
Résumé des investigations menées suite au séisme de novembre 2017 à Pohang, Corée du Sud, et implications pour le projet de Haute- Sorne

Olivier Zingg, Dr. Peter Meier

Geo-Energie Suisse SA

Janvier 2019

Table des matières

1	Introduction	3
1	Contexte.....	3
2	Méthodologie.....	3
3	Résultats.....	3
2	Le projet EGS de Pohang et sa relation au séisme de novembre 2017	4
	Mise au point concernant le rôle de Geo-Energie dans le projet de Pohang.....	6
3	Rôle du contexte géologique coréen	6
	Influence sur la péninsule coréenne des événements tectoniques au Japon	7
4	Implications des résultats précédents pour le projet de Haute-Sorne.....	8
5	Critères d'arrêt du projet de Haute-Sorne et comparaison avec ce qui s'est fait à Pohang	11
1	Condition 55 du permis – développement de la sismicité hors du réservoir	11
2	Condition 60 du permis – procédure en cas de dépassement d'un seuil de magnitude prédéfini.....	13
6	Conclusion.....	13
7	Prochaines étapes du projet de Haute-Sorne.....	16

1 Introduction

1 Contexte

Le 15 novembre 2017, un séisme de magnitude 5.4 s'est produit à proximité d'un projet de géothermie en construction à Pohang, en Corée du Sud. Sur la base des informations disponibles et de sa propre analyse de la situation, Geo-Energie Suisse (GES) a alors décidé d'informer immédiatement le Gouvernement jurassien de la situation. Celui-ci a réagi le 28 novembre 2017 en demandant à Geo-Energie Suisse de lui remettre un rapport sur les événements de Pohang et sur les éventuelles incidences de ses conclusions sur le projet de Haute-Sorne.

2 Méthodologie

Grâce à son engagement dans le projet européen de recherche DESTRESS, auquel certains partenaires du projet coréen ont également pris part, GES a pu obtenir la quasi-totalité des données nécessaires à son analyse. Il s'agit, entre autres, des enregistrements de la microsismicité, des relevés de forage, des diagraphies et des paramètres hydrauliques des stimulations. A ces données du projet s'ajoutent celles publiquement disponibles, comme les enregistrements des réseaux nationaux de surveillance sismique, des stations de mesure GPS et des satellites d'observation des déformations de la croûte terrestre (InSAR). Huit spécialistes, provenant de différentes disciplines de l'ingénierie et des sciences de la terre, ont travaillé pendant près d'une année à collecter ces données, les rendre utilisables, les analyser, les modéliser et permettre ainsi de les interpréter dans le contexte du projet de Pohang.

En Corée, suite au tremblement de terre et à la controverse sur ses causes, le Gouvernement a chargé la Société Géologique de Corée de mettre sur pied une commission d'investigation chargée d'établir les causes du séisme. Celle-ci est composée d'un groupe de 12 spécialistes coréens de différentes disciplines des géosciences et d'un groupe international de 5 spécialistes jouissant d'une réputation établie dans leurs domaines de compétence. Les conclusions de cette commission sont attendues en mars ou avril 2019.

De nombreuses données nécessaires à la compréhension du séisme de Pohang ont été remises à GES à condition que les résultats détaillés des interprétations ne soient transmis dans un premier temps qu'aux autorités du canton du Jura et à la commission d'investigation coréenne. Ce n'est qu'une fois que les conclusions de cette commission auront été rendues publiques, que les résultats détaillés des travaux de GES pourront également être publiés dans la presse scientifique.

3 Résultats

Le rapport de GES se compose des éléments suivants :

1. Une étude de la sismicité induite et du séisme du 15 novembre 2017
2. Une étude des mesures hydrauliques durant les phases de stimulation
3. Une étude de la géologie locale d'après les résultats des forages
4. Une étude du champ de contrainte
5. Une étude des déformations de surface d'après des mesures satellitaires
6. Une modélisation numérique de la sismicité causée par l'injection d'eau à haute pression dans un des deux forages

7. Une analyse comparative des contextes géologiques de la Suisse et de la Corée du Sud
8. Un rapport de synthèse de ces études
9. Le présent résumé des investigations menées sur le séisme de Pohang et de ses implications pour le projet de Haute-Sorne

Le rapport complet de Geo-Energie Suisse a été remis aux autorités début janvier 2019. Ainsi qu'il l'avait annoncé dans son communiqué du 28 novembre 2017, le Gouvernement pourra dès à présent le soumettre pour évaluation à un groupe d'experts indépendants qu'il aura précédemment nommés.

Dans son étude, GES s'est concentrée sur l'étude des stimulations hydrauliques réalisées dans le cadre du projet et de leur relation au séisme de Pohang, sur la base des données mises à sa disposition. Les travaux de nombreux chercheurs laissent toutefois apparaître que la sismicité naturelle joue également un rôle important dans cette région. Une évaluation définitive des contributions relatives des injections dans les forages et des phénomènes naturels sur le déclenchement du séisme du 15 novembre 2017 n'est pour l'heure pas possible. Il appartiendra à la commission nationale d'investigation coréenne de tenter d'apporter une réponse à cette question, peut-être sur la base de nouveaux éléments ou de nouvelles données.

2 Le projet EGS de Pohang et sa relation au séisme de novembre 2017

Le développement de la géothermie profonde à Pohang remonte au début des années 2000. De nombreuses études ont notamment mis en évidence la présence d'une zone de faille jugée alors favorable au développement de la géothermie. C'est dans ce contexte que deux forages profonds ont été réalisés en 2015 et 2016 pour le projet EGS de Pohang¹.

