

## L'accident de Fukushima et son impact sur le nucléaire français

### 1. L'impact médiatique de l'accident de Fukushima

L'accident nucléaire de Fukushima au Japon a commencé le 11 mars 2011 dans la stupeur générale alimentée par une surinformation des médias pendant plusieurs semaines. Il s'agit d'un accident nucléaire classé au niveau 7, le plus élevé, de l'échelle internationale des événements nucléaires (INES). Il faisait suite à un séisme de magnitude 9 (échelle de Richter) à l'origine d'un tsunami qui a ravagé près de 600 km de côtes, détruisant partiellement ou totalement de nombreuses villes et faisant plus de 18 500 victimes (1) (2).

Le traumatisme provoqué par la surexposition médiatique de cette catastrophe a généré de nombreuses réactions de par le monde, relançant le débat sur l'utilisation de l'énergie nucléaire dans de nombreux pays. De ce fait certains pays ont été amenés à reconsidérer la part, voire l'existence même du nucléaire, dans leur production énergétique nationale. Ainsi en Allemagne, le 6 juin 2011, la chancelière Angela Merkel décide la fermeture de 8 centrales et l'arrêt définitif des 9 centrales restantes au plus tard en 2022.

En France la loi de transition énergétique du 17 août 2015 s'est donné comme objectif de réduire la part du nucléaire dans la production électrique à 50 % alors qu'elle représentait encore 77 % en 2014. Cependant, si cette réduction de la part du nucléaire, promesse électorale du président Hollande, n'a pas été présentée comme une suite de l'accident nucléaire de Fukushima (3), ce dernier a eu par ailleurs de lourdes conséquences sur le parc électronucléaire français, comme nous le verrons ci-après.

### 2. Le déroulement de l'accident et ses conséquences

Nous avons résumé ci-après le déroulement des faits qui ont conduit à cet accident majeur. Pour plus de détail on peut se reporter par exemple aux références Ref 1 (Wikipedia) ou Ref 2 (IRSN).

- La détection des premières secousses sismiques provoque l'arrêt des réacteurs n° 1, 2 et 3 environ 30 secondes avant les secousses principales du plus fort séisme enregistré au Japon suivant Ref 1.
- Cinquante minutes après, la première vague du tsunami, d'une hauteur de 15 mètres, atteint la centrale. L'installation de ces trois réacteurs n'avait pas pris en compte un tsunami d'une telle ampleur (4) aussi l'ensemble est entièrement inondé. Les conséquences majeures furent la perte de l'alimentation électrique principale (lignes électriques détruites), la perte de la source froide (prises d'eau de mer dégradées) et la perte des diesels de secours qui n'ont pu prendre la relève des batteries de secours.
- Sans refroidissement ni injection d'eau, le cœur des réacteurs, même arrêté, continue d'émettre de la chaleur. Ce qui conduit en peu de temps au dénoyage des éléments combustibles et à la fusion du cœur. De même, la température de l'eau des piscines d'entreposage des éléments

combustibles usés des réacteurs n° 1, 2, 3 et 4 (ce dernier était à l'arrêt avant le séisme) commence à s'élever dangereusement.

- Entretemps, de l'hydrogène, produit par l'oxydation des métaux présents dans le cœur des réacteurs (principalement le zirconium des gaines des crayons combustibles), s'est accumulé dans les bâtiments réacteurs. Les explosions qui s'en suivirent firent voler en éclats les halls métalliques des 3 réacteurs et entraînèrent de ce fait la perte de confinement des bâtiments. Ces explosions ont fait la une des journaux et ont été vues et revues à la télévision.
- Pour refroidir le cœur des réacteurs 1, 2 et 3 et le combustible entreposé dans les piscines 1, 2, 3 et 4, l'exploitant entreprend de déverser de l'eau de mer. Ces déversements en circuit ouvert, occasionnent une contamination du milieu environnant jusqu'à l'océan.
- En deux jours, le rayon de la zone à évacuer a été porté de 2 à 20 km.

Près de 146 000 habitants seront finalement évacués. Début 2016, 79 000 personnes étaient encore déplacées. Le programme de décontamination des territoires entrepris très tôt par les Autorités permet théoriquement la réinstallation progressive des populations dans certaines zones. Mais toutes les zones ne seront pas habitables de sitôt et beaucoup de déplacés n'auraient pas l'intention de revenir. Voir le document Ref 3 dont est issu la carte ci-après.

