

Démantèlement de Fessenheim: Une estimation du risque

ATPN Assemblée générale
Freiburg, 30 juin 2020

Dr. André Herrmann, Consultant, Basel

30.06.2020

AG ATPN

1

Mise à l'arrêt



En savoir plus sur ce texte...

JORF n°0042 du 19 février 2020
texte n° 4

Décret n° 2020-129 du 18 février 2020 portant abrogation de l'autorisation d'exploiter la centrale nucléaire de Fessenheim

Article 1

L'autorisation d'exploiter la centrale nucléaire de Fessenheim dont est titulaire la société EDF en vertu des dispositions du second alinéa de l'article L. 311-6 du code de l'énergie est abrogée.

Article 2

Les dispositions de l'article 1er prennent effet à compter des dates d'arrêt définitif mentionnées dans la déclaration de l'exploitant du 27 septembre 2019 susvisée :

- le 22 février 2020 pour le réacteur n° 1 ;
- le 30 juin 2020 pour le réacteur n° 2.

30.06.2020 AG ATPN 2

Dans sa lettre du 27 septembre 2019 à la Ministre de la transition écologique et solidaire, "conformément à l'article L593-26 du code de l'environnement", EDF déclare mettre à l'arrêt définitif les 2 réacteurs de la centrale nucléaire de Fessenheim (les 22 février et 30 juin 2020).

Cette déclaration ne répond pas à l'article L 593-26 du Code de l'environnement, qui précise qu'elle est " souscrite au moins deux ans avant la date d'arrêt prévue, ou dans les meilleurs délais si cet arrêt est effectué avec un préavis plus court pour des raisons que l'exploitant justifie". Or entre le 27 septembre 2019 et le 22 février 2020, il se sera écoulé bien moins de 2 ans et dans la lettre au ministre aucune justification n'est donnée pour ce préavis trop court.

Fort est de constater qu'EDF n'était pas enclin à officialiser l'arrêt de Fessenheim. En particulier les tractations entre l'Etat et EDF relatives aux dédommagements d'une fermeture politique de la centrale ont pris beaucoup de temps. Le décret a finalement été édicté en février 2020.

Plan de démantèlement

- I. Etat de la situation**
- II. Plan de démantèlement**
- III. Piscines de désactivation et assemblages**
- IV. Dangers et conséquences**
- V. Réduction du risque**

30.06.2020

AG ATPN

3

La fermeture de Fessenheim réduit massivement le danger pour la population, et c'est réjouissant. Nous verrons cependant qu'il subsiste un danger non négligeable et que la surveillance des centrales arrêtées continue d'être nécessaire. Tout d'abord, une brève évaluation de la situation sera présentée puis la planification du démantèlement sera abordé. Suivra une explication de l'importance des bassins de refroidissement et de leur contenu radioactif. De là découlent les dangers et leurs conséquences éventuelles. Enfin, les possibilités qui pourraient réduire les risques seront soulignées.

I. Situation

- 😊 Les deux réacteurs sont à l'arrêt, la probabilité d'accident grave est fortement réduite
- 😐 L'inventaire radioactif reste
- 😞 L'ampleur des dégâts d'un accident majeur est plus élevé car une grande partie de l'inventaire est moins bien protégé qu'auparavant.
- 😞 Plusieurs faiblesses dénoncées depuis longtemps ont disparues, d'autres restent toujours actuelles

30.06.2020

AG ATPN

4

Les réacteurs de Fessenheim sont arrêtés, mais le danger potentiel (matière hautement radioactive) est toujours présent. Ce n'est qu'après 3 ans qu'il ne restera que peu de matériel radioactif (y compris les composants rendus radioactifs par les neutrons) à Fessenheim.

Bien que la probabilité d'accident soit fortement réduite (moins d'interventions humaines parceque plus de pilotage des réacteurs, pas de températures ou de pressions élevées etc.)

Cependant, l'ampleur des effets d'un éventuel accident grave ne diminue pas et augmente même, car une grande partie de l'inventaire radioactif est bien moins protégée qu'auparavant.

Certaines des faiblesses de la centrale, qui ont déjà été soulignées précédemment, n'existent plus, d'autres subsistent jusqu'à ce que les matières radioactives significatives pour la radioprotection aient été éliminées.