Le premier forage a effectivement traversé une importante zone de faille mais pas le second, ce qui a conduit à prendre cette faille en sandwich entre les deux forages (cette situation est représentée schématiquement à la Figure 4). Durant près de deux ans, de nombreuses injections d'eau (stimulations) ont été réalisées pour essayer de faire circuler de l'eau entre les deux forages et pouvoir ainsi produire de l'énergie en surface. Pour y parvenir, de très hautes pressions, jusqu'à 900 bars en surface, ont été appliquées dans le puits vertical. Une telle pression représente plus de 3 fois la pression d'injection maximale utilisée à Bâle et plus de 9 fois celle autorisée en France. Elle permettrait théoriquement de soulever toute la colonne de roche au-dessus du point d'injection.

¹ Les premiers travaux de forage ont été réalisés dès 2012 dans le cadre du projet de Pohang. Pour des raisons de simplicité, ce rapport n'évoque que les deux forages principaux réalisés en 2015 et 2016 et dans lesquels des stimulations hydrauliques ont été effectuées.

		Forage vertical Pmax = 900 bars	Forage dévié Pmax < 300 bars
2015	1		
	2		
	3		
	4	forage	
	5		
	6		
	7		
	8		
	9		
	10		
	11		
	12		
2016	1	stimulation 1 29.01-20.02	
	2		
	3		
	4		
	5		
	6		
	7		forage
	8		
	9		
	10		
	11		
	12		stimulation 2 15.12-11.01
2017	1		
	2		
	3	stimulation 3 16.03-16.04	
	4		
	5		
	6		
	7		stimulation 4 7.08-14.08
	8	stimulation 5 29.08-23.09	
	9		
	10		
	11		
	12		

Figure 1: Calendrier de la réalisation et de la stimulation des deux forages principaux du projet EGS de Pohang..

Or les injections répétées à de très hautes pressions dans le puits vertical ont conduit à une accumulation de pression sur une faille qui se trouvait probablement déjà dans un état naturellement instable. En effet, l'étude du champ de contrainte et les modélisations numériques réalisées par Geo-Energie Suisse montrent que l'orientation locale des contraintes tectoniques naturelles ont pu favoriser l'activation de cette faille. De plus, de récentes études montrent que l'activité sismique a augmenté dans toute la région suite au séisme de magnitude 9 ayant frappé le Japon en 2011 et causé, en plus de vastes destructions, la catastrophe de la centrale nucléaire de Fukushima (voir chapitre 3).

Il est dès lors vraisemblable que les injections à haute pression effectuées dans le forage vertical aient pu finir par déstabiliser complètement cette faille déjà naturellement instable et aient ainsi contribué au déclenchement du séisme du 15 novembre 2017. Les contributions relatives des phénomènes naturels et des influences humaines ne peuvent pour l'heure être tranchées de manière définitive. Cette question est au centre du travail de la commission nationale d'investigation coréenne.

Mise au point concernant le rôle de Geo-Energie dans le projet de Pohang

- GES n'a jamais été partenaire du consortium du projet de Pohang, comme cela a parfois été faussement rapporté dans la presse. GES est l'un des partenaires du projet de recherche européen DESTRESS, démarré en mars 2016, et auquel certains membres du projet coréen collaborent également. Les premiers forages pour le projet de Pohang ont débuté en 2012 et le projet était déjà très avancé lorsque certains de ses partenaires ont rejoint DESTRESS.
- Dans le cadre du projet DESTRESS, le soutien de GES s'est limité à la technique de forage et à l'instrumentation de mesure. En décembre 2016, un forage d'observation situé à 2.5 km du projet a ainsi été équipé par GES d'un sismomètre de puits à 2'500 m de profondeur sur demande des responsables du projet. Cet instrument, qui avait déjà servi lors du projet de Bâle, a du reste livré des données de grande valeur qui contribuent aujourd'hui à la compréhension du lien entre les opérations de stimulation et le tremblement de terre de novembre 2017.
- GES n'a porté aucune responsabilité décisionnelle ni aucune responsabilité en lien avec l'évaluation des risques. Qui plus est, aucun des partenaires européens de DESTRESS n'a été impliqué dans la planification et la réalisation des stimulations à haute pression effectuées dans le forage vertical.

3 Rôle du contexte géologique coréen

Bien que le lien de causalité entre le projet de géothermie et le séisme de Pohang semble fort probable, le contexte géologique spécifique de la Corée du Sud doit également être pris en compte dans la compréhension de cet événement.

Le Sud-est de la Corée est recoupé par plusieurs grandes failles (Yangsang, Ulsan, Ocheon - voir Figure 2). La plus proéminente, la faille de Yangsang, mesure plus de 150 km et ne se situe qu'à une dizaine de km du projet de géothermie de Pohang et de la faille ayant engendré le séisme de novembre 2017. Pour comparaison, la longueur de la faille de Yangsang est équivalente à la distance Delémont – Genève. Or ces grandes failles montrent une activité tectonique récente. L'étude de la sismicité historique de ces 2000 dernières années révèle qu'une dizaine de séismes d'intensité supérieure ou égale à VIII² (soit des magnitudes proches de 6 et plus) se sont produits le long de ces failles.

