

# SISMICITE ANTHROPIQUE : SYNTHESE SUR L'ALEA ET LES RISQUES ASSOCIES

## A REVIEW OF ANTHROPOGENIC SEISMICITY HAZARD AND RISK

Isabelle Contrucci<sup>1</sup>, Emmanuelle Klein<sup>1</sup>, Stella Coccia<sup>1</sup>, Pascal Bigarré<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INERIS, Verneuil-en-Halatte, France

**RÉSUMÉ** – Le risque de sismicité anthropique soulève de nouveaux défis en termes de connaissances, d'évaluation de l'aléa et de gestion du risque. La synthèse présentée ici, s'appuie sur une vaste étude bibliographique et l'analyse de cas récents ou emblématiques. Ces cas restent néanmoins rares au regard du nombre de projets à travers le monde.

**ABSTRACT** – The risk of human seismicity poses new challenges both in terms of hazard characterization and risk assessment and management. The synthesis presented here, is based on an extensive literature review and analysis of recent and emblematic cases. However, these cases are rare in view of the number of projects around the world.

### 1. Introduction

Depuis la révolution industrielle, la demande mondiale en énergie fossile comme en matières premières a engendré une augmentation considérable de l'exploitation des ressources du sous-sol. Ainsi, la multiplication des sites, l'envergure croissante des projets, ainsi que les utilisations nouvelles du sous-sol augmentent d'autant la probabilité de générer une sismicité dite anthropique (Figure 1). Ces nouvelles utilisations sont aussi diverses que l'exploitation non-conventionnelle d'hydrocarbures, leur stockage, l'injection définitive d'eau de rejet, la géothermie profonde, la séquestration géologique du CO<sub>2</sub>, auxquelles s'ajoutent les utilisations historiques telles que : l'exploitation minière, l'exploitation conventionnelle d'hydrocarbure, le remplissage de retenues de barrages. Par ailleurs, les progrès technologiques réalisés conduisent à repousser sans cesse les limites du sous-sol profond exploité, et augmentent le risque de générer des séismes anthropiques de ce fait. L'accroissement des cadences de production d'hydrocarbures, en particulier de gaz de schistes notamment aux USA, est un autre facteur aggravant car il entraîne le stockage de volumes d'eau de rejet de plus en plus importants dans le sous-sol profond. Notons également, en conséquence de l'augmentation de l'exploitation minière, les cas de plus en plus nombreux d'abandons et d'ennoyages d'ouvrages souterrains suite à la fermeture des mines, et qui sont susceptibles de générer une sismicité.

Les opérations industrielles dans le sous-sol génèrent des modifications du champ de contraintes naturelles et/ou du champ de pression hydraulique dans le massif encaissant. Lorsque ces modifications hydromécaniques excèdent les propriétés de résistance des roches encaissantes, elles peuvent être à l'origine de phénomènes de rupture engendrant une sismicité anthropique qualifiée de « sismicité induite ». Celle-ci est en général de faible magnitude (< 2) et n'est que rarement ressentie en surface. Mais, sous certaines conditions, ces perturbations peuvent également réactiver des failles naturelles présentes sur le site et déclencher des séismes de plus forte magnitude ; cette sismicité est qualifiée de « sismicité déclenchée ». Ces deux types de sismicité sont qualifiées d'anthropiques et se situent en générale à des profondeurs plus faibles que la sismicité naturelle.

Si le lien avec les activités anthropiques est clairement établi, et les mécanismes de rupture connus, la prédition de ces aléas reste un objectif difficile à atteindre, comme pour les séismes naturels. Ainsi, pour une opération industrielle donnée, il est difficile d'estimer la date d'occurrence, la localisation et l'intensité d'un séisme anthropique de magnitude significative susceptible d'engendrer des risques. Les travaux de recherche menés aujourd'hui montrent qu'il reste de nombreuses inconnues sur la connaissance des paramètres qui gouvernent leur occurrence.

