

DOSSIER

Installations nucléaires et risque sismique à Cadarache

Comment faire progresser la sûreté ?

Si la France métropolitaine est un pays à sismicité modérée comparée à l'Italie, la Grèce ou la Turquie, le Sud-Est est l'une des régions où l'activité sismique est la plus importante, surtout les Alpes et la région niçoise. Cette activité résulterait principalement d'un rapprochement de l'Afrique vers l'Europe. La vitesse de ce rapprochement est de 5 millimètres par an, ce qui est très peu par rapport à d'autres régions du monde où cette vitesse peut atteindre 10 centimètres par an. De plus, la plus grande partie de ce mouvement est absorbé par le Nord de l'Afrique qui est une région très sismique. Ce mouvement se combinerait dans notre région avec un « écoulement » des Alpes vers la Provence.

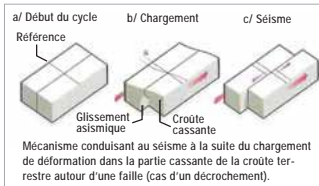
mouvements des plaques qui constituent la croûte terrestre.

Ces plaques se déplacent en effet les unes par rapport aux autres, c'est ce qu'on appelle la tectonique des plaques mise en évidence par les scientifiques dans les années soixante. Le séisme correspond à la propagation de cette rupture le long de la faille.

Il existe ainsi un cycle sismique comprenant une phase très longue d'accumulation de contraintes et une phase très courte de déchargement de ces contraintes qui correspond au séisme, rupture brutale de la faille. Ainsi, là où la terre a tremblé elle tremblera à nouveau.

Qu'est-ce qu'un séisme ?

Les séismes sont provoqués par la rupture de failles dans la croûte terrestre, partie la plus superficielle, la plus froide, la plus rigide et donc la plus cassante de l'écorce terrestre. Ces ruptures résultent de contraintes accumulées pendant des centaines d'années du fait des



Séisme à Cadarache : quel scénario ?

La faille la plus proche du site de Cadarache est la faille de la Moyenne Durance. Elle sépare deux plaques à cycle sismique lent dont la vitesse de déplacement est inférieure à 0,1 mm par an et s'étend sur 70 km. Elle est divisée

Implanté à proximité d'une faille, Cadarache est exposé à un risque sismique

en plusieurs segments dont les deux plus importants ont une longueur de 18 km environ. L'analyse de son activité a montré que cette faille active ne peut pas rompre sur toute sa longueur, ce qui limite la magnitude, de 6,3 à 6,9 au plus. Le plus fort séisme attesté pour cette faille est celui de Manosque survenu en 1708, d'une magnitude estimée à 4,7.

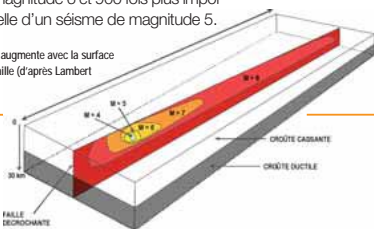
I	secousse non ressentie, mais enregistrée par les instruments
II	secousse partiellement ressentie, notamment par des personnes au repos et aux étages
III	secousse faiblement ressentie, balancement des objets suspendus
IV	secousse largement ressentie dans et hors les habitations, tremblement des objets
V	secousse forte, réveil des dormeurs, chute d'objets, parfois légères fissures dans les plâtres
VI	légers dommages, parfois fissures dans les murs, frayeurs de nombreuses personnes
VII	dégâts, larges lézardes dans les murs de nombreuses habitations, chutes de cheminées
VIII	dégâts massifs, les habitations les plus vulnérables sont détruites, presque toutes subissent des dégâts importants
IX	destructions de nombreuses constructions, quelquefois de bonne qualité, chute de monuments et de colonnes
X	destruction générale des constructions, même les moins vulnérables (non parasismiques)
XI	catastrophe, toutes les constructions sont détruites (ponts, barrages, canalisations enterrées...)
XII	changement de paysage, énormes crevasses dans le sol, vallées barrées, rivières déplacées...

Deux paramètres distincts caractérisent un séisme :

La magnitude indique l'énergie libérée par un séisme. Elle est mesurée par l'amplitude des mouvements vibratoires du sol, les ondes sismiques, enregistrés par les sismomètres. Il existe différentes magnitudes, mais la plus connue est celle de Richter. Un point supplémentaire dans la magnitude de Richter correspond à une multiplication par 30 de l'énergie dégagée, c'est-à-dire que l'énergie d'un séisme de magnitude 7 sera 30 fois plus importante que celle d'un séisme de magnitude 6 et 900 fois plus importante que celle d'un séisme de magnitude 5.