² L'intensité d'un séisme désigne son effet en surface et se mesure sur l'échelle d'intensité modifiée de Mercalli (MMI) allant de I à X (1 à 10, en chiffres romains). Cette échelle est la seule directement applicable aux séismes historiques, pour lesquels seules des descriptions de l'étendue des destructions existent. Une intensité VIII implique que seuls les immeubles spécialement conçus subissent des dommages légers, les autres des dommages sévères.

La magnitude, quant à elle, se mesure sur l'échelle ouverte de Richter et est une indication de l'énergie libérée par le tremblement de terre. Sa mesure se fait au moyen de sismomètres. Des intensités MMI de VIII et plus correspondent à des séismes de magnitude proche de 6 et plus.



Figure 2: Sud-est de la Corée. Les grands systèmes de faille de Yangsan, Ulsan et Ocheon sont représentés ainsi que les tremblements de terre historiques d'intensité MMI supérieure ou égale à VIII (derniers 2000 ans, selon KIGAM³). Un grand nombre se concentrent à proximité de Gyeongju, à l'intersection des failles d'Ulsan et de Yangsan. Le tremblement de terre de Gyeongju de septembre 2016 est représenté par une étoile orange. La faille activée lors du séisme de Pohang le 15 nov. 2017 est représentée en traitillé et le site du projet de géothermie est indiqué par un carré jaune.

Influence sur la péninsule coréenne des événements tectoniques au Japon

Au mois de mars 2011, un mégaséisme de magnitude 9 s'est produit au large du Japon, causant un gigantesque tsunami et, entre autres, la catastrophe nucléaire de Fukushima. Plusieurs études montrent aujourd'hui que ce séisme a également eu une influence sur le régime tectonique de la Corée.

³ Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, partenaire du projet de Pohang

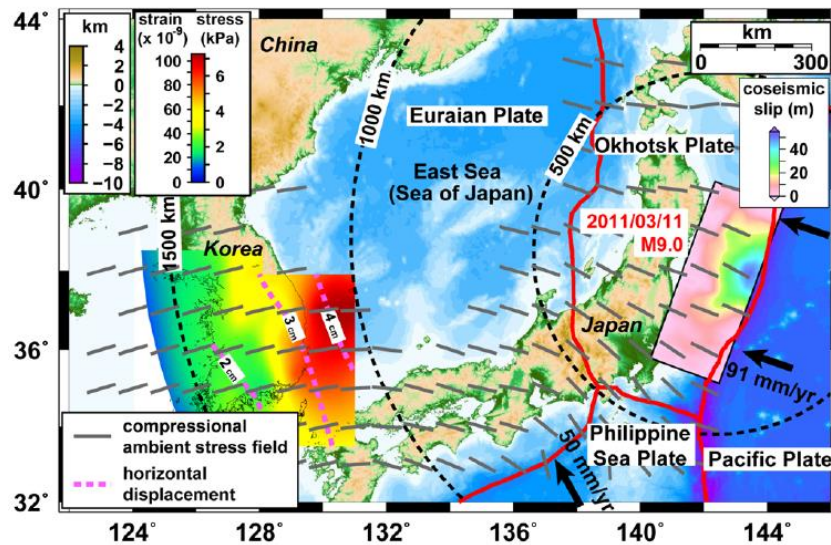


Figure 3: déplacement horizontal en cm (traitillé rose) de la péninsule coréenne associé au séisme de magnitude 9 du 11 mars 2011 au Japon. Le niveau des déformations (strain, $\times 10^{-9}$) et des contraintes (stress, kPa) associées sont également indiqués en couleur pour la péninsule coréenne. Figure tirée de Hong et al., 2018, Nature.

Depuis cette date, une nette augmentation de l'activité sismique a été enregistrée en Corée. Certains chercheurs y voient la cause d'un autre tremblement de terre, qui s'est produit en septembre 2016 près de Gyeongju, à 40 km de Pohang (Figure 2). D'une magnitude 5.8, il s'agissait du plus fort séisme enregistré en Corée depuis le début des mesures instrumentales en 1978. Cette situation aurait, selon ces auteurs, également pu jouer un rôle dans le déclenchement du séisme de Pohang en novembre 2017.