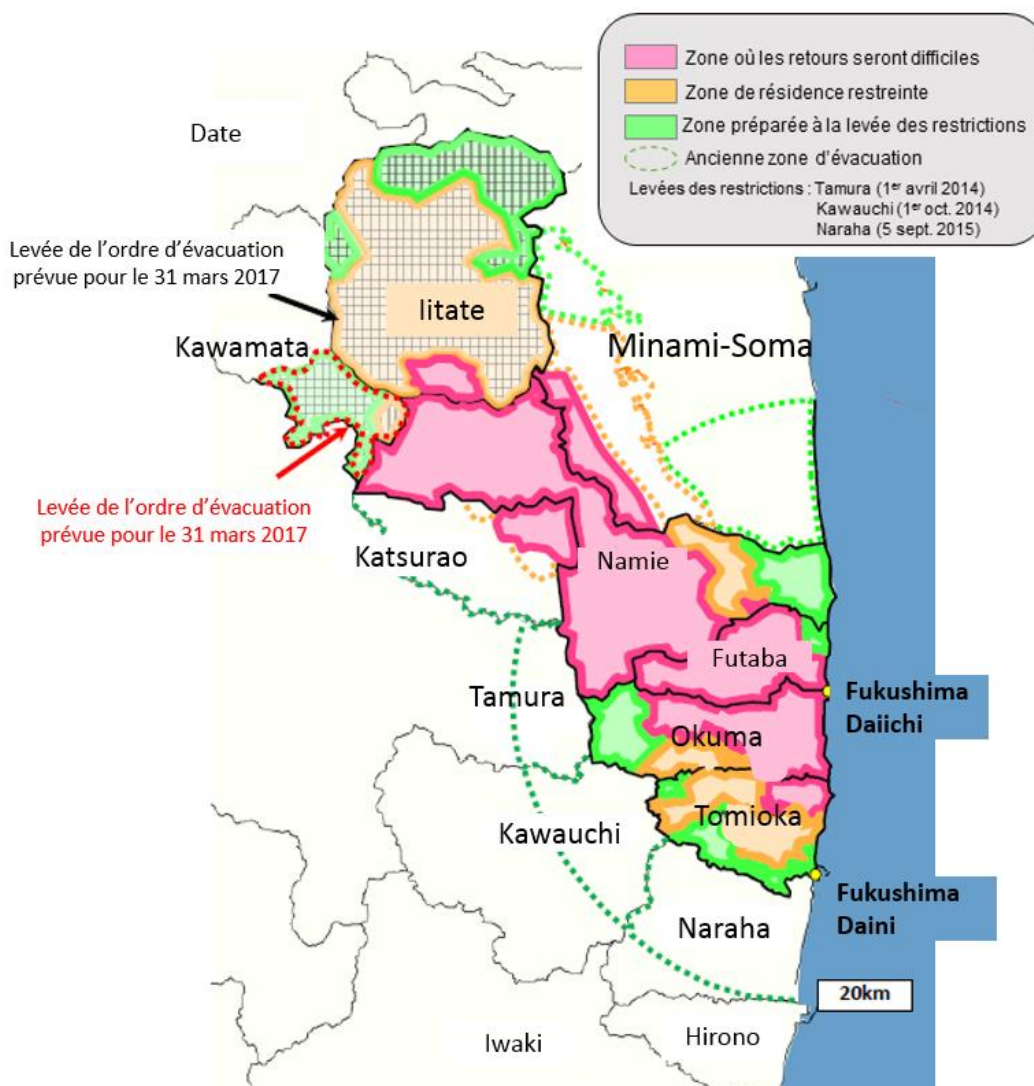


Figure 1 : les zones évacuées

### 3. Le suivi de l'accident par les Autorités Françaises

L'IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) est l'expert français en matière de recherche et d'expertise sur les risques nucléaires et radiologiques. A ce titre, cet organisme public, a pour rôle d'évaluer les dossiers fournis par les exploitants nucléaires et de rendre un avis aux différentes autorités concernées. En plus des avis d'expertise, l'IRSN a également la charge de proposer aux pouvoirs publics et aux autorités, en cas d'incident ou d'accident nucléaires, des mesures d'ordres technique, sanitaire et médical, propres à assurer la protection de la population, des travailleurs et de l'environnement, et à rétablir la sûreté des installations.

C'est donc naturellement que l'IRSN s'est saisi du suivi de l'accident de Fukushima dès le début et a produit nombre de communiqués et de rapports (Voir Ref 2), soit de son propre chef soit dans le cadre des demandes de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN), l'autorité administrative indépendante qui assume, en France, les missions, au nom de l'Etat, de contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection. En effet, en plus d'une campagne d'inspections ciblées qu'elle a rapidement enclenchée, l'ASN a demandé aux exploitants d'installations nucléaires françaises la réalisation d'évaluations complémentaires de sûreté (ECS). Ceci s'inscrivant dans le cadre de la saisine de l'ASN par le premier ministre le 23 mars 2011 et de la demande du Conseil Européen « de tests de résistance » formulée lors de sa réunion des 24 et 25 mars 2011.

### 4. Les Evaluations Complémentaires de Sûreté (ECS)

Si les inspections ciblées (38 entre juin et octobre 2011) ont mobilisé les équipes concernées des exploitants, ces derniers l'ont surtout été par les ECS qui devaient être effectuées pour toutes les installations nucléaires de France c'est-à-dire 150 unités.

Ces ECS devaient aborder :

- La réévaluation ciblée des marges de sûreté des installations vis-à-vis de phénomènes naturels extrêmes,
- Le réexamen du comportement des installations face à des situations extrêmes telles que la perte des alimentations électriques ou en eau, quelle qu'en soit la cause,
- La gestion de crise,
- Les facteurs humains,

Un ordre de priorité été donné et les installations ont été classées en 3 catégories :

Le « lot 1 » regroupe les installations les plus prioritaires, à savoir : les réacteurs électronucléaires d'EDF (les 58 en fonctionnement + l'EPR de Flamanville en construction) , des réacteurs de recherche du CEA et de l'Institut Laue-Langevin (ILL), ainsi que des installations du cycle du combustible d'AREVA. Ce qui représente tout de même 79 installations.

Le « lot 2 » concerne 22 installations moins prioritaires telles que ITER ou encore CIS bio.

Le reste, dites du « lot 3 », sont les installations non prioritaires. N'auront été exclues que moins d'une dizaine d'installations dont le démantèlement était en voie d'achèvement.

Pour le « lot 3 », pas d'urgence : l'évaluation doit se faire à l'occasion de leur prochain réexamen décennal de sûreté. Pour le « lot 2 », une urgence relative puisque les ECS devaient être présentées avant le 15 septembre 2012. A ce sujet, les GPE (Groupes Permanents d'Experts) se sont prononcés mi-2013, sur la base des conclusions des analyses effectuées par l'IRSN.

Pour le « lot 1 » l'urgence absolue a été décrétée puisque l'ASN a demandé aux GPE de lui faire part, dès

fin 2011, de leur avis sur les conclusions des ECS réalisées par les exploitants entre le 5 mai 2011 (date de prescription par l'ASN du cahier des charges des analyses) et le 15 septembre 2011, date limite de remise des rapports des exploitants.

Après analyse des ECS par l'IRSN ce dernier a établi un rapport transmis le 4 novembre 2011 à l'ASN et aux membres des Groupes permanents. Sur la base de ce rapport les GPE ont pu émettre leurs avis et recommandations lors de réunions qui se sont tenues à Massy les 8, 9 et 10 novembre 2011. Le compte rendu correspondant se trouve sur le site internet de l'ASN (Ref 4).

En résumé, d'abord :

- => Les groupes permanents soulignent l'importance et la qualité des rapports ECS,
- => Les ECS ne montrent pas de lacunes significatives dans la définition du niveau des agressions,
- => Les exploitants doivent, en premier lieu, s'assurer de la conformité de leurs installations aux exigences de sûreté qui leur sont applicables.

Il n'y a donc pas eu de problème de sûreté découvert lors de ces examens, ce qui est rassurant.

D'ailleurs l'ASN dans son avis n° 2012-AV-139 du 3 janvier 2012 écrit : **« A l'issue des évaluations complémentaires de sûreté des installations nucléaires prioritaires, l'ASN considère que les installations examinées présentent un niveau de sûreté suffisant pour qu'elle ne demande l'arrêt immédiat d'aucune d'entre elles. »**

Mais des recommandations apparaissent afin de « renforcer la robustesse des installations au-delà du référentiel ». Ainsi sont énoncées :

- => Identifier et conforter un « noyau dur ECS »,
- => Ce noyau dur sera constitué d'un nombre limité de structures, systèmes et composants (SSC), robustes aux agressions au-delà du dimensionnement,
- => Cumul des situations de perte totale des alimentations électriques ou de sources de refroidissement avec les agressions externes,
- => L'organisation et les moyens de crise doivent rester opérationnels pour des niveaux d'agressions très supérieurs à ceux retenus pour le dimensionnement des installations,
- => Mise en place progressive, de la « Force d'action rapide nucléaire (FARN) » proposée par EDF.