Faiblesses de Fessenheim

- Piscines de désactivation fragiles
- Manque de résistance aux séismes de systèmes essentiels pour la sûreté
- Insuffisance de redondance
- Insuffisance du refroidissement ultime
- Problèmes de corrosion / Zircaloy
- Rejets dangereux pour l'environnement
- Absence de barrière géotechnique pour protéger la nappe phréatique
- ~~Réaction du Corium avec le béton et l'eau~~
- ~~Faiblesses du système de filtration à sable~~
- ~~Non-conformité de pièces forgées~~

30.06.2020

AG ATPN

5

Les points faibles de Fessenheim sont bien connus et nous en parlons depuis un certain temps. Aujourd'hui, le problème des bassins de désactivation est prépondérant. La résistance insuffisante aux séismes de ces bassins et des systèmes associés constitue un risque majeur. L'ASN elle-même a réprimandé ces faiblesses à plusieurs reprises et attend toujours les commentaires d'EDF sur cette problématique.

II. Travaux de préparation

Dossier de Réexamen (DOR)

Version de juin 2019

15 prescriptions de l'ASN

Rapport de conclusion du réexamen (RCR)

Septembre 2020

Plan de démantèlement

1. Version de août 2019 avec 59 pages

22 prescriptions de l'ASN

2. Version de mai 2020 avec 112 pages

Meilleure qualité, questions en suspens

Dossier de démantèlement

Septembre 2020



https://www.edf.fr/sites/default/files/200528_p03-plan_de_demantelement_fessenheim-_indb_0.pdf

30.06.2020

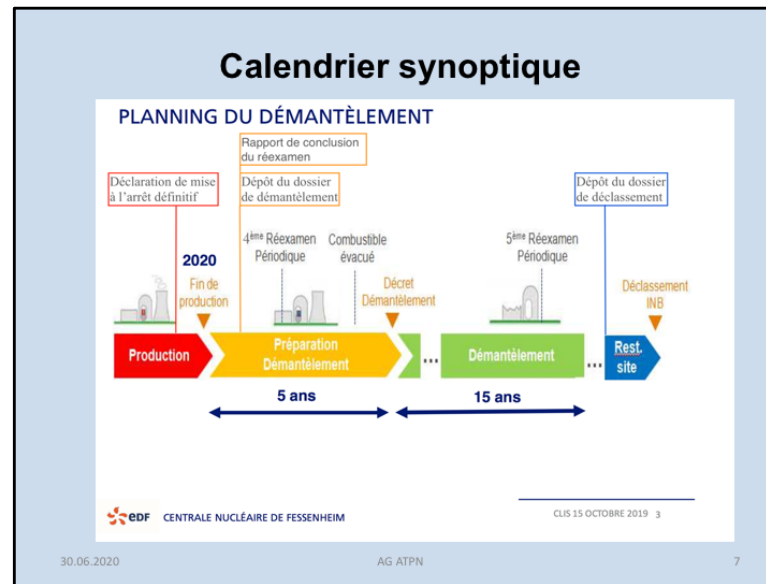
AG ATPN

6

Je voudrais maintenant vous informer de la manière dont EDF a préparé le démantèlement de Fessenheim. La vraie problématique de cette entreprise peut être résumée comme suit: « Toute la difficulté vient du fait que le démantèlement n'a pas été prévu à la conception » (Sophie Maurel, EDF, pilote du référentiel de sûreté de Chooz A)

Il y a un an, EDF a élaboré un premier dossier d'orientation sur le "réexamen" prévu pour 2021. EDF devait montrer l'état de la centrale, les risques et la manière de les contrôler. L'ASN a relevé 15 lacunes qui devront être éliminées dans la prochaine version du rapport (rapport final sur le réexamen). EDF a annoncé que les rapports finaux des réexamens pour les deux réacteurs seront livrés en septembre 2020.

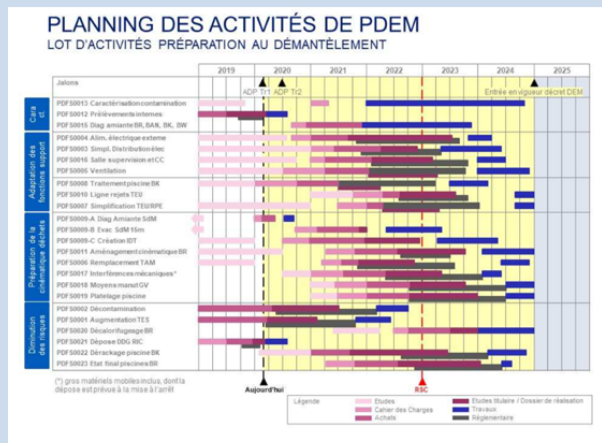
En août 2019, EDF avait envoyé une des premières versions du plan de démantèlement aux autorités. Le plan a pour but de montrer comment le démantèlement doit se dérouler. L'ASN a émis 22 conditions ! La qualité du rapport était très médiocre, voire irresponsable, et donnait l'impression d'un exercice alibi. Une deuxième version a ensuite été envoyée aux autorités en mai 2020. Le volume du document était environ deux fois plus important que dans sa première version, mais ne répondait pas à toutes les exigences de l'ASN. Les autorités n'ont pas encore rendu leur avis sur ce dernier document, mais une version plus contraignante sous la forme d'un dossier de démantèlement est attendue pour septembre 2020.



