

DEMANDE D'AUTORISATION ENVIRONNEMENTALE D'OUVERTURE DE TRAVAUX MINIERS « LES SOURCES 1 »

7 Gestion des
risques industriels
sur la sécurité
publique



DEMANDE D'AUTORISATION ENVIRONNEMENTALE D'OUVERTURE DE TRAVAUX MINIERES « LES SOURCES 1 »

7. Gestion des risques industriels sur la sécurité publique

Référence interne	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
LS1_AE_006_Doc6_V1	Stéphane Monteil Hubert Foucault	Jérôme Jacquemont	Guillaume Borrel

Date	Destinataire	Organisme
21/12/2023	Mme la Préfète	Préfecture du Bas-Rhin
21/12/2023	Mme Jacquot	DREAL – Grand Est



TABLE DES MATIERES

1	Introduction HSE.....	1
2	Objectif du plan d'intervention d'urgence.....	2
3	Processus d'Intervention	3
3.1	Méthodologie simplifiée	3
3.2	Membres principaux de la chaîne de commandement dans un processus d'intervention	4
3.3	Champs d'action de la cellule de crise :	4
3.4	Evaluation de la situation.....	5
4	Organisation et chaîne de commandement par type de réponse	7
4.1	Principes et objectifs de la chaîne de commandement.....	7
4.2	Plan d'Urgence de Niveau 1	8
4.3	Plan d'Urgence de Niveau 2	9
4.4	Plan d'Urgence de Niveau 3	10
5	La cellule de crise	11
5.1	Activation de la cellule de crise	11
5.2	Désactivation de la cellule de crise	12
6	Rappel des risques hors-site du duerp.....	13
7	Gestion du risque de sismicité induite	17
7.1	Sismicité naturelle	17
7.2	Sismicité induite	19
7.3	Prédiction de la sismicité induite à travers des simulations numériques géomécaniques....	21
7.4	Bruit ambiant	21
7.5	Configuration du réseau sismique en fonction du forage, développement et exploitation....	23
7.6	Evaluation de l'aléa sismique avant forage	26
7.7	Evaluation de l'aléa sismique post-forage	28
7.8	Dispositifs de caractérisation du réservoir	28
7.9	Protocoles opérationnels et systèmes de feux de signalisation (TLS).....	30
7.10	Conclusions du rapport d'expertise.....	31
8	Gouvernance des données et mise à jour des modèles	33

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Processus d'intervention simplifié	3
Figure 2: Chaîne d'information de l'incident HSE, du Chantier de forage au Siege Lithium de France.....	5
Figure 3 : Plan d'urgence de niveau 1	8
Figure 4 : Plan d'urgence de niveau 2	9
Figure 5 : Plan d'urgence de niveau 3	10
Figure 7.1 : Localisation des événements sismiques naturels de magnitude supérieure ou égale à 2.5 entre 1980 et 2023 dans le Bas-Rhin et ses environs.....	19
Figure 7.2 : Séismes induits extraits des catalogues Rénass-LDG depuis 2012 jusqu'en 2023 autour du site et leur impact potentiel sur le site d'étude en termes de PGV. Les magnitudes de moment sont comprises entre 0.9 et 3.6.....	20
Figure 7.3 : Position des WiNGs dans le cadre de la campagne de mesure de bruit sismique réalisée en juin- juillet 2023 sur le PER Les Sources.....	22
Figure 7.4 : Cartes du bruit à 10 Hz et 30 Hz pendant a) la période bruitée (en bleu sur les profils PSD), b) la période silencieuse (en rouge sur les profils PSD), c) la période intermédiaire (en vert sur les profils PSD). Les cercles sont centrés sur la coordonnée du fond du puits GS1B et sont espacés de 1.5 km.23	
Figure 7.5 : Site de la station sismologique de surface GRD4 sur la commune de Betschdorf.....	24
Figure 7.6 : Distribution des stations sismologiques actuelles à proximité de la localisation envisagée pour l'exploitation géothermique, au sein de réseaux public et privés ainsi que des 6 stations prévisionnelles pour le projet Les Sources1.....	25
Figure 7.7 : Calcul de l'écart azimutal a) sans prendre en compte et b) en prenant en compte la station SZBH du réseau sismologique public RENASS. Seule la zone avec un écart azimutal inférieur à 120° est représentée.....	25
Figure 7.8 : Cartes de magnitude de complétude à différentes profondeurs, réalisées d'après les DSPs fournies par S ³	26
Figure 7.9 : Arbre de décision pour l'évaluation du niveau d'aléa d'un projet avant tout forage profond d'après Maury et al. (2023) ¹	27
Figure 7.10 Arbre de décision prévisionnel pour l'évaluation post-forage du niveau d'aléa du projet « Les Sources 1 ». Cette évaluation sera mise à jour après le forage et les premiers tests hydrauliques de caractérisation du réservoir et transmise à la DREAL et à la préfecture.....	28

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 3.1 : Niveaux des gravités des incidents HSE et types de réponse du Plan d'Urgence.....	6
Tableau 6.1 : Rappel du tableau présenté dans le document DUERP pour les risques pouvant impacter des cibles hors-site	14
Tableau 7.1 : Séismes historiquement ressentis d'après la base SisFrance. L'intensité macroscopique a été recalculée avec la loi d'atténuation lorsque celle-ci n'était pas disponible dans SisFrance	18
Tableau 7.2 : Caractéristiques des séismes ayant les plus fortes vitesses au niveau du site.	20
Tableau 7.3 : Seuils du TLS proposés pour le projet « Les Sources 1 » avec les PGVs et les magnitudes estimés	30

1 INTRODUCTION HSE

Préalablement au démarrage des opérations sur site, Lithium de France met en place l'ensemble des éléments et mesures présentées dans ce document afin de prévenir, réduire, et maîtriser les risques en amont des travaux. Ces éléments serviront dans le cadre de l'évaluation des situations et de la détermination des mesures adéquates à mettre en œuvre à la fois pour les personnes sur site mais également pour préciser la maîtrise des risques industriels du site avec la sécurité publique.

Pour tout travail, une analyse de risque et de danger est effectuée afin de prévenir le risque par mitigation en l'éliminant ou en le réduisant. Ces risques sont notamment listés dans le DUERP (Document Unique d'Evaluation des Risques Professionnels) inclus à ce dossier d'autorisation de travaux miniers. Les risques « hors-site » identifiés pour la phase de travaux miniers profonds sont rappelés dans ce document. La maîtrise du risque de sismicité est développée dans le document « LS1_AE_006_Doc 6_DUERP_V1 ».

Un des risques les plus médiatisés dans la région Grand Est ces dernières années, lié à de l'exploration minière, correspond au risque de déclenchement de sismicité induite générée durant la phase de test hydraulique post-forage. Un document spécifique à la gestion de ce risque est présent dans le dossier sous un volet confidentiel au titre de la propriété intellectuelle nommé « LS1_AE_010a_Doc 10_Exploration & Modélisation_V1 ».

Malgré la mitigation de l'ensemble des risques mis en place, une situation d'urgence peut survenir. Le plan d'intervention d'urgence permet d'organiser la gestion des situations d'urgence grâce à une préparation réfléchie et mise en place préalablement aux opérations de forage.

Les principes généraux HSE valables pour tous les sites comprennent notamment les formations aux principes généraux, l'accueil sécurité des personnes, les réunions de préparation et de planification des projets, les vérifications de l'efficacité des actions et de l'adéquation des moyens et des ressources, les processus d'évaluation des risques, la mitigation des risques, les sensibilisations et les formations sur la base des risques de forage, dont les principaux sont :

- Travail en hauteur ;
- Risques liés à la circulation et à la manutention ;
- Chute d'objets ;
- Travail en espace confiné ;
- Travail au-dessus ou à proximité de l'eau ;
- Exposition au bruit ;
- Exposition aux produits chimiques ;
- Haute pression ;
- Risques de choc électrique, etc...

La gestion des risques passe également par les règles et procédures spécifiques au site de forage incluant les règles liées aux permis de travail ainsi que les formations et habilitations du personnel sur site de forage, les exercices réguliers à la gestion d'événements HSE, ainsi que les contrôles et vérifications des barrières de sécurité en place.

2 OBJECTIF DU PLAN D'INTERVENTION D'URGENCE

Le but essentiel d'un plan d'intervention d'urgence est d'utiliser au mieux les moyens humains et matériels disponibles sur site de forage et hors site, ainsi que le cas échéant, ceux de l'état et des collectivités publiques pour :

- Intervenir le plus rapidement possible après l'évaluation de situation ;
- Aider et gérer les victimes ;
- Sécuriser la zone concernée ;
- Maitriser et contenir les risques pour le personnel et le public ;
- Maitriser et contenir les risques de pollution de l'environnement et les risques matériels ;
- Si nécessaire mobiliser des moyens supplémentaires ;
- Maitriser la communication interne et extérieure ;
- Fournir des informations aux autorités ;
- Collecter tout élément susceptible de servir à une enquête ultérieure pour déterminer les causes de la situation d'urgence.

3 PROCESSUS D'INTERVENTION

3.1 Méthodologie simplifiée

Le schéma ci-dessous synthétise le processus de gestion des situations d'urgence.