Et l'avis ASN 2012-AV-139 ajoute : **« Dans le même temps, l'ASN considère que la poursuite de leur exploitation nécessite d'augmenter dans les meilleurs délais, au-delà des marges de sûreté dont elles disposent déjà, leur robustesse face à des situations extrêmes. »**

Aussi le processus des ECS se poursuivra tout le long de l'année 2012 et au-delà. Des décisions de l'ASN sont prises régulièrement pour fixer des prescriptions complémentaires. Ainsi le 26 juin 2012, 32 décisions fixent chacune une trentaine de prescriptions complémentaires aux exploitants d'installations du « lot 1 ».

En avril 2012 a lieu la réunion des GPE sur le noyau dur des installations prioritaires hors REP (Réacteurs à Eau Pressurisée) du lot 1.

En décembre 2012 se tient la réunion des GPE (GPR) sur le noyau dur des installations prioritaires REP du lot 1.

Avant d'aller plus loin, il est intéressant de voir l'analyse de l'accident de Fukushima par la SFEN (Société Française d'Énergie Nucléaire) dans son document Ref 5 de janvier 2014 portant sur le « grand carénage du parc nucléaire EDF ». En voici un résumé :

## 5. L'analyse de la SFEN

### 5.1 L'accident est dû à des erreurs graves de management de la sûreté

En effet, si les réacteurs japonais ont, jusqu'à preuve du contraire, bien résisté au séisme, => L'ampleur du tsunami n'avait pas été pris en compte alors même que d'autres d'une telle ampleur avaient été historiquement identifiés.

=> D'ailleurs la centrale voisine, celle d'ONAGAWA, pourtant encore plus proche l'épicentre, a bien résisté au séisme et au tsunami ; permettant même à la population locale d'y trouver assistance et hébergement !

=> Les liens entre l'autorité de sûreté et les industriels étaient apparemment trop étroits.

Depuis, en 2012, la *Nuclear Regulatory Authority* (NRA) a remplacé l'Agence de sûreté nucléaire et industrielle (NISA) et la Commission de sûreté nucléaire (NSC). En mars 2014, elle a été officiellement renforcée par les salariés de la JNES (*Japan Nuclear Energy Safety Organization*), similaire à l'IRSN français. Indépendante de par ses statuts, la NRA compte maintenant près de 1 000 personnes.

### 5.2 Un retour d'expérience limité pour les réacteurs français

La SFEN relève les points suivants :

=> Les réacteurs d'EDF (REP : Réacteur à Eau Pressurisée) ne sont pas du même type que ceux de Fukushima (REB : Réacteurs à Eau Bouillante).

=> Les enceintes de confinement des réacteurs de Fukushima sont en acier et de faible volume (d'où une montée en pression rapide) ; celles d'EDF sont en béton et de volume important.

=> EDF a installé sur tous ses réacteurs, suite aux accidents de Three Miles Island (TMI) en 1978 et de Tchernobyl en 1986, des recombineurs d'hydrogène pour éliminer l'hydrogène libre, ainsi que des filtres à sable (à travers lesquels les dépressurisations sont dirigées) pour retenir le césium 137, principal contaminant pour l'environnement.

=> Les REB n'ont pas un circuit primaire confiné dans l'enceinte de confinement ni de circuit intermédiaire comme les REP.

Le schéma ci-dessous, extrait de Ref 5, met en exergue les avantages des REP d'EDF :

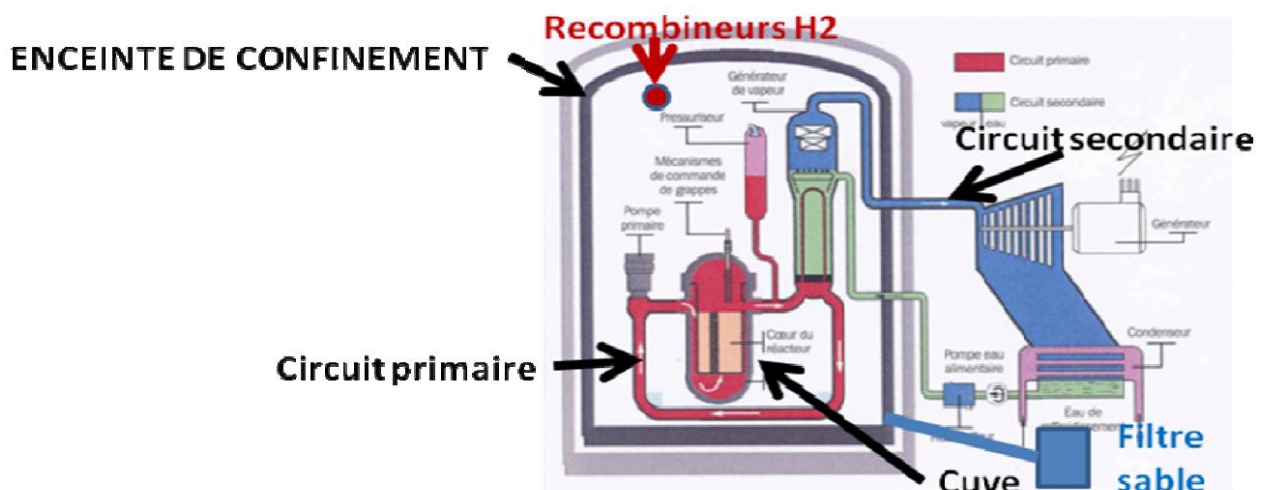


Figure 2 : schéma de principe d'un REP EDF

### 5.3 Une évolution majeure de la doctrine de sûreté

La SFEN signale une évolution majeure de la doctrine de sûreté :

Le principe adopté par l'ASN a été que tout accident, même hypothétique, conduisant à une

dégradation du cœur, voire à une fusion complète de celui-ci, ne **devait pas avoir comme conséquence une contamination durable des territoires.**

Ainsi l'approche de sûreté actuelle, basée sur les probabilités et le retour d'expérience, est dorénavant doublée d'une approche déterministe. Même si aucun scénario réaliste ne le prévoit, on considère qu'une fusion du cœur peut avoir lieu sur tous les réacteurs d'un même site, et **on s'impose d'être capable d'en maîtriser les conséquences.**

## 6. Les exigences de l'ASN

Faisant suite à un ensemble de décisions de l'ASN du 26 juin 2012 relatives à « la mise en place d'un noyau dur de dispositions matérielles et organisationnelles robustes », EDF a émis ses propositions. Ces dernières ont été examinées par l'IRSN et les conclusions ont été présentées au groupe permanent d'experts en charge des réacteurs nucléaires (GPR), les 13 et 20 décembre 2012.

