

## **PRISE EN COMPTE DU RISQUE SISMIQUE DANS LES INSTALLATIONS NUCLÉAIRES**

En 2002, au lendemain des tremblements de terre enregistrés en Italie, une campagne de désinformation a été lancée par l'association "Sortir du Nucléaire" et abondamment relayée par les médias.

Le but était d'affoler le public en lui faisant croire qu'un grand nombre de Centrales Nucléaires françaises ne résisteraient pas à un séisme. M. André-Claude Lacoste, responsable de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN)<sup>1</sup>, opposait immédiatement un démenti formel.

Les événements graves survenus au Japon en mars 2011 (séisme de Tohoku-oki de magnitude 9,1) ont confirmé la bonne tenue des réacteurs nucléaires à un tremblement de terre de magnitude exceptionnelle mais ont mis en évidence des dégâts collatéraux créés par le tsunami généré par ce tremblement, mettant hors service tous les moyens de refroidissement des réacteurs.

La présente fiche apporte des précisions sur le sérieux et la fiabilité des dispositions **parasismiques** mises en œuvre dans les Installations Nucléaires. Elle pourra être complétée à la lumière des tests en cours menés par l'Autorité de Sûreté pour examiner les risques collatéraux susceptibles de toucher chaque installation ou réacteur dans les cas d'événements extrêmes.

### **1. INTRODUCTION**

Parmi les risques naturels, le séisme est retenu dans toutes les études de sûreté des installations à risques spéciaux dont font partie les Installations Nucléaires de Base (INB).

Si la sismicité dans le territoire français est modérée voire faible dans la plupart des régions, il existe néanmoins une activité sismique permanente, en particulier autour du bassin méditerranéen où le séisme survenu à LAMBESC (Bouches-du-Rhône), au début du 20<sup>ème</sup> siècle, a laissé un souvenir vivace.

Tout habitant a ressenti à un moment ou à un autre des vibrations du sol et qui n'a pas entendu parler de séisme? Il est donc logique de s'interroger sur la manière dont le phénomène est pris en compte sur les sites industriels nucléaires ou sur les Centres d'études.

Un effort important d'information a été mené depuis une dizaine d'années, à la suite de la prise en compte des remarques concernant le centre d'études de Cadarache (cf. annexe) faites par les autorités de sûreté. Les principaux documents d'information sont rappelés en référence.

La présente fiche se veut donc plus informative qu'exhaustive et reprend les éléments de base nécessaires à la compréhension des séismes et de leur impact.

### **2. QUELLES SONT LES CAUSES D'UN SÉISME ET A QUOI CORRESPOND-IL ?**

L'idée de la dérive des continents, et sa formalisation scientifique sous la forme de la tectonique des plaques, expliquent la carte géographique du monde telle que nous la connaissons de nos jours.

Cette théorie implique que le mouvement des plaques de la croûte terrestre, démarré il y a au moins deux milliards d'années, se poursuit actuellement.

Ainsi, pour la région méditerranéenne, le rapprochement entre les plaques africaine et eurasiennne s'effectue de nos jours à une vitesse de l'ordre de 1 cm par an. Les forces s'exercent de manière continue ; mais, comme dans tout glissement, des points de résistance apparaissent localement, des contraintes peuvent être accumulées pendant des décennies voire pendant des millénaires.

Le séisme est le résultat du relâchement brutal des contraintes. L'énergie libérée peut alors être considérable.

<sup>1</sup> Dépendant des Ministères de l'Environnement, de la Santé et de l'Industrie

### 3. COMMENT SE MANIFESTE L'ÉNERGIE LIBÉRÉE ? ONDES SISMIQUES

L'essentiel de l'énergie libérée au foyer de la secousse est dissipée dans la création de fractures ou de déformations des couches géologiques, ou encore par échauffement des sols dans la zone de déplacement. Une faible partie est émise sous forme d'ondes, c'est-à-dire, de mouvements vibratoires du sol, qui sont transmises depuis le point de rupture jusqu'à la surface de la terre.