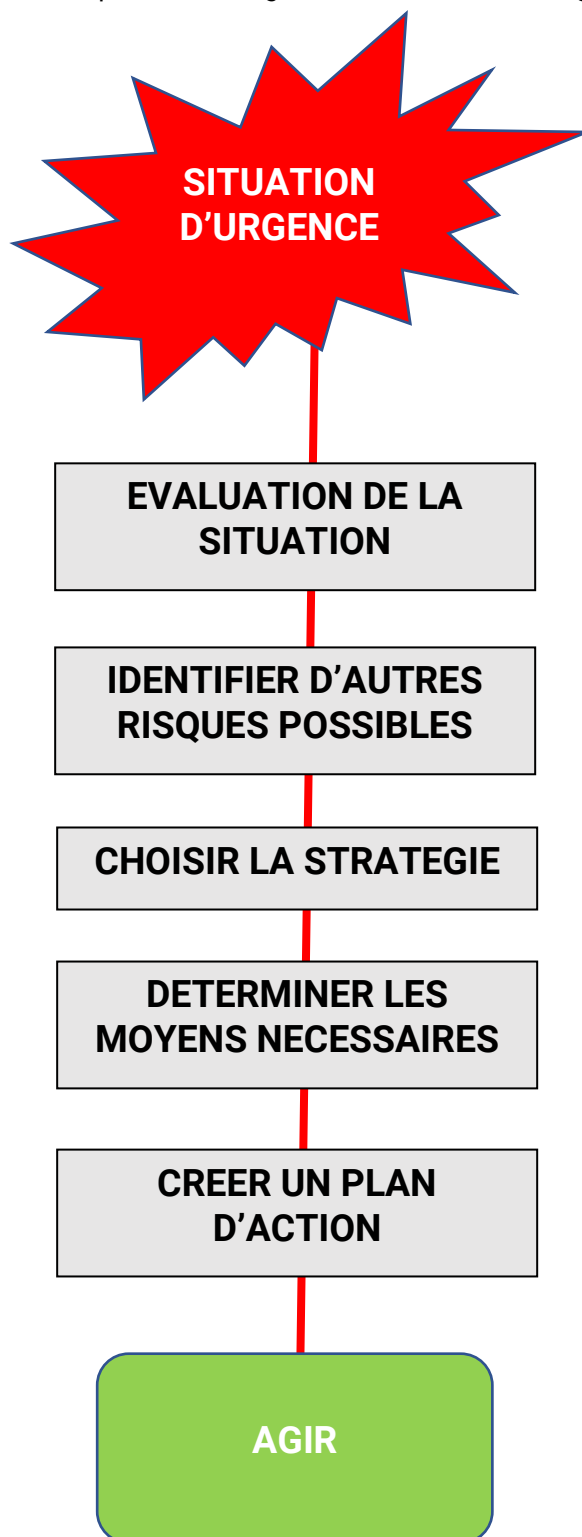


Figure 1 : Processus d'intervention simplifié

3.2 Membres principaux de la chaîne de commandement dans un processus d'intervention

Les personnes principalement mobilisées dans le cadre d'un processus d'intervention sont les suivantes :

- **Le superviseur forage** informe le responsable de la cellule de crise. Il fournit l'inventaire du personnel et du matériel disponible. Il est force de proposition dans son domaine ;
- **Le superviseur HSE** sur site informe le responsable de la cellule de crise et le responsable HSE du siège ;
- **Le responsable sécurité** au siège conseille le responsable de la cellule de crise. Il évalue les risques directs et indirects. Il est force de proposition dans son domaine ;
- **Le responsable de la cellule de crise** est le chef de la chaîne de commandement. Il confirme le niveau de réponse du plan d'urgence et initie la réaction.

3.3 Champs d'action de la cellule de crise :

Les actions de la cellule de crise consistent alors à :

- 1) Evaluer les paramètres suivants :**
 - Nature de l'incident ;
 - Risques existants et potentiels ;
 - Moyens disponibles ;
 - Risques liés à l'intervention ;
 - Présence de blessés nécessitant une assistance ;
 - Nécessité d'avertir le personnel sur site ;
 - Situation et dimension de la zone concernée.
- 2) Identifier d'autres risques possibles :**
 - Risque de dégradation de la situation ;
 - Autres risques indirects.
- 3) Choisir la stratégie :**
 - Quelle action (est-elle justifiée ?) ;
 - Par quelle méthode ?
- 4) Déterminer les moyens nécessaires :**
 - Quels sont les moyens nécessaires pour l'intervention ?
 - Sont-ils facilement accessibles ?
 - Combien de temps pour les obtenir ?
 - Besoin de solliciter des moyens supplémentaires ?
- 5) Créer un plan d'action :**
 - Répartir les moyens
 - Veiller à ce que la sécurité du personnel soit assurée

- Veiller à ce que les organismes d'état, de la collectivité soient contactés par une personne dédiée

6) Agir :

- Intervenir selon le plan, superviser et coordonner
- Evaluer régulièrement la situation et revoir la stratégie si nécessaire.

3.4 Evaluation de la situation

Le superviseur forage et/ ou le superviseur HSE sur site informent le responsable de la cellule de crise sur la base des informations concernant la nature et la gravité de l'incident et les risques existants et potentiels, selon le plan d'information ci-dessous :

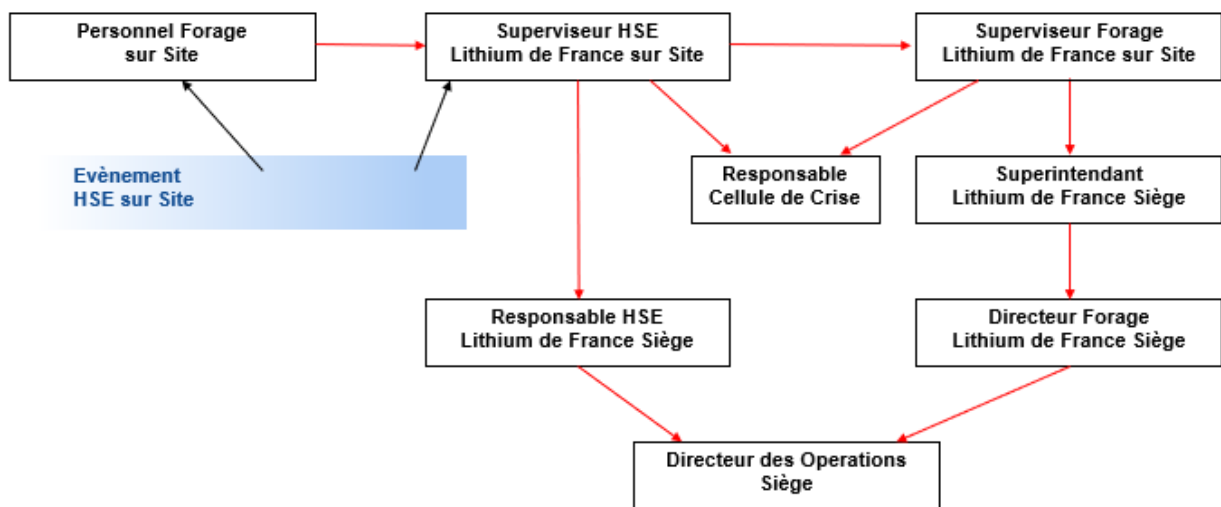


Figure 2: Chaîne d'information de l'incident HSE, du Chantier de forage au Siège Lithium de France

Sur la base de ces informations, le responsable de la cellule de crise réévalue le type de réponse. Il active ou non la cellule de crise selon la grille ci-dessous définissant les types de réponse par gravité. Cette grille illustrée dans la Figure 1 ci-après, est utilisée dans la réalisation du DUERP. Autant le superviseur HSE que le superviseur Forage peut gérer la situation initiale, ils peuvent collaborer pour cela et se répartir les tâches selon les priorités immédiates à gérer et leurs compétences respectives.

Tableau 3.1 : Niveaux des gravités des incidents HSE et types de réponse du Plan d'Urgence

TABLEAU DES GRAVITÉS ET TYPES DE RÉPONSES DU PLAN D'URGENCE				
TYPE DE REPONSE	Niveau de gravité	Personnes	Environnement	Répercussion financière Lithium de France
NIVEAU 3	5 – Très grave / catastrophique	Perte de vies multiples	Catastrophe, destruction du milieu sensible, attention nationale. Poursuite possible. Retard > 30 jours.	Perte de plus de 15 millions €
	4 – Grave / majeure	Perte de vie ou incapacités permanentes	Désastre, attention soutenue des médias, coûts élevés de remise en état. Dommages subis par le milieu extérieur au site. Retard > 10 jours.	Perte entre 1.500.000 € et 15 millions €
NIVEAU 2	3 – Modérée	Blessures graves - incapacités ou blessures entraînant un arrêt de travail	Déversements majeurs, rejets sur le chantier, nuisance environnementale substantielle. Retard > 1 jour. (Nécessite le recours à des ressources supplémentaires)	Perte entre 150.000 € et 1.500.000 €
NIVEAU 1	2 – Limitée	Blessures non négligeables - traitements médicaux, blessures non permanentes	Déversements importants (nécessite le recours au groupe d'intervention d'urgence du site)	Perte entre 15000 € et 150.000 €
	1 – Très limitée / négligeable	Blessures superficielles - Premiers soins (coupures, ecchymoses)	Impact environnemental faible. Déversements mineurs de moins de 50 litres.	Perte de moins de 15000 €

4 ORGANISATION ET CHAINE DE COMMANDEMENT PAR TYPE DE REPONSE

4.1 Principes et objectifs de la chaîne de commandement

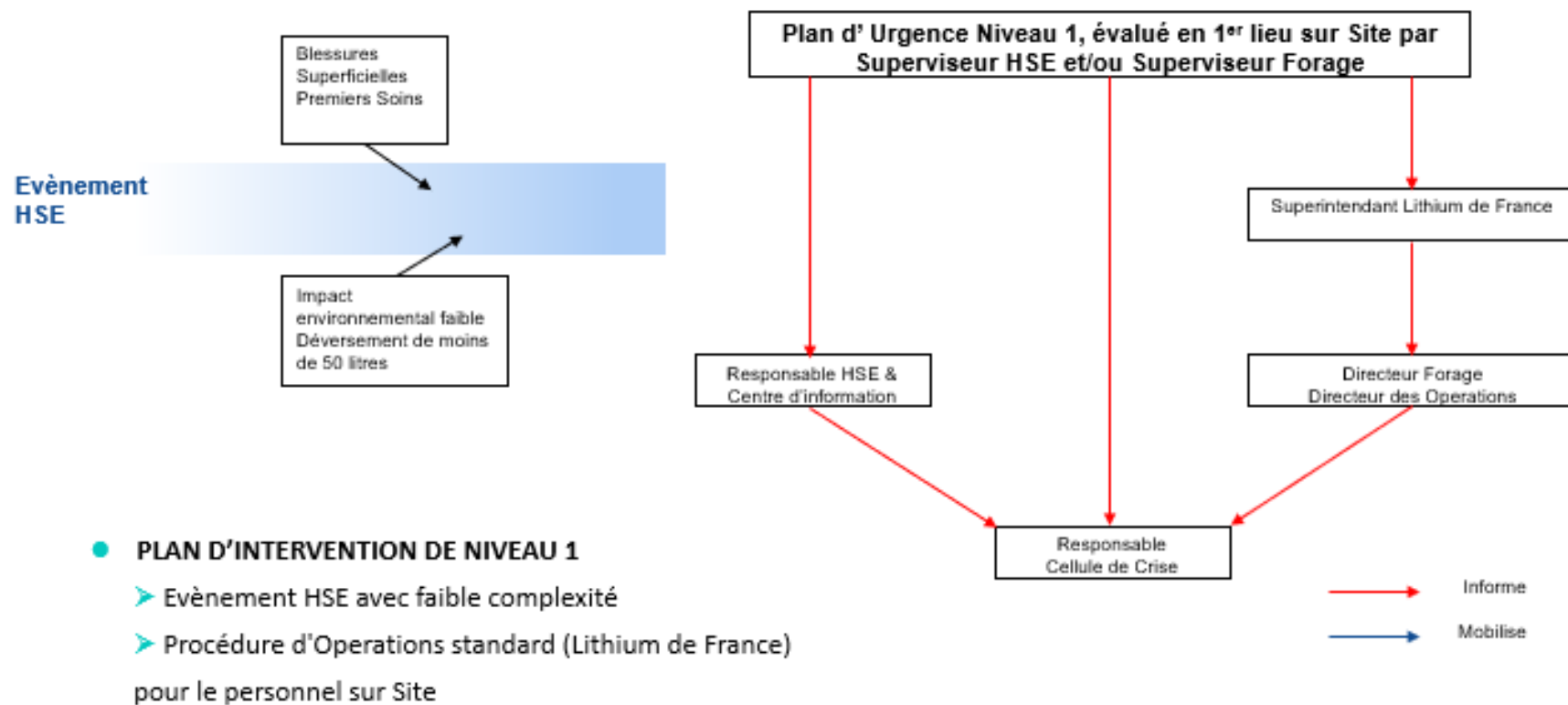
Le superviseur HSE et le superviseur Forage sur site évaluent dans un 1^{er} temps la gravité de l'incident HSE. Ils informent ensuite le responsable de la cellule de la crise et le siège. Les réponses et les plans d'urgence sont adaptés selon les niveaux de gravité comme ci-dessous.