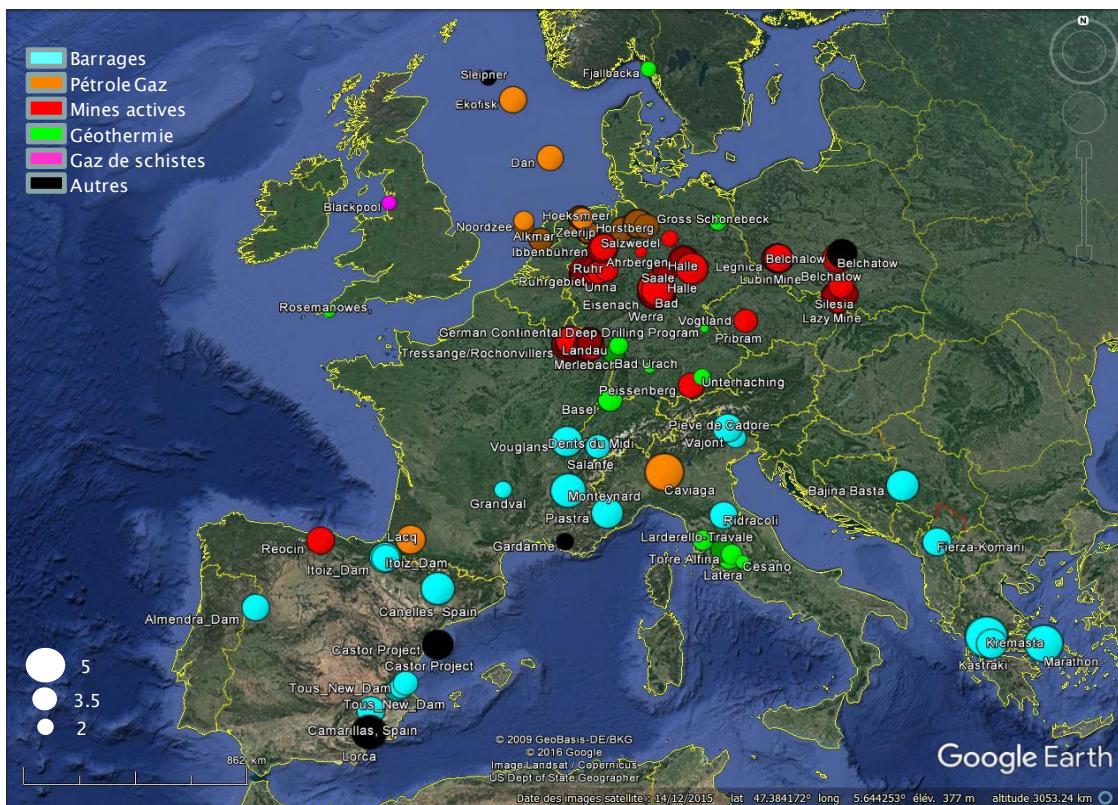


Figure 1. Localisation de la sismicité induite par les activités anthropiques en Europe (Contrucci & Klein, 2017).

## 2. Quelques cas emblématiques de sismicité anthropique

Les premiers cas documentés datent de la fin du XIXème siècle. En Afrique du Sud, le lien entre l'extraction minière et les tremblements de terre à Johannesburg en 1894 a été clairement admis après 15 ans de controverse (McGarr et al., 2002). Aux Etats-Unis en 1935, l'étude du barrage de Hoover, situé sur le Colorado à l'origine du lac Mead (Nevada), a permis de mettre en évidence la relation entre phénomènes de sismicité et mise en eau de grands barrages (Carder, 1945).

La sismicité anthropique peut mettre en péril la sécurité publique lorsqu'elle survient dans des zones qui ne sont pas reconnues comme étant des zones à risque sismique, où la sismicité naturelle est faible. Aux Etats-Unis par exemple, les séismes de magnitude  $\geq 3$  sont désormais plus fréquents en Oklahoma qu'en Californie, à cause du développement de l'exploitation des hydrocarbures non conventionnels qui démultiplie les volumes d'eaux usées injectés dans le sous-sol (McGarr et al., 2015). La survenue de séismes à faible profondeur dans des zones où le bâti n'est pas conçu pour résister aux vibrations pose ainsi un problème de sécurité publique, car ces séismes occasionnent des dégâts importants comme à Prague en Oklahoma en 2011 (magnitude 5.7, McNamara et al., 2015) voire des victimes comme à Lorca en Espagne en 2011 (magnitude 5.1, Gonzalez et al., 2012). Ce dernier séisme a été relié à l'exploitation d'un réservoir d'eau douce par pompage pendant plusieurs dizaines d'années. A titre de

comparaison un séisme naturel de magnitude similaire de l'ordre de 5,6 en Californie ou au Japon ne cause aucun dégât.

