

# Analyse du risque de sismicité induite et critères d'admissibilité : clé de lecture

*Document mis à jour du 3 au 13 novembre 2023 par Sylvain Rigaud, basé sur une note interne datée du 27 mars 2015 de N. Eichenberger et C. Badertscher, Office de l'environnement et des discussions avec le Service sismologique suisse.*

## Projet de géothermie profonde à Glovelier

Nous vous présentons ci-après une mise en contexte des principaux éléments de l'analyse de risque sismique réalisée en 2015, ainsi que les critères d'admissibilité en la matière fixés par l'Office de l'environnement dans son autorisation (réf. 969/2014).

### 1. Introduction – principe de mitigation du risque de sismicité induite

Les séismes de Bâle de 2006, provoqués par les opérations de stimulation hydraulique du massif cristallin, ont accentué la prise de conscience des risques liés à la sismicité induite dans les projets de géothermie profonde de type pétrothermal.

Aucune analyse de risque n'avait été réalisée au préalable des opérations de stimulation dans ce projet. Or, l'analyse de risque réalisée a posteriori (étude Serianex 2009) a montré des niveaux de risque élevés, ce qui a mené à l'arrêt définitif du projet.

Le projet de Haute-Sorne, au contraire du projet bâlois, vise à s'écarter des grandes failles géologiques et prévoit la création d'un réservoir profond selon une méthode de stimulation hydraulique plus prudente, par étapes. La surveillance de la sismicité bénéficiera d'une surveillance en temps réel selon un réseau emboîté (celui de l'opérateur et celui renforcé du Service sismologique suisse), hautement performant. Ces mesures, à elles seules, permettent une réduction importante du niveau de risque. Elles sont complétées par un certain nombre de mesures, la plupart édictées dans l'autorisation n°969/2014 (voir conditions 40 à 60) et dans la convention du 17 juin 2022 (par exemple, art. 11 à 13 et 18 à 20).

### 2. Méthodologie de l'analyse de risque

L'analyse de risque a été réalisée en utilisant une méthode de calcul, mise au point par le Service sismologique suisse (SED) en 2015.

La méthode consiste à combiner les probabilités d'occurrence de séismes induits avec des fonctions de prédiction de l'intensité ressentie en surface. Cette méthode, en considérant toutes les combinaisons possibles des paramètres de manière systématique, permet de dériver un certain nombre de modèles mettant en relation le montant des dommages ou le risque de décès à leur probabilité d'occurrence. La médiane de tous les modèles calculés est considérée comme la meilleure estimation possible du risque présenté par le projet.

Le choix des paramètres des modélisations a été réalisé en suivant les recommandations du SED. La méthode a également fait l'objet d'une validation consistant à comparer les modèles obtenus à des dommages réels causés par des séismes naturels ou induits. Les

modèles couvrent de manière satisfaisante le spectre des valeurs mesurées à ce jour en Suisse et dans les pays limitrophes.

L'analyse de risque réalisée correspondait en 2015 à un état avancé de la recherche en la matière. Les calculs présentés ont été vérifiés par le SED de manière indépendante. Une nouvelle étude de risque, basée sur les dernières connaissances en la matière, sera réalisée à la fin de la phase en cours, dite exploratoire. De nouvelles données, aussi bien géologiques que géophysiques, seront acquises durant cette phase exploratoire ce qui réduira les incertitudes.

### **3. Présentation et communication du risque**

Les résultats d'études probabilistes sont toujours difficiles à interpréter pour les non-spécialistes, ce qui est d'autant plus vrai ici en raison de la complexité et nouveauté de la méthodologie utilisée.

Au vu de ce problème de perception des probabilités, et considérant que l'analyse du risque doit se concentrer sur les dommages d'une certaine intensité, les résultats présentés ci-après sont limités aux dommages supérieurs à 1 million de francs.

Par ailleurs, les résultats présentés ci-après ne concernent que la phase de création du réservoir par stimulation hydraulique. Le risque sismique sera réévalué à la fin des grandes étapes du projet (phase exploratoire ainsi que phase de stimulation ou de développement du réservoir), sur la base de l'ensemble des données acquises dans l'intervalle. La phase d'exploration (définie ultérieurement, selon convention du 17 juin 2022) et la phase d'exploitation de la centrale géothermique présentent toutefois un risque de sismicité induite moindre.

Enfin, afin de se prémunir d'une sous-évaluation du risque, l'étude est basée sur une probabilité cumulative d'occurrence annuelle. Or, les opérations de stimulation envisagées seront de courte durée (quelques jours à quelques semaines).

