



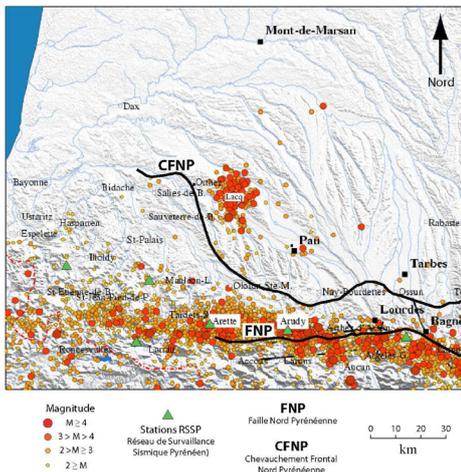
# LA SISMICITÉ INDUITE

A cause de certaines activités, l'homme provoque parfois des tremblements de terre. Même si cela est avéré depuis longtemps, une augmentation des cas de sismicité induite est apparue ces dernières années, essentiellement en lien avec la recherche de nouvelles sources d'énergie. Cette sismicité, parfois située dans des régions n'ayant jusqu'à présent pas eu de séismes naturels, implique de considérer ces nouveaux séismes, de comprendre leurs processus et d'évaluer si de nouvelles cartes d'aléa sismique doivent être proposées.

## ORIGINE DE LA SISMICITE INDUITE

Puisqu'un tremblement de terre est associé à une rupture le long d'une faille, on peut imaginer que toute **modification artificielle** des contraintes altère l'équilibre dans la croûte, et est donc susceptible de générer un séisme. C'est effectivement le cas dans ce que l'on nomme la **sismicité induite**, provoquée par différentes actions:

**L'exploitation des géo-ressources** – Ce n'est pas nouveau, l'exploitation de ressources de la terre, issues de **mines** ou de **gisements d'hydrocarbures**, modifie les contraintes naturelles dans la terre. En France, les cas les plus connus sont ceux du gisement de **Lacq** (Pyrénées), où la sismicité est produite par l'extraction du gaz, et de **Gardanne** (sud-est) où l'effondrement des voutes ou des parois des anciennes mines provoque des séismes.



La sismicité autour du gisement de Lacq. On observe une sismicité très localisée, sans lien avec la sismicité naturelle de la région. *extrait de T. Bardaine, Thèse de doctorat de l'Université PPA, 2005.*

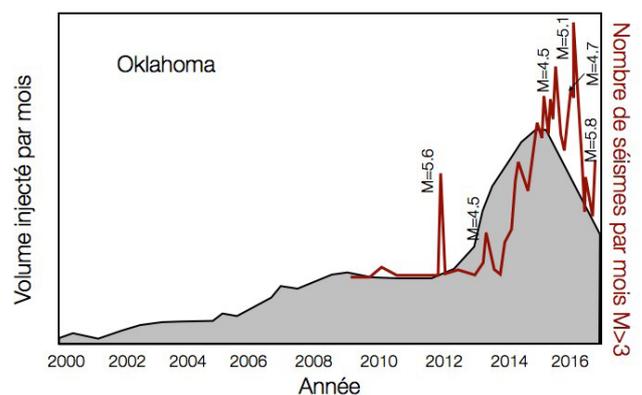
**Les remplissages des barrages** – La masse apportée par un remplissage artificiel peut **modifier localement les contraintes dans la croûte terrestre**, et en particulier le long de failles pré-existantes. Il semblerait ainsi, selon un article publié dans la revue *Nature*, que le remplissage du barrage des **Trois Gorges** (Chine) soit à l'origine du séisme du **Sichuan** de 2008 ayant entraîné environ 70 000 victimes. Ce cas reste à confirmer, mais d'autres exemples existent: celui du remplissage du barrage du **Monteynard** (proche de Grenoble) en 1963 a provoqué un séisme de magnitude supérieure à 4.

### L'exploitation par fracturation hydraulique

L'injection à haute pression de fluides dans les roches peu perméables est à l'origine d'une sismicité intense. Elle est utilisée afin de créer des fractures et faciliter la récupération des hydrocarbures. **La sismicité associée est généralement faible en surface**, sans conséquences majeures. Cependant, cette technique est également utilisée en géothermie, une ressource durable, qui dans le cas de **Bâle** en Suisse a provoqué des séismes très superficiels de magnitude supérieure à 3 ayant entraîné l'arrêt temporaire du programme géothermique national. En France, le site de **Souls-la-Forêt (Bas-Rhin)** est le cas le plus connu et le plus surveillé, avec une sismicité intense et des magnitudes de l'ordre de 3.

### L'injection de déchets ou de fluides pour stockage

L'injection à très haute pression de déchets issus de l'exploitation pétrolière, ou pour le stockage de CO2 en profondeur, est à l'origine d'une **sismicité intense**. Les cas les plus remarquables sont celui du site **Valence** en Espagne (centre de stockage de gaz liquide) et de **l'Oklahoma**. À Valence, la concentration de la population et l'augmentation très forte de la sismicité, ont entraîné l'arrêt du projet. Les séismes de l'Oklahoma sont les plus marquants de ces dernières années, atteignant des magnitudes supérieures à 5.