A la suite de cette réunion du GPR, l'ASN a précisé par un ensemble de décisions en date du 21 janvier 2014 ses exigences relatives à la conception du noyau dur. Dans ces prescriptions, l'ASN a considéré que l'objectif de limitation des rejets s'applique à toutes les phases d'un accident et que l'exploitant doit mettre en œuvre, autant que raisonnablement possible, les meilleures techniques disponibles pour la conception et la réalisation du noyau dur.

Ce « noyau dur » devant comprendre des dispositions pour :

- Prévenir un accident grave affectant le cœur du réacteur ou la piscine d'entreposage du combustible irradié,
- Limiter les conséquences d'un accident qui n'aurait pu être évité, avec pour objectif de préserver l'intégrité de l'enveloppe de confinement sans ouverture du dispositif d' « éventage »,
- Permettre à l'exploitant d'assurer ses missions de gestion de crise.

Et l'ASN poursuit de façon inflexible dans les discussions sur le sujet qui continuent avec EDF. Ainsi, lors de sa dernière prise de décision du 19 juillet 2017 Ref 6 qui fait suite à la réunion du GPR du 7 juillet 2016, l'ASN écrit : « L'ensemble des éléments transmis ne permet pas, à ce stade, de statuer sur la capacité des dispositions envisagées à gérer un accident grave en situation noyau dur. De plus, les spécificités des différents réacteurs n'ont pas été prises en compte dans les éléments que vous avez fournis. » Et formule des demandes relatives à :

1. La maîtrise de la réactivité du corium,
2. L'évacuation de la puissance résiduelle de l'enveloppe de confinement, sans éventage,
3. La limitation du risque de percement du radier,
4. Les améliorations possibles du dispositif d'éventage et filtration de l'enveloppe.

Les incidences de l'accident nucléaire de Fukushima sur le parc électronucléaire français seraient-elles loin d'être connues ? En fait, au-delà du ton employé, la lecture en détail du courrier à EDF montre que ce sont des demandes de précisions sur les solutions proposées par EDF. Le processus converge donc...

## 7. La traduction des exigences de l'ASN

La traduction des exigences de l'ASN suite aux propositions d'EDF dans le cadre du processus des ECS et par la suite lors des études détaillées d'EDF aboutit à un ensemble de mesures nouvelles de plusieurs ordres : réglementaire, organisationnel et matériel.

Confer la note IRSN de mars 2016 « Les enseignements pour la sûreté des installations françaises » (lien Ref 7).

## 7.1 Mesures réglementaires

La première des mesures prise par l'ASN dans ce domaine fut de préparer avec les ministères concernés un arrêté fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base. Pour l'ASN, cet arrêté, signé le 7 février 2012 a pour objectif d'apporter une contribution importante à l'amélioration de la sûreté. Il impose notamment des exigences nouvelles concernant :

- La surveillance des intervenants extérieurs par les exploitants nucléaires,
- La prise en compte de cumuls de situations pour démontrer la sûreté nucléaire,
- La détection et le traitement des écarts,
- L'encadrement des capacités techniques des exploitants et de leurs modifications,
- La compétence et la qualification des personnes réalisant des activités susceptibles d'engendrer des risques,
- Le développement d'une politique, qui doit également être mise en œuvre par les prestataires, affirmant la priorité accordée à la prévention des risques engendrés par l'installation.

L'ASN s'attache à vérifier la bonne application des dispositions de cet arrêté et précise régulièrement certaines des exigences de cet arrêté dans des décisions réglementaires.

En même temps, elle a entrepris de renforcer les référentiels de sûreté des installations nucléaires.

Ainsi, l'ASN a publié en 2013 son guide n°13 « relatif à la protection des installations nucléaires de base contre les inondations externes », qui détaille les recommandations visant à évaluer et à quantifier les risques d'inondation externe de ces installations, et à définir les moyens de protection adaptés pour y faire face. En 2015, l'ASN publie le guide d'application des nouvelles dispositions introduites par l'arrêté du 7 février 2012 concernant le traitement des écarts affectant les centrales nucléaires. En 2016 ce ne sont pas moins de 8 guides qui ont été publiés.

Pour ce qui concerne le référentiel de sûreté concernant la prise en compte des risques liés au séisme, les prescriptions fixant les exigences complémentaires pour la mise en place du "noyau dur" ont été émises. A savoir, le spectre de réponse doit :

- Etre enveloppe du séisme majoré de sécurité (SMS) de site, majoré de 50 %,
- Etre enveloppe des spectres de site définis de manière probabiliste avec une période de retour de 20 000 ans,
- Prendre en compte pour sa définition, les effets de site particuliers et notamment la nature des sols.

## 7.2 Mesures organisationnelles – La FARN

La FARN, force d'action rapide nucléaire, est la nouvelle mesure organisationnelle emblématique proposée par EDF dans le cadre des ECS. C'est une force nationale d'EDF en capacité d'intervenir sur un site en difficulté. Elle dispose de moyens matériels et humains qui lui permettent actuellement de pouvoir d'intervenir sur 6 réacteurs d'un même site (exigence d'une crise multi-tranches) en moins de 24 heures, avec un début des opérations sur site dans un délai de 12 heures après sa mobilisation. Ces moyens viennent en appui des équipes présentes sur site pour :

- Prêter main forte aux équipes locales pour mettre en œuvre, surveiller et maintenir les moyens locaux de crise et pour épauler (voire relever) les équipes de conduite,

- Mettre en œuvre, surveiller et maintenir en fonctionnement les moyens régionaux de crise (motopompes, groupes électrogènes, compresseurs d'air, moyens de télécommunication, moyens de transport et de manutention).

Les hypothèses d'intervention sont bien entendu sévères. Notamment :

- Une destruction importante des infrastructures, dont les accès au site,
- Les équipes d'astreinte potentiellement inopérantes,
- Un cumul de risques possible (radiologique et/ou chimique)

Depuis début 2016 la FARN est opérationnelle dans sa configuration définitive. 70 personnes (5 équipes de 14 personnes) sont affectées à chaque centre régional. Au total la FARN constitue une force mobilisable de 300 personnes (5).

La prise en compte d'une crise multi-tranches au sein des plans d'urgence interne (PUI) des sites est aussi une mesure organisationnelle importante. De même que la décision de construire, sur chaque CNPE, un Centre de crise local (CCL) plus robuste et dimensionné pour une crise affectant tout le site sur une longue durée. A noter que ce nouvel équipement doit être dimensionné aux situations du noyau dur.