### **4. Critères d'admissibilité du risque**

La sismicité induite a ceci de particulier qu'elle est susceptible de créer des dommages légers sur un périmètre étendu, ceci sans provoquer de dommages importants à proximité de la source de nuisance, celle-ci étant dans le cas présent localisée à plusieurs kilomètres de profondeur. Elle diffère en ce sens des risques technologiques classiques pour lesquels a été élaborée l'Ordonnance fédérale sur les accidents majeurs (OPAM).

Dans ce contexte, il est apparu que des critères spécifiques d'admissibilité du risque devaient être définis, en particulier pour les dommages situés en deçà des limites OPAM fixées à 64 millions de francs pour les dommages matériels et à 10 victimes pour le risque de mortalité. Ces critères ont été définis en collaboration avec :

- le professeur Stefan Wiemer, directeur du *Service sismologique suisse*,
- M. Blaise Duvernay, chef de la Centrale de coordination pour la mitigation des séismes à l'OFEV (section *Prévention des accidents majeurs et mitigation des séismes*),
- Geo Energie Suisse.

Ils sont indiqués dans les chapitres suivants avec le symbole ❖.

### **5. Dommages matériels**

La figure 1 ci-dessous présente les courbes « probabilités-conséquences » en termes de dommages matériels au-delà de 1 million de francs pour les risques sismiques suivants:

- Phase II, de stimulation : « test » de stimulation hydraulique à Glovelier (le test de stimulation hydraulique tel que défini dans l'analyse de risque correspond à la stimulation de la première fissure du réservoir et donc diffère de celui, moins profond et plus léger, prévu dans la phase I du projet) ;
- Phase II, de stimulation du réservoir : stimulation de la totalité du réservoir à Glovelier ;
- Stimulation du réservoir et exploitation de la centrale à Bâle (étude Serianex).

Les risques sismiques étant relativement abstraits, une courbe plus familière est également représentée, à savoir celle des dommages aux bâtiments dus au feu. Cette courbe a été choisie en raison de son allure semblable aux courbes du risque sismique, et du fait que le feu constitue le risque le plus fréquent de dommage aux bâtiments. Les données de l'ECA-Jura ne permettant pas une visualisation du risque au-delà de quelques millions de francs, la courbe est tirée de l'étude fédérale Katarisk (1995). La surface violette sous la courbe montre l'incertitude liée au risque « feu ».

Les conditions d'application de l'Ordonnance fédérale sur les accidents majeurs (OPAM) sont également représentées. Elles indiquent, pour des dommages supérieurs à 64 millions de francs, les probabilités acceptables (en vert), intermédiaires (en jaune) et inacceptables (en rose) de cette ordonnance.