Vous pouvez voir ici un synoptique du calendrier de démantèlement avec les étapes les plus importantes. La phase de préparation du démantèlement débutera en juillet 2020 et devrait durer environ 5 ans. Au cours de cette phase, la « 4^{ème} réévaluation » devrait avoir lieu et les éléments combustibles - les barres d'uranium - devraient déjà avoir été retirés du site et les piscine vidées de leur eau.

Le démantèlement ne peut commencer qu'une fois que ces éléments combustibles ont disparu. Cette phase devrait durer 15 ans. Après cela, le site devrait être classé comme n'étant plus nucléaire, mais ne sera toujours pas librement accessible.

Calendrier de la phase de préparation



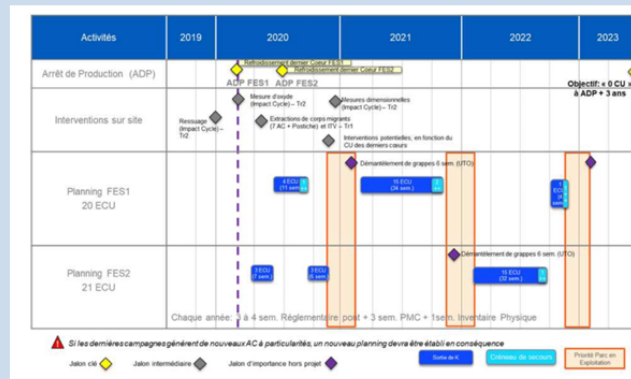
30.06.2020

AG ATPN

8

Avec ce schéma dont les détails ne sont pas lisibles pour l'auditoire, je veux seulement montrer qu'EDF a planifié les différentes phases de préparation de manière relativement précise. La question de savoir dans quelle mesure le calendrier sera respecté reste ouverte.

Calendrier de l'enlèvement des assemblages



30.06.2020

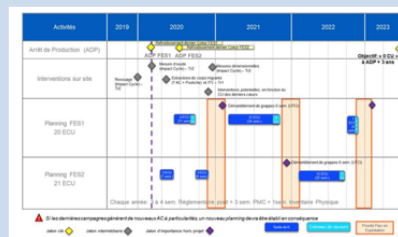
AG ATPN

9

Toutefois, nos préoccupations portent en particulier sur les assemblages de combustible qui seront tous rassemblés dans les deux bassins de désactivation à la fin de cette année. Les premiers envois d'assemblages devraient commencer cette année et se terminer à la mi 2023.

Calendrier de l'enlèvement des assemblages

- Transport au mieux toutes les 2 semaines
- Seule une piscine est traitée à la fois
- La capacité et la logistique à La Hague sont limitées
- L'enlèvement se fait en dehors des périodes de révisions
- Les assemblages défectueux doivent être réparés



30.06.2020

AG ATPN

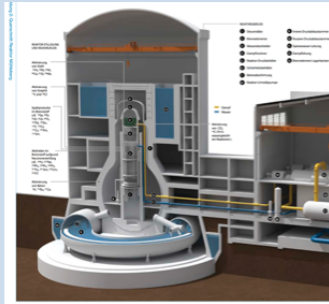
10

Le calendrier est très sportif. De nombreux facteurs influent le déroulement et le respect du calendrier sera difficile.

Il faut relever que la capacité de La Hague à gérer des éléments combustibles est limitée, voire épuisée. C'est pourquoi EDF planifie également la création d'un centre de stockage humide près de Belleville-sur-Loire. En outre, il y a le problème des éléments combustibles endommagés qui présentent des dommages dus à la corrosion (voir nos précédents constats). Ces éléments combustibles posent un problème dans la mesure où ils libèrent des éléments radioactifs. Ils sont plus fragiles, ce qui rend difficile leur transfert en toute sécurité vers les conteneurs de transport.