L'intensité d'un séisme caractérise la force d'un séisme par les effets observés sur les personnes, les structures et l'environnement en un lieu donné. L'intensité en un point dépend ainsi non seulement de la magnitude, mais aussi de la distance au foyer, des caractéristiques géologiques locales, de la topographie, de la nature et de la vulnérabilité des bâtiments et des activités humaines (effets de site).

La magnitude (M) augmente avec la surface de rupture de la faille (d'après Lambert et al. 1997).



L'échelle d'intensité utilisée actuellement en Europe est l'échelle EMS 98, mais la plus connue est l'échelle MSK qui comprend 12 degrés :

DOSSIER

Comment est pris en compte le risque sismique concernant les installations nucléaires ?

Les installations nucléaires, comme certaines installations industrielles dangereuses et les grands barrages, sont considérées comme des installations « à risque spécial ». À ce titre, elles font l'objet d'une réglementation renforcée en matière de risque sismique.

Les installations nucléaires sont ainsi soumises à des règles, appelées règles fondamentales de sûreté (RFS), établies par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), autorité administrative indépendante chargée du contrôle des installations nucléaires. Les règles parasismiques ont évolué au cours du temps et les installations les plus anciennes peuvent ne pas satisfaire aux règles actuelles. Lors de réévaluations de sûreté périodiques, l'ASN contrôle la conformité des installations. Elle détermine alors avec l'exploitant les aménagements à apporter et les mesures pour minimiser les conséquences d'un séisme.

conduire à une modification sensible de l'aléa, ce qui impose que soient réalisées des vérifications de la tenue au séisme des installations et des équipements avec les nouveaux paramètres ; dans certains cas, cela peut conduire à réaliser des travaux de renforcement.

L'aléa sismique sur le site de Cadarache a été déterminé en 2001. Les événements les plus importants pour définir l'aléa sismique à Cadarache sont le séisme de Manosque (1708),

le paléoséisme de Valveranne (daté entre 9 000 et 26 000 ans av. J.-C.) ainsi que le séisme de Lambesc (1909). Le premier, dont l'hypocentre est superficiel (de l'ordre de 5 km), a causé des dommages importants (intensité VIII : « dégâts importants à massifs » à l'épicentre) malgré sa magnitude faible (5,5). L'importance du second ne peut être estimée que par les traces qu'il a laissées dans les couches sédimentaires de surface : il aurait causé un déplacement du sol d'environ un mètre et, par analogie avec les

La détermination de l'aléa sismique

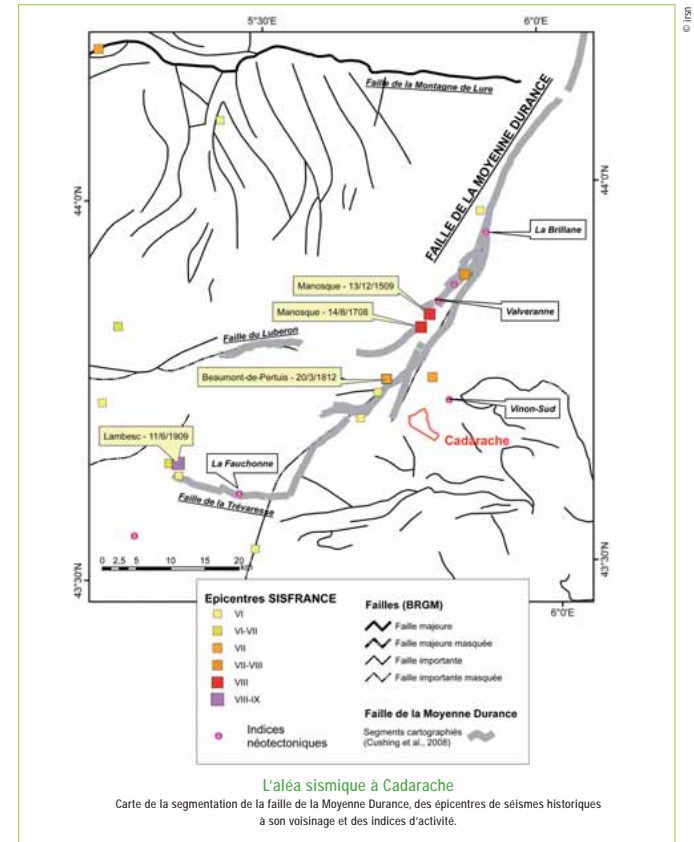
Pour déterminer l'aléa sismique, on se base sur trois séismes de référence :

- le séisme maximal historiquement vraisemblable (SMHV) déterminé en fonction des observations historiques et des connaissances géologiques et sismotectoniques de la région ;
- le séisme majoré de sécurité (SMS) d'une magnitude majorée de 0,5 par rapport au SMHV ;
- le paléoséisme déterminé à partir des indices géologiques d'un séisme majeur ayant provoqué dans le passé une rupture de faille en surface.