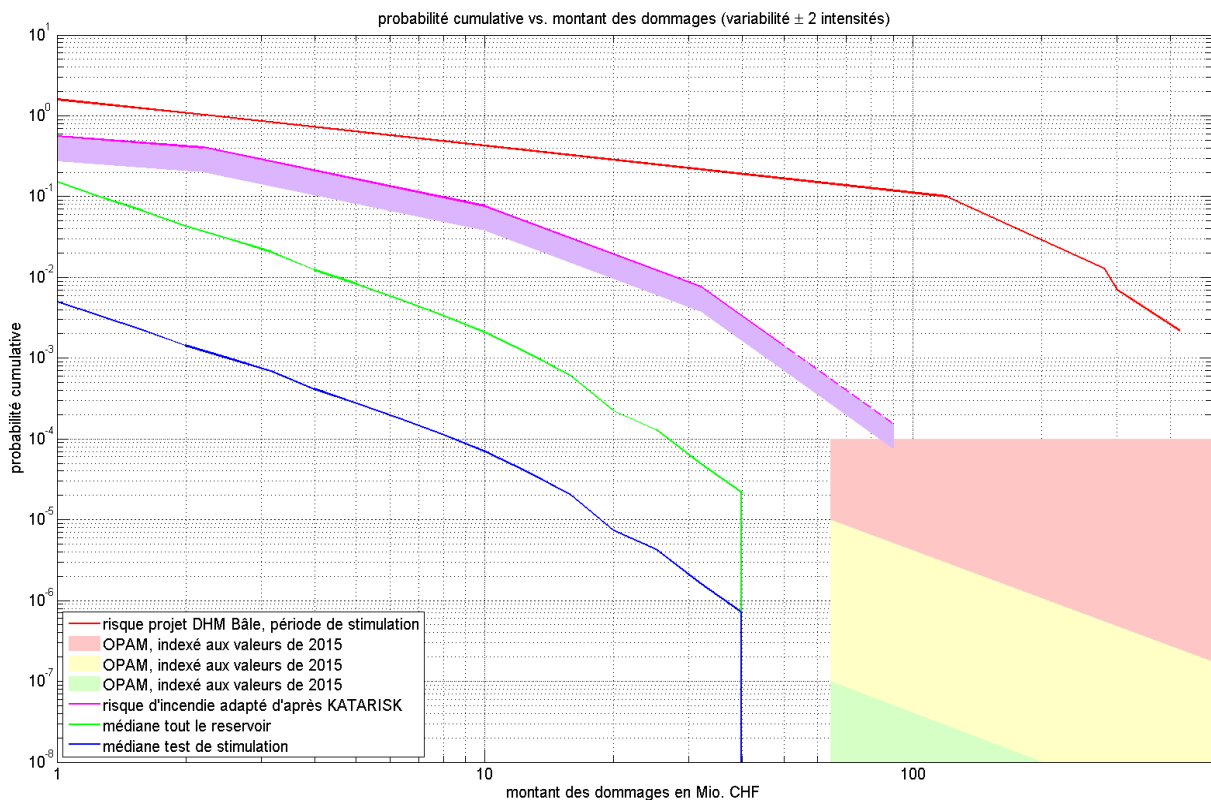


Fig.1 : représentation du risque de dommages matériels pour les projets de Glovelier et de Bâle, comparaison avec le risque « feu ». Axe horizontal : somme des dommages matériels en millions de francs. Axe vertical : probabilité cumulative d'occurrence annuelle. Le terme « test de stimulation » se réfère à la stimulation de la première fissure (première stimulation du réservoir). Le test de stimulation prévu actuellement dans la phase I du projet présente donc un niveau de risque inférieur à celui représenté.

De la figure 1 ressortent les éléments suivants :

- a. Les mesures de mitigation du risque sismique qui distinguent le projet de Glovelier de celui de Bâle ont permis une diminution drastique du risque sismique. Par exemple, la probabilité de dommages supérieurs à 10 millions de francs est passée de 40% à 0.2%.
- b. Le risque sismique du projet de Glovelier est acceptable du point de vue de l'OPAM, la médiane de tous les modèles calculés, qui sert à l'estimation du risque pour le projet, n'atteignant pas 64 millions de francs.
- c. Le risque induit par le premier test de stimulation hydraulique (correspondant ici à la stimulation complète de la première fissure) est relativement faible, avec par exemple une probabilité de 0.5% de provoquer des dommages à hauteur d'un million de francs.
- d. Pour le développement du réservoir complet, les probabilités de provoquer des dommages au domaine bâti ne sont pas négligeables, mais diminuent fortement avec le montant des dommages : probabilité de 15% pour 1 million de francs de dommages (cf. aussi chapitre 2), de 0.2% pour 10 millions de francs et de 0.02% pour 20 millions de francs.
- e. En temps normal et indépendamment du projet de géothermie, le risque « feu » est, selon les dommages considérés, de 2 à 100 fois supérieur au risque sismique induit par le projet de géothermie.

#### 5.1. Admissibilité et gestion du risque

Les éventuels dommages matériels sont couverts par une assurance contractée par Geo Energie Suisse.

Comme le risque sismique est appelé à évoluer en cours de projet, il convient de fixer les conditions de gestion de ce risque, en particulier dans le cas où il viendrait à augmenter. L'admissibilité du risque révisé serait alors évaluée par un groupe d'experts indépendants. La condition d'autorisation suivante a été édictée dans ce but :

- ❖ *En cas d'augmentation notable du risque lié à la sismicité induite (déplacement vers le haut de la courbe verte sur la fig. 1), le protocole d'arrêt de la stimulation hydraulique sera immédiatement appliqué. Geo Energie Suisse transmettra au groupe d'experts l'analyse de risque mise à jour. Le groupe d'experts fera sa propre évaluation de la situation et transmettra ses recommandations au Gouvernement. Celui-ci décidera sur cette base de la poursuite ou non du projet.*

#### 5.2. Montant des dommages assurés

Par analogie avec la pratique dans d'autres domaines, en particulier celui des grands barrages, l'assurance doit au minimum couvrir les risques annuels supérieurs à 1/10'000. Une limite à 1/100'000 est établie. Elle correspond à ce stade de calcul du risque à un montant de 40 millions de francs (fig. 1).

Considérant que le risque est susceptible d'augmenter en cours de projet, il est légitime de doubler ce montant, d'où la condition d'autorisation suivante :

- ❖ *L'exploitant devra être au bénéfice d'une assurance couvrant l'ensemble des dommages à l'environnement naturel et bâti, jusqu'à concurrence de 80 millions de francs au minimum. Les opérations de forage et de stimulation hydraulique du réservoir ne seront autorisées qu'après réception et validation par les autorités de cette assurance. En cas de résiliation de l'assurance, ces opérations devront être arrêtées et ne pourront être reprises qu'après conclusion d'une nouvelle assurance validée par les autorités.*

Cette condition a été par la suite renforcée dans la convention du 17 juin 2022, notamment via l'article 20.1.2 (extrait) :