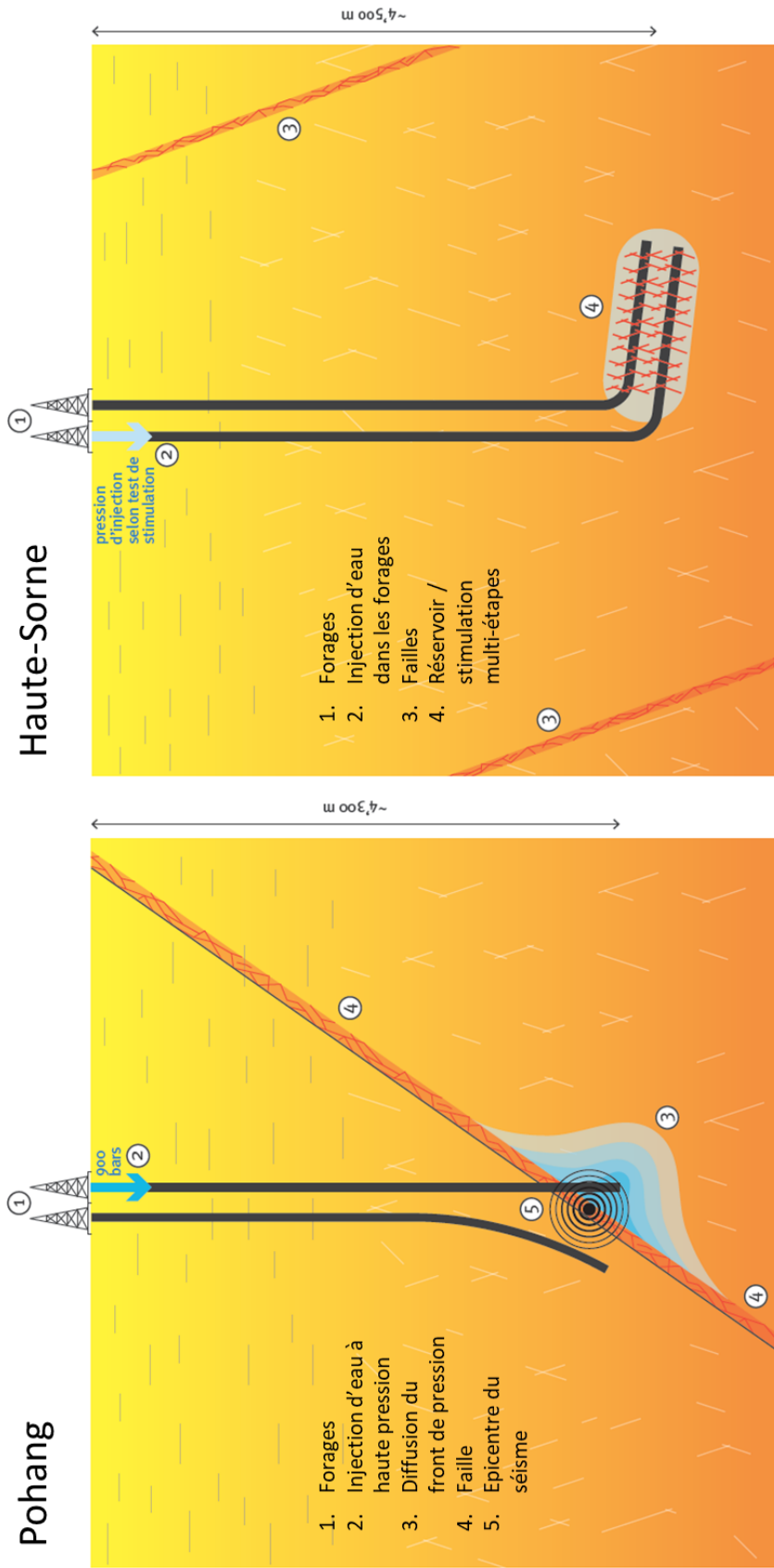
4 Implications des résultats précédents pour le projet de Haute-Sorne

L'analyse détaillée réalisée pendant plus d'une année par plusieurs spécialistes a permis de mettre en évidence que des différences fondamentales de concept et de mise en œuvre existent entre les projets de Pohang et de Haute-Sorne. De plus, le contexte géologique de la Corée du Sud est très différent de celui de la Suisse. Au vu de ces analyses, tous les mécanismes de sécurité qui ont été prévus pour le projet de Haute-Sorne demeurent efficaces pour prévenir un scénario comme celui de Pohang :

1. Tout d'abord, les conditions géologiques du Jura, situé au milieu d'une plaque continentale stable et avec une sismicité modérée, ne sont pas comparables avec la région de Pohang qui est soumise à l'influence de la tectonique très active en bordure du Pacifique.
2. Le concept du projet de Pohang a été de cibler une zone de faille et de la stimuler pour établir une circulation d'eau entre deux forages avec de très hautes pressions (jusqu'à 900 bars en surface). Le concept de GES pour le projet de Haute-Sorne est bien différent : il s'agit à l'opposé d'éviter préventivement les zones de faille qui pourraient présenter un risque sismique élevé. De plus, dans le cas de Haute-Sorne, la perméabilité nécessaire à la circulation de l'eau sera atteinte grâce à une stimulation par étapes successives de

nombreuses zones de petite dimension le long de forages déviés. Ce concept réduit intrinsèquement le risque sismique.

3. Pour le projet de Haute-Sorne, une étude de risque correspondant au meilleur état des connaissances actuelles a été réalisée. Elle a permis de sélectionner un site approprié, de valider le concept de stimulation et de définir les mesures de précaution, comme les paramètres du système de surveillance sismique et les seuils d'arrêt. Nous n'avons pas connaissance d'une étude de risque comparable pour le projet de Pohang.
4. Le système de surveillance sismique qui sera mis en place à Haute-Sorne s'appuiera sur les derniers développements dans la technique de mesure, comme l'équipement des forages avec des chaînes de sismomètres. Ce dispositif permettra une mesure précise et une localisation des événements sismiques en temps réel. Il permettra également de mettre en évidence le développement d'une sismicité induite sur une éventuelle faille voisine, ce qui mènerait à un arrêt immédiat des travaux de stimulation. A Pohang, par contre, aucune localisation en temps réel n'était possible. A la suite du séisme, il a fallu en 2018 près de 9 mois à une équipe de spécialistes pour localiser la sismicité induite enregistrée durant les travaux réalisés de 2016 à 2017. Les données se sont avérées particulièrement complexes à traiter à cause de configurations de réseau ayant changé plusieurs fois en cours de projet. A l'opposé, la stimulation hydraulique du forage de géothermie profonde du projet ST1 à Espoo, près de Helsinki, effectuée l'été dernier avec un concept de stimulation par étapes semblable à celui de GES, a montré que ces objectifs peuvent être parfaitement atteints en mettant en œuvre le meilleur état de la technique.
5. Le projet sera réalisé par étapes et la stimulation du réservoir sera précédée d'une phase de tests. Toutes les nouvelles données du projet (enregistrements sismiques, mesures en forages pour déterminer l'orientation des contraintes principales, etc.) seront systématiquement analysées sous l'angle de l'évaluation du risque et pourront conduire, si nécessaire, à une mise à jour de l'étude de risque. Un groupe d'experts indépendants sera chargé d'évaluer les calculs de risque et de transmettre ses recommandations au Gouvernement cantonal. Nous n'avons pas connaissance d'un tel mécanisme de réévaluation des risques sur la base des données acquises en cours de réalisation pour le projet à Pohang.