Inventée par RICHTER, la notion de magnitude du séisme qui s'exprime dans une échelle en degrés (*exprimée* en chiffres arabes) caractérise l'énergie libérée au point de départ (épicentre). Cette échelle est logarithmique et elle n'a donc pas de limites (ni inférieure, ni supérieure). La magnitude la plus forte jamais enregistrée depuis que ces mesures sont possibles (fin du 19<sup>ième</sup> siècle) est celle du séisme du Chili en 1960 (9,5); le tremblement de terre récent du Japon a atteint la magnitude 9,1. Lors du passage d'un point d'échelle, l'énergie développée par le séisme est multiplié par un **facteur d'environ 30**.

La propagation du mouvement dans le sol a lieu de la même manière que le son dans l'air ou comme les ronds observés autour du point d'impact d'une pierre à la surface d'un plan d'eau, à ceci près qu'en plus des ondes de compression observées dans l'eau, il existe également dans le sol des ondes dites de cisaillement, qui se propagent plus lentement et dont l'amplitude est souvent plus forte que celle des ondes de compression.

C'est en surface du sol que nous pouvons constater ce mouvement vibratoire dans notre vécu (déplacements de petits objets, balancement des lustres, sensation de perte d'équilibre) et que peuvent être effectuées observations et mesures. Les épisodes catastrophiques avec morts, blessés et destruction de bâtiments entrent dans notre histoire. L'échelle d'intensité (ou échelle de Mercalli ou M.S.K initiales des initiateurs de ce classement) permet une graduation des dommages, constatés localement, exprimée en chiffres romains allant de I à XII.

Ainsi, la magnitude (RICHTER) permet de quantifier l'énergie du séisme à son foyer, alors que l'intensité (MSK) permet de quantifier les effets en différents lieux.

Echelle des intensités	
I	Secousse non perceptible : la vibration se situe au-dessous du seuil de la perception humaine.
II	Secousse à peine perceptible : la secousse est ressentie par quelques individus au repos.
III	Secousse faiblement ressentie : la vibration ressemble au passage d'un camion léger.
IV	Secousse largement ressentie : la vibration est comparable à celle du passage d'un camion lourd.
V	Réveil des dormeurs : les constructions sont agitées d'un tremblement général.
VI	Frayeur : la secousse est ressentie par tous, les meubles bougent, dégâts légers.
VII	Dommages aux constructions : on observe des fissures et des chutes de cheminées.
VIII	Destruction des bâtiments : les maisons vétustes sont détruites, les autres sont endommagées.
IX	Dommages généralisés aux constructions : de nombreux monuments et maisons s'effondrent.
X	Destruction générale des bâtiments : dommages aux ponts, barrages, chemin de fer, etc.
XI	Catastrophe : les dommages sont sévères aux bâtiments bien construits, le terrain est déformé.
XII	Changement de paysage : toutes les structures sont endommagées, la topographie est changée.

## 4. ÉTAT DES CONNAISSANCES

### 4.1. OBSERVATIONS QUALITATIVES

L'échelle d'intensité convient bien à la comparaison des dommages engendrés par les séismes.

A des niveaux situés entre IX et X, sont classés les grands séismes, dont parle l'information mondiale comme, parmi les plus récents, IZMIT 1999 (Turquie, 16 000 morts), SICHUAN 2008 (Chine, plus de 20 000 morts ou disparus), ou To hoku-Okî au Japon en 2011 (environ 30 000 morts ou disparus par le tsunami généré par le séisme).

Les séismes les plus fréquents s'échelonnent entre I et V. Dans ce cas, même les constructions ordinaires ne sont pas endommagées.

Une banque de données nationales SISFRANCE est consultable par tous sur Internet. Elle contient l'ensemble des observations disponibles sur près de 6 000 événements ressentis en France depuis 1 000 ans (soit 80 000 observations locales).