L'intérêt majeur d'une chaîne de commandement bien organisée est :

- De centraliser les renseignements, les ordres et les communications ;
- De comprendre la situation et agir en conséquence ;
- D'évaluer les moyens disponibles (personnel - matériel - acteurs extérieurs) ;
- De faire des choix de stratégie ;
- De communiquer clairement les informations et les ordres aux bonnes personnes.

Suivant le niveau d'urgence lié à la gravité de la situation, trois niveaux de plans d'urgence ont été établis et sont détaillés dans les paragraphes suivants.

4.2 Plan d'Urgence de Niveau 1

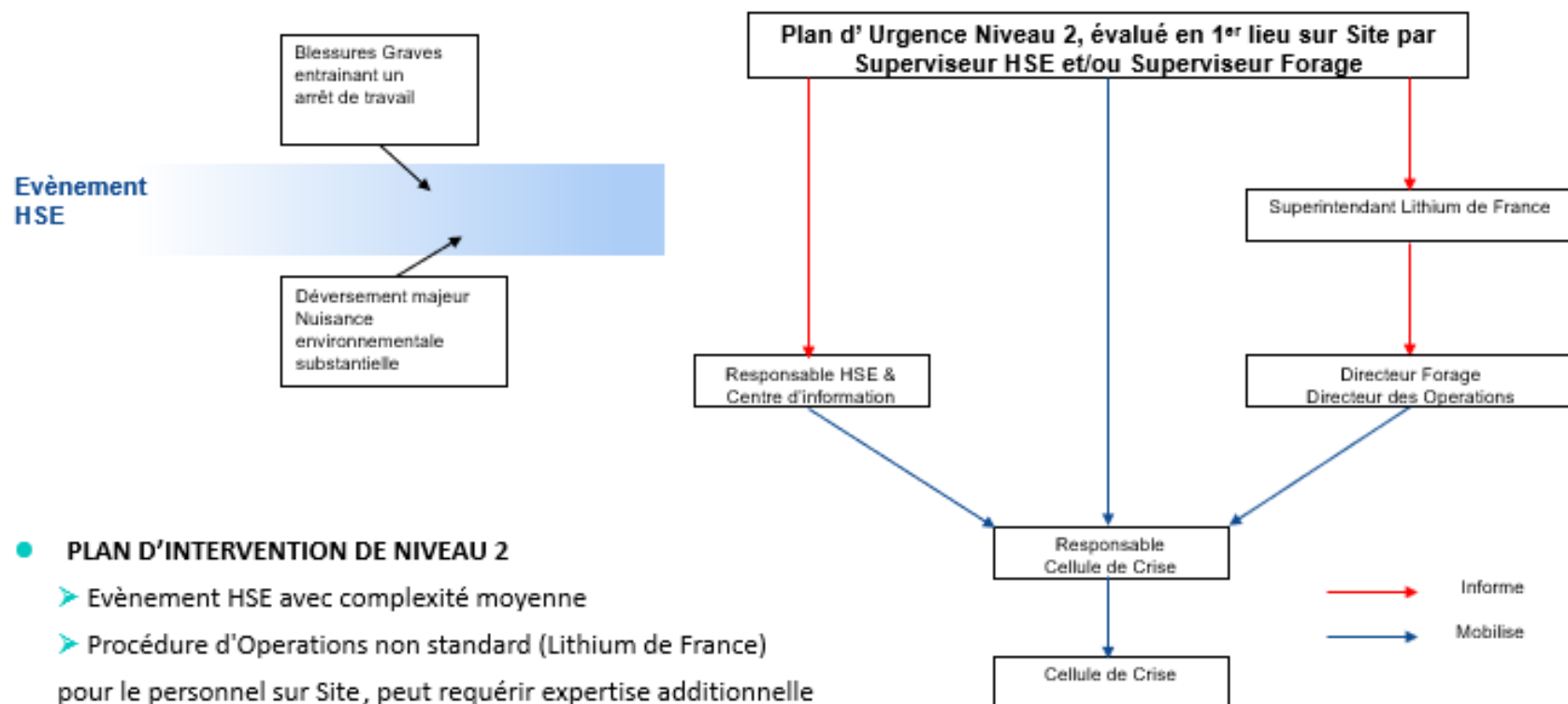


- **PLAN D'INTERVENTION DE NIVEAU 1**
 - Evènement HSE avec faible complexité
 - Procédure d'Operations standard (Lithium de France) pour le personnel sur Site

- **ACTION**
 - Informer Responsable Cellule de Crise

Figure 3 : Plan d'urgence de niveau 1

4.3 Plan d'Urgence de Niveau 2



- **PLAN D'INTERVENTION DE NIVEAU 2**

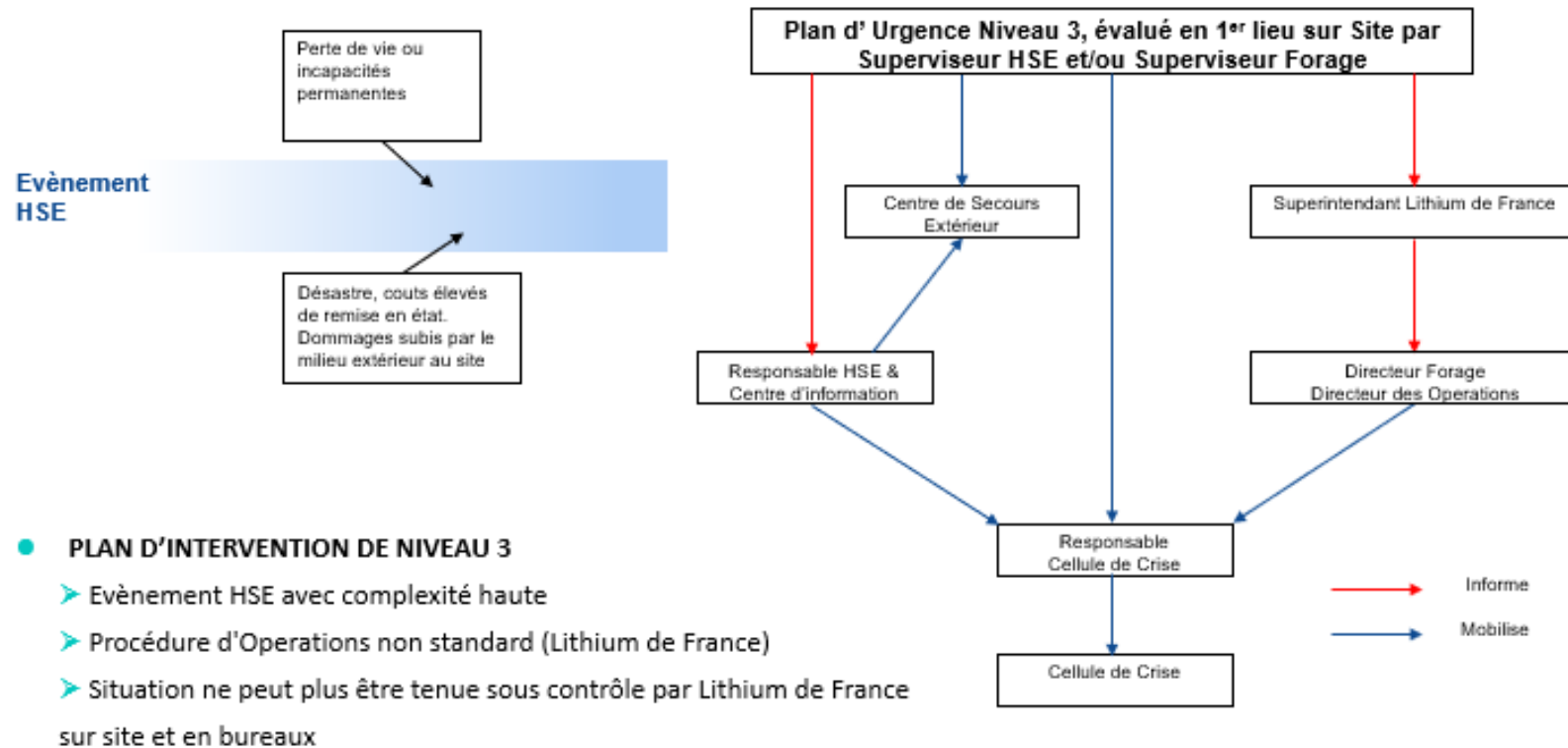
- Evènement HSE avec complexité moyenne
- Procédure d'Operations non standard (Lithium de France) pour le personnel sur Site, peut requérir expertise additionnelle
- Situation reste sous contrôle

- **ACTION**

- Mobiliser Cellule de Crise
- Alerter ou Mobiliser ressources supplémentaires

Figure 4 : Plan d'urgence de niveau 2

4.4 Plan d'Urgence de Niveau 3



- **PLAN D'INTERVENTION DE NIVEAU 3**
 - Evènement HSE avec complexité haute
 - Procédure d'Operations non standard (Lithium de France)
 - Situation ne peut plus être tenue sous contrôle par Lithium de France sur site et en bureaux

- **ACTION**
 - Mobiliser Cellule de Crise et Support Extérieur
 - Mobiliser ressources supplémentaires

Figure 5 : Plan d'urgence de niveau 3

5 LA CELLULE DE CRISE

5.1 Activation de la cellule de crise

L'activation de la cellule de crise est obligatoirement déclenchée par le responsable de la cellule de crise Lithium de France. La cellule doit être déclenchée en cas de type de réponse de niveau 2 ou 3. La cellule de crise se réunit dans une salle préalablement identifiée et équipée avec les moyens de suivi et de communication nécessaires.