A Haute-Sorne, le concept de développement par stimulation multi-étapes prévoit explicitement qu'une distance de sécurité soit maintenue aux failles pouvant présenter un risque sismique potentiel. Des études de risque poussées ont permis de sélectionner un site adéquat, de valider le concept de stimulation et de définir les mesures permettant de réduire le risque, comme la dimension des surfaces stimulées, la localisation en temps réel de la sismicité et les seuils d'arrêt de la stimulation.

A Pohang, les forages avaient pour cible une grande zone de faille qu'ils ont prise en sandwich. Or celle-ci constitue une barrière imperméable empêchant la circulation de l'eau entre les deux forages. Les injections répétées à très haute pression pour tenter de faire tout de même circuler l'eau ont conduit à une accumulation de pression et vraisemblablement à la déstabilisation d'une faille déjà naturellement instable et finalement au séisme du 15 novembre 2017.

Figure 4: Comparaison des concepts des projets de Pohang et de Haute-Sorne.

5 Critères d'arrêt du projet de Haute-Sorne et comparaison avec ce qui s'est fait à Pohang

La réalisation du projet de Haute-Sorne est conditionnée au respect de 136 conditions édictées par l'office de l'environnement. Parmi celles-ci, 21 sont consacrées à la sismicité induite. Ces conditions sont particulièrement strictes et exigeantes. C'est notamment sur la base de la condition 57 que le Gouvernement a exigé de Geo-Energie Suisse la remise du présent rapport et son évaluation par des experts indépendants :

« L'analyse du risque sismique sera mise à jour à chaque fois que de nouvelles données ou connaissances (techniques ou scientifiques) sont acquises et qu'elles sont susceptibles de modifier sensiblement le niveau du risque ou sa gestion »

Les résultats de nos investigations menées en 2018 sur le projet de Pohang nous permettent de démontrer que l'application de conditions d'autorisation similaires à celles de Haute-Sorne aurait permis de stopper puis d'abandonner le projet de Pohang, et cela dès la première phase de stimulation en janvier 2016. Ceci est illustré au moyen des conditions 55 et 60.

1 Condition 55 du permis – développement de la sismicité hors du réservoir

Le développement de la sismicité à distance du point d'injection de l'eau dans la roche peut être un indice qu'une faille est activée par les travaux de stimulation. D'où la condition 55 :

« Le développement du nuage de points représentant les séismes induits sera surveillé en continu. En cas d'observations particulières, telles que le développement d'un alignement de points (« lineament ») ou l'accélération du développement du nuage, le protocole d'arrêt de la stimulation sera immédiatement appliqué et le risque sismique réévalué. Le suivi du nuage de points et les critères d'arrêt de la stimulation seront définis en détail avec le groupe d'experts. »

Or l'évaluation des données sismiques du projet de Pohang, menée par GES à la suite du séisme de novembre 2017, montre que la sismicité induite associée à la toute première stimulation du réservoir de Pohang, réalisée en janvier 2016 dans le forage vertical avec une pression de près de 900 bars en surface, ne s'est pas développée à proximité du forage mais à plusieurs centaines de mètres du point d'injection de l'eau dans la roche.