En France la sismicité est plus concentrée sur plusieurs régions :

- le sud-ouest pyrénéen avec la zone montagneuse d'âge primaire et son avant-pays aux plissements d'âge tertiaire
- le sud-est alpin avec les plis alpins dans le Briançonnais et l'arrière-pays niçois, où sont à signaler en particulier les séismes de NICE 1564, MANOSQUE 1708, LAMBESC 1909 (intensité IX), QUEYRAS 1959, MIMET 1984 et ANNECY 1996, GRENOBLE (1962)
- le fossé rhénan d'âge tertiaire, les Limagnes d'Allier et de Loire
- le socle hercynien de Bretagne, Vendée, Poitou, Massif central et sud ouest des Vosges, les cœurs des bassins sédimentaires parisien et aquitain sont très peu sismiques (CAEN 1775, BORDELAIS 1769...), la Corse l'est très peu aussi.

#### 4.2. OBSERVATIONS QUANTITATIVES

Elles s'effectuent à partir de sismographes (qui, selon leur réglage, fonctionnent en vélocimètres, accéléromètres, voire en appareil de mesure des déplacements). Ils enregistrent l'évolution au cours du temps du mouvement du sol au point de mesure.

Des méthodes de calcul permettent ensuite de remonter à l'énergie libérée par le séisme, c'est-à-dire à la magnitude (RICHTER), ainsi qu'aux caractéristiques du mouvement et de la déformation à la source.

Il existe en France plusieurs réseaux de surveillance pilotés par divers organismes, par exemple d'origine universitaires ou appartenant au CNRS, basés à Strasbourg, Nice, Grenoble, Toulouse.

Le réseau du Laboratoire de Détection et de Géophysique (LDG) du CEA couvre par ailleurs toute la France et est opérationnel depuis le début des années 60. Le LDG est également de l'émission, en direction des autorités nationale, d'une alerte pour tout séisme de magnitude supérieure à 4 survenant en France (<http://www-dase.cea.fr>).

L'information sur la sismicité de la France est centralisée par le Bureau Central Sismologique Français (BCSF, <http://www.seisme.prd.fr/>).

#### 4.3. PRINCIPAUX RÉSULTATS DES ÉTUDES

Les séismes se produisent, en général, le long de failles existantes, qui peuvent être situées à des profondeurs variables. Tout le monde a entendu parler de la faille de San Andréa en Californie.

Les séismes les plus forts, bien que les plus rares, sont souvent bien documentés, et l'on commence à corrélérer, à l'aide de modèles mathématiques, les mesures et les dégâts observés.

Les séismes de faible intensité sont, en général, associés à des situations très locales. C'est le cas le plus fréquent en France. Ils ont été peu étudiés par le passé car ils nécessitent une instrumentation technique développée.

D'une manière générale, le mouvement des sols et les dégâts dépendent :

- de l'éloignement par rapport au foyer du séisme
- des caractéristiques des vibrations (amplitude, fréquence,...)
- de la manière dont elles sont propagées dans les sols. L'atténuation varie en effet avec le relief, la nature des sols et leur plasticité ; certains sont absorbants d'autres peuvent amplifier

Les conséquences en surface dépendent de la résistance des constructions et des matériaux utilisés. Les constructions qui prennent en compte le risque sismique et que l'on appelle "parasismiques" résistent aux forts séismes, comme le montre la différence des dégâts, à magnitudes égales, après les séismes de San Francisco et d'Izmit.

La construction parasismique a fait de grands progrès ces 20 dernières années.

La prise en compte de ses préconisations ainsi qu'une recherche optimale dans le choix des sites ont permis par exemple que pratiquement aucun dommage ne survienne sur les centrales nucléaires en opération au Japon au moment des séismes les plus récents, même celui de Tohoku-Okii en 2011.

Dans ce dernier cas c'est le tsunami qui a causé les dégâts observés sur les installations situées à proximité des côtes.

Enfin, malgré les progrès réalisés dans les 2 dernières décennies, une prévision même à court terme des séismes n'est pas possible.

A l'image de la prévision météorologique qui a fait d'immenses progrès avec l'introduction de modèles mathématiques et l'extension du réseau de surveillance, peut-on espérer, au moins, arriver au stade de l'alerte.