La sismicité anthropique peut avoir également des conséquences économiques et financières, et poser des problèmes d'acceptabilité sociale, dans la mesure où les réactions des populations face à un événement sismique ressenti peuvent conduire à l'abandon d'un projet, indépendamment du risque réel. Citons par exemple le cas du projet Castor où il était question d'injecter du gaz naturel dans un ancien réservoir d'hydrocarbure déplété (ou gisement de gaz épuisé) situé au large des côtes espagnoles. La séquence de séismes ressentie sur les côtes en 2013, a conduit finalement à l'arrêt puis l'abandon du projet, alors qu'aucun dégât n'a été constaté (Cesca et al., 2014; del Potro and Diez, 2015). Citons aussi le cas du projet de géothermie profonde de Bâle en Suisse, en 2006 où la stimulation du forage profond (5 km) s'est accompagnée de nombreux séismes et ce, dès le début des opérations d'injection. Malgré l'arrêt de l'injection après l'occurrence de deux séismes de magnitude 2,6 et 2,7, la sismicité a perduré avec un événement de magnitude 3,4 cinq heures après puis trois séismes de magnitude supérieure à 3 ont eu lieu dans les deux mois qui ont suivi (Deichmann and Giardini, 2009; Haering et al., 2008).

La sismicité anthropique peut aussi présenter l'inconvénient de persister longtemps après l'arrêt des activités qui en sont la cause. On peut citer le cas de l'ennoyage des anciennes mines du bassin houiller de Gardanne où une sismicité de faible magnitude est détectée depuis 2008 (Figure 2) par le réseau de surveillance de l'INERIS. Cette sismicité, reliée à l'ennoyage des travaux miniers, a généré plus de 2000 événements, avec quelques crises ressenties en 2016, 2014 et 2017 (Contrucci et al., 2013; Kinscher et al., 2017; Matrullo et al., 2015).

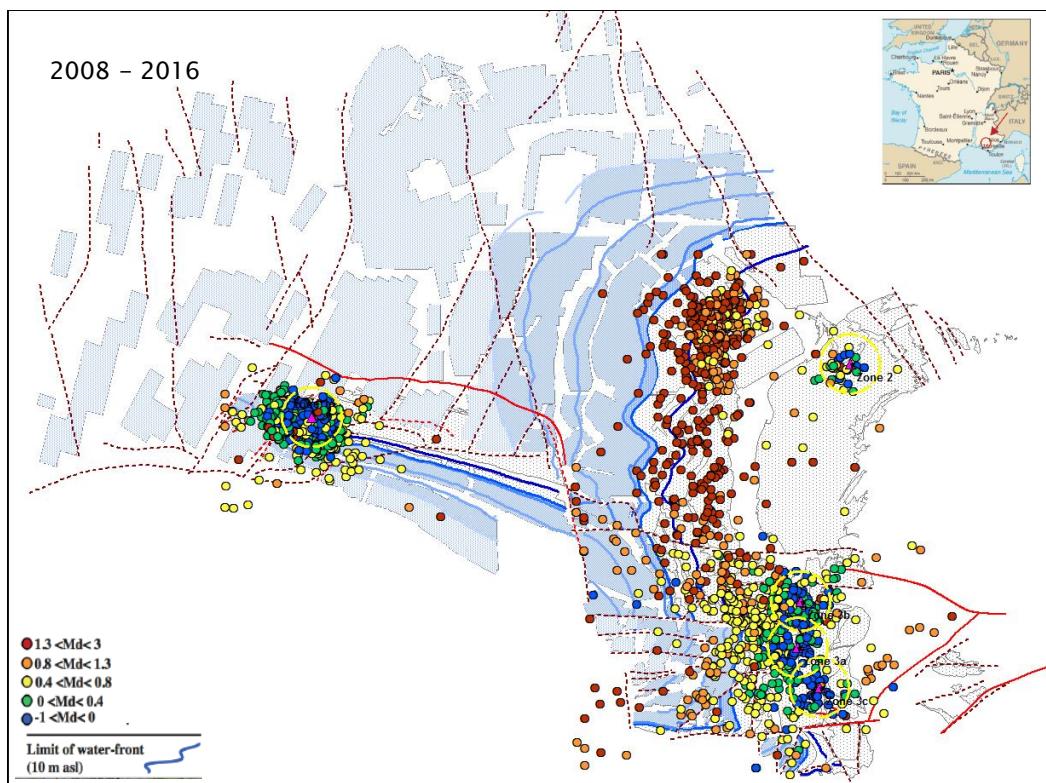


Figure 2. Localisation de la sismicité post-minière dans l'ancien bassin houiller de Gardanne (Contrucci & Klein, 2017 ; Kinscher et al. 2017).