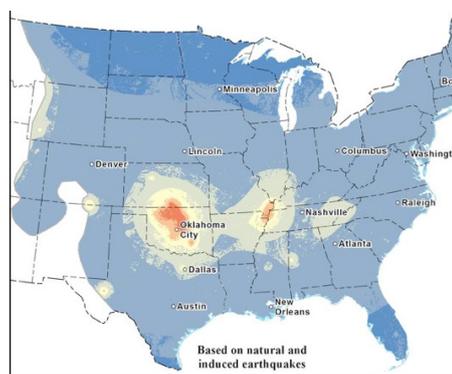
**Corrélation entre le volume injecté par les compagnies pétrolières en Oklahoma et la sismicité locale.** On observe un forçage des séismes, avec un décalage de quelques mois avec les volumes injectés. *D'après C. Langenbruch et M. D. Zoback, Science Advance, 2016.*

D'autres sources de sismicité induite ont été observées: la construction de la tour 101 à **Taipei** (Taiwan) ayant localement réactivé une faille cachée ou les essais nucléaires souterrains. Cependant, c'est une sismicité marginale comparée à celles produites par **l'exploitation des géo-ressources**. C'est un sujet sociétal fort dont les enjeux économiques sont importants.

## CONSEQUENCE DE LA SISMICITE INDUITE POUR LE RISQUE SISMIQUE

**Modification de l'aléa sismique** – Une étude récente publiée dans le *Bulletin de la Société Américaine de Sismologie* suspecte l'exploitation pétrolière intensive en **Californie** du début du XIXème siècle d'être à l'origine des séismes les plus importants. Il est alors raisonnable de se demander dans quelle mesure **l'activité humaine** peut avoir modifié la représentation de l'aléa sismique d'une région ou d'un pays.

Avec l'enjeu des ressources énergétiques au centre des préoccupations de nombreux décideurs, cette situation devrait normalement se maintenir, voire même se généraliser. Le cas récent de **l'Oklahoma** indique clairement à court terme une modification notable de l'aléa sismique au centre des Etats-Unis, dans une région jusqu'à maintenant sans activité sismique. Elle devrait raisonnablement être prise en compte dans **la définition des règles de construction**.



**Aléa sismique en 2017 aux Etats-Unis.** La nouvelle sismicité artificielle au centre des Etats Unis se distingue et la probabilité annuelle d'un séisme dans cette région, jusqu'alors peu concernée, est devenue plus forte qu'en Californie (Source USGS)

Modified Mercalli Intensity	
VIII+	Shaking severe, heavier damage
VII	Shaking very strong, moderate damage
VI	Shaking strong, felt by all, minor damage
V	Shaking moderate, felt indoors by most, outdoors by many
IV	Shaking light, felt indoors by many, outdoors by few
III	Shaking weak, felt indoors by several

**La fragilisation des bâtiments** – Cette "nouvelle" sismicité engendre des vibrations du sol. À la différence de la sismicité naturelle, plus profonde, celle-ci se situe plus en surface et pour des séismes dits modérés (magnitude autour de 3 et 4), les vibrations peuvent être importantes. Se pose alors la question des constructions présentes à proximité qui jusqu'à présent ne devaient pas être conçues en respectant les **règles parasismiques**, mais nouvellement confrontées à une sismicité non négligeable. Toute la gestion du bâti existant, sa vulnérabilité et son évolution dans le temps doivent être considérées sous un nouvel angle d'autant que le mouvement sismique induit ne présente pas forcément les mêmes caractéristiques que celui naturel: un nouveau champ d'activité reste à développer.

**Conséquence économique et sociale** – La sismicité induite implique **des conséquences socio-économiques majeures**. Le cas de **Groningen** aux Pays-Bas, un champ gazier important, en est certainement l'illustration la plus flagrante. La population locale est exposée à de nouvelles conséquences: des **dommages aux constructions**, la **baisse des prix de l'immobilier**, des **inquiétudes concernant les risques de rupture des digues des polders**, un **sentiment d'anxiété et d'insécurité** engendrant des problèmes de santé, de la colère... Ces impacts sociaux et émotionnels sont exacerbés par la défiance de plus en plus grande vis-à-vis des compagnies pétrolières et du gouvernement, et ont ré-ouvert des discussions sur la répartition inégales des produits de la production de gaz, la région locale exposée n'en tirant que très peu d'avantages.

La production a été ralentie mais cette manne économique est indispensable aux Pays-bas. De nombreux plans de prévention et d'atténuation ont été mis en place afin de regagner en légitimité, et la recherche très active se focalise sur la compréhension des processus physiques à l'origine de la sismicité, afin de proposer des dispositifs de suivi et de contrôle en fonction des volumes exploités.



**Conséquence médiatique de la sismicité de Groningen (Pays-Bas).** Parce que les personnes exposées ne sont pas celles qui profitent des retombées économiques de l'exploitation, la pression sociale est forte et a requis un investissement très important des autorités en gestion et plan de prévention.

Un autre exemple est celui des projets de géothermie en Suisse. La sismicité induite ayant fortement impacté les populations locales, qui n'acceptent pas cette nouvelle nuisance, le programme national a été stoppé pendant plusieurs années. Mais cela a également incité les autorités à anticiper les nouvelles exploitations, par la réalisation d'étude de risque et d'impact comme dans la région de Genève, pendant presque 2 ans avant la mise en exploitation.

**LA SISMICITE INDUITE, UN ENJEU DE SOCIETE POUR L'AVENIR.** La recherche de nouvelles sources d'énergie risque de voir se généraliser la sismicité induite. Même les énergies vertes comme la géothermie, pourtant acceptée par les populations, sont remises en question du fait du risque qu'elles peuvent faire encourir aux populations. De nombreux programmes de recherche sur le contrôle forcé de cette sismicité artificielle, sur la prédiction des conséquences sur les constructions vulnérables et sur les impacts économiques ont été lancés au niveau mondial afin de répondre aux enjeux de sociétés associés et qui nous concernent tous.