



LES RÉACTEURS NUCLÉAIRES RÉSISTERAIENT-ILS EN CAS DE SÉISME ?

La France métropolitaine n'est pas aussi exposée au risque sismique que le Japon mais le tremblement de terre survenu près du Teil, le 11 novembre 2019, est venu rappeler la réalité du danger. La relative proximité de la centrale nucléaire de Cruas (une douzaine de km au nord) et du site nucléaire du Tricastin (une vingtaine de km au sud) a réactivé les interrogations sur la résistance réelle de ces installations à risque.

En théorie, des études spécifiques définissent, pour chaque site nucléaire et avec des marges suffisantes, le **Séisme Majoré de Sécurité (SMS)**. Tous les bâtiments et équipements importants pour la sûreté doivent ensuite être conçus, fabriqués, installés et entretenus de façon à y résister. Cette présentation rassurante doit être confrontée à deux axes de questionnement.

Le premier concerne la détermination du niveau de risque à prendre en référence. Schématiquement, la méthode¹ consiste à estimer d'abord le **Séisme Maximum Historiquement Vraisemblable (SMHV)**, basé sur le séisme (connu)² le plus important survenu dans la région depuis environ 1 000 ans ; à majorer ensuite le résultat d'un demi-point de magnitude et d'un point d'intensité pour tenir compte des incertitudes pour obtenir ainsi le Séisme Majoré de Sécurité. Cela n'a rien de simple car les incertitudes sont nombreuses et les connaissances en évolution constante (les effets de site commencent juste à être étudiés et des controverses se développent sur l'impact de certaines activités humaines comme la géothermie).

Le second axe, traité dans le présent article, porte sur le respect effectif des prescriptions réglementaires et des spécifications techniques : dès lors qu'un SMS est défini, la population a-t-elle la garantie que les installations sont réellement conformes à ce niveau d'exigence et effectivement capables d'y résister ? Si ce n'est pas le cas, un tremblement de terre de magnitude inférieure au SMS, voire même au SMHV, pourrait provoquer des dommages considérables, voire même conduire à l'accident majeur. La question est donc cruciale.

Assurer l'alimentation en électricité !

A la centrale nucléaire de Fukushima Daïchi, le séisme a provoqué les premières destructions, la perte de toutes les alimentations électriques externes et l'arrêt automatique des réacteurs 1, 2 et 3 alors en fonctionnement. Les 12 groupes électrogènes de secours (2 par réacteur) ont démarré sans difficulté et ont permis la mise en route des systèmes de refroidissement de secours, indispensables pour éviter la fusion du combustible nucléaire accumulé dans les réacteurs et les piscines de stockage. Moins d'une heure plus tard, un tsunami déferlait sur le site, l'eau envahissait les sous-sols, noyant pompes, groupes électrogènes, tableaux électriques et batteries. Certains ont considéré que la France n'était pas vraiment concernée, que le problème venait du tsunami, pas du tremblement de terre.

Nous allons voir qu'en cas de séisme, nous n'avons pas la certitude que les groupes électrogènes de secours démarrent et qu'il n'est pas besoin d'un tsunami pour être confronté à une inondation.

1. Cf. la Règle fondamentale de sûreté du 31/05/2001 (RFS-I.1.c.) : détermination du risque sismique pour la sûreté des installations nucléaires de base de surface.

2. Le plus souvent, il n'y a pas de mesures pour les séismes historiques : leur profondeur et leur magnitude sont estimées en fonction des observations de terrain, des archives et de calculs assortis d'hypothèses.

Les Générateurs Électriques de Secours (GES)

L'alimentation en électricité d'un réacteur nucléaire doit être assurée en toutes circonstances. En cas de perte des sources externes, des dispositifs internes de secours doivent prendre automatiquement le relais et permettre le maintien des fonctions essentielles de sûreté, en particulier le refroidissement des assemblages de combustible nucléaire contenus dans le cœur du réacteur et dans les piscines de stockage.