### **3. Quelles sont les industries qui peuvent produire des séismes ?**

L'ensemble des industries du sous-sol est susceptible de générer de la sismicité, dans la mesure où l'équilibre naturel du sous-sol est perturbé. Cependant, le nombre de cas est

faible comparé à la totalité de projets de type « géo-industrie » de par le monde. La Figure 3, réalisée à partir de la base de données constituée dans cette étude, représente la répartition des magnitudes maximales observées en fonction du processus industriel à l'origine de cette sismicité. On observe que les magnitudes se situent majoritairement entre 2 et 5 toutes activités confondues. Les cas de barrages (dont le barrage de Zipingpu dans la région du Sichuan, M 7,9 dont l'origine anthropique est discutée, Chen (2009)), et d'extraction d'hydrocarbures (Gazli, M 7,3, Simpson and Leith (1985)), correspondent aux magnitudes les plus fortes (supérieures à 6). Dans la tranche des magnitudes de 5 à 6, outre les cas de barrages hydrauliques, on trouve les cas d'extraction d'eau (séisme de Lorca, Espagne, M 5,1) et d'exploitation de sel par dissolution (séisme d'Attika, New York, USA, M 5,2, Nicholson and Wesson (1992)). Les cinq magnitudes les plus fortes, en relation avec une activité anthropique, sont résumées dans le Tableau 1.

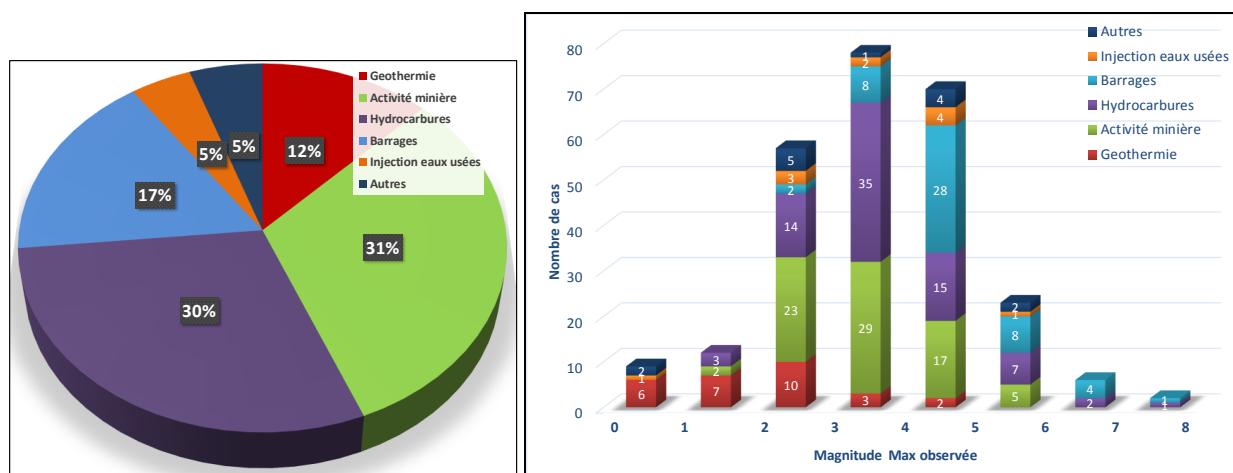


Figure 3. Représentation des magnitudes maximales observées pour chaque type d'activité anthropique, tirée de la base de données non exhaustive réalisée dans cette étude (Contrucci & Klein, 2017).