Afin de mieux appréhender l'importance du système mis en place, voici quelques illustrations tirées d'une présentation EDF Ref 8 :

Un CCL ( Centre de crise local) résistant aux mêmes sollicitations que le noyau dur est construit sur chaque site :



Le déploiement de la FARN est à l'échelle nationale. Le schéma d'intervention de la FARN s'appuie sur une organisation en 3 niveaux : local, régional et national :

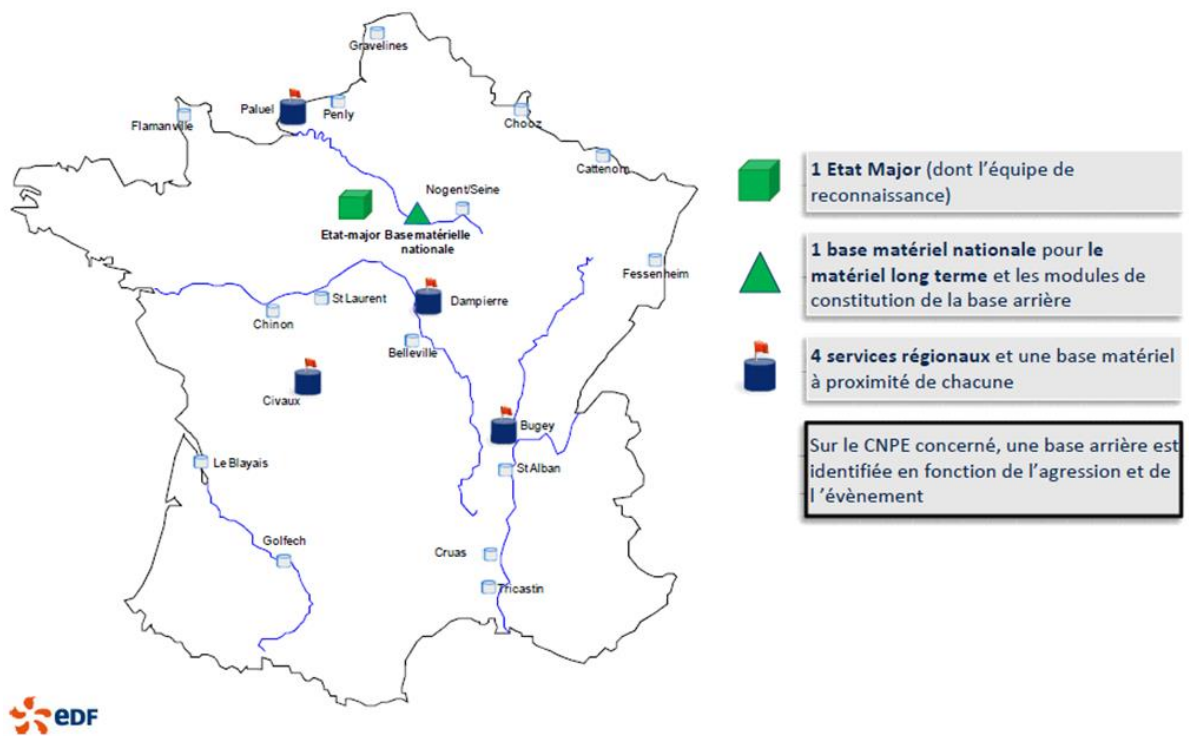


Figure 3 : les implantations de la FARN

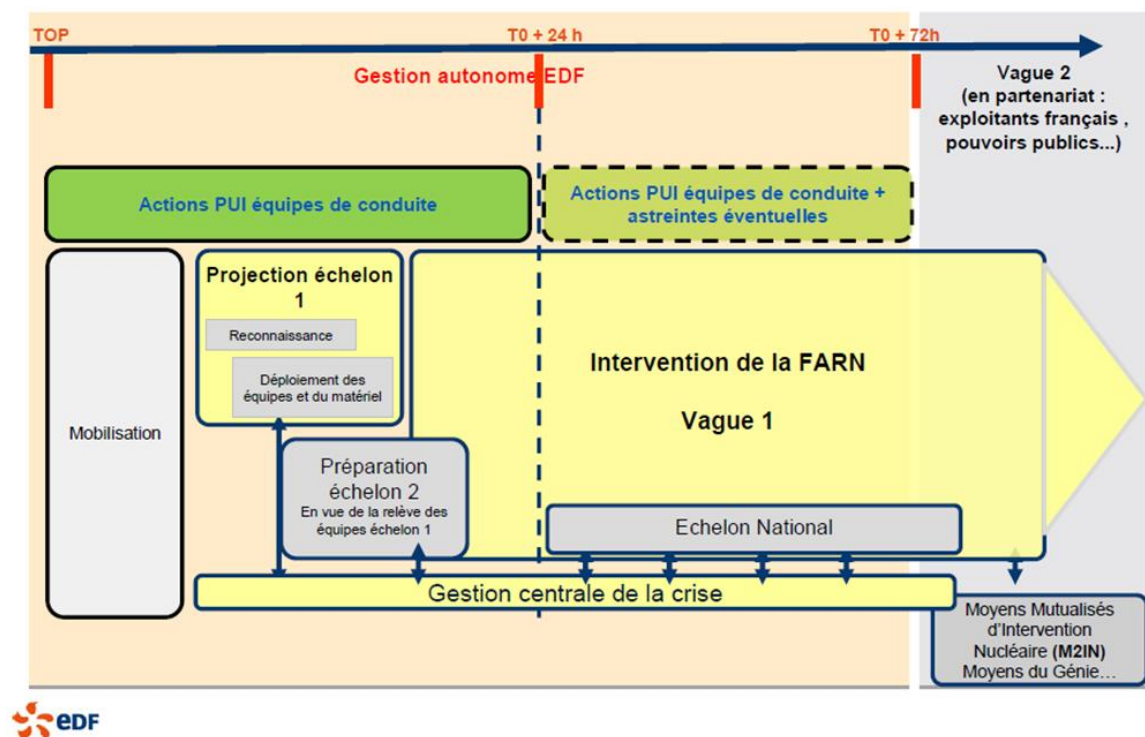


Figure 4 : schéma d'intervention de la FARN

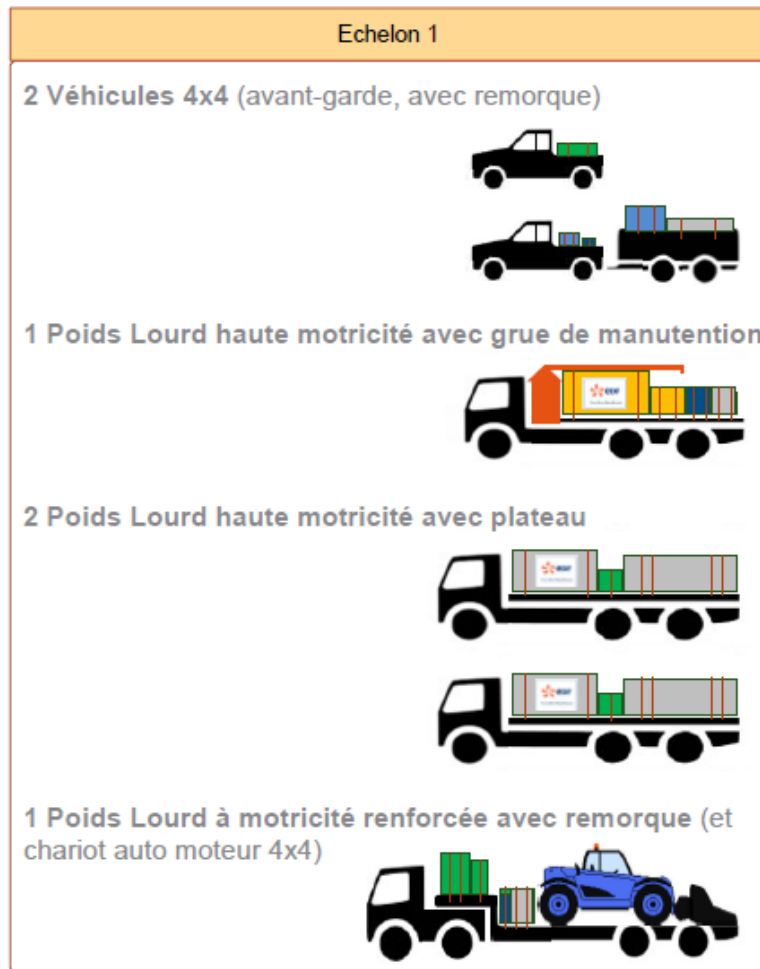


Figure 5 : composition d'une colonne de la FARN

### 7.3 Création d'un noyau dur

#### 7.3.1 Les objectifs :

Dans sa note Ref 7 l'IRSN résume : « En définitive, le noyau dur constitue un filet ultime, que ce soit en termes de prévention de la fusion du combustible ou de limitation de ses conséquences, au regard des risques de perte de sources de refroidissement et d'alimentation électrique, dans des situations extrêmes hypothétiques allant significativement au-delà de ce qui était considéré jusqu'alors. »

Dans une présentation EDF intitulée « Plan d'actions post-Fukushima » du 06 octobre 2016 au HCTISN (Haut Comité pour la Transparence et l'Information sur la Sécurité Nucléaire), EDF indique que suite aux ECS, EDF s'était fixé pour objectif fondamental d' « éviter les rejets massifs et les effets durables dans l'environnement » et plus généralement, pour les réacteurs existants, tendre vers les objectifs de sûreté des réacteurs de 3<sup>ème</sup> génération » (l'EPR).

#### 7.3.2 Les dispositifs prévus :

La note IRSN Ref 7 liste les principaux dispositifs prévus du point de vue matériel pour le noyau dur relatif à chaque installation :