En France, les réacteurs nucléaires sont équipés pour cela de 2 Groupes Électrogènes de Secours à moteur diesel, désignés sous l'acronyme GES. Il s'agit d'équipements puissants et redondants puisqu'un seul GES suffit pour alimenter tous les systèmes de sûreté du réacteur. Ils doivent évidemment être dimensionnés pour résister aux agressions externes et en particulier aux tremblements de terre qui pourraient justement provoquer une perte totale d'alimentation externe.

La lecture des textes réglementaires et des prescriptions techniques donne une image relativement rassurante des performances de ces GES mais l'analyse des déclarations d'incident d'EDF révèle une réalité autrement inquiétante.

La réalité du terrain

Tout commence le 27 mars 2017 à la centrale nucléaire de **Golfech** où le réacteur n°2 est à l'arrêt pour rechargement en combustible et maintenance. L'un des opérateurs constate que les **charpentes** métalliques qui supportent les vases d'expansion des circuits de refroidissement des GES ne sont pas conformes aux plans. Le problème est sérieux et remonte aux services centraux d'EDF. Étendues à l'ensemble des réacteurs 1 300 MWe, les vérifications montrent au final que des défauts affectent les supports des vases d'expansion des 2 GES de 9 réacteurs³. Du coup, leur résistance au séisme ne peut être démontrée, et pas seulement pour le SMS, y compris au niveau inférieur du SMHV.

Centrale nucléaire de Cruas-Meysses : l'accélération détectée par l'un des capteurs du site a déclenché la procédure d'arrêt des 4 réacteurs pour vérification de l'impact du séisme du 11/11/2019.



Entre-temps, un autre problème, plus grave, a été identifié : en travaillant sur le défaut de fabrication des charpentes, les services d'EDF découvrent que les chevilles qui assurent leur **ancrage** à la dalle en béton du toit du bâtiment Diésel ont été mal calibrées. Le système est mal conçu et ne résisterait pas au SMS. Il ne s'agit plus d'un problème de fabrication mais de conception et il pourrait bien être générique. Au fil des contrôles, il apparaît que le problème concerne les 12 réacteurs 1 300 MWe du palier P'4. Le 28 avril, EDF fait donc une déclaration d'Événement Significatif pour la Sûreté (ESS)⁴

3. Le réacteur n°2 de Golfech 1, et tous les réacteurs de Paluel, Flamanville et Penly.
4. Ces « événements » sont en réalité des « incidents ou accidents présentant une importance particulière du fait de leurs conséquences réelles ou potentielles sur la sûreté de l'installation.



générique pour les réacteurs des centrales de Golfech, Belleville, Cattenom, Nogent et Penly. Dès le mois de juin, il faut ajouter le palier P4 : les 20 réacteurs de 1300 MWe sont touchés. Nouveau rebondissement le 13 octobre 2017, EDF déclare à l'ASN que 4 réacteurs 900 MWe sont également concernés (les 2 réacteurs de Fessenheim et les réacteurs 2 et 5 de Bugey), avant de reconnaître début 2018 que les 4 réacteurs de Bugey sont affectés. Au final 26 réacteurs nucléaires étaient donc dépourvus d'un dispositif de protection vital en cas de séisme de magnitude inférieure au SMS, voire au SMHV, alors que cette possibilité est censée être totalement exclue !

En juillet 2017, les investigations conduites à **Penly** montrent en outre que les **vases d'expansion** eux-mêmes (et non plus leur charpente) ne résisteraient pas aux secousses. Cette fois à cause d'un problème de corrosion ! Et, là encore, il ne s'agit pas d'un défaut de contrôle isolé : EDF découvre que le problème concerne 7 réacteurs avec un classement en niveau 2 sur l'échelle INES pour Paluel dont les 2 GES sont touchés. Les vases d'expansion, dont la corrosion est si avancée qu'elle affecte leur résistance au séisme, sont réparés ou remplacés en urgence entre août et octobre 2017.