La géothermie montre des magnitudes maximales modérées qui sont pour la plupart comprises entre 2 et 3. Elles sont inférieures en moyenne à celles observées pour l'activité minière. Les cas d'injection d'eaux usées considérés montrent des magnitudes qui peuvent être importantes (< 5). De manière générale, plus les opérations industrielles réalisées sont de grande ampleur et occupent une surface ou un volume important, plus la probabilité de déclencher un séisme de forte magnitude (sous conditions favorables) est importante (McGarr et al., 2002).

Tableau 1 : Les cinq événements sismiques les plus forts suspectés d'être associés à une activité anthropique.

Site	Pays	M	Contexte industriel	Référence	Année
Coalinga, California	USA	6,5	Extraction hydrocarbures	(McGarr, 1991)	1983
Gazli	Uzbekistan	7,3	Extraction hydrocarbures	(Simpson and Leith, 1985)	1976
Koyna	India	6,5	Barrages hydrauliques	(Gupta, 1983)	1967
Kremasta	Greece	6,3	Barrages hydrauliques	(Gupta, 2002)	1966
Sichuan	Chine	7,9	Barrages hydrauliques	(Chen, 2009)	2008

Bien que les opérations industrielles soient de natures différentes, l'occurrence d'une sismicité est observée aussi bien dans les régions où la sismicité naturelle est déjà importante que dans celles où elle est plus faible. Les différents auteurs s'accordent sur le fait que l'état de contrainte initial du sous-sol et, en particulier, la présence de failles dans

un état plus ou moins proche de l'état critique, constitue le facteur déterminant qui conditionne l'occurrence de la sismicité, et le délai avec lequel elle apparaît. Le principal problème est que cet état de contraintes initial n'est en général pas, ou mal connu, et en particulier la présence de failles ainsi que leur état plus ou moins proche de la rupture.

Une corrélation spatio-temporelle entre la localisation de la sismicité anthropique et le site des opérations est en général observée. Aussi, dès qu'un séisme a lieu à proximité d'une activité industrielle, celle-ci est généralement suspectée d'être à l'origine du séisme. Cela est d'autant plus vrai que le séisme s'est produit dans une région où l'activité sismologique naturelle est faible. Cependant, cette corrélation spatio-temporelle n'est pas toujours vérifiée. C'est notamment le cas lorsque la sismicité est déclenchée par l'injection ou l'infiltration de fluides dans le sous-sol, avec augmentation de la pression interstitielle : géothermie profonde, extraction d'hydrocarbures, injection d'eaux usées, stockage de gaz ou de CO<sub>2</sub>, ennoyage des mines, remplissage de barrage ....

En France, la sismicité anthropique est de faible magnitude et n'a pas provoqué de dégâts, à l'exception d'un séisme qui a eu lieu le 21 juin 2001, de magnitude 4, dans l'exploitation minière de Freyming-Merlebach. L'origine est un coup de terrain (dommages soudains et violents dans une excavation) dans les travaux miniers qui a causé la mort d'un mineur et plusieurs blessés. Ailleurs, sur le territoire, seuls quelques événements ont été ressentis, comme par exemple, pour les plus récents, sur le site de géothermie profonde de Soultz-Sous-Forêts, ou dans l'ancien bassin houiller de Gardanne (Tableau 2).

Tableau 2 : tableau récapitulatif de l'activité sismique anthropique en France. Les magnitudes maximales détectées pour chaque projet industriel ont été recensées.

Localisation	Magnitude maximum	Type d'industrie (à l'origine du séisme)	Date
Soultz-sous-Forêts	2,7 - 2,9	Géothermie profonde	2003 – 2005
Rochonvillers	4	Activité minière	1974
Saar	3,7	Activité minière	2008
Lacq	4,2	Exploitation d'hydrocarbures	1979
Grandval	Ressenti	Barrage hydraulique	1963
Monteynard	4,9	Barrage hydraulique	1963
Vouglans	4,4	Barrage hydraulique	1971
Rochonvillers	4,3	Activité minière	1974
Merlebach	3,9	Activité minière	1986
Merlebach	4	Activité minière	2001
Ronchonvillers	5,2	Activité minière	1975
Gardanne	~ 3	Activité minière	1994 - 2001
Gardanne	~ 2	Mine abandonnée	2012, 2014, 2017
Cerville-Buissoncourt	0,9	Sel par dissolution	2008
Tressange/Rochonvillers	4,3	Activité minière	1973