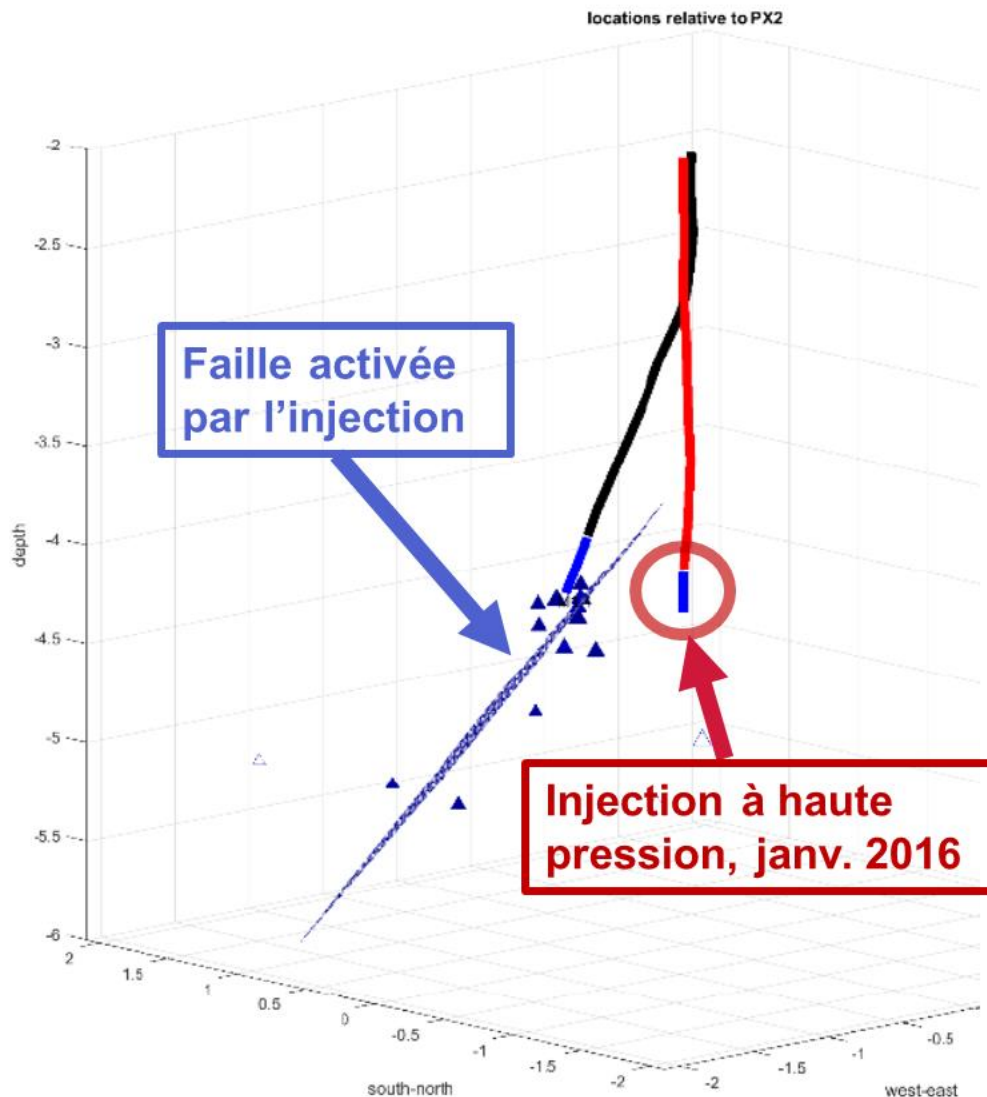


Figure 5: Représentation de la première stimulation effectuée à Pohang en janvier 2016 dans le forage vertical. L'eau est injectée dans le forage rouge. La sismicité, représentée par des triangles bleus, se développe à plusieurs centaines de mètres du point d'injection. Elle définit un plan (en bleu) qui représente une faille activée à distance par les injections à haute pression. Il s'agit vraisemblablement de la faille dont la rupture a provoqué le séisme du 15 novembre 2017.

Si une localisation en temps réel de la sismicité, telle qu'elle est prévue à Haute-Sorne, avait été réalisée à Pohang, elle aurait permis de se rendre compte de ce développement inattendu de la sismicité. Cela aurait permis de réaliser que les travaux de stimulation étaient en train d'activer une faille à proximité du réservoir géothermique. Il s'agit vraisemblablement de la faille dont la rupture a provoqué le séisme du 15 novembre 2017.

L'application de la condition 55 du permis de Haute-Sorne au cas de Pohang aurait conduit à un arrêt immédiat des travaux et sans doute à un abandon du projet dès janvier 2016.

2 Condition 60 du permis – procédure en cas de dépassement d'un seuil de magnitude prédéfini

L'étude de risque de Haute-Sorne a permis de définir à une magnitude $M_w=2.6$ le seuil à partir duquel les premiers dommages aux bâtiments les plus sensibles pourraient se produire. Afin que cette limite ne soit pas franchie, une importante marge de sécurité a été prise en compte. Elle prévoit un arrêt de l'injection à une magnitude $M_w=2.0$ (feu rouge). Si, malgré ces précautions, le seuil de $M_w=2.6$ devait être franchi, la condition 60 du permis prévoit:

« 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. »

Le projet de Pohang prévoyait également un système de feux de circulation avec un feu rouge fixé à une magnitude $M_L=2.0$. Nous n'avons par contre pas connaissance des conséquences sur la poursuite du projet d'un dépassement de ce seuil.

Or celui-ci a été dépassé au moins deux fois durant la deuxième phase de stimulation dans le puits dévié entre décembre 2016 et janvier 2017. Le projet a pourtant été poursuivi. En avril 2017, un séisme de magnitude $M_L=3.1$ a été enregistré durant la troisième phase de stimulation dans le puits vertical. Nous ne savons pas sur la base de quels critères le projet a été poursuivi après avril 2017. Deux phases supplémentaires de stimulation on en effet encore été réalisées en août et septembre 2017.

L'application au projet de Pohang d'un protocole similaire à celui de la condition 60 du permis de Haute-Sorne aurait conduit à un arrêt immédiat des travaux et à une mise à jour de l'analyse de risque en décembre 2016 / janvier 2017 puis, sans doute, un abandon définitif du projet au plus tard en avril 2017.

6 Conclusion

Durant près d'une année, plusieurs spécialistes de Geo-Energie Suisse ont analysé et interprété les données du projet de géothermie et du séisme de novembre 2017 à Pohang. Ces études ont permis d'établir que les injections d'eau à très haute pression effectuées dans le forage vertical ont vraisemblablement joué un rôle déterminant sur le déclenchement du séisme. Les contributions relatives des causes humaines et naturelles ne peuvent cependant pas encore être tranchées de manière définitive.