## 5. LA RÉGLEMENTATION FRANCAISE VIS A VIS DES SÉISMES

L'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) est responsable de la validation des dossiers de sûreté présentés par les exploitants nucléaires.

Dans le domaine du risque sismique, elle participe à la définition des règles fondamentales de sûreté (RFS), établies notamment dans l'objectif de contenir ou de limiter la dispersion des matières radioactives dans l'installation et dans l'environnement en cas de fort séisme.

L'exploitant de l'installation nucléaire doit ainsi :

- déterminer les séismes de référence à prendre en compte pour l'installation et en déduire le Séisme Maximum Historiquement Vraisemblable (SMHV)
- définir et positionner le Séisme Majoré de Sécurité (SMS) en majorant d'un degré l'intensité attribuée au SMHV
- calculer les accélérations auxquelles seraient soumises les installations et leur contenu
- dimensionner ou renforcer les installations de manière à ce qu'elles résistent à ces accélérations

Les règles évoluent avec l'avancement des connaissances de façon à toujours améliorer la sûreté tout en tenant mieux compte des réalités physiques et techniques (application du principe ALARA : As Low As Reasonably Achievable – (voir [fiche GASN N° 1](#)).

La dernière référence de la RFS concernant la prise en compte du risque sismique a été adoptée en 2001, elle est connue sous le nom de RFS 2001.

## 6. RISQUE DE DISPERSION DES MATIÈRES RADIOACTIVES EN CAS DE DÉGRADATION DU CONFINEMENT

Les installations nucléaires et, notamment, les centrales électronucléaires sont construites pour résister aux séismes en appliquant les règles "parasismiques" ; elles bénéficient de l'avancée technique des connaissances élaborées dans les laboratoires qui permettent notamment de faire des essais de maquettes sur tables vibrantes (CEA/Saclay).

Dans l'éventualité d'un séisme majeur, le public et l'environnement ne pourraient être affectés qu'en cas de libération de matières radioactives. Ceci supposerait une dégradation du confinement suivi de processus physiques et chimiques de transfert.

Les scénarios possibles ont fait l'objet d'investigations détaillées et des études se poursuivent pour améliorer sans cesse la pertinence et la précision des modèles physico-chimiques.

Selon le concept de la défense en profondeur, appliqué dans toutes les INB, il existe toujours au moins 3 barrières indépendantes entre les matières radioactives, l'homme et son environnement. La barrière la plus externe est le bâtiment; les autres barrières varient d'une installation à l'autre. Pour les réacteurs de puissance la barrière externe est l'enceinte de confinement.

Il faut donc examiner la résistance de chaque barrière et sa cohérence avec les autres. Il ne pourrait y avoir un transfert important hors du site que si la défaillance d'une (ou plusieurs barrières) est accompagnée ou suivie d'un incendie ou d'une explosion (chimique ou surpression).

Pour chaque INB, ces deux événements, qui ne sont pas liés spécialement au séisme, font l'objet d'analyses de sûreté approfondies qui tiennent compte de ce que les transferts des matières, radioactives ou non, se font par l'atmosphère, le sol et les eaux.

- Pour l'atmosphère, la distance et les conditions météorologiques (force et direction du vent, précipitations) sont des facteurs importants
- Les transferts par le sol sont très lents
- Pour les eaux, le temps nécessaire pour atteindre les nappes présentes, le volume de ces nappes et la nature des sols traversés sont connus et permettent de calculer dans chaque cas le facteur de dilution apporté. Un transfert significatif ne pourrait se faire que si le séisme a bouleversé l'écoulement général des eaux. Ceci suppose une intensité telle que bien d'autres dommages bien plus importants seraient causés dans la région.

## 7. CONCLUSION

Le risque sismique est géré, selon le principe de la défense en profondeur, par utilisation de barrières successives calculées pour résister au séisme majoré de sécurité (SMS) et qui s'opposent au transfert des matières radioactives.

Simultanément, on recherche les moyens qui réduisent les conséquences autant qu'il est "raisonnablement possible de les concevoir" (démarche ALARA) en prenant en compte l'avancée des connaissances.