Ainsi, la cellule de crise est une ressource supplémentaire qui sera mobilisée aux niveaux de réponse 2 et 3. Cette cellule a pour fonction de :

- Traiter en permanence les renseignements ;
- Evaluer en permanence la situation ;
- Etablir un plan d'actions et l'applique avec des corrections si nécessaire ;
- Communiquer en permanence avec le terrain pour transmettre des ordres et recevoir des renseignements ;
- Communiquer avec les organismes extérieurs pour fournir des renseignements et coordonner éventuellement des actions ;
- Communiquer avec d'éventuels acteurs privés ainsi que des médias.

Les membres de la cellule de crise sont appointés par un planning d'astreinte (24/7), ou sont spécifiquement appointés par le responsable de la cellule de crise en fonction de la situation à traiter.

Elle comprend au minimum les fonctions suivantes :

- **La responsabilité de la décision des actions à mener.** Le responsable de la cellule de crise donne des ordres clairs et précis. Il est appuyé par un ensemble de spécialistes supplémentaires en fonction du niveau d'urgence et de l'évènement à traiter. Il peut également mobiliser les responsables des entreprises contractés ou toute autre entreprise nécessaire à l'intervention ;
- **La planification** dont le rôle est d'établir le plus rapidement possible un planning d'intervention et le faire évoluer en fonction de la situation. Suivi et rédaction du registre de l'intervention ;
- **La communication interne** dont la mission est de :
 - Transmettre les ordres et communications aux équipes sur le terrain ;
 - Réceptionner les renseignements collectés sur le terrain ;
 - Enregistrer toutes ses communications.
- **La communication externe** dont le rôle est de :
 - Communiquer avec les acteurs extérieurs - pompiers - gendarmerie - médias - acteurs privés ;
 - Collecter les informations extérieures ;
 - Enregistrer toutes ses communications.
- **Le conseil juridique** dont le rôle est d'appuyer juridiquement le responsable de la cellule de crise.

Il est à noter qu'une même ressource peut assurer plusieurs fonctions.

5.2 Désactivation de la cellule de crise

Le responsable de la Cellule de Crise décide de la désactiver uniquement dans cas où :

- La situation est sous contrôle ;
- Le personnel blessé est correctement pris en charge et hors de danger ;
- Tout risque est neutralisé.

6 RAPPEL DES RISQUES HORS-SITE DU DUERP

Le Tableau 6.1 est un extrait du DUERP « LS1_AE_006_Doc6_DUERP_V1 » uniquement sur les risques « hors-site »

Tableau 6.1 : Rappel du tableau présenté dans le document DUERP pour les risques pouvant impacter des cibles hors-site

SOURCE DE DANGER	Dangers	Evènement initiateur	Evènement redouté central	Phénomène dangereux / Incidences potentielles	Intensité - Cible potentielle	Gravité initiale G ₀				Probabilité d'occurrence initiale P ₀	COTE DU RISQUE (initial) C ₀ C ₀ = G ₀ + P ₀	MITIGATIONS / BARRIERES DE SECURITE INDEPENDANTES		COTE DU RISQUE RESIDUEL C ₁			Observations
						Personnes	Environ'mt	Finances	Résultante G ₀			Prévention	Protection	G ₁	P ₁	C ₁	
RISQUE SISMIQUE																	
Sismicité induite	Secousse du sous-sol perceptible d'origine induite	Opérations sur puits de géothermie modifiant la stabilité du sous-sol profond	Déstabilisation du sous-sol profond et mouvements	Dommages corporels et matériels limités, perception de la sismicité en surface, impact psychologique	Sur site et hors site	2	2	4	4	1	5	<ul style="list-style-type: none"> - Modélisation exhaustive des aléas et des contraintes sous-sol, modèle THM (Thermo-Hydro-Méca) - Procédures opérationnelles dans le respect strict du "guide des bonnes pratiques" - Réalisation d'exploration 2D et 3D pour l'identification optimum des structures géologiques communicantes - Arbres de décision par anticipation - Suivi en permanence des paramètres microsismiques - Adaptation des procédures à tous signes avant-coureurs ou anomalies détectées (adaptation uniquement vers le plus restrictif) - Communication auprès des riverains des risques de sismicité induite 	<ul style="list-style-type: none"> - Suivi de l'activité sismique par déploiement d'un réseau microsismique de 7 stations avec une procédure de réduction / arrêt des opérations suivant les mesures microsismiques détectées - Adaptation immédiate des opérations en fonction du suivi sismique 	3	1	4	/
RISQUE AUDITIF																	
Bruit des machines sur site	Niveau sonore élevé	Mise en fonctionnement des machines	Exposition quotidienne supérieure à 85 dB prolongée	Perte d'audition	Sur site et hors site	3	2	2	3	4	7	<ul style="list-style-type: none"> - Réalisation d'une étude acoustique avant travaux et suivi des niveaux sonores lors de la phase chantier - Consignes générales de sécurité - Sélection d'équipements de forage parmi les moins bruyants du marché 	<ul style="list-style-type: none"> - Port des EPIs - Adaptation des procédures de forage 	2	2	4	/

SOURCE DE DANGER	Dangers	Evènement initiateur	Evènement redouté central	Phénomène dangereux / Incidences potentielles	Intensité - Cible potentielle	Gravité initiale G ₀				Probabilité d'occurrence initiale P ₀	COTE DU RISQUE (initial) C ₀	MITIGATIONS / BARRIERES DE SECURITE INDEPENDANTES		COTE DU RISQUE RESIDUEL C ₁			Observations
						Personnes	Environ'mt	Finances	Résultante G ₀			Prévention	Protection	G ₁	P ₁	C ₁	
RISQUE DE COLLISION DE VEHICULES																	
Trafic externe	Interactions routières dans la zone d'accès au site & au voisinage du site	Collisions entre véhicules et nuisances au trafic	Dommages véhicules + humains + nuisances trafic	Dommages véhicules + humains + nuisances trafic	Hors site	3	2	2	3	5	8	- Zone d'accès en dégagement (PL) - Plan de circulation externe - Zone d'attente - Signalisation - Notices de livraison à destination des livreurs - Supervision logistique - Responsabilisation des personnels impliqués et de leurs sociétés (bridging document HSE), autorisations de conduites, formations aux postes	/	3	2	5	Le soutien de la Direction interdépartementale des routes de l'Est (DIR EST) pourrait apporter des méthodes de préventions additionnelles telles que limitation de vitesse, aménagements supplémentaires. Cette question sera traitée avec la DIR EST courant 2024.
RISQUE DE DEFAILLANCE TECHNIQUE																	
Défaillance des bassins géothermaux	Epanchement d'eau en surface	Cause mécanique, humaine (rupture d'équipement, rupture de ligne)	Perte de maîtrise des fluides	Epanchement de saumure en milieu naturel	Sur site et hors site	1	4	4	4	3	7	- Division des volumes en plusieurs bassins (dilution du risque) - Qualité structurelle et de dimensionnement des bassins (Spécifications, QA/QC & supervision construction/montage) - Positionnement des bassins en limitant l'accès aux stricts véhicules autorisés et sous procédure - Plan d'accès et procédures de surface	- Déploiement de procédure d'urgence d'évacuation des fluides en excès - Déploiement de procédure d'urgence de décontamination post-épanchement - Merlons de confinement et pompes disponibles	3	1	4	/
RISQUE D'EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS																	
Radioactivité naturelle non scellée (déblai roche cristalline)	Contamination de personnes & milieu par radioactivité naturelle	Déblais de forage en surface, provenance roches cristallines profondes	Contact des personnels avec des éléments radioactifs / Déversement de déchets en surface	Contact personnel avec des éléments radioactifs / déversement de déchets en surface	Sur site et hors site	2	2	2	2	5	7	- Présence d'un PCR (Personne Compétente en Radioprotection) - Permis de travail - Formation des intervenants - Procédures d'évitement - Délimitations des zones à déblais et signalisation - Supervision HSE - Produits traités en TMD (Transport de Matières Dangereuses) / Suivi par PCR - Volumes faibles relativement au volume total de déblais - Manipulations non complexes - Exécution soignée de la collecte - Maintenance de la zone à déblais	/	2	1	3	A noter que les déblais de la formation socle granitique peuvent contenir des éléments radioactifs. Ils représentent +/- 125 tonnes, soit +/- 12% du volume global de déblais.

SOURCE DE DANGER	Dangers	Evènement initiateur	Evènement redouté central	Phénomène dangereux / Incidences potentielles	Intensité - Cible potentielle	Gravité initiale G ₀				Probabilité d'occurrence initiale P ₀	COTE DU RISQUE (initial) C ₀ C ₀ = G ₀ + P ₀	MITIGATIONS / BARRIERES DE SECURITE INDEPENDANTES		COTE DU RISQUE RESIDUEL C ₁			Observations
						Personnes	Environ'mt	Finances	Résultante G ₀			Prévention	Protection	G ₁	P ₁	C ₁	
RISQUE DE POLLUTION DES SOLS ET EAUX SOUTERRAINES																	
Epanchement de produits dangereux en surface	Contamination du milieu par composants chimiques (additif boue ou ciment)	Fuite / Erreur de manipulation	Contamination du milieu	Dommages corporels et pollution	Sur site et hors site	3	3	3	3	4	7	<ul style="list-style-type: none"> - Rétentions au droit des zones de stockage - Procédure et Permis de Travaux - Formation du personnel pour l'utilisation & la manipulation des produits - Identification/étiquetage des produits stockés sur site - Quantités limitées d'additifs stockés sur site et utilisation dimensionnée/ raisonnée - Supervision HSE 	<ul style="list-style-type: none"> - Station de rinçage, nettoyage - Mise en place d'un séparateur hydrocarbure - Réalisation de campagnes de surveillance de la qualité des eaux superficielles hors-site et des eaux souterraines sur site - Déploiement procédure d'urgence en cas de contamination - EPIs adaptés pour personnel exposé 	3	1	4	/
Mise en communication de plusieurs aquifères	Pollution inter-aquifères	Défaut d'isolation des aquifères	Mise en relation de différents aquifères	Contamination d'un aquifère / Perte de réserve d'eau / Stabilité des sols	Sur site et hors site	1	4	4	4	2	6	<ul style="list-style-type: none"> - Réalisation d'un sondage, équipé en piézomètre, avant la phase travaux pour confirmer la présence d'un aquifère et de son importance - En cas de présence d'aquifère, forage de 2 piézomètres additionnels : 1 piézomètre en amont et 2 piézomètres en aval, pour surveillance continue de l'état des eaux souterraines - Par décret, obligation d'isolation de chaque aquifère par un tubage spécifique cimenté, avec log de contrôle de la qualité de cimentation 	/	3	1	4	/

7 GESTION DU RISQUE DE SISMICITE INDUITE

Les paragraphes suivants sont un résumé du document expertisé «LS1_AE_010_Doc10a_Exploration & Modélisation_V2 ».