Les contrôles révèlent par ailleurs que les vases d'expansion (avec leurs problèmes d'ancrage, de charpente et de corrosion) ne sont pas les seuls équipements **auxiliaires** des GES à présenter des « défauts de tenue aux séismes ». L'histoire commence cette fois à la centrale de **Paluel** : lors d'une opération de maintenance, un défaut est constaté sur l'ancrage d'une pompe de circulation d'huile d'un des 2 diesels de secours du réacteur n°3. Il s'avère, au final que la profondeur des fixations est insuffisante sur une dizaine d'équipements auxiliaires (chacun indispensable au bon fonctionnement du GES) ! Compte tenu de la gravité des conséquences potentielles, EDF décide le renforcement en urgence de toutes ces fixations sur ses 20 réacteurs 1 300 MWe, sans même attendre le résultat des contrôles. **N'en jetez plus, la coupe est pleine !**

A la recherche d'explications

Tous ces défauts de conformité sont des violations d'une exigence réglementaire ou technique destinée à garantir la sûreté de l'installation. Souvent génériques, ils affectent aussi bien la conception des équipements, que leur réalisation et leur entretien. Comment ont-ils pu survenir ? À quelle date ? Pourquoi n'ont-ils pas été détectés plus tôt ?

Défauts de conception : s'agit-il d'erreurs dans les calculs (mais tout est censé être vérifié et plutôt deux fois qu'une) ? A-t-on oublié d'intégrer de nouvelles données qui changent les évaluations ?

Défauts de réalisation : pourquoi n'ont-ils pas été détectés lors de la réception des travaux ? À défaut, lors des contrôles périodiques ou des vérifications approfondies des visites décennales ?

Problèmes d'entretien : la corrosion n'est pas un phénomène instantané. Qu'elle progresse au point de mettre en péril la résistance de l'équipement démontre un sérieux problème de surveillance, peu compatible avec la politique affichée de « maintenance préventive ». On est clairement dans le curatif, et le malade est déjà bien atteint ! Comment est-ce possible pour des équipements aussi cruciaux en cas de crise ? Est-ce que les marques de vieillissement n'ont pas été détectées ? Détectées mais pas traitées suffisamment tôt, économie oblige ?

Le 12/09/2018, la CRIIRAD avait adressé un courrier détaillé à EDF car ni ses communiqués ou déclarations d'ESS, ni les documents d'information de l'ASN ne répondaient à ses interrogations. **Les réponses, pour une fois assez substantielles, n'ont rien de rassurant.**

Concernant les montages non conformes aux plans : « l'origine de ces différences qui peuvent dater de la construction des réacteurs (hypothèse difficilement vérifiable) n'a pas pu être déterminée » (sic !). EDF confirme que « le contrôle de cohérence au plan de conception fait partie des vérifications réalisées sur les charpentes ». Si l'anomalie n'a pas été détectée c'est que les charpentes métalliques n'étaient pas mentionnées dans les documents listant les éléments à suivre au titre de la maintenance préventive !



Centrale nucléaire du Tricastin : les vérifications post-Fukushima ont révélé que la digue ne résisterait pas (sur 400 m !) à un SMS

Même explication pour la corrosion des charpentes : elle aurait dû être détectée « avant qu'elle ne présente une nocivité vis-à-vis de leur tenue au séisme », mais les charpentes ont, elles aussi, été oubliées dans la liste des contrôles à effectuer. Il a fallu attendre des années, voire des décennies, qu'un opérateur un peu plus vigilant, ne se contente pas des vérifications listées dans un formulaire. À quoi tient la sûreté !

Concernant le mauvais calibrage des chevilles de fixation, « la justification historique des ancrages installés n'ayant pas été retrouvée », il est impossible de savoir s'il s'agit « d'erreurs dans le calcul initial » ou d'un « mauvais report » des spécifications dans les plans (ou d'une autre hypothèse). Selon EDF, le fait que les ancrages, en dépit de leur importance, ne soient pas cités « explicitement » dans le paragraphe des prescriptions techniques associées à la tenue au séisme a probablement contribué à l'absence de documentation sur les calculs qui avaient été réalisés.