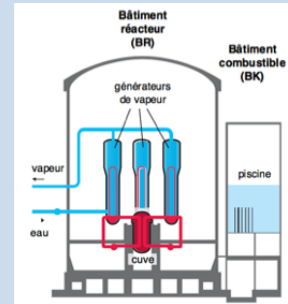
III. Piscines de réacteurs

REB
Reacteur à eau bouillante



30.06.2020

REP
Réacteur à eau pressurisée



AG ATPN

11

Mais à quoi ressemblent les bassins de désactivation ?

La fragilité des bassins de désactivation de Fessenheim est bien compréhensible sur cette projection:

Dans les réacteurs à eau bouillante comme ceux de Fukushima ou de Mühleberg, les bassins sont situés dans le bâtiment du réacteur, ce qui les protège relativement bien contre les agressions extérieures (tremblements de terre, inondations, accidents d'avion, attentats).

En revanche, les bassins des réacteurs à eau pressurisée sont adossés à l'extérieur du bâtiment du réacteur et sont donc plus sensibles aux agressions extérieures.

CN de Fessenheim



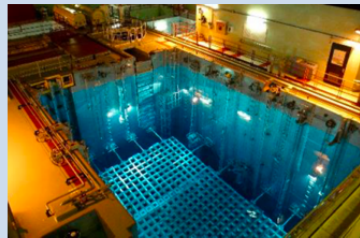
30.06.2020

AG ATPN

12

Sur cette photo, vous pouvez voir les deux blocs des réacteurs avec les bâtiments ronds et leurs bassins de décantation respectifs sous forme de bâtisses rectangulaires adossées aux réacteurs.

Piscines de désactivation



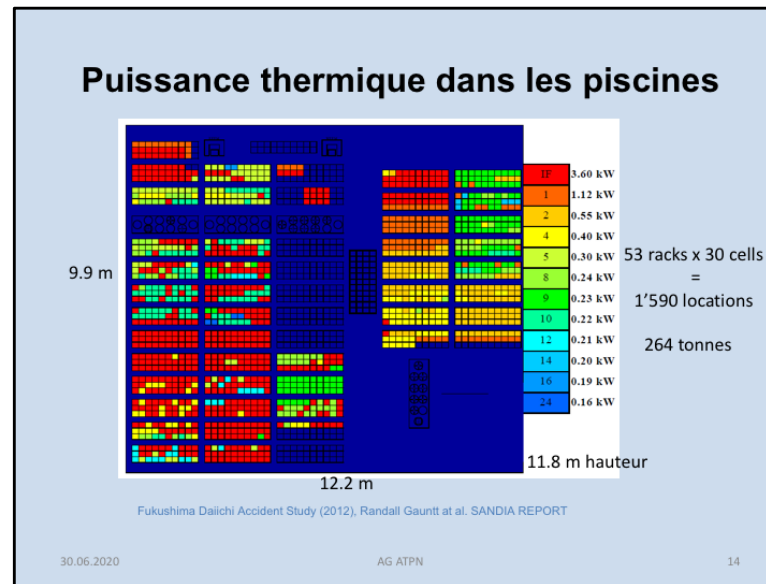
Tout l'inventaire nucléaire des deux centrales se trouve réuni dans deux piscines à l'**extérieur** des bâtiments réacteurs et est donc beaucoup plus vulnérable face aux agressions externes

30.06.2020

AG ATPN

13

Voici à quoi ressemblent les bassins de décantation de Fessenheim où sont stockés les éléments combustibles. Les supports des assemblages sont clairement visibles. Ils sont noyés sous l'eau qui sert d'écran contre les fortes radiations et de réfrigérant pour les barres de combustible très chaudes.



Les éléments combustibles usés produisent plus ou moins de chaleur en fonction de la décroissance de leur radioactivité. Peu après leur retrait du cœur du réacteur leur radioactivité est à son maximum, tout comme leur chaleur résiduelle.

Ici, vous voyez une image de la production de chaleur des éléments combustibles dans le bassin de désactivation du réacteur 4 de Dai-ichi.

Les assemblages ne peuvent être retirés des bassins qu'après un certain temps de décroissance (> 1 an).

Les assemblages frais qui n'ont pas encore été utilisés ont un rayonnement et donc une production de chaleur beaucoup plus faible.