Des différences essentielles dans le concept du projet, sa mise en œuvre ainsi que dans le contexte géologique du projet de Pohang par rapport à celui de Haute-Sorne ont été mises en évidence. Au vu de ces résultats, Geo-Energie Suisse arrive à la conclusion que le concept du projet de Haute-Sorne et les mesures de sécurité qui l'accompagnent restent toujours entièrement valables pour éviter qu'un scénario comme celui de Pohang ne se produise. Aucun élément ressortant de l'analyse de

Pohang ne montre que les hypothèses et paramètres considérés dans l'étude de risque réalisée en 2014-2015 pour Haute-Sorne sont inadéquats ou sous-estimés. L'évaluation du projet réalisée dans le cadre de l'étude de risque demeure ainsi inchangée.

La réalisation du projet de Haute-Sorne a été soumise par les autorités cantonales au respect de 136 conditions. Parmi celles-ci, 21 sont consacrées à la sismicité induite. Les résultats de nos investigations menées sur le projet de Pohang nous permettent de démontrer que l'application de conditions d'autorisation similaires à celles de Haute-Sorne aurait permis de stopper puis d'abandonner le projet de Pohang, et cela dès la première phase de stimulation en janvier 2016.

Dans le cadre de la nouvelle loi sur l'énergie, entrée en vigueur le 1^{er} janvier 2018, et afin de maximiser les chances de succès et de réduire encore les risques, Geo-Energie Suisse a revu son approche opérationnelle et décidé de réaliser son projet en deux phases. La première phase sera dédiée à l'exploration. Le premier forage sera réalisé jusqu'à la profondeur du réservoir. Toutes les mesures permettant de caractériser le massif rocheux profond comme son état de fracturation, sa perméabilité et l'orientation du champ de contrainte seront effectuées avec soin. Seul un test de stimulation réalisé selon un protocole prédéfini de manière particulièrement prudente et surveillée, avec de petits volumes d'injection et de faibles pressions, y sera effectué.

Sur la base de ces nouvelles connaissances ainsi que des plus récents apprentissages tirés de projets similaires dans le monde (2018-2021), le concept du projet sera mis en question, éprouvé et adapté si nécessaire. Pour ce faire, GES est en contact étroit avec la société finlandaise ST1 qui vient de réaliser avec succès la stimulation d'un forage de plus de 6 km de profondeur sous Helsinki ainsi qu'avec le consortium qui réalisera le projet de recherche FORGE sur les systèmes EGS profonds aux Etats-Unis. Des possibilités supplémentaires de validation des technologies requises pour le projet pilote pourront s'offrir grâce aux recherches effectuées dans plusieurs laboratoires de roche souterrains dans le monde.

Finalement, l'étude de risque sera mise à jour sur la base des paramètres effectivement mesurés dans le forage de Haute-Sorne et des leçons tirées des projets cités ci-dessus. Ce n'est qu'alors que l'on pourra passer à la deuxième phase, soit la réalisation du second forage et la stimulation du réservoir.