Et pour finir l'explication sur le défaut de détection de la corrosion des vases d'expansion : dans les années 90, pour prendre en compte les exigences du référentiel « grand froid », ils ont été entourés d'une protection calorifuge. Personne n'a alors songé que des phénomènes de corrosion pouvaient se développer sous le calorifuge et les prescriptions du programme de maintenance ne prévoyaient donc pas la dépose de cette protection pour constater l'état réel de l'équipement. CQFD.

Une telle légèreté est alarmante pour des équipements dont l'importance est capitale en cas de séisme. D'autant plus que le fonctionnement des turbo-alternateurs de secours (alimentés par la vapeur des GV) n'est pas non plus garanti du fait d'un défaut de conformité générique portant sur la ventilation ! Le problème a été identifié par EDF en 2012 et déclaré générique en 2014 (tous les réacteurs sont touchés). L'IRSN recommandait de régler le problème avant fin 2018 mais l'échéancier accepté par l'ASN s'échelonne finalement jusqu'à fin 2021.

En résumé, des années durant, contrairement aux affirmations, et sans doute aux convictions, des exploitants et des autorités de contrôle, rien ne garantissait qu'après un séisme inférieur au SMS, parfois même au SMHV, les GES auraient pu alimenter les systèmes de sûreté du réacteur et les autres dispositifs de secours n'auraient probablement pas été utilisables.

Après l'électricité, l'eau de refroidissement

Tout commence cette fois à la centrale nucléaire de **Belleville**. En juin 2017, un suintement est constaté sur une soudure de la tuyauterie JPP qui alimente en eau le réseau d'extinction d'incendie du réacteur n°2. Des contrôles d'épaisseur sont réalisés et révèlent d'importants problèmes de corrosion : la dégradation est telle que la tenue au séisme n'est plus garantie ! La rupture de la tuyauterie pourrait inonder les deux voies par des problèmes de corrosion généralisée (JPP mais aussi CFI et SFI) et 29 réacteurs sont concernés ! Pour 20 réacteurs⁵, la situation est particulièrement grave : l'inondation de la station de pompage mettrait hors service les pompes du circuit d'eau brute secourue et provoquerait une **perte totale de la source d'eau froide**, les 2 voies d'alimentation étant touchées ! Réparations provisoires en attendant le remplacement des pièces, mesures compensatoires, l'exploitant essaie de parer au plus pressé, pour sécuriser au plus vite les réacteurs. Le 10 octobre 2017, il déclare à l'ASN un ESS générique qu'il classe d'emblée au niveau 2 de l'échelle INES, reconnaissant ainsi des défaillances importantes en matière de sûreté. Le classement est confirmé le 16 octobre par l'ASN.

Pour bien prendre la mesure de la situation, rappelons que la perte d'eau froide consécutive à une inondation est l'un des retours d'expérience majeurs de la catastrophe de Fukushima. En 2012, l'ASN avait prescrit à EDF de lui présenter (avant fin 2013) les travaux à réaliser (avant fin 2017) pour renforcer, au-delà de ce qui était alors exigé, la protection des installations contre le risque d'inondation. La demande visait explicitement une « inondation induite par la défaillance d'équipements internes au site sous l'effet du séisme ». On attend un renforcement des dispositifs existants et on découvre qu'ils ne sont même pas aux normes !

Un scénario catastrophe

Pas moins de **10 réacteurs** nucléaires cumulaient les problèmes sur les groupes électrogènes et sur les tuyauteries de la station de pompage. En cas de séisme, ils pouvaient être confrontés à la perte totale de l'alimentation électrique **ET** de la source d'eau froide. Ce scénario catastrophe aurait pu se dérouler sur plusieurs réacteurs sur la même centrale : les 2 réacteurs de Belleville, de Golfech et de Nogent-sur-Seine, les 4 réacteurs de Cattenom !

Et ce ne sont pas les seuls équipements concernés par les défauts de tenue au séisme !



Crédit photo : André PARIS

Nogent-sur-Seine : l'une des 4 centrales nucléaires où un séisme aurait pu provoquer simultanément une perte totale d'électricité et d'eau de refroidissement

5. Les 2 réacteurs de Belleville, Golfech, Nogent-sur-Seine et St-Laurent-des-Eaux, les 4 réacteurs de Cattenom et de Dampierre, les réacteurs B3 et B4 de Chinon et 1 et 4 de Cruas.