- Un système ultime d'alimentation de secours des GV (ASGu en abrégé) permettant l'évacuation de la puissance résiduelle par les générateurs de vapeur (GV),

- Un système ultime permettant l'évacuation de la puissance résiduelle de l'enceinte (EASu) afin d'éviter sa mise en surpression, complété par un système en permettant le refroidissement (SFu),
- Une pompe dite « noyau dur » permettant d'injecter de l'eau borée dans le circuit primaire pour maîtriser la réactivité et, si nécessaire, d'assurer la recirculation du fluide primaire dans le bâtiment du réacteur (cette pompe contribue alors au fonctionnement de l'EASu),
- Un appoint ultime en eau permettant de réalimenter la piscine de désactivation des éléments combustibles et les réserves d'eau nécessaires aux systèmes de refroidissement du circuit primaire (SEu),
- Un groupe électrogène à moteur diesel d'ultime secours (DUS). Cet équipement du noyau dur est installé dans un nouveau bâtiment dédié capable de résister à toutes les agressions extrêmes prises en compte au titre du noyau dur. L'objectif de ce nouvel équipement est de faire face à des situations extrêmes de perte totale des alimentations électriques et d'alimenter l'ensemble des équipements du noyau dur,
- Un système de contrôle commande ultime (CCu).

La figure ci-après, de source EDF et tirée du document Ref 7, donne une représentation de principe du noyau dur tel qu'il est prévu à ce jour et décrit ci-dessus :

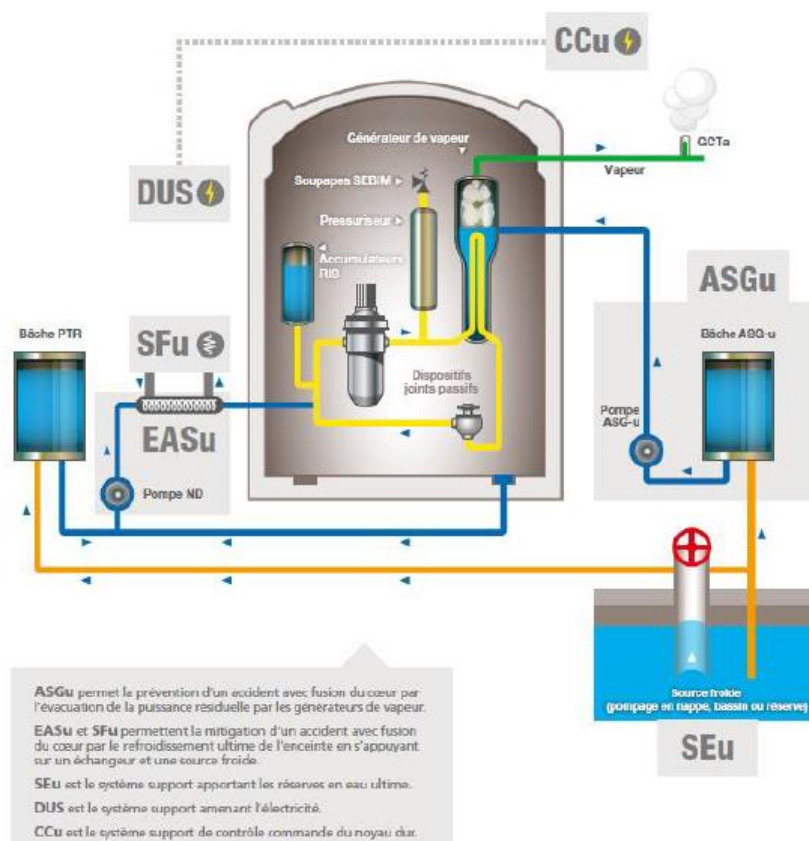


Figure 6 : principe du noyau dur

A ces systèmes prévus il convient d'ajouter les dispositions prévues par EDF pour pallier le risque de percement du radier par le corium issu de la fusion du cœur. Pour ce faire, EDF a décidé de créer une zone de récupération et d'étalement du corium sous la cuve du réacteur dans les centrales existantes dans l'esprit de ce qui est mis en œuvre sur l'EPR.