Densité de chargement (Rerackage)

- Espaces réduits entre les assemblages
- Armature d'acier avec du bor (danger de criticalité)
- Le courant d'eau de refroidissement ne doit jamais s'interrompre

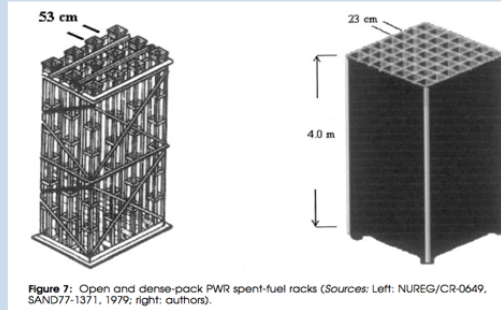


Figure 7: Open and dense-pack PWR spent-fuel racks (Sources: Left: NUREG/CR-0649, SAND77-1371, 1979; right: authors).

Robert Alvarez et al. Science and Global Security, 11:1–51, 2003

30.06.2020

AG ATPN

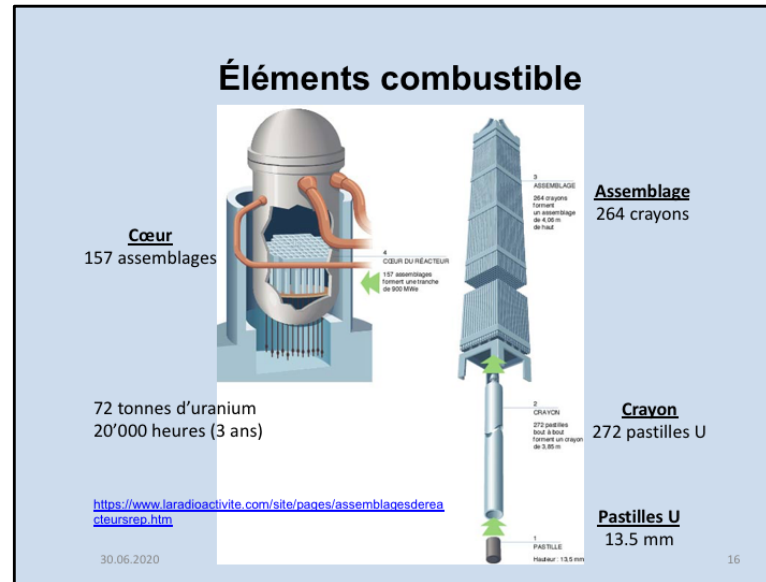
15

Sur ce transparent on peut voir à quoi ressemblent les supports en acier des éléments combustibles des réacteurs à eau pressurisée.

Comme la capacité de stockage des bassins de refroidissement est devenue trop faible au fil du temps - et qu'il n'existe toujours pas de solution d'élimination - ces supports ont été optimisés pour pouvoir contenir davantage d'éléments combustibles.

Non seulement cela multiplie la quantité de barres hautement radioactives, mais cela augmente également le risque de surchauffe, qui peut conduire à ce qu'on appelle un feu de zirconium.

Je ne sais pas si ce type de compression de stockage est toléré en France.



On a beaucoup parlé des assemblages de combustibles ; vous pouvez voir ici comment sont constitués ces assemblages :

Un assemblage contient 264 crayons, chacun contenant 272 pastilles d'uranium de 13,5 mm (environ 8 gr).
Les cœurs de réacteur contiennent entre 157 et 177 assemblages (environ 70 tonnes).

IV. Appréciation du risque

a) Dangers potentiels

Dans les piscines

- Barres de combustibles anciennes
 - + nouvelles barres des cœurs (2x177 assemblages)
 - + déchets activés d'exploitation (DAE)
- = 457 assemblages ~210 t Uranium (sans DAE)
- ≅ 700 PBq ^{137}Cs

Sur le site

- Anciens générateurs de vapeur (6 pièces)
 - + générateurs des réacteurs (6 pièces)
 - + déchets radioactifs (résines, terre à diatomée etc.)
 - + eaux de lavage contaminées

30.06.2020

AG ATPN

17

Je ne connais pas le potentiel radioactif exact des piscines. EDF parle de 216 assemblages dans le bassin de FSH1 et de 241 assemblages dans le bassin de FSH2.

La radioactivité des assemblages dépend de leur degré de combustion et nous ne pouvons qu'estimer grossièrement leur niveau actuel: le potentiel de radioactivité total des deux bassins se situe probablement autour de 700 PBq ^{137}Cs , sans parler des autres radioéléments présents.