Pour le site de Cadarache les éléments de l'aléa sismique retenus en 2001 sont les suivants :

- séisme maximal historiquement vraisemblable (SMHV) : magnitude 5,3 et intensité VII-VIII ;
- séisme majoré de sécurité : magnitude 5,8 et intensité VIII-IX ;
- paléoséisme : magnitude 7 et intensité IX.

La définition de l'aléa sismique sur un site nucléaire fait l'objet de réévaluations régulières, par exemple à l'occasion de la préparation des visites décennales, permettant de prendre en compte l'évolution des connaissances tant dans le domaine de la géologie que dans celui de la sismologie. Ces réévaluations peuvent



L'aléa sismique à Cadarache
Carte de la segmentation de la faille de la Moyenne Durance, des épicentres de séismes historiques à son voisinage et des indices d'activité.

séismes contemporains, sa magnitude aurait atteint 6,5. Enfin, le séisme de Lambesc, avec une magnitude de 6, est le séisme historique le plus important de la région. Les deux séismes de Manosque et Valveranne sont considérés, en raison de leur localisation et de leurs caractéristiques, comme liés à l'activité de la faille de la Moyenne Durance. Pour déterminer l'aléa, ces séismes doivent dans une démarche de précaution être déplacés sur les segments de cette faille jusqu'au plus près du site. La distance ainsi obtenue, la plus courte entre les séismes possibles et le site, est de 5,5 km. Le séisme de Lambesc (1909) est pour sa part associé à la faille chevauchante est-ouest de la Trévaresse et un séisme peut se produire de nouveau sur

La conception parasismique



Ferrailage du radier en béton armé sous les cuves de la nouvelle installation Agate.

La réglementation impose que les installations nucléaires soient conçues pour éviter un effondrement des structures et assurer un confinement des matières radioactives en cas de séisme.

Cette conception parasismique ne s'arrête pas au strict respect des règles de construction définies au niveau national. Elle commence très en amont dans la conception du projet et notamment dans les choix du site d'implantation et du parti architectural et structural de l'ouvrage. Elle se poursuit en aval dans le soin porté à la réalisation du chantier et plus particulièrement à la qualité des matériaux mis en œuvre et à l'exécution des travaux. L'ASN exerce son contrôle tout au long de la réalisation d'un projet, de sa conception en passant par le calcul parasismique de la structure et les dispositions constructives définies pour l'ouvrage, à différentes étapes clés du chantier.

En complément des règles de conception

LE PROGRAMME D'ÉTUDES CASHIMA

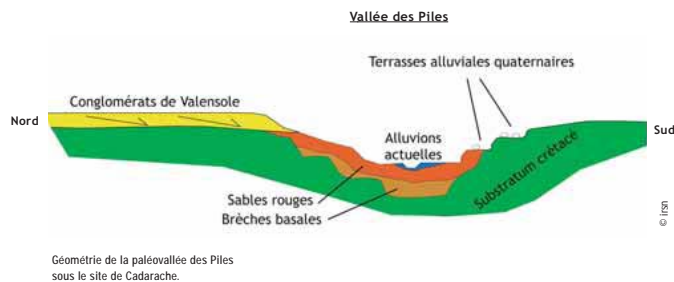
Un programme d'études pluridisciplinaires baptisé Cashima a été engagé en 2005 à la demande de l'ASN pour mieux connaître les caractéristiques de la faille de la Moyenne Durance et les effets de site particuliers à Cadarache. Ce programme animé par le CEA associe de nombreux organismes de recherche français et étrangers.

et de construction, les exploitants nucléaires doivent établir des procédures automatiques de mise en sécurité et des plans d'urgence pour assurer la protection des personnes et de l'environnement en cas de séisme.

Les conditions de sol à Cadarache

Certaines conditions géologiques locales peuvent conduire à amplifier le mouvement du sol provoqué par un séisme, c'est « l'effet de site » qui peut modifier l'aléa sismique.