Ceci conduit à un réexamen permanent et à une amélioration continue de la sûreté des installations. C'est la meilleure manière de répondre aux exigences croissantes et légitimes du public.

Comme dans bien d'autres domaines, on peut toujours être demandeur d'un degré supplémentaire de maîtrise du risque, mais les moyens et les mesures techniques qui peuvent être mis en place pour cela ont un coût qui doit être confronté à la réalité économique. C'est aux citoyens et aux autorités politiques qui les représentent de définir le degré de risque acceptable, ceci n'est possible que si l'information a été correctement passée et convenablement assimilée par la population.

De nombreuses centrales électro-nucléaires sont en service dans des pays où sont survenus récemment des séismes de très grande intensité (Japon en 1995 et 2011, Taiwan en 1999).

Grâce aux précautions prises dans la conception, la réalisation et l'exploitation des réacteurs, ceux-ci ont parfaitement résisté à l'onde de choc du séisme en s'arrêtant automatiquement sans subir de dommages significatifs mais le séisme de 2011 au Japon a montré qu'il faut aussi tenir compte d'événements connexes dont l'impact sur le fonctionnement des installations peut être extrêmement important tel un tsunami ou une rupture de barrage.

## 8. RÉFÉRENCES

- 1) Dossier de presse CEA du 18/04/01 La tenue aux séismes des installations de Cadarache
- 2) CLI Cadarache, rapport du groupe environnement du 11/00 Document synthétique sur les séismes
- 3) Approche de la sûreté nucléaire (chapitre 2.1) J. FAURE – IPSN
- 4) Eléments de sûreté nucléaire (chapitre 10.1) J. UBMAN – EDP/sciences

## **ANNEXE**

### **EXEMPLE D'APPLICATION PRATIQUE :**

#### **Gestion du risque sismique sur le site de Cadarache**

Pour le site de Cadarache où les expérimentations et les recherches ont été particulièrement importantes, l'application de la RFS 2001-010 intègre l'ensemble des études les plus récentes provenant de toute la communauté scientifique.

Elle prend en compte un SMS de magnitude 5,8 à environ 7 km du site, correspondant au SMHV, lui même défini à partir du séisme observé à Manosque en 1708 et auquel on attribue une magnitude de 5,3 ainsi que le paléoséisme de magnitude 7 à une distance d'environ 18 km, résultant d'une étude de tous les paléoséismes de la région (paléosismicité = étude des séismes passés, grâce aux traces qu'ils ont laissées dans les formations géologiques récentes).

Ces événements conduisent à retenir une intensité de IX pour le paléoséisme.

D'une manière générale la RFS 2001-010 n'a pas été remise en cause à la suite des événements récents.

Le Centre de Cadarache a accueilli, dès le début des années 1960, des installations du CEA construites dans bien des cas en avance sur les normes en vigueur à l'époque. C'est pourquoi la façon dont le risque a été pris en compte est traitée ici à titre d'exemple.

Le CEA procède au réexamen de la situation des installations vis-à-vis du risque sismique qui est le principal risque naturel pour le site. Cet examen comporte une mise à jour des études d'impact en cas de séisme et la définition d'actions adaptées à chaque type d'installation.

Le programme de travail du CEA dans ce domaine fait l'objet d'une information périodique à l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN).

On analyse ainsi les conséquences des séismes de référence sur chaque installation.

Deux cas de figures sont envisagés :

- les installations récentes qui doivent répondre au SMS et en plus au paléoséisme
- les installations dont la durée de vie est inférieure à 10 ans ne sont pas tenues par cette exigence mais font l'objet, en accord avec l'Autorité de Sûreté, de mesures spécifiques à chaque installation telles que :
  - une diminution de l'inventaire des matières radioactives
  - un renforcement de la tenue aux séismes par des travaux ciblés
  - éventuellement des consignes particulières d'exploitation

Bien évidemment, les installations futures, sont conçues pour pouvoir résister au SMS et au paléoséisme conformément aux règles en vigueur.