

**ASSOCIATION DES RETRAITÉS DU GROUPE CEA****GROUPE ARGUMENTAIRE SUR LE NUCLEAIRE****PRISE EN COMPTE DU RISQUE SISMIQUE DANS LES INSTALLATIONS NUCLEAIRES**

Au lendemain des récents tremblements de terre enregistrés en Italie, une campagne de désinformation a été lancée par l'association "Sortir du Nucléaire" et abondamment relayée le 4 novembre 2002, par les médias. Le but était d'affoler le public (une fois encore !) en lui faisant croire qu'un grand nombre de Centrales Nucléaires françaises ne résisteraient pas à un séisme. M. André-Claude Lacoste, responsable de la Direction Générale de la Sûreté Nucléaire et de la Radioprotection (DGSNR)¹, opposait immédiatement un démenti formel.

La coïncidence est purement fortuite, mais la diffusion de la présente fiche apportera des précisions sur le sérieux et la fiabilité des dispositions **parasismiques** mises en œuvre dans les Installations Nucléaires.

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 (I.N.B).

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^{ème} 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, en particulier 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 d'alors (Direction de la Sûreté des Installations Nucléaires – DSIN - dépendant des ministères de l'Industrie et de l'Environnement devenue depuis la DGSNR). 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 SEISME ET A QUOI CORRESPOND-IL ?

La théorie de la dérive des continents explique la carte géographique du monde telle que nous la connaissons de nos jours. Elle implique que le mouvement des plaques de la croûte terrestre se poursuit. Ainsi, pour la région méditerranéenne, le rapprochement entre les plaques africaine et eurasiennne s'effectue 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 être considérable.

3. COMMENT SE MANIFESTE L'ENERGIE LIBEREE ? ONDES SISMIQUES

L'essentiel de l'énergie libérée au foyer de la secousse est dissipé 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. Inventée par RICHTER, la notion de magnitude du séisme qui s'exprime dans une échelle en degrés (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). Pour un des séismes les plus dévastateurs comme celui de CHICHI (Taiwan) en 1999, la magnitude a atteint 7,7.

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.

¹ *Dépendant des Ministères de l'Environnement, de la Santé et de l'Industrie*

C'est en surface 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. ETAT 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, pour les plus récents, IZMIT 1999 (Turquie, 16000 morts) ou KOBE en 1995 (Japon, 6000 morts).

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 6000 événements ressentis en France depuis 1000 ans (soit 80000 observations locales)

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), VOLX 1913, 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 malgré la dernière manifestation de 1978 (magnitude 4,4)

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'amplitude des ondes au point de mesure.

Des méthodes de calcul permettent ensuite de remonter à l'énergie libérée par le séisme en surface et au foyer, c'est-à-dire à la magnitude (RICHTER) ainsi qu'aux caractéristiques du mouvement à la source. Il existe en France plusieurs réseaux de surveillance pilotés par divers organismes nationaux basés à Strasbourg, Marseille, Grenoble, Cadarache.

4.3. PRINCIPAUX RESULTATS DES ETUDES

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. Aussi a-t-on choisi le site de la moyenne vallée de la Durance qui inclut Cadarache et qui comporte une faille reconnue, pour affiner les modèles et les rendre plus efficaces dans l'application aux cas français.

Un réseau de 12 stations équipées de capteurs adaptés certains aux très faibles mouvements d'autres aux plus forts mouvements a déjà permis de recouper les résultats des études géologiques classiques des couches souterraines, des connaissances historiques et paléosismologiques de la région ou encore des surveillances par satellite. Toute une série de failles aux activités variées et de différentes natures ont été cartographiées et étudiées. Ainsi, pour le site de Cadarache, les plus importantes sont: la faille de la moyenne Durance orientée SO/NE qui passe à environ 5 km à l'ouest de Cadarache et la faille du Luberon qui est à 15 km. Les failles de Coste-Trévasse et de la montagne de Lure orientées Est -Ouest sont plus éloignées.

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

- de l'éloignement par rapport au foyer de 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 la sismicité et que l'on appelle "parasismiques" sont efficaces comme le montre la différence des dégâts, à magnitudes égales, après les séismes de San Francisco et d'Izmit.

La prise en compte de ces mesures ainsi qu'une recherche optimale dans le choix du site ont permis de constater qu'il n'y a eu pratiquement aucun dommage sur la série de centrales nucléaires en opération au Japon au moment des séismes, alors que le pays est connu pour sa forte sismicité.

Enfin, malgré les progrès réalisés dans les 2 dernières décennies, une prévision même à court terme 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 REGLEMENTATION FRANCAISE VIS A VIS DES SEISMES

Dans le cas des risques naturels, l'objectif de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (DSNR) est de définir des règles fondamentales de sûreté (RFS) de manière à contenir ou à limiter la dispersion des matières radioactives dans l'installation et dans l'environnement.

L'autorité de sûreté :

- détermine le séisme de référence. Il s'agit du séisme maximum historiquement vraisemblable (S.M.H.V.),
- définit le séisme majoré de sécurité (SMS) en majorant d'un degré l'intensité attribuée au S.M.H.V.
- calcule les accélérations auxquelles seront soumises les installations et leur contenu.

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 2000, elle est connue sous le nom de RFS 2000.

6. RISQUE DE DISPERSION DES MATIERES RADIOACTIVES EN CAS DE DEGRADATION 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 que si il y avait 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 tellement plus importants seront 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 de référence 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 on bute toujours sur une limite. L'obtention d'un consensus sur ces limites 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, Taiwan en 1999). Grâce aux précautions prises dans la conception, la réalisation et l'exploitation des réacteurs, ceux-ci n'ont subi aucun dommage. Aucune dispersion de matière radioactive n'est venue aggraver le bilan catastrophique de ces séismes, sur les installations classiques.

8. REFERENCES

- 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. FAVRE – 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 2000 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 SMS. Cette intensité est analogue à celle qui était retenue précédemment mais repose sur des bases scientifiquement plus solides

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. Quatre cas de figure en résultent:

- les installations à l'arrêt,
- les installations qui doivent être arrêtées à court terme,
- les installations prévues pour fonctionner à moyen ou long terme,
- les installations nouvelles.

Les installations à l'arrêt ne posent pas de problème car les quantités de matières radioactives qu'elles pourraient encore contenir sont très faibles. Aucun renforcement n'est apparu nécessaire.

Les installations devant être arrêtées à court terme, sont des installations anciennes qui seront arrêtées d'ici 2008. L'action comporte deux volets:

- limiter au strict nécessaire la quantité de matières radioactives, et procéder en tant que de besoin à des renforcements,
- établir un échéancier d'arrêt et, pour celles dont les fonctions sont indispensables à la poursuite des programmes du CEA, prévoir leur remplacement par des installations nouvelles, ceci en accord avec l'Autorité de Sûreté.

Les installations dont l'utilisation est nécessaire encore pendant plus de 10 ans, font l'objet d'un programme de réévaluation de sûreté comportant, après diagnostic, la définition d'actions visant, si nécessaire, à renforcer leur tenue aux séismes et à réduire les conséquences d'un séisme à un niveau permettant d'éviter le recours à des mesures d'urgence hors site. Ces actions sont soumises à l'Autorité de Sûreté pour approbation.

Les installations les plus récentes et, évidemment, les installations futures, sont conçues pour résister au SMS conformément aux règles en vigueur.