Voir ci-dessous le schéma de la modification déjà réalisée sur les deux réacteurs de Fessenheim selon le document SFEN Ref 5 :

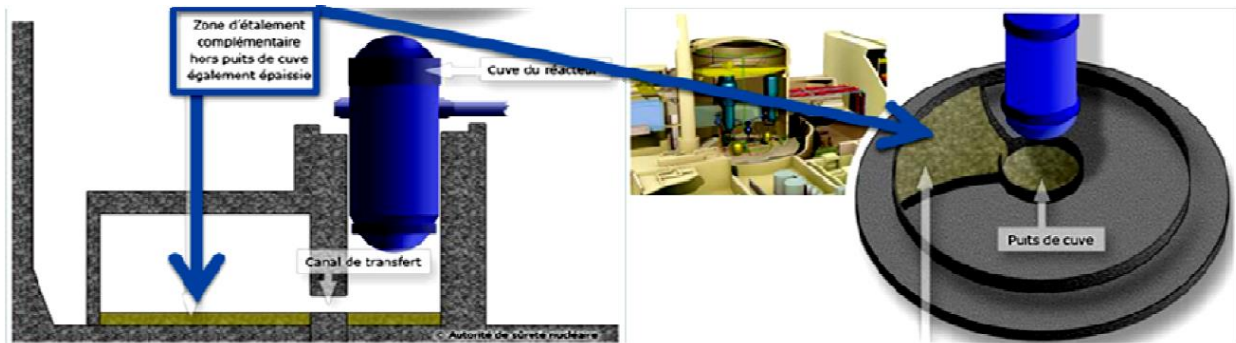


Figure 7 : modification des réacteurs de Fessenheim

Qui a visité une centrale le pressent, une telle modification n'est pas anodine et entraîne des travaux importants dans des zones contrôlées radiologiquement, encombrées et pas faciles d'accès.

De même les dispositifs figurant sur le schéma de principe du noyau dur prévu par EDF représentent également des travaux d'importance.

Ainsi le DUS (Diésel d'Ultime Secours), rappelé sur le schéma ci-dessus par sa seule abréviation représente une installation à 30 M€ comprenant notamment :

- Un bâtiment mesurant 25 m de haut, 24 m de long et 12 m de large, avec, lorsque requis comme à Belleville-sur-Loire, un premier radier d'1,40 m d'épaisseur et des plots antisismiques,
- Un groupe électrogène au moteur d'une puissance de 3,5 MW et d'une autonomie de quinze jours,
- Deux cuves de 60.000 litres de fuel intégrées dans le bâtiment.

Ci-dessous le schéma de l'installation DUS et une photo de la construction du bâtiment correspondant (source : site internet de la SFEN) :

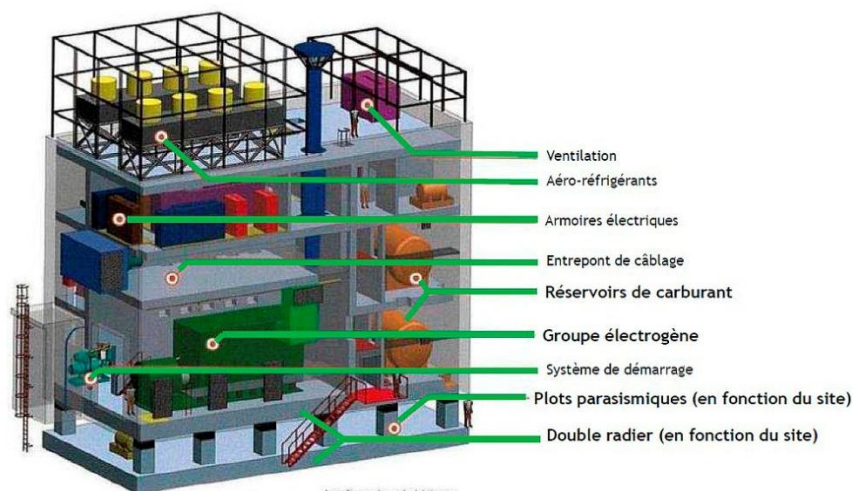


Figure 8 : schéma du bâtiment DUS



Figure 9 : bâtiment DUS

### 7.3.3 Les échéances

EDF a annoncé la mise en place progressive des mesures « post-Fukushima » sur l'ensemble du parc de réacteurs électronucléaires en renforçant à chaque phase le niveau de sûreté de ses installations. Il a ainsi prévu trois phases de déploiement :

**Phase 1 (de 2012 à 2015) :** Cette phase, maintenant terminée, comprenait les premières dispositions, matérielles et organisationnelles, permettant de faire face à des situations de perte totale de la source de refroidissement ou de perte totale des alimentations électriques. Voici quelques dispositions prises durant cette phase :

- Un dispositif mobile d'appoint en eau borée du circuit primaire pour chaque tranche de type 900 MWe,
- Un groupe électrogène supplémentaire provisoire pour chaque tranche en attente des DUS,
- La création de piquages spécifiques afin que la FARN puisse connecter et effectuer des appoints en air et en eau aux systèmes qui le nécessitent,
- La mise à disposition sur site de matériels de gestion de crise complémentaires : compresseur d'air mobile, pompe mobile d'appoint de sauvegarde, flexibles d'alimentation en eau et en air comprimé...
- Renforcement de la robustesse de certains matériels existants. Ainsi certaines batteries sont remplacées pour garantir une autonomie minimale de 2 heures, contre 1 heure requise par le référentiel alors en vigueur.