7.1 Sismicité naturelle

L'activité sismique historique du Fossé rhénan est modérée et régulière avec, entre 782 et 1964, au total d'~170 séismes ressentis d'*intensité* $I_0 \geq V$ et 17 séismes destructeurs avec une intensité $I_0 \geq VII$ d'après le catalogue SisFrance¹. Le plus important correspond au séisme de Bâle du 18 octobre 1356 qui causa plusieurs centaines de morts. L'intensité épiscopale du séisme a été estimée à IX par la base SisFrance, correspondant à une *magnitude de moment* M_w comprise entre 6,2 (Lambert et al., 2005²) et 6,5 (d'après le catalogue 2023 de GINGER CEBTP, basé sur le recalcul de la magnitude des événements historiques par Traversa et al. (2018)³).

Le Fossé rhénan est caractérisé par une sismicité régulière de magnitude de moment estimée de l'ordre de 5 à 5,5, comme les séismes de Lahr en Allemagne du 3 août 1728 ($I_0=VII$, $M_w \sim 6$), du Kaiserstuhl - Rastatt du 18 Mai 1737 ($M_w \sim 5,3$), d'Ebingen en Allemagne du 16 novembre 1911 ($M_w \sim 5,7$), d'Offenburg en Allemagne du 30 décembre 1935 ($I_0=VII$, $M_w \sim 5,3$).

Depuis 60 ans, la répartition de la sismicité instrumentale enregistrée laisse globalement apparaître les mêmes caractéristiques que la sismicité historique, à savoir une sismicité modérée et régulière. Sur cette période instrumentale d'après le catalogue SI-Hex, 10 séismes ont été enregistrés avec une magnitude de moment $M_w > 4,0$. Le plus important est le séisme du 03/09/1978 ($M_w=5,0$), situé en Allemagne dans la région de Souabe. Trois autres séismes ont été enregistrés avec des magnitudes M_w comprises entre 4,5 et 5 : le séisme de Tailfingen en Allemagne daté du 26/02/1969 ($M_w=4,7$), le séisme de Tübingen en Allemagne daté du 22/01/1970 ($M_w=4,8$) et celui de Rambervilliers du 22/02/2003 ($M_w=4,9$).

Lorsqu'on se restreint à la période récente entre 1980 et 2023, 43 événements sismiques de magnitude 2,5 ou supérieure ont été localisés dans le Bas-Rhin (Figure 7.1), d'après les catalogues sismiques présents sur les sites du RENASS⁴ et du BGR⁵. Sept d'entre eux ont leur *épiscentre* situé à moins de 10 kilomètres du projet GS1A ; les magnitudes de ces séismes sont toutes inférieures à 3.

Les séismes historiquement ressentis à Haguenau sont recensés dans le Tableau 7.1.

¹ <http://www.sisfrance.net>

² Lambert, J., Winter, T., Dewez, T., Sabourault, P., 2005. New hypotheses on the maximum damage area of the 1356 Basel earthquake (Switzerland). *Quat. Sci. Rev.* 24, 381–399. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2004.02.019>

³ Traversa, P., Baumont, D., Manchuel, K., Nayman, E., Durouchoux, C., 2018. Exploration tree approach to estimate historical earthquakes M_w and depth, test cases from the French past seismicity. *Bull. Earthq. Eng.* 16, 2169–2193. <https://doi.org/10.1007/s10518-017-0178-7>

⁴ <https://renass.unistra.fr/fr/zones/>

⁵ <https://geoportal.bgr.de/mapapps/resources/apps/geoportal/>

Tableau 7.1 : Séismes historiquement ressentis d'après la base SisFrance. L'intensité macroscopique a été recalculée avec la loi d'atténuation lorsque celle-ci n'était pas disponible dans SisFrance

Date (d'après SisFrance)	Localisation épicentrale (d'après SisFrance)	Intensité épicentrale (d'après SisFrance)	Intensité macroscopique ponctuelle rapporté à la ville de Haguenau (d'après SisFrance)	Intensité macroscopique ponctuelle rapportée à la ville de Haguenau (d'après la loi d'atténuation de Bakun and Scotti (2006) pour la région du Rhin)
18/02/849	(Remiremont ?)	VIII	-	IV
18/09/1239	Alsace (Ribeauvillé ?)	VII	-	IV
18/10/1356	Suisse (Bale)	IX	-	V
09/05/1357	Hardt (Landau ?)	VII	-	V-VI
12/05/1682	Remiremont	VIII	-	V
03/08/1728	Allemagne (Lahr)	VII	-	I
18/05/1733	Allemagne (Mayence)	VII	-	V-VI
18/05/1737	Allemagne (Karlsruhe- Rastatt)	VII	-	V-VI
28/12/1776	Allemagne (Mannheim)	VII	-	-
16/11/1911	Allemagne (Ebingen)	VII-VIII	VI	-
08/02/1933	Allemagne (Rastatt)	VII	V-VI	-
27/06/1935	Allemagne (Kappel)	VII-VIII	V-VI	-
30/12/1935	Allemagne (Offenburg)	VII	V-VI	-
02/05/1943	Allemagne (Ebingen)	VII	IV-V	-
28/05/1943	Allemagne (Balingen)	VII	IV	-
07/06/1948	Allemagne (Karlsruhe)	VII	IV-V	-
08/10/1952	Wissembourg (France)	VI-VII	V-VI	-
22/01/1970	Allemagne (Onsmettingen)	VII	IV	-
03/09/1978	Allemagne (Onsmettingen)	VIII-VI	III	-

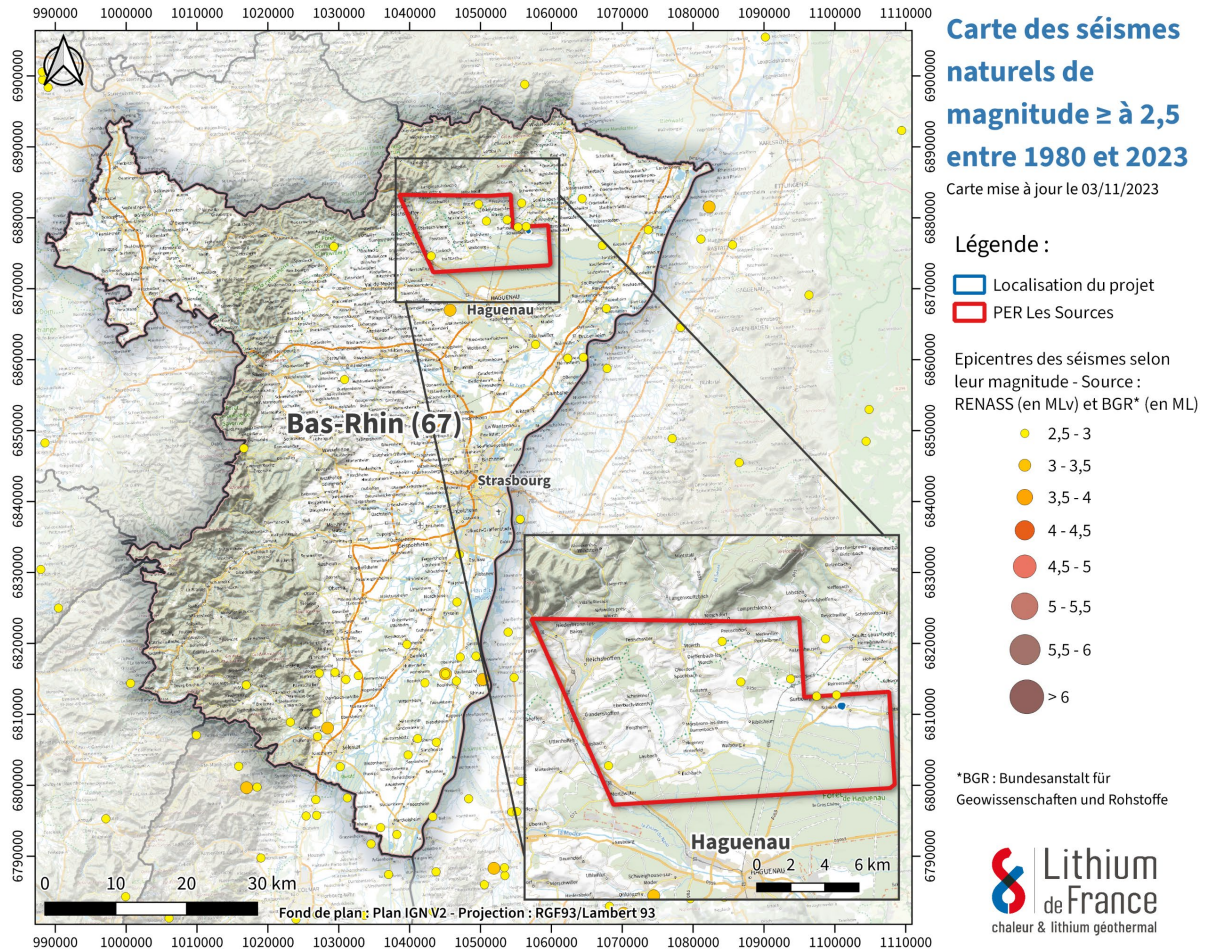


Figure 7.1 : Localisation des événements sismiques naturels de magnitude supérieure ou égale à 2.5 entre 1980 et 2023 dans le Bas-Rhin et ses environs.

7.2 Sismicité induite

Le bilan de *sismicité induite* effectué sur le site du projet « Les Sources 1 » a pour but d'estimer les mouvements du sol qui ont pu être atteints sur le site d'après le pic maximal de vitesse (Peak Ground Velocity – PGV) ou le pic maximal d'accélération (Peak Ground Acceleration – PGA) du sol associé. Ce bilan s'appuie sur la sismicité induite détectée à proximité du site entre 2012 et 2023, correspondant majoritairement à des événements déclenchés par l'activité géothermale des projets de Soultz-sous-Forêts, de Rittershoffen et de Vendenheim.

Le Tableau 7.2 compile les résultats de cette analyse pour le site du projet «Les Sources 1» pour les quatre séismes présentant le PGV le plus élevé. Les trois premiers événements ont été induits par l'exploitation de Vendenheim et le quatrième par l'exploitation de Rittershoffen (Schmittbuhl et al., 2021⁶).