#### 4. Comment gérer le risque de sismicité anthropique ?

L'estimation du risque sismique consiste à décrire et quantifier les pertes et dommages qui pourraient être générés par l'impact des ondes sismiques sur les enjeux présents à proximité de la zone épcentrale. Ces enjeux concernent à la fois le bâti, les ouvrages d'arts, les infrastructures de surface et les réseaux enterrés. Contrairement à la sismicité naturelle, gouvernée par les forces tectoniques, et pour laquelle la maîtrise des risques

passe avant tout par la diminution de la vulnérabilité des enjeux, la sismicité anthropique devrait, autant que faire se peut, être maîtrisée en contrôlant les paramètres industriels à l'origine directe de l'aléa sismique. De nombreux travaux de recherche ont été réalisés dans cette optique, notamment dans le domaine minier - avant tout pour assurer la sécurité des mineurs - et en géothermie profonde pour réduire les risques environnementaux et favoriser l'acceptabilité sociale, ainsi que pour l'exploitation d'hydrocarbures et la séquestration de fluides dans le sous-sol.

La mitigation du risque de sismicité anthropique repose donc à la fois sur la caractérisation sismique du site, sur la surveillance, sur le contrôle du processus industriel et sur la réduction de la vulnérabilité. Le système de surveillance est l'élément clef sur lequel repose l'amélioration de la caractérisation de l'aléa, et donc la gestion du risque. Composé en général d'un réseau microsismique, suffisamment sensible, il permet de suivre l'évolution spatio-temporelle de la sismicité. L'écart à l'activité sismique naturelle préalablement étudiée doit permettre de quantifier l'effet d'une utilisation industrielle du sous-sol. Enfin, après l'arrêt de l'activité, la surveillance doit permettre de savoir si le sous-sol a retrouvé ou non son état d'équilibre. Des dispositifs de mesures de contraintes in situ, installés en forage ou directement dans les ouvrages miniers, par exemple, peuvent compléter le dispositif microsismique.

Les industries qui utilisent l'injection de fluide en profondeur, préconisent la réduction des pressions en profondeur pour minimiser la génération de sismicité, grâce à l'équilibrage des volumes injectés et récupérés. En géothermie profonde, des systèmes dits de « feu de signalisation » ont été élaborés pour maîtriser ces pressions en fonction de l'activité sismique enregistrée. Pour les opérations d'injection dont l'objectif est le stockage définitif d'eaux usées, l'utilisation de formations géologiques particulièrement perméables, comme les aquifères salins ou des formations gréseuses peu cimentées, est une des recommandations principales.

Dans l'industrie minière, où les mineurs sont directement exposés au phénomène, la mitigation du risque sismique repose sur plusieurs approches, qui touchent à la fois à la planification des chantiers, à l'évolution des schémas d'exploitation, à la mise en œuvre de techniques de confortement et renforcement, à l'utilisation croissante d'engins automatisés, et bien entendu à la surveillance microsismique et géotechnique. La mitigation repose également sur la caractérisation de l'aléa à différentes échelles temporelles de manière à anticiper au mieux le risque.

D'une manière plus générale, la quantification et la gestion du risque de sismicité anthropique peuvent également être abordées en suivant la même approche que celle utilisée pour le risque de sismicité naturelle. Cela est possible avec la réalisation de constructions parasismiques, lorsque la relocalisation du projet n'est pas possible. De plus, la réussite et l'acceptabilité d'un projet industriel susceptible de générer de la sismicité repose sur la mise en place d'un programme de communication et d'information auprès des différentes parties prenantes du projet et en particulier la population locale.

## 5. Que prévoit la réglementation ?

En France, les principaux cas de sismicité anthropique ont été rencontrés et étudiés jusqu'à présent sur les sites d'exploitation de gaz naturel de Lacq (Midi-Pyrénées), des mines de charbon des Houillères de Lorraine (Grand Est) et de Centre-midi (Provence-Alpes-Côte d'Azur) et de géothermie profonde haute température à Soultz-Sous-Forêts (Alsace).

D'un point de vue purement réglementaire, c'est le code minier qui régit l'ensemble des opérations industrielles qui s'y sont exécutées ou qui s'y poursuivent encore aujourd'hui. Ce code régit toutes les opérations visant à exploiter les géoressources minérales et énergétiques classées comme stratégiques, en y incluant la géothermie, différentiée selon qu'il s'agisse de haute ou de basse température. Notons que le cas du stockage

souterrain relève du code de l'environnement car c'est une Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE).