Il y a encore beaucoup de matières et de déchets radioactifs sur le site, mais leur dangerosité est bien moindre que celle des assemblages.

b) Sources de danger

- Résistance sismique insuffisante
 - ❖ Bâtiments piscines
 - ❖ Pompe de la nappe phréatique
 - ❖ Puits de la nappe phréatique
- Insuffisance des réserves d'eau
 - ❖ Anciens réservoirs peu sûrs
 - ❖ Tuyaux mobiles vers le Grand Canal d'alsace avec une trop longue durée de pompage
- Chute d'aéronefs
 - ❖ Corridor d'approche de l'Euro-Airport
- Agressions malveillantes
 - ❖ Depuis le chemin sur la digue du canal
 - ❖ Depuis une barge sur le canal

30.06.2020

AG ATPN

18

Les sources de danger sont connues et résumées sur cette feuille.

c) Exposition de la population

Scénario (potentiel mal connu / conditions météorologiques ouvertes)

- Emissions de 70 PBq ^{137}Cs (Chernobyl 85 PBq, Fukushima 36 PBq)
- Vents de 20 km/h, vitesse de déposition de 1cm/s, angle d'émission de 6 degré

R. Alvarez et al.; Science and Global Security, 11:1–51, 2003; A. Stohl et al.; Atmos. Chem. Phys. Discuss., 11, 28319–28394, 20

EDF doit livrer les estimations des risques

Contamination des sols MBq/m ²	Surface km ²	Doses mSv/Jahr
0.5	≈ 20'000	> 5
4	≈ 3'200	≥ 40
40	≈ 100	≥ 400

Evacuation	Surface km ²	Doses mSv/Jahr
Chernobyl	≈ 10'000	≥ 5
Fukushima	≈ 800	≥ 20

30.06.2020

AG ATPN

19

En cas d'accident majeur causé par les sources de danger susmentionnées, il faut supposer qu'au moins une partie du potentiel radioactif sera libérée.

Dans une première estimation grossière, j'ai supposé une libération de 10 % du potentiel total. Pour les deux bassins de Fessenheim, cela fait environ 70 PBq ^{137}Cs .

Pour évaluer l'importance de cette valeur d'activité, on peut utiliser celles des événements connus : À Tchernobyl environ 75 PBq, à Fukushima environ 36 PBq ^{137}Cs ont été libérés.

Les activités libérées sont comparables entre elles.

Sur la base du scénario météorologique réaliste mentionné ci-dessus, on peut déterminer la contamination des sols et les zones touchées. Les doses résultantes pour la population sont également indiquées. Il convient de souligner que cette estimation n'est qu'une première approximation et que les autorités ont demandé à EDF de montrer les conséquences d'un événement majeur.

Les chiffres de Tchernobyl et de Fukushima peuvent être utilisés comme comparaison :

Tchernobyl : la limite d'évacuation de 5 mSv/an a concerné une zone d'environ 10'000 km²

Fukushima : la limite d'évacuation de 20 mSv/an a touché une zone d'environ 800 km².

Les limites d'évacuation pour la France et l'Allemagne ne sont pas claires pour moi, car elles sont encore en cours de discussion. Actuellement, 10 mSv/an s'appliquent en France, 100 mSv/an sont prévus en Allemagne et 20-100

mSv/an prévalent en Suisse.

Cela signifie que, selon les pays, il faudrait évacuer quelques 100 km² voire quelques 1'000 km² environ.

Avec une force de vent de 20 km/h une zone d'environ 15 x 200 km pourrait même être fortement contaminée.

C'est maintenant à EDF de montrer que ces valeurs alarmantes sont excessives ou plutôt d'initier des mesures pour réduire l'ampleur d'un accident majeur.

V. Réduction du risque

- ✂ Résistance aux séismes selon les exigences de l'EU
 - ❖ Bâtiments des piscines
 - ❖ Pompe et puits de la nappe phréatique
 - ❖ Réservoirs fixes
- ✂ Citernes sur place avec de l'eau borée
- ✂ Piscines résistant à la chute d'aéronefs et contre le terrorisme
- 👉 Éliminer les assemblages radioactifs anciens
- 🔍 Augmenter la fréquence des inspections et renforcer la surveillance

REX

Analyse d'échantillons de matériaux du réacteur N° 1

30.06.2020

AG ATPN

20

Pour réduire la probabilité d'un accident majeur ou ses conséquences, différentes mesures peuvent être prises, comme le montre la diapositive.

Je partage également l'avis des experts techniques selon lequel le démantèlement de Fessenheim devrait être considéré comme une occasion de mener des recherches scientifiques sur la base d'échantillons de matériaux pour mieux comprendre les processus de vieillissement des composants critiques du réacteur.