« ... l'Exploitant souscrit et maintient une assurance responsabilité civile d'un montant de 100 millions de francs. Ce montant, défini sur la base de l'évaluation du risque en l'état et couvrant le double du montant maximal des dommages en cas de réalisation du risque sismique plus une marge de 25%, sera revu d'un commun accord entre les Parties si la somme d'assurance ne couvre plus le double du montant maximal des dommages estimés sur la base de la mise à jour de l'étude de risque ... »

## **6. Mortalité**

### **6.1. Résultats de l'analyse de risque**

Le risque de mortalité peut être calculé de façon collective ou individuelle. D'entente avec le SED et l'OFEV, le risque individuel a été jugé plus adapté que le risque collectif pour le présent projet. Ainsi fait, le risque prend spécifiquement en compte la catégorie de la population la plus exposée au risque, à savoir les personnes résidant dans les bâtiments les plus vulnérables (fonction de la classe de sol de fondation et de la résistance des ouvrages aux ébranlements).

Le risque individuel est à ce stade de l'analyse de risque d'environ 1/10'000'000.

### **6.2. Admissibilité et gestion du risque**

Le risque individuel de décès est principalement utilisé dans le domaine des dangers naturels, avec une valeur limite annuelle fixée à 1/100'000.

Une valeur plus sévère doit être appliquée dans le cas présent, s'agissant d'un danger créé par le projet. Une valeur 10 fois plus faible paraît raisonnable, considérant que le risque de sismicité induite n'est pas permanent, mais se limite aux quelques mois de stimulation hydraulique du réservoir.

La condition d'autorisation suivante a été fixée par l'Office de l'environnement :

- ❖ *Le risque individuel de décès ne doit pas excéder une probabilité annuelle de 1/1'000'000. Ce risque doit être recalculé à l'acquisition de toute nouvelle donnée susceptible de le modifier notablement. La méthode de calcul, décrite dans le rapport GES du 9 mars 2015 (Assessment of the seismic risk induced by the geothermal project of Haute-Sorne), doit au besoin être mise à jour si elle ne correspond plus aux recommandations de l'Office fédéral de l'environnement en la matière.*

## **7. Processus en cas de séisme supérieur au seuil attendu des premiers dommages**

Le système de feux de signalisation a été élaboré pour éviter tout séisme de magnitude supérieure à 2.6, et donc tout dommage en surface. L'occurrence d'un séisme supérieur à 2.6 justifierait dès lors une réévaluation du risque sismique, et la possibilité pour les autorités de stopper le projet, même en l'absence de dommages. Ce point fait l'objet de la condition d'autorisation suivante :

- ❖ *En cas de séisme de magnitude supérieure au seuil attendu des premiers dommages (actuellement  $M_w=2.6$ ), le protocole d'arrêt de la stimulation hydraulique sera immédiatement appliqué. Geo Energie Suisse mettra à jour l'analyse du risque sismique, en expliquant en particulier les causes du séisme, et la transmettra au groupe d'experts. Celui-ci transmettra ses recommandations au Gouvernement qui décidera de la poursuite ou non du projet.*

## **8. Synthèse**

Le risque sismique du projet de Glovelier a fait l'objet d'une analyse la plus détaillée possible, ceci avec le soutien du Service sismologique suisse qui a suivi, orienté et validé les études réalisées par l'opérateur.

Malgré une forte diminution du risque par rapport au projet de Bâle, les probabilités d'occurrence de séismes provoquant des dommages légers au domaine bâti ne sont pas négligeables. Ce risque est considéré comme acceptable du fait qu'il est assuré d'une part, et qu'il est inférieur au principal risque de sinistre aux bâtiments que sont les incendies.

Le risque de mortalité est quant à lui extrêmement faible, et donc également acceptable.

Le risque sismique est appelé à évoluer en cours de projet. La mise sur pied d'un groupe d'experts permettra de garantir un suivi indépendant de ce risque, et de formuler au besoin des recommandations au Gouvernement, qui décidera de la poursuite ou non du projet en cas :

- d'augmentation du risque sismique ;
- d'occurrence d'un séisme supérieur à la limite supposée des dommages matériels (magnitude de moment  $M_w = 2.6$ ).

## **9. Complément**

A la suite de l'analyse de risque présentée ici, un lien a été établi entre un séisme induit (le séisme de Pohang, en Corée du sud) et des dommages structuraux aux bâtiments. Suite à ce séisme, le SED (rapport du 18 octobre 2019) a évalué la solidité des mesures prévues dans le cadre du projet de Haute-Sorne, de manière positive. Un renforcement des mesures et un phasage sécuritaire du projet (convention du 17 juin 2022) découlent de cette analyse.

Toute question relative aux éléments présentés dans de le présent document peut être adressée à M. Sylvain Rigaud, chef de projet géothermie profonde, Service du développement territorial (sylvain.rigaud@jura.ch).