Des découvertes sans fin...

Étant donné la redondance des systèmes de protection, on peut se dire qu'il faudrait toute une série de défaillances simultanées, et peu probables, pour que l'accident survienne. En cas de séisme, la situation est toute autre : la même cause va impacter tous les équipements, principaux ou auxiliaires, affectés par un défaut de conformité qui les rend incapables de résister à des secousses dont la violence est pourtant inférieure au SMS, voire au SMHV. Cette avalanche de dysfonctionnements, qui peuvent en outre entrer en synergie, est d'autant plus inquiétante qu'elle n'est pas prévue dans les procédures, tous ces équipements devant théoriquement résister.

Pour ne prendre que les années les plus récentes, des défauts de tenue au séisme ont notamment été annoncés sur le circuit de refroidissement intermédiaire de 10 réacteurs, sur le circuit d'alimentation en eau brute de 11 réacteurs, sur les vannes des systèmes de ventilation et de surveillance atmosphérique de 52 réacteurs, sur le circuit de production d'eau glacée de 28 réacteurs, sur les tuyauteries des réservoirs d'eau borée, etc. Sans compter les défauts de tenue au séisme liés à des sous-épaisseurs de soudures ou à des erreurs de conception (comme l'ancrage de tuyauteries sur 2 bâtiments différents).

Ajoutons à cela le dossier des **couples cibles/agresseurs**. Après la catastrophe de Fukushima, les autorités françaises ont pris conscience d'un risque totalement ignoré jusqu'alors : en cas de séisme, des équipements secondaires peuvent endommager des équipements importants pour la sûreté, qui sont dimensionnés pour résister aux secousses mais ne sont pas protégés de ces effets collatéraux ! Branle-bas de combat en 2012 : l'ASN demande aux exploitants de recenser tous ces couples cibles/agresseurs et de mettre en place des parades. Les années passent et des lacunes continuent d'apparaître dans le recensement des configurations à risque. En novembre 2018, par exemple, EDF fait une nouvelle déclaration d'ESS générique, cette fois pour des passerelles métalliques qui pourraient détériorer des tuyauteries essentielles pour le fonctionnement des générateurs de vapeur sur 15 réacteurs nucléaires de 1300 MWe.

Quant aux difficultés des Groupes Électrogènes de Secours, elles semblent sans fin. Le 14 décembre 2018, à Creys-Malville, **Superphénix** perd la totalité de ses alimentations électriques et les GES ne démarrent pas ! Il faudra attendre l'intervention manuelle d'opérateurs du site. En octobre 2018, EDF découvre un nouveau motif d'inquiétude, cette fois sur 2 réacteurs du Tricastin : en cas de séisme, des éléments de génie civil pourraient provoquer la rupture des **tuyauteries** qui alimentent les GES en fioul, huile, eau... et les mettre hors service. En 2019, on recense 26 réacteurs affectés. Sur les 12 réacteurs des centrales de Gravelines, Paluel et Civaux, ce sont les tuyauteries des 2 GES qui sont concernées, ce qui justifie le classement de l'ESS au niveau 2 de l'échelle INES. L'information est à peine publiée qu'EDF annonce que des **câbles** d'alimentation électriques des GES pourraient également être sectionnés en cas de séisme, pour les mêmes raisons que les tuyauteries⁶. En mars 2019, on compte **37 réacteurs** concernés par le défaut de tenue au séisme d'équipements indispensables au fonctionnement des GES ; en mai 2019, EDF annonce que les problèmes d'ancrage affectent 3 autres types d'auxiliaires (alternateur, pupitre de commande et aérofrigoriférants) des 6 réacteurs de Bugey et Fessenheim. En attendant la suite...

Sans oublier l'erreur humaine !