⁶ Schmittbuhl, J., Lambotte, S., Lengliné, O., Grunberg, M., Jund, H., Vergne, J., Cornet, F., Doubre, C., Masson, F., 2021. Induced and triggered seismicity below the city of strasbourg, france from november 2019 to january 2021. Comptes Rendus Géoscience 353, 1–24

Tableau 7.2 : Caractéristiques des séismes ayant les plus fortes vitesses au niveau du site.

Date	Magnitude (M _w)	Distance hypocentrale (km)	PGA moyen (mm/s ²)	Fourchette PGA (mm/s ²)	PGV moyen (mm/s)	Fourchette PGV (mm/s)
26/06/2021	3.6	29	14.0	7.3 – 24.7	0.37	0.25 – 0.56
04/12/2020	3.4	27	11.1	5.9 – 19.6	0.26	0.18 – 0.40
22/01/2021	3.3	29	8.6	4.7 – 15.2	0.20	0.15 – 0.29
20/11/2022	1.8	4	16.4	2.6 – 43.4	0.08	0.04 – 0.15

Les accélérations les plus significatives pour la sismicité induite sont supérieures à 10 mm/s² et correspondent à des vitesses supérieures à 0,20 mm/s pour des séismes de magnitude M_w > 3. L'évènement enregistré le 20/11/2022 à proximité de Rittershoffen et donc du site du projet « Les Sources 1 » a généré une accélération relativement forte (PGA = 16,4 mm/s²) malgré sa faible magnitude (M_w=1,8).

L'impact en termes de PGV de ces séismes induits sur le site « Les Sources 1 » est visible sur la Figure 7.2. Les valeurs des PGV sont systématiquement inférieures à 0,5 mm/s, premier seuil d'alerte du feu de signalisation mis en place pour le projet géothermique de Bâle. Très peu d'évènements ont un PGV supérieur à 0,2 mm/s. Cela est dû au fait que depuis 2012, aucun séisme induit de magnitude de moment supérieure à 3 n'a été enregistré au voisinage direct du site. Les séismes induits les plus forts (magnitude M_w comprise entre 3 et 4) sont localisés juste au nord de Strasbourg, suffisamment éloignés pour ne pas causer de mouvement fort sur le site « Les Sources 1 ».

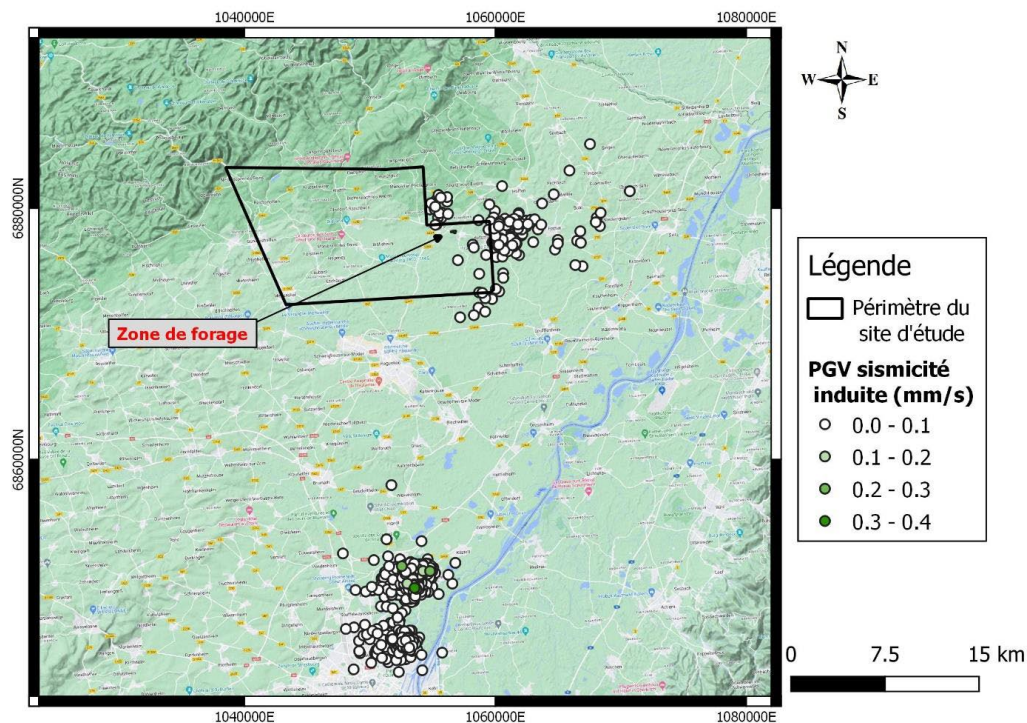


Figure 7.2 : Séismes induits extraits des catalogues Réness-LDG depuis 2012 jusqu'en 2023 autour du site et leur impact potentiel sur le site d'étude en termes de PGV. Les magnitudes de moment sont comprises entre 0.9 et 3.6.

7.3 Prédiction de la sismicité induite à travers des simulations numériques géomécaniques

Dans un projet de géothermie profonde, la compréhension préalable de la potentielle sismicité induite est essentielle pour le bon fonctionnement du projet. Les événements sismiques se déclenchant majoritairement sur des failles préexistantes ou des fractures présentes dans les *zones de faille*, il est d'abord important d'étudier la susceptibilité des failles à glisser naturellement, sismiquement ou non, à proximité du doublet de puits. Cette étude a été réalisée avec le logiciel 3DStress (Southwest Research Institute). Elle confirme la forte susceptibilité au glissement, et donc la forte propension à la sismicité, des failles situées à proximité des trous ouverts des puits, en accord avec la sismicité naturelle observée autour du projet « Les Sources 1 ». Il est tout de même à signaler que le glissement des failles n'est pas nécessairement sismique et dépend des propriétés mécaniques des failles. Par la suite, des modèles prédictifs thermo-hydro-mécaniques ont été construits avec le logiciel de *simulation dynamique* 2D Disroc (FracSima), afin d'estimer les risques *géomécaniques* de l'exploitation sur le réservoir géothermique. Diverses hypothèses et incertitudes sur les paramètres adoptés dans les modèles sont discutées. Ces simulations s'appuient principalement sur le modèle statique construit préalablement, mais aussi sur les données issues de la littérature sur le Fossé rhénan. Diverses hypothèses et incertitudes sur les propriétés *pétrophysiques* adoptées dans les modèles sont discutées. Les différentes simulations réalisées informent sur la probabilité de microsismicité induite au cours de 20 ans d'exploitation géothermique. Elles montrent qu'aucun événement microsismique n'aura lieu avant 12 ans de circulation de fluide dans le cas géomécanique de base. Nous n'avons malheureusement pas pu nous appuyer sur les données sismiques 2D et les données de puits de plus de 10 ans (de fait dans le domaine public cf. article L413-1 du Code minier), acquises par les autres opérateurs géothermiques. Si elles avaient été publiées, nous aurions grandement pu améliorer la compréhension et la prédiction du risque sismique lié au projet en levant certaines incertitudes. De plus, les données d'interférences acquises avec des fonds publics auraient également pu permettre des études plus poussées sur la mitigation du risque sismique. En cas d'évolution de la situation, Lithium de France est prêt à mettre à jour l'ensemble des modèles dès la réception de données complémentaires.

7.4 Bruit ambiant

La conception du réseau sismologique est un point clé dans le développement du projet « Les Sources 1 ». Afin qu'il réponde au mieux aux exigences de surveillance microsismique évoquées dans le Guide de Bonnes Pratiques 2023 (Maury et al., 2023¹), 100 géophones de type WiNG ont été déployés par la société S3 à l'est du PER du 20 juin au 13 juillet 2023 (Figure 7.3). Si la majorité des capteurs a été implantée au sein du PER, certains capteurs ont dû être disposés au sein des concessions voisines du GEIE et d'ECOGI. Cela, dans le but de garantir une couverture homogène de données autour du projet. Le traitement a consisté en deux tâches principales :

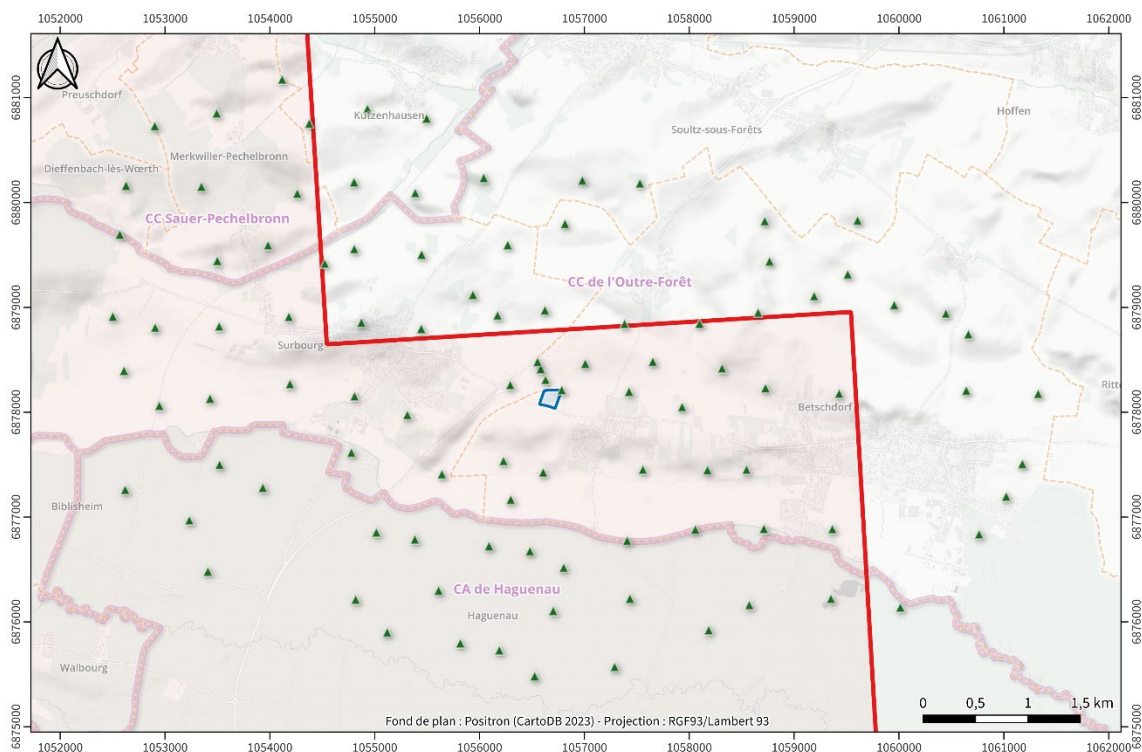
- D'une part, le calcul des *valeurs efficaces* du signal (ou RMS) de chaque station toutes les deux minutes pour 6 bandes de fréquences ;
- D'autre part, le calcul des *densités spectrales de puissance* (ou DSP) pour chaque station pour chaque heure d'acquisition.