Sans rentrer dans le détail du code minier, rappelons que celui-ci prévoit une procédure générale basée sur le dépôt de dossiers de demande d'autorisation d'ouverture de travaux, d'exploration d'abord puis d'exploitation ensuite, de la part du pétitionnaire. Après enquête publique et consultation des commissions idoines, l'administration autorise les travaux par un arrêté préfectoral, qui fixe notamment les prescriptions visant à réduire au maximum les risques liés aux travaux, y compris le risque de sismicité anthropique si celui-ci est avéré. Les risques étant différents d'un contexte à un autre, ces prescriptions seront spécifiques à chaque site et proportionnées au niveau de risque estimé.

En cas d'incident ou d'accident, le code minier prévoit les dispositions importantes suivantes :

- il rend l'exploitant responsable des dégâts causés par son activité ;
- en cas de disparition ou de défaillance du responsable, l'État est garant de la réparation des dommages causés par l'activité minière.

Lorsqu'il s'agit de dégâts suspectés d'avoir pour origine un ou des séismes locaux, le litige éventuel entre les parties peut se régler par une tierce expertise qui devra répondre au moins à la première sinon aux deux questions suivantes, à savoir :

- le niveau de vibration du sol provoqué par les ondes sismiques peut-il expliquer les dégâts relevés sur tel ou tel bâti ?
- les événements sismiques en cause sont-ils d'origine naturelle ou induite par l'opération industrielle ?

Aujourd'hui, afin d'anticiper ces questions et les responsabilités qui en découlent, toutes les opérations industrielles sismogènes avec impact possible sur des enjeux de surface ont comme prescription particulière celle d'opérer un dispositif de surveillance microsismique. Ce dispositif doit permettre, à minima, de détecter et localiser la sismicité locale avec un niveau de détectabilité le plus bas possible, et de mesurer les niveaux de vibrations sismiques aux stations.

## 6. Conclusions

Toutes les géo-industries peuvent générer des séismes de plus ou moins fortes magnitude et intensité, même si le phénomène est rare au regard du nombre d'industries dans le monde. Ce phénomène reste cependant difficile à anticiper à cause de la complexité du sous-sol et des difficultés à connaître son état hydro-géo-mécanique. Le retour d'expérience montre que pour mieux appréhender le problème, il est d'abord nécessaire d'acquérir des mesures et données de qualité. Cependant, ces données ne sont pas toujours faciles à acquérir et peuvent représenter un investissement financier conséquent.

La sismicité anthropique pose un problème pour la sécurité publique lorsqu'elle se produit dans des régions à sismicité naturelle faible, où le bâti n'est pas conçu pour résister aux vibrations. Les dégâts sont d'autant plus importants que cette sismicité se produit en général à faible profondeur comparée à celle des séismes naturels. Cette sismicité pose aussi des problèmes d'acceptabilité sociale et de rejet de certains projets, même lorsqu'elle est faible à modérée, et ne provoque pas de dégâts.

La gestion du risque porte à la fois sur la caractérisation de l'aléa, la maîtrise du processus industriel et la réduction de la vulnérabilité. Cependant, des progrès restent à faire dans la maîtrise du processus industriel pour réduire la sismicité, notamment par l'amélioration des modèles prédictifs pour quantifier l'effet du processus industriel sur la nucléation des séismes et leur intensité. Concernant la réduction de la vulnérabilité, les recherches engagées portent à la fois sur la définition de normes de constructions

parasismiques adaptées à la sismicité anthropique et sur le zonage de l'aléa sismique en particulier dans les zones à sismicité naturelle faible.

Quelle que soit l'activité industrielle concernée, la surveillance microsismique est l'outil privilégié pour la gestion du risque de sismicité anthropique. L'amélioration de cette surveillance passe à la fois par le bon calibrage des systèmes d'alerte ainsi que par le développement de nouveaux capteurs plus sensibles et résistants aux conditions extrêmes (e.g. Géothermie profonde).