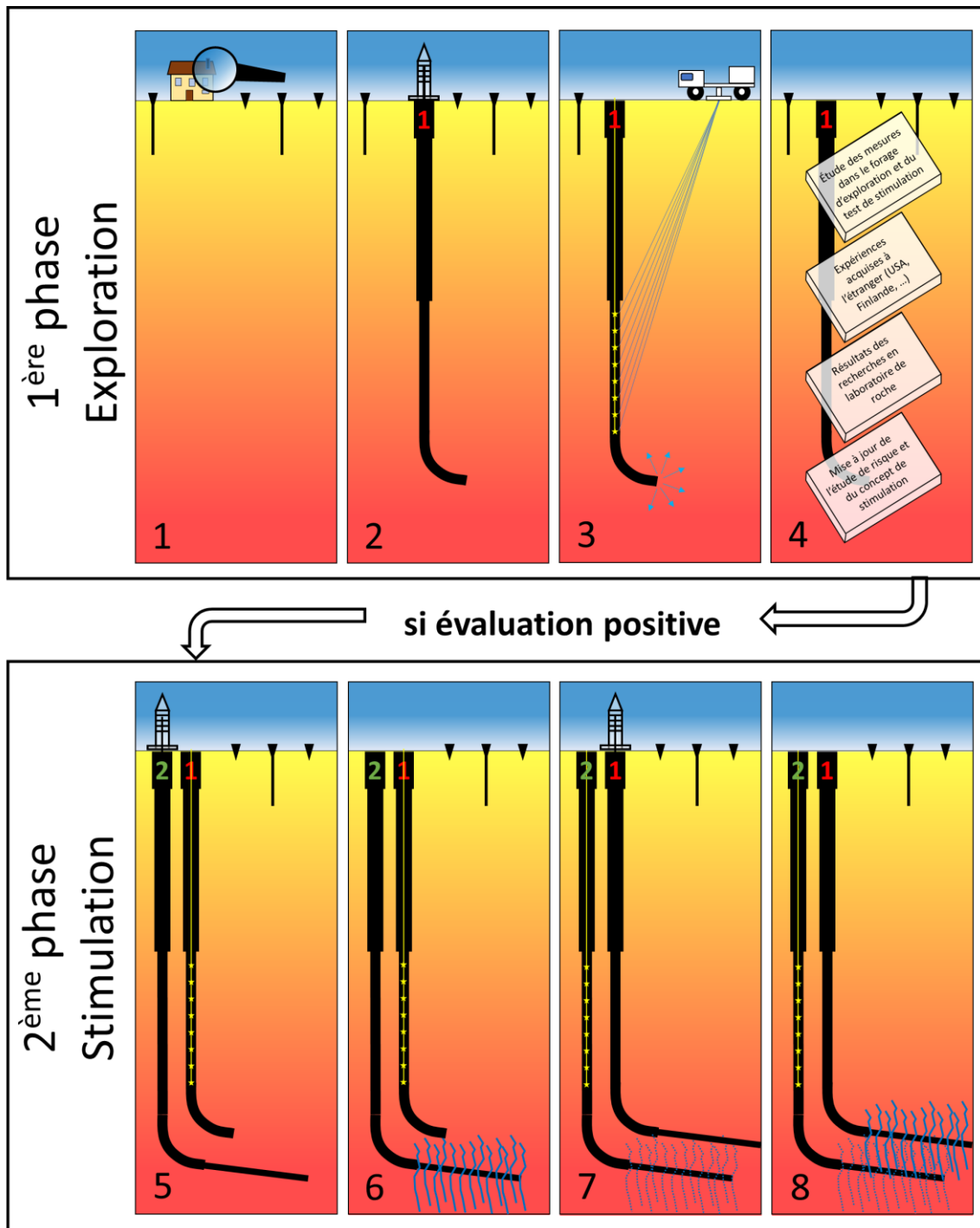


Figure 6: Etapes de réalisation du projet pilote de Haute-Sorne. Phase d'exploration : 1) Etablissement des preuves et mise en place du réseau de surveillance sismique (stations de surface et forages) 2) Réalisation du premier forage d'exploration 3) Mesures dans le réservoir et test de stimulation avec de faibles pressions et de petits volumes 4) Etude des résultats des mesures et du test de stimulation, intégration de expériences réalisées à l'étranger et des recherches en laboratoire de roche souterrain, mise à jour de l'étude de risque et du concept de stimulation. Selon l'état actuel de la planification, cela est réalisé en l'absence de l'installation de forage, mais des considérations techniques ou logistiques pourraient aussi en décider autrement. En cas de résultats positifs, passages à la Phase de stimulation : 5) Réalisation du 2^{ème} forage ; le premier est équipé d'une chaîne de sismomètres pour compléter le réseau de surveillance sismique 6) Stimulation du réservoir sous contrôle du système de surveillance sismique 7) Achèvement du 1^{er} forage, le second est équipé de la chaîne de sismomètres et 8) si nécessaire, stimulation additionnelle du 1^{er} forage sous contrôle du système de surveillance sismique.

7 Prochaines étapes du projet de Haute-Sorne

Le présent rapport a été remis au Gouvernement jurassien début janvier 2019. Ainsi qu'il l'avait annoncé dans son communiqué du 28 novembre 2017, le Gouvernement pourra dès à présent le soumettre à un groupe d'experts indépendants qu'il aura précédemment nommés. Sur la base de leurs recommandations, les autorités décideront alors de la suite à donner au projet de Haute-Sorne. En cas de feu vert du Gouvernement jurassien, les prochaines étapes seront les suivantes :

1. La commission de suivi et d'information prévue en 2015 dans la convention tripartite entre la commune de Haute-Sorne, le canton du Jura et Geo-Energie Suisse / Geo-Energie Jura sera mise sur pied.
2. Les travaux préparatoires suivants seront réalisés en parallèle :
 - a. Le concept d'établissement des preuves sera mis en œuvre. Dans ce cadre, une information exhaustive sera fournie aux propriétaires. Des protocoles de fissures notariés seront réalisés avant le début des forages sur un échantillon représentatif de bâtiments dans la région. Ils seront complétés par des mesures de vibrations durant les travaux.
 - b. Le réseau de surveillance sismique sera réalisé et mis en service selon les critères stricts du plan spécial.
 - c. Le monitoring des eaux souterraines, tel qu'il a été proposé dans l'étude d'impact et approuvé par les autorités, sera également mis en place.
 - d. La place de forage sera construite sur le site du projet.
3. Ensuite, la phase d'exploration pourra commencer avec la réalisation du premier forage profond. Toutes les mesures permettant de caractériser le sous-sol avec précision y seront effectuées ainsi qu'un premier test de stimulation effectué prudemment avec de faibles pressions.
4. GES consacra le temps nécessaire, soit au moins une année, à l'évaluation complète des données enregistrées, en particulier sous l'angle du risque sismique. L'étude de risque sera mise à jour.
5. En cas d'évaluation positive, GES passera alors à la 2^{ème} phase et procédera à la réalisation du 2^{ème} forage et à la stimulation du réservoir.

Dans le cadre de la commission de suivi et d'information, un échange intensif avec des citoyens critiques pourra aussi avoir lieu. Leurs craintes sont prises très au sérieux. Comme il s'agit d'un projet phare, qui aura un impact déterminant sur l'avenir de l'utilisation de cette énergie renouvelable en Suisse, ce projet sera réalisé avec les mesures de sécurité les plus strictes et dans la plus grande transparence. Il s'agit également de l'attente de la Confédération qui soutient ce projet à hauteur de 60% et de celle des actionnaires de Geo-Energie Suisse qui se sont engagés pour réaliser la percée de cette technologie porteuse d'avenir. Une sismicité incontrôlée et un risque trop élevé rendraient cet objectif inatteignable. Les autorités compétentes ordonneraient en effet l'arrêt du projet. Cela rendrait la réalisation d'un projet similaire à un autre endroit également impossible.