Sur ces cartes, les sources de bruit sont clairement identifiées comme la ville de Betschdorf (4200 résidents), Surbourg (1700 résidents), et d'autres plus petites comme Schwabwiller (500 résidents) et Reimerswiller (200 résidents). Le croisement des routes D263 et D243 ainsi que de la route D264 quittant Surbourg vers le nord sont également des zones de bruit élevé. Le bruit est également plus élevé à proximité des voies ferrées ainsi qu'à proximité de la briqueterie Wienerberger au nord de Betschdorf. Au sud, la forêt est de manière générale calme bien que le bruit présente des variations latérales évidentes (Figure 7.3).

Cette étude confirme que le bruit atteint des seuils acceptables pour accueillir des stations de surveillance permanente dès lors que l'on s'éloigne des villages, des axes routiers et ferroviaires et des zones industrielles. Les emplacements proposés seront discutés dans le paragraphe suivant sur la base

de ces résultats. Pour les emplacements proposés au Sud, où les WiNGs n'ont pas été déployés, la proximité de sources évidentes de bruit anthropique a été prise en compte.

Les résultats de cette étude sont des données indispensables afin de correctement appréhender la variabilité spatiale et temporelle du *bruit ambiant* sur la zone du projet « Les Sources 1 », par exemple nuit vs jour ou jour de semaine vs jour de week-end. Cette étude est un paramètre d'entrée pour la conception du futur réseau sismologique et l'évaluation de sa sensibilité pour la détection d'évènements microsismiques.



Carte de la position des WiNGs pour la campagne de mesure de bruit ambiant

Carte mise à jour le 08/08/2023

Légende :

- ▲ position des WiNGs
- localisation du projet
- ▭ PER Les Sources

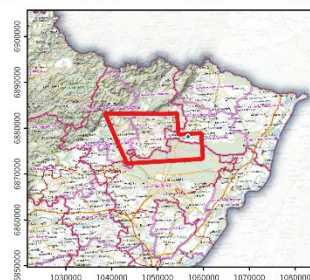


Figure 7.3 : Position des WiNGs dans le cadre de la campagne de mesure de bruit sismique réalisée en juin-juillet 2023 sur le PER Les Sources.

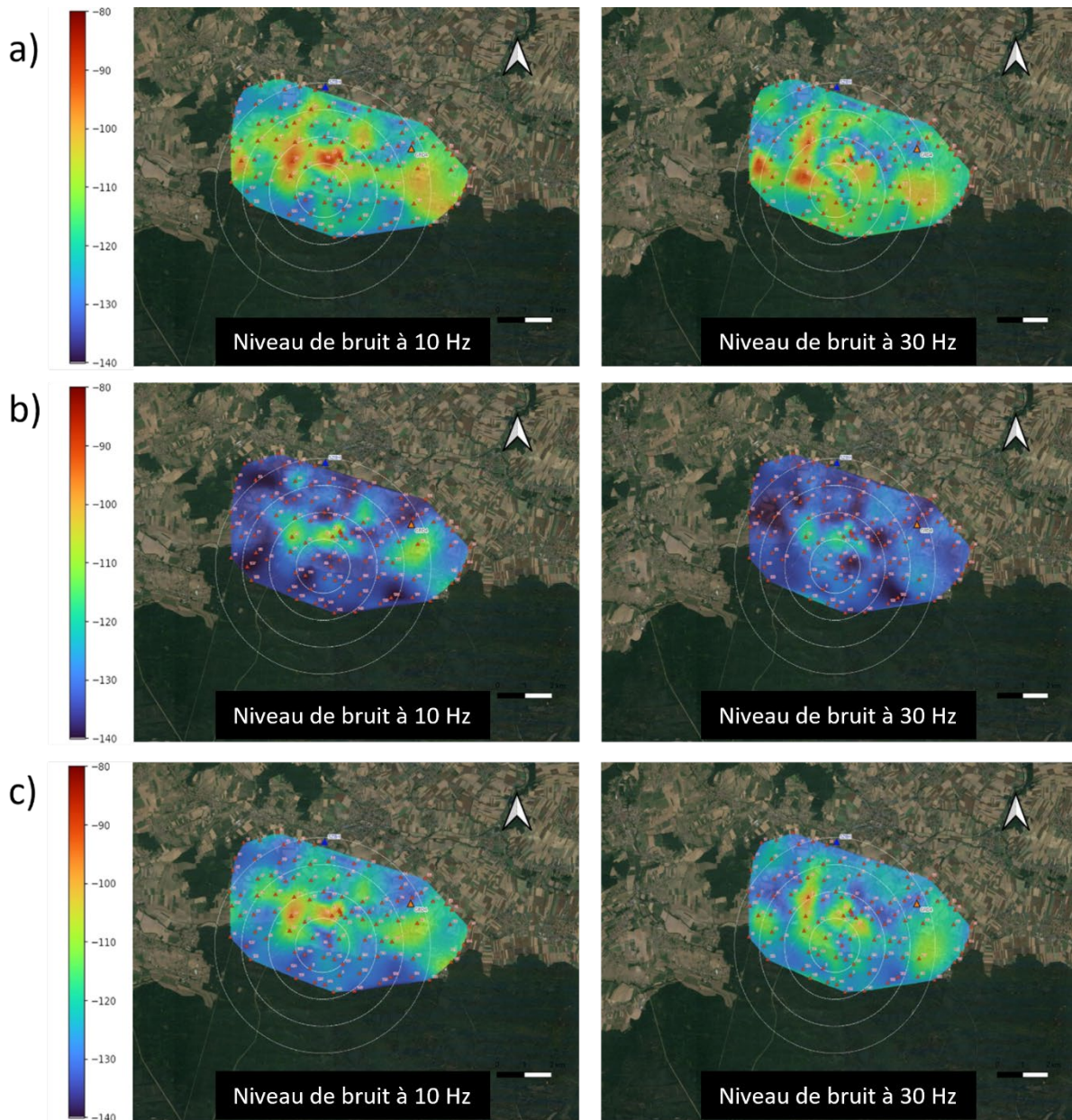


Figure 7.4 : Cartes du bruit à 10 Hz et 30 Hz pendant a) la période bruitée (en bleu sur les profils PSD), b) la période silencieuse (en rouge sur les profils PSD), c) la période intermédiaire (en vert sur les profils PSD). Les cercles sont centrés sur la coordonnée du fond du puits GS1B et sont espacés de 1.5 km.

7.5 Configuration du réseau sismique en fonction du forage, développement et exploitation

À la lumière de cette étude de bruit ambiant, une étude complémentaire a été réalisée par la société ISAMGEO afin de déterminer un réseau de surveillance microsismique préférentiel. Cette étude s'appuie sur une approche numérique afin de déterminer la localisation optimale des différentes stations du réseau à la lumière des exigences du « Guide des bonnes pratiques » pour la maîtrise de la sismicité induite (Maury et al., 2023¹). Ce réseau comprend 7 *vélocimètres triaxiaux* permanents, permettant une meilleure caractérisation des paramètres de source sismiques que des capteurs uniaxiaux. En mai 2023, Lithium de France a fait installer une première station permanente de surface, nommée GRD4 (Figure 7.5). La station SZBH du réseau public RESIF (Figure 7.6) est incluse dans les analyses sismologiques effectuées pour l'optimisation de la mise en place du réseau sismologique local.



Figure 7.5 : Site de la station sismologique de surface GRD4 sur la commune de Betschdorf

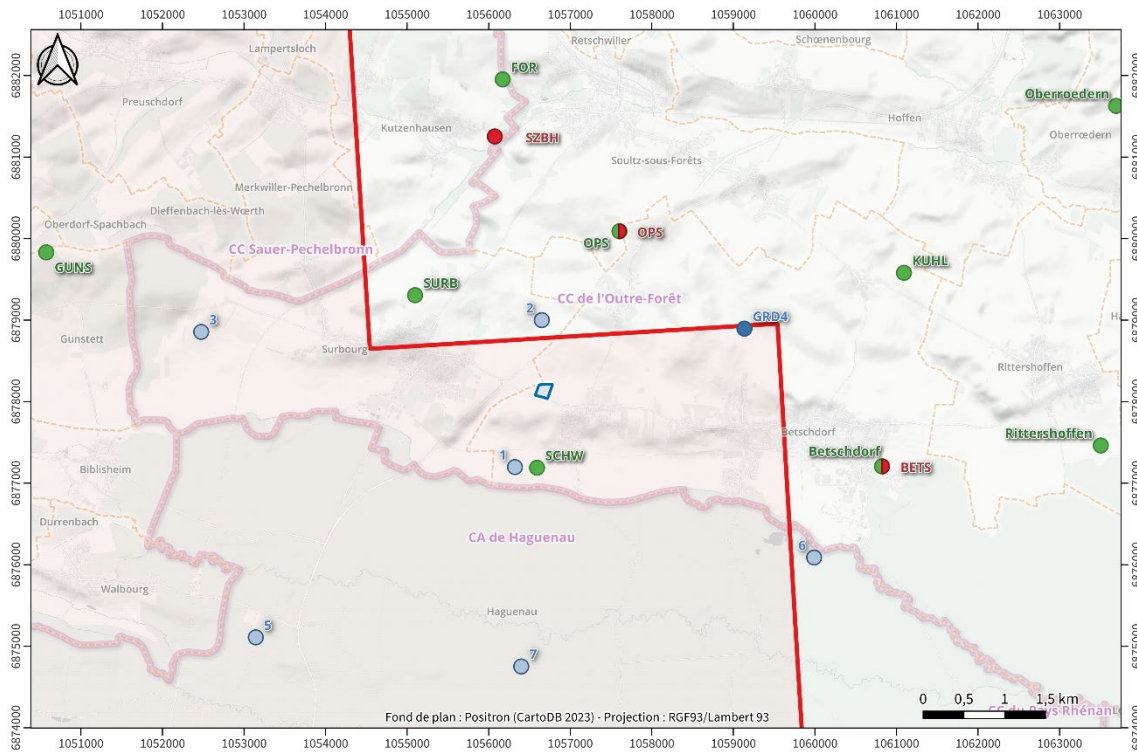
Les positions des stations sont présentées dans la Figure 7.6 et la Figure 7.7. En accord avec les recommandations du « Guide des bonnes pratiques » :

- La zone présentant un *écart azimutal* inférieur à 120° couvre un rayon de 1,5 km autour des puits en prenant en compte les seules 7 stations proposées (Figure 7.7a). Cette couverture est très étirée dans la direction Est-Ouest mais beaucoup plus restreinte dans la direction Nord-Sud. En incluant la station SZBH, la zone couverte dépasse les 2 kilomètres de rayon et est beaucoup plus équilibrée (Figure 7.7b).
- La *magnitude de complétude* estimée pour ce réseau est égale à -0,9 jusqu'à 4 kilomètres de profondeur, sur un rayon de 5 kilomètres autour de la position de surface des puits (Figure 7.8). En considérant un bruit ambiant de 10 dB supérieur à celui enregistré au cours de l'étude de bruit, la magnitude de complétude augmente jusqu'à -0,3 sur cette même zone. En cas de problèmes d'acquisition simultanés de 2 stations (ici, les stations 6 et 7), la magnitude de complétude dans la zone considérée atteint -0,2. Ces valeurs restent inférieures à la magnitude de complétude maximale conseillée, fixée à 0,5.
- Les incertitudes de localisation des événements sismiques sont inférieures à 100 mètres verticalement et à 400 mètres horizontalement dans un rayon de 3 km autour des puits, jusqu'à 4 kilomètres de profondeur.

