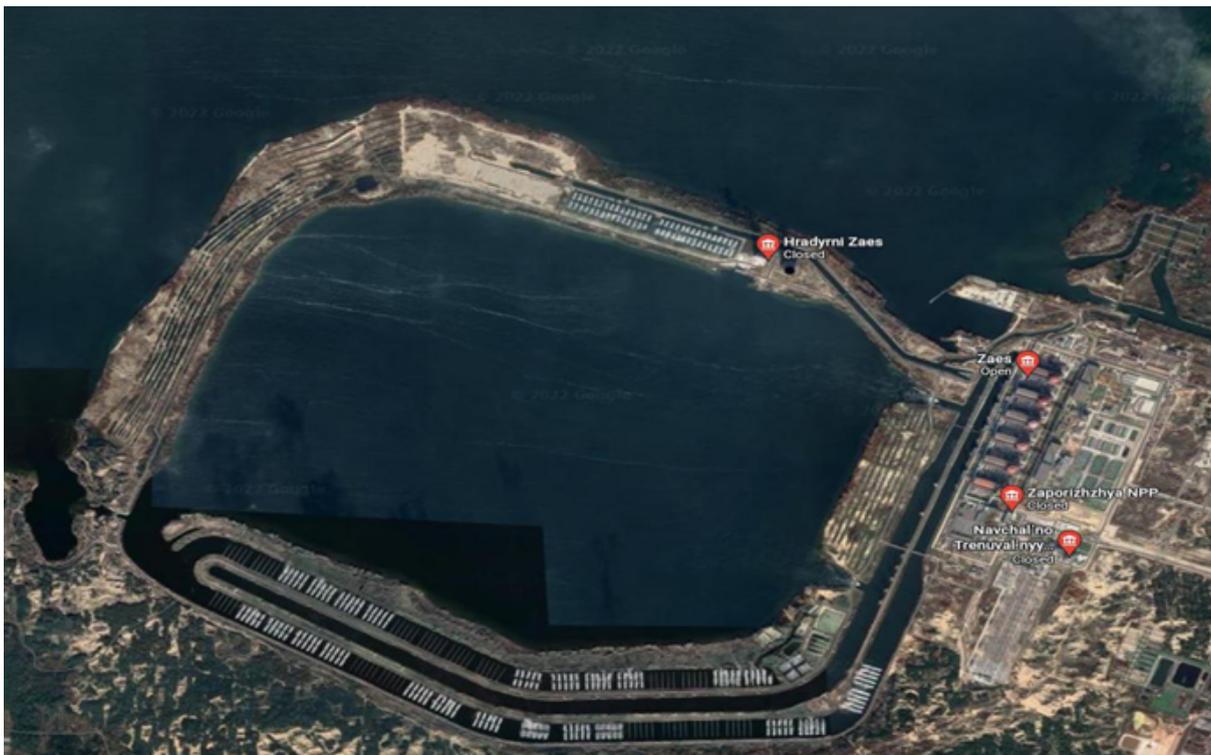
La vulnérabilité d'une piscine de désactivation du combustible utilisé dépend fortement de paramètres clés tels que le taux de combustion du combustible et surtout la densité de stockage du combustible à l'intérieur de la piscine, ainsi que la date à laquelle le dernier lot a été déchargé du réacteur dans la piscine. Le taux de combustion est un facteur critique. Il s'agit de la quantité d'énergie générée par une tonne de combustible nucléaire, qui équivaut à la quantité de radioactivité dans le combustible et à sa production de chaleur résiduelle. C'est l'un des principaux facteurs qui déterminent la génération de chaleur du combustible et l'inventaire radiologique. Il est exprimé en Gigawatt jours par tonne de métal lourd - GWj/tHM.

La comparaison de l'inventaire de la piscine Fukushima-Daiichi-4 avec les piscines VVER-1000 et la vitesse à laquelle l'eau de refroidissement s'évaporerait en cas de longue panne de courant est complexe, compte tenu des nombreuses variables, et dépasse le cadre de ce briefing. Ainsi, l'analogie avec le combustible utilisé de Fukushima Daiichi-4 n'est qu'une indication approximative des risques à la centrale nucléaire ukrainienne.