L'incident très sérieux survenu le 8 octobre 2019 à la centrale nucléaire de **Golfech** est venu rappeler le risque d'erreur et de mauvaise décision. Il s'est produit au cours d'une opération de routine (la vidange partielle du circuit primaire, avant ouverture de

6. ESS de niveau 2 pour les 2 réacteurs de la centrale nucléaire de St-Laurent-des-Eaux, de niveau 1 pour les 4 réacteurs de Chinon



la cuve pour renouvellement du combustible) et malgré la surveillance renforcée de l'exploitant. Une première erreur a conduit à laisser fermé l'événement du pressuriseur (qui devait impérativement être ouvert) ; une seconde erreur a rendu indisponible un capteur de niveau d'eau de la cuve, rendant plus difficile la détection du premier problème. L'opération de vidange s'est poursuivie pendant 8 heures (avec désactivation de dispositifs de sauvegarde qui, du coup, n'auraient pas dû l'être) avant que l'exploitant ne réalise le problème et ne prenne précipitamment la décision d'ouvrir l'événement... en violation des spécifications techniques qui stipulaient de commencer par rétablir le niveau d'eau ! Grâce au système d'injection de sécurité, le pire a été évité mais la dégradation des fonctions de sûreté, la gravité des conséquences potentielles et les défauts de gestion ont conduit l'ASN à classer l'incident au niveau 2 de l'échelle INES.

Ces dysfonctionnements se sont produits dans une phase de fonctionnement normal, mais la survenue de secousses sismiques aurait pu rendre leur gestion bien plus complexe. Surtout, en cas de tremblement de terre mettant HS toute une série d'équipements essentiels à la sûreté, le risque de survenue d'erreurs humaines et de décisions funestes, ne respectant pas les procédures ou liées à l'absence de procédures adaptées, serait évidemment bien plus important.

En conclusion

Confrontée aux constats récurrents de non-tenue au séisme de ses équipements, EDF insiste sur les moyens déployés pour vérifier toutes les installations, sur la rapidité des réparations et sur le fait, surtout, que les défauts de conformité sont restés sans conséquence pour la population. Si tel est le cas toutefois, c'est seulement parce que nous avons eu de la chance, parce qu'aucun séisme notable n'est intervenu tout au long des années, voire des décennies où les équipements n'étaient pas conformes.

Et l'histoire est sans fin : d'un côté les problèmes liés au vieillissement des installations, de l'autre les anomalies détectées sur les équipements neufs, liés aux pertes de savoir-faire et aux défauts de surveillance. Un dernier exemple à ce propos : en 2019, au cours de la visite décennale du réacteur n°2 de Flamanville, des travaux (d'amélioration) ont concerné le système de fixation des cabines de plusieurs transformateurs électriques. Premier problème : les contrôles de fin de travaux ont montré qu'ils n'étaient pas conformes et ne résisteraient même pas à un SMHV. Deuxième problème : l'année précédente, le réacteur n°1 avait connu les mêmes travaux, générant les mêmes défauts... sans qu'ils soient détectés ! Les recommandations « réitérées » de l'ASN et de l'IRSN sur l'importance du contrôle, en réponse aux écarts « récurrents » constatés sur les équipements critiques comme les GES sonnent comme autant d'aveux d'impuissance.

Le 26 juin 2012, sur la base des conclusions des évaluations complémentaires de sûreté post-Fukushima, l'ASN avait prescrit à EDF de mettre en place au plus tôt, et en tout cas avant fin 2018, un système de secours électrique supplémentaire : les « diesels d'ultime secours » (DUS). EDF a indiqué en 2017, puis confirmé en 2018, qu'elle ne pouvait pas satisfaire cette échéance et demandé un report à fin 2020. L'ASN a accepté mais demandé en compensation des actions destinées à améliorer la fiabilité des sources électriques existantes, et notamment des GES, avec des contrôles in situ de leur conformité. Espérons que ces énièmes contrôles soient efficaces, que rien ne survienne avant la mise en service des DUS et que ces nouveaux équipements soient eux-mêmes exempts de défauts et résistent effectivement à des événements extrêmes. **Le passé et le présent n'invitent pas à l'optimisme. Le risque de séisme pèse sur la France comme une épée de Damoclès.**

Rédaction du dossier : Corinne CASTANIER