## 7. Références bibliographiques

- Carder, D.S., 1945. Seismic investigations in the Boulder Dam area, 1940-1944, and the influence of reservoir loading on local earthquake activity. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 35(4): 175-186, NP1, 187-192.
- Cesca, S., Grigoli, F., Heimann, S., Gonzalez, A., Buforn, E., Maghsoudi, S., Blanch, E. and Dahm, T., 2014. The 2013 September-October seismic sequence offshore Spain: a case of seismicity triggered by gas injection? *Geophysical Journal International*, 198(2): 941-953.
- Chen, Y., 2009. Did the reservoir impoundment trigger the Wenchuan earthquake? *Science in China Series D: Earth Sciences*, 52(4): 431-433.
- Contrucci, I., Bennani, M., Bigarré, P. and Dominique, P., 2013. Activité microsismique et caractérisation de la détectabilité des réseaux de surveillance du bassin houiller de Gardanne, AGAP, Nancy.
- Contrucci, I. et Klein, E. (2017), Etat des connaissances concernant les aléas et les risques liés à la sismicité anthropique, [rapport INERIS DRS-17-149681-07390D](#).
- Deichmann, N. and Giardini, D., 2009. Earthquakes Induced by the Stimulation of an Enhanced Geothermal System below Basel (Switzerland). *Seismological Research Letters*, 80(5): 784-798.
- del Potro, R. and Diez, M., 2015. Induced Seismicity in Underground Gas Storage - The Case of Castor, Offshore NE Spain, 77th EAGE Conference & Exhibition, 1 – 4 June, Madrid.
- Gonzalez, P.J., Tiampo, K.F., Palano, M., Cannavo, F. and Fernandez, J., 2012. The 2011 Lorca earthquake slip distribution controlled by groundwater crustal unloading. *Nature Geosci*, 5(11): 821-825.
- Gupta, H.K., 1983. Induced seismicity hazard mitigation through water level manipulation at Koyna, India: A suggestion. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 73(2): 679-682.
- Gupta, H.K., 2002. A review of recent studies of triggered earthquakes by artificial water reservoirs with special emphasis on earthquakes in Koyna, India. *Earth-Science Reviews*, 58(3–4): 279-310.
- Haering, M.O., Schanz, U., Ladner, F. and Dyer, B.C., 2008. Characterisation of the Basel 1 enhanced geothermal system. *Geothermics*, 37(5): 469-495.
- Kinscher, J., Contrucci, I., Dominique, P., Klein, E. and Bigarré, P., 2017. On the variety of post-deformation phenomena in abandoned mining districts: Insights from seismic source analysis, Schatzalp Workshop on Induced Seismicity, Davos (Switzerland).
- Matrullo, E., Contrucci, I., Dominique, P., Bennani, M., Aochi, H., Kinsher, J., Bernard, P. and Bigarré, P., 2015. Analysis and Interpretation of Induced Micro-seismicity by Flooding of the Gardanne Coal Basin (Provence – Southern France), 77th EAGE Conference & Exhibition 2015, Madrid, Spain.
- McGarr, A., 1991. On a possible connection between three major earthquakes in California and oil production. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 81(3): 948-970.
- McGarr, A., Bekins, B., Burkhardt, N., Dewey, J., Earle, P., Ellsworth, W., Ge, S., Hickman, S., Holland, A., Majer, E., Rubinstein, J. and Sheehan, A., 2015. Coping with earthquakes induced by fluid injection. *Science*, 347(6224): 830-831.
- McGarr, A., Simpson, D. and Seeber, L., 2002. 40 Case histories of induced and triggered seismicity, *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*, Academic Press, Waltham, MA, 2002, Vol. 8, Chap. 40.
- McNamara, D.E., Rubinstein, J.L., Myers, E., Smoczyk, G., Benz, H.M., Williams, R.A., Hayes, G., Wilson, D., Herrmann, R., McMahon, N.D., Aster, R.C., Bergman, E., Holland, A. and Earle, P., 2015. Efforts to monitor and characterize the recent increasing seismicity in central Oklahoma. *The Leading Edge*, 34(6): 628-639.
- Nicholson, C. and Wesson, R.L., 1992. Triggered earthquakes and deep well activities. *pure and applied geophysics*, 139(3): 561-578.
- Simpson, D.W. and Leith, W., 1985. The 1976 and 1984 Gazli, USSR, earthquakes—were they induced? *Bulletin of the Seismological Society of America*, 75(5): 1465-1468.