**Phase 2 (de 2015 à 2020 environ) :** Cette phase, actuellement en cours de déploiement, a pour objectif de compléter et de renforcer les moyens déployés en phase 1 par la mise en œuvre de moyens matériels et organisationnels définitifs, robustes aux agressions extrêmes, correspondant aux premiers éléments du noyau dur. Les principaux moyens matériels concernés sont :

- La mise en place et le raccordement d'un groupe électrogène à moteur diesel d'ultime secours (DUS) pour chaque tranche, tel que décrit plus haut,
- La mise en œuvre, pour chaque tranche, d'un système d'appoint ultime en eau associé à une nouvelle source d'eau. Ce nouvel équipement du noyau dur pourra, selon les sites, être effectué par exemple à partir d'un pompage en nappe phréatique ou à partir d'une réserve d'eau artificielle dédiée (bâches ou bassins),
- La mise en place de protections contre les inondations extrêmes,
- La construction et l'exploitation des nouveaux centres de crise locaux (CCL) sur certains sites, sachant que le déploiement des CCL s'étend sur les phases 2 et 3.

Ainsi comme l'écrit l'IRSN, à l'échéance de la phase 2, la robustesse des installations aura été notablement améliorée au regard des agressions extrêmes de type séisme et inondation. Par ailleurs, les dispositions mises en œuvre en phase 2 devraient permettre de renforcer la gestion des situations avec fusion du cœur.

**Phase 3 (à partir de 2019) :** A la fin de cette phase, l'ensemble des moyens déployés sur les installations permettra de couvrir les situations les plus extrêmes considérées dans le cadre des ECS et des demandes de l'ASN. L'ensemble du noyau dur sera installé et opérationnel. A priori les dispositions du noyau dur seront dans les grandes lignes celles qui ont été décrites plus avant dans la présente note. Mais les discussions avec l'ASN ne sont pas terminées comme nous avons pu le constater avec la prise de décision de l'ASN du 19 juillet 2017 qui ne sera sans doute pas la dernière. En effet le détail des dispositions sera finalement connu lors de l'aval de l'ASN sur les différents types de réacteurs. Ce qui va encore prendre du temps puisque EDF a bâti son planning de travaux sur la base des réexamens périodiques décennaux (4<sup>ème</sup> visite décennale pour les réacteurs des paliers 900 et 1300, 3<sup>ème</sup> visite décennale pour le palier N4).

#### **7.3.4 Les coûts**

Lorsque le coût d'un DUS (Diésel d'Ultime Secours) s'élève à 30 M€ et qu'il faut en attribuer un à chacun des 58 réacteurs électrogènes français on comprend que l'addition finale sera élevée. EDF indique que les dispositions complémentaires qui seront mises en place suite aux évaluations complémentaires de sûreté représenteront un investissement d'environ 10 milliards d'euros pour l'ensemble du parc nucléaire. Soit à peu près le coût prévu aujourd'hui de l'EPR de Flamanville (10,5 Mds €).

Dans le même temps EDF estime que le « grand carénage », dont l'objectif est une prolongation de la durée de vie des réacteurs jusqu'à 50 ou 60 ans, représente un investissement lissé et optimisé atteignant 51 mds € sur la période 2014-2025. Le coût des dispositions « post-Fukushima » représente donc 20 % de l'opération « grand carénage ». Mais comme EDF estime que la moitié des dispositions à prendre étaient déjà prévues au titre du « grand carénage », le surcoût effectif des dispositions « post-Fukushima » ne serait donc plus que de 5 Mds €.

## 8. Conclusion

Faut-il regretter ces dépenses supplémentaires ? Ou bien se dire que la sécurité n'a pas de prix et que c'est rassurant de savoir que, même si un improbable accident arrivait en dépit des mesures prises pour l'éviter, il n'y aurait pratiquement pas de conséquences nucléaires en dehors de la centrale.

En tout cas une chose est sûre : l'ASN, l'autorité de sûreté nucléaire française, est la plus exigeante au monde. Le 19 mai 2014, la NRC, l'autorité de sûreté américaine, a sifflé la fin des travaux de sa « task-force » d'experts mise en place aux lendemains de l'accident de Fukushima. Cf Ref 9 (6)

### Remarques :

- (1) : Les chiffres donnés dans les premiers mois évoquaient jusqu'à 25 000 morts et disparus.
- (2) : Souvent les personnes non averties attribuent à tort ce bilan à la « catastrophe nucléaire de Fukushima ». Certaines ONG ajoutent aussi près de 2000 "morts indirects", principalement dus au stress et au déplacement des populations imputables à la catastrophe nucléaire et font savoir que de nombreux cas de cancers dus aux radiations sont à attendre.
- (3) : Est-ce une conséquence indirecte ? Il n'est pas exclu que le candidat Hollande ait pensé, vu le désarroi du public à ce moment-là, qu'une telle proposition de mesure lui serait favorable pour l'élection présidentielle.
- (4) : Pourtant l'existence d'un tsunami d'une telle importance était historiquement connue.
- (5) : Et non 800 personnes comme indiqué dans le document SFEN Ref 5
- (6) : « L'ASN a présenté le 31 juillet 2014 devant la Commission de l'Autorité de sûreté américaine (US NRC) les exigences définies en France afin de prendre en compte les enseignements de l'accident de Fukushima Daiichi » voir la présentation en anglais sur le site de l'ASN.

### Références :

Ref 1 : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Accident\\_nucléaire\\_de\\_Fukushima](https://fr.wikipedia.org/wiki/Accident_nucléaire_de_Fukushima)

Ref 2 : [http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations\\_nucleaires/Les-accidents-nucleaires/accident-fukushima-2011/Pages/sommaire.aspx](http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/Les-accidents-nucleaires/accident-fukushima-2011/Pages/sommaire.aspx)

Ref 3 : Publication SFEN de mars 2017 : « Fukushima 2017 Etat des lieux et perspectives »

Ref 4 : <https://www.asn.fr/L-ASN/Appuis-techniques-de-l-ASN/Les-groupes-permanents-d-experts/Groupe-permanent-d-experts-pour-les-reacteurs-nucleaires-GPR/Seance-des-8-9-10-novembre-2011>

Ref\_5 : [http://www.sfen.org/sites/default/files/public/atoms/files/le\\_grand\\_carenage\\_du\\_parc\\_nucleaire\\_d27edf.pdf](http://www.sfen.org/sites/default/files/public/atoms/files/le_grand_carenage_du_parc_nucleaire_d27edf.pdf):

Ref 6 : Décision ASN CODEP-DCN-2017-014451 du 19 juillet 2017

Ref 7 : [http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations\\_nucleaires/Les-accidents-nucleaires/accident-fukushima-2011/fukushima-2016/Pages/7\\_lecon-France-fukushima-2016.aspx](http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/Les-accidents-nucleaires/accident-fukushima-2011/fukushima-2016/Pages/7_lecon-France-fukushima-2016.aspx)

Ref 8 : Présentation EDF de la force d'action rapide - Séminaire ANCCLI-IRSN des 18 et 19 juin 2013

Ref 9 : <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/commission/srm/2013/2013-0132srm.pdf>