Le site de Cadarache est implanté dans une vallée rejoignant la Durance, la vallée des Piles. Cette vallée actuelle recoupe elle-même une paléovallée remplie de sédiments (tons orangés : sables rouges et brèches basales, d'âge miocène). Cette géométrie particulière étant propice à modifier le mouvement du sol, des études spécifiques sont actuellement conduites pour évaluer le mouvement sismique à retenir.



Géométrie de la paléovallée des Piles sous le site de Cadarache.

Les installations nucléaires sont soumises à une réglementation sismique renforcée pour assurer la protection des personnes et de l'environnement"

des failles similaires comme celle du Luberon, située à 14,5 km du site. Les deux séismes les plus pénalisants pour le site de Cadarache sont ceux de Manosque et de Valveranne.

Un réseau dense de sismomètres, sans équivalent en France, a été installé par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) à partir de 1992 pour étudier la sismicité dans la région du site de Cadarache. L'objectif était de pouvoir localiser des secousses, même de faible niveau, avec une grande précision sur les différents segments de la faille de la Moyenne Durance et de permettre ainsi la caractérisation des sources sismiques et des mouvements qu'elles sont susceptibles d'engendrer.

DOSSIER

Comment est pris en compte le risque sismique à Cadarache ?

Créé en 1959, le Centre du CEA Cadarache comprend actuellement 450 bâtiments, une vingtaine d'installations nucléaires de base et une cinquantaine d'installations classées pour l'environnement. La prise en compte du risque sismique par l'exploitant nucléaire est réalisée sous le contrôle de l'Autorité de sûreté nucléaire.



Inspection de l'ASN sur le chantier de rénovation parasismique du Lefca à Cadarache.



Pose de bandes de fibres de carbone dans l'installation Lefca.

Toutes les installations nucléaires de base de Cadarache ont fait l'objet d'un réexamen de sûreté par rapport au risque sismique, tenant compte de l'évolution de la réglementation et des connaissances scientifiques. Il s'agit de s'assurer que les installations sont bien dimensionnées au risque sismique et, dans le cas contraire, de déterminer les travaux qui sont nécessaires pour la poursuite de leur exploitation ou de programmer leur arrêt et leur démantèlement.

À Cadarache, peu nombreuses étaient les ins-

tallations anciennes conformes à la nouvelle réglementation.

Des programmes de travaux de mise en conformité ont d'ores et déjà été entrepris dans plusieurs installations. C'est le cas des réacteurs de recherche Cabri, Masurca et Éole-Minerve et des laboratoires Leca et Lefca. Pour d'autres installations, ce réexamen de sûreté est en cours, comme à Cascad, Chicade, Star et une partie de la station de traitement des déchets solides. Enfin, des installations non dimensionnées au risque sismique ont été ou seront

arrêtées et démantelées. C'est le cas par exemple de l'ATPu, du LPC, du MCMF et de la station de traitement des effluents liquides. Les nouvelles installations telles CEDRA, La Rotonde, Agate, Magenta, RJH et ITER sont pour leur part toutes conformes à la réglementation actuelle.

Outre la vérification du dimensionnement des installations nucléaires, l'ASN a demandé au CEA Cadarache de prévoir une organisation de l'ensemble de ses moyens généraux permettant d'assurer la sûreté et la sécurité du Centre en cas de séisme. Sa mise en place est en cours de réalisation.

L'INSTALLATION D'INSTRUMENTS DE DÉTECTION



Une des stations sismologiques implantées à Cadarache.

Pour la détection des séismes, le Centre de Cadarache a été équipé de divers instruments de mesure du mouvement du sol. Trois stations sismologiques permettent d'enregistrer tous les mouvements du sol et d'informer les équipes de secours du Centre en cas de séismes dépassant certains seuils. Des capteurs ont été installés sur plusieurs installations (ATPu, LPC, Masurca, Éole, Minerve et Lefca) déclenchant des actions automatiques de mise en sécurité de l'installation comme l'arrêt d'urgence d'un réacteur.

Toutes les installations nucléaires de Cadarache ont fait l'objet d'un réexamen de sûreté sous le contrôle de l'Autorité de sûreté nucléaire"

>> POUR EN SAVOIR PLUS

www.journeesisme-asnmarseille.com • www.asn.fr • www.planseisme.fr • www.seisme-1909-provence.fr • www.irsn.fr • www.futura-sciences.com • www.afps-seisme.org • www.emsc-csem.org.