La quantité de combustible utilisé dans chacune des piscines des six réacteurs de Zaporizhzhia variait de 132 à 157 tonnes en 2017, et au total 855 tonnes de combustible utilisé se trouvait dans les six piscines. Il s'agit des dernières données publiques auxquelles nous avons accès. Il n'est pas possible sans données précises de dire quel est l'inventaire radiologique de ce combustible utilisé, cependant, dans notre revue de la littérature scientifique et technique des deux dernières décennies, il apparaît que le taux de combustion moyen du combustible nucléaire utilisé sur les 20 dernières années à Zaporizhzhia est de 44-49GWj/tHM²⁶. Ce chiffre est comparable, voire supérieur, à celui du combustible nucléaire dans les piscines de Fukushima Daiichi.

En cas de perte de refroidissement entraînant un incendie dans l'une des piscines de combustible utilisé de Zaporizhzhia, la possibilité d'un très grand rejet de radioactivité aurait un effet dévastateur non seulement sur l'Ukraine mais aussi sur les pays voisins, y compris la Russie, et potentiellement, selon les conditions météorologiques et la direction des vents, sur une grande partie de l'Europe. Une fois de plus, il convient de souligner que, dans l'éventualité d'un tel incident catastrophique, l'ensemble de la centrale pourrait devoir être évacué, ce qui pourrait entraîner une cascade d'accidents similaires dans les cinq autres piscines ainsi que dans les six réacteurs.

3. Risque d'inondation et rupture de barrage



²⁶ AIEA, Conférence internationale sur le stockage du combustible utilisé des réacteurs de puissance. 2003, p.91

Le vaste réseau fluvial du Dnipro est très vulnérable aux inondations. Les réacteurs de Zaporizhzhia sont situés sur le réservoir de Kakhovka, qui est relié au fleuve Dnipro. Des évaluations ont été réalisées sur les mesures requises pour réduire les risques d'inondation pour le système Dnipro, en particulier lors des fortes crues printanières²⁷. En cas d'inondation, les équipements capables de garantir la sûreté des réacteurs nucléaires doivent rester opérationnels, de sorte que les dispositifs de protection nécessaires restent fonctionnels et s'enclenchent chaque fois que nécessaire, pour se prémunir contre les divers aléas pouvant conduire à une inondation ou pour maintenir les fonctions essentielles pendant, et au cas où la centrale serait inondée. Cette protection repose sur plusieurs lignes de défense (digue, murs, réseaux d'évacuation des eaux, etc.), dont une protection volumétrique qui englobe les bâtiments abritant des équipements capables de garantir la sûreté du réacteur²⁸.

Outre le risque d'inondation sur le site, il existe un risque si les barrages du système de réservoir Dnipro sont endommagés. L'eau de refroidissement des réacteurs de Zaporizhzhia est pompée dans ce réservoir et cinq autres réservoirs sont situés en amont de la centrale nucléaire. En raison de la dépendance de la centrale vis-à-vis des réservoirs remplis, toute rupture de leurs barrages pourrait avoir un effet négatif sur l'approvisionnement en eau de refroidissement du réacteur²⁹, ce qui pourrait avoir de graves conséquences pour ces derniers.

²⁷ Anna Poludenko, « Comment éviter une catastrophe naturelle ? », 2012, <https://day.kyiv.ua/uk/article/uspilstvo/yak-uniknuti-prirodnoi-katastrofi>

²⁸ John Large, « Vulnerability Of French Nuclear Power Plants To Aircraft Crash », Greenpeace France, 2012, voir

<https://www.sortirdunucleaire.org/docrestreint.api/19594/3ddda3a0406787005202fed39d1792fc1821afd3/>

[pdf/largej-greenpeace-2016-04-26-vulnerability_of_french_npps_to_aircraft_crash.pdf](https://www.sortirdunucleaire.org/docrestreint.api/19594/3ddda3a0406787005202fed39d1792fc1821afd3/) ; et

"Rapport d'analyse de dépistage pour la question générique proposée sur l'inondation des sites de centrales nucléaires à la suite de défaillances de barrages en amont", 2011, Richard H. Perkins, PE Michelle T. Bensi, Ph.D. Jacob Philip, PE Selim Sancaktar, Ph.D, voir <https://www.nrc.gov/docs/ML1218/ML12188A239.pdf>

²⁹ Institut Oko, « La sûreté nucléaire dans les régions en crise », avril 2017, voir <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Nuclear-safety-in-crisis-regions.pdf>