Il est prévu d'installer une à deux de ces stations comme station de puits, placée jusqu'à 100 mètres de profondeur. Au vu de la localisation des stations par rapport à l'exploitation de surface, des cibles en profondeur du doublet des « Sources 1 » et des études de bruit ambiant réalisées, les stations 1 et 2 paraissent être les meilleures candidates. Il est également envisagé de déployer un accéléromètre en complément d'un vélocimètre sur la station 1 ou 2, de manière à pouvoir mesurer un fort mouvement du sol qui saturerait les vélocimètres.

La mise en place du réseau est prévue de manière progressive à partir du premier semestre 2024. Il est à noter que les positions des stations ne sont pas définitives et vont dépendre du permittage effectué dans la zone.

7. GESTION DES RISQUES INDUSTRIELS SUR LA SECURITE PUBLIQUE



Carte de la position des stations sismologiques

Carte mise à jour le 04/10/2023

Légende :

- Localisation du projet
- PER Les Sources
- Station sismologique en place (propriété de LDF)
- Stations sismologiques prévisionnelles (propriété de LDF)
- Réseau sismologique français (données publiques)
- Stations sismologiques (propriété de ES)

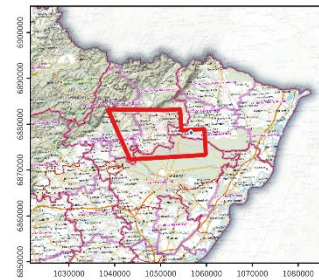


Figure 7.6 : Distribution des stations sismologiques actuelles à proximité de la localisation envisagée pour l'exploitation géothermique, au sein de réseaux public et privés ainsi que des 6 stations prévisionnelles pour le projet Les Sources1.

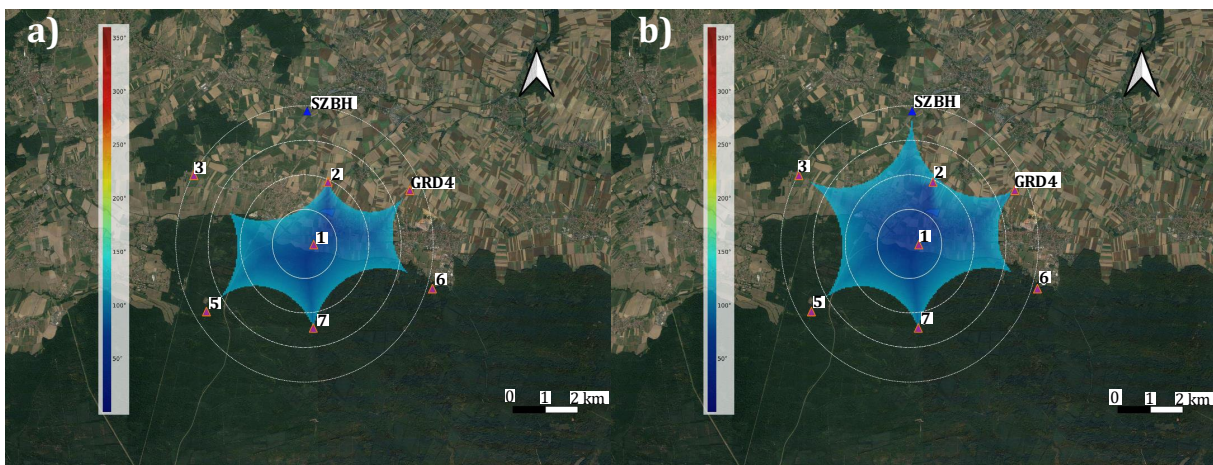


Figure 7.7 : Calcul de l'écart azimutal a) sans prendre en compte et b) en prenant en compte la station SZBH du réseau sismologique public RENASS. Seule la zone avec un écart azimutal inférieur à 120° est représentée.

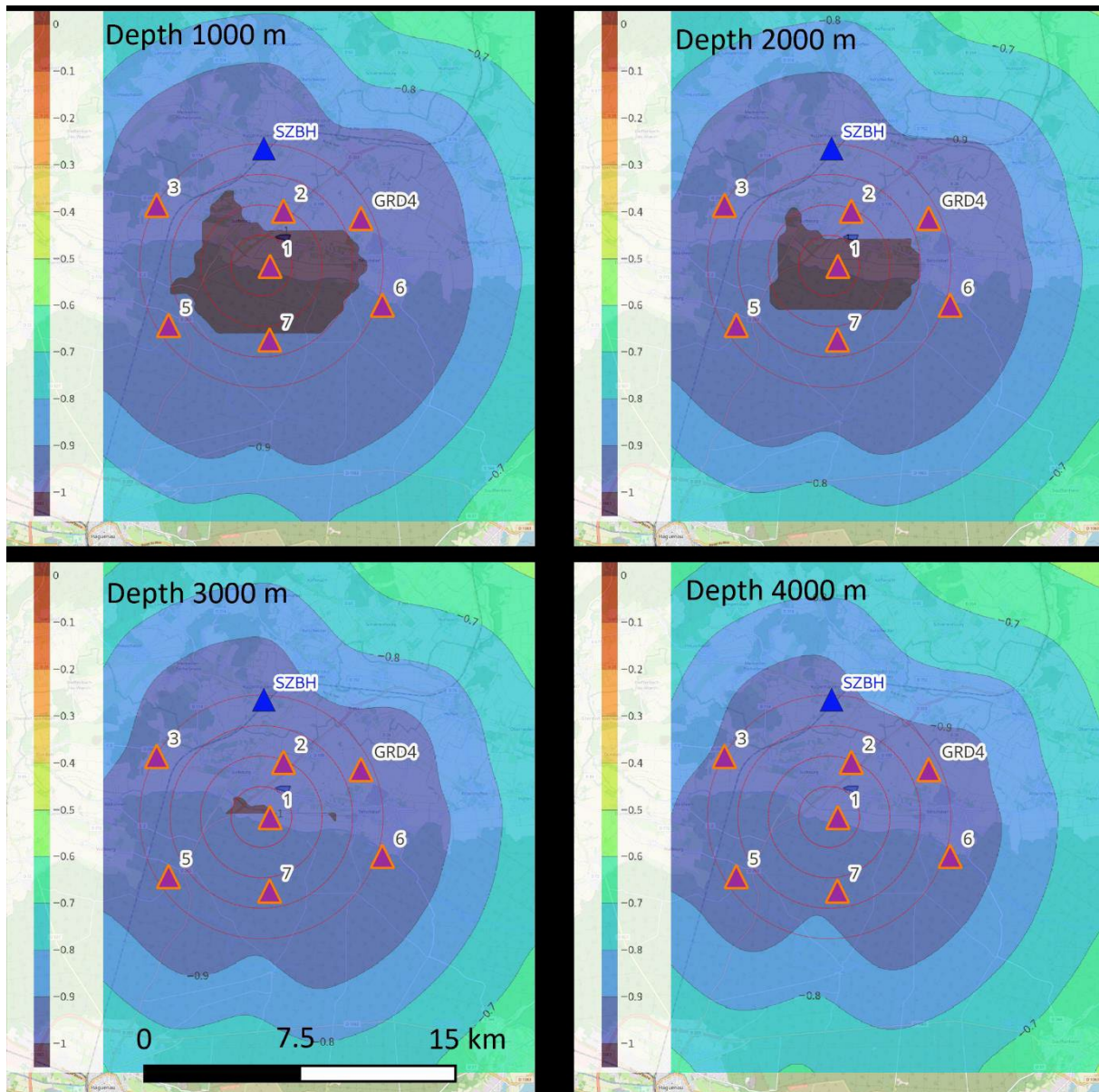


Figure 7.8 : Cartes de magnitude de complétude à différentes profondeurs, réalisées d'après les DSPs fournies par S³.

7.6 Evaluation de l'aléa sismique avant forage

L'aléa sismique caractérise la prédisposition de l'occurrence d'un incident sismique, c'est-à-dire d'un événement dont l'intensité est de nature à provoquer des nuisances pour la population et les enjeux exposés, et à affecter les conditions de déroulement voire la poursuite du projet. Le projet « Les Sources 1 » est implanté dans une zone rurale faiblement urbanisée et industrialisée associée à une intensité de référence IV sur l'échelle EMS98 et un PGV seuil de 5 mm/s qui sera pris en considération dans l'élaboration du système de feu de signalisation (TLS) décrit au § 7.9 ci-après.

Pour le projet « Les Sources 1 », l'aléa sismique a été évalué selon les critères définis par le « Guide de bonnes pratiques » pour la maîtrise de la sismicité induite par les opérations de géothermie profonde (Maury et al., 2023¹). L'arbre des décisions pour définir le niveau d'aléa sismique d'un projet de géothermie profonde est décrit dans la Figure 7.9 ci-après. Comme décrit au § 7.2 de ce document, les circulations de la ressource dans le Fossé rhénan sont contrôlées par le système de failles et de fractures, ce qui implique une réponse positive au critère E0. Les acquisitions de CSEM menées par Lithium de France et les indices de perméabilités mis en évidence par les forages voisins indiquant la

présence de ces circulations dans le réservoir ciblé par le projet « Les Sources 1 », le critère E2 est donc également positif. Enfin, les connexions entre les failles imagées par la campagne de sismique 3D et l'état de contrainte suggéré par la littérature défendent un système où les failles sont critiquelement chargées, le critère E4 est également validé positivement. Le niveau d'aléa 2 (modéré) est retenu pour le projet « Les Sources 1 » selon la méthodologie avancée par le « Guide des bonnes pratiques ». La mise en place de mesures de surveillance, le programme prévisionnel de données à acquérir et le système de feu de signalisation (TLS) pour le projet « Les Sources 1 » ont donc pris en compte les recommandations du « Guide des bonnes pratiques » pour un aléa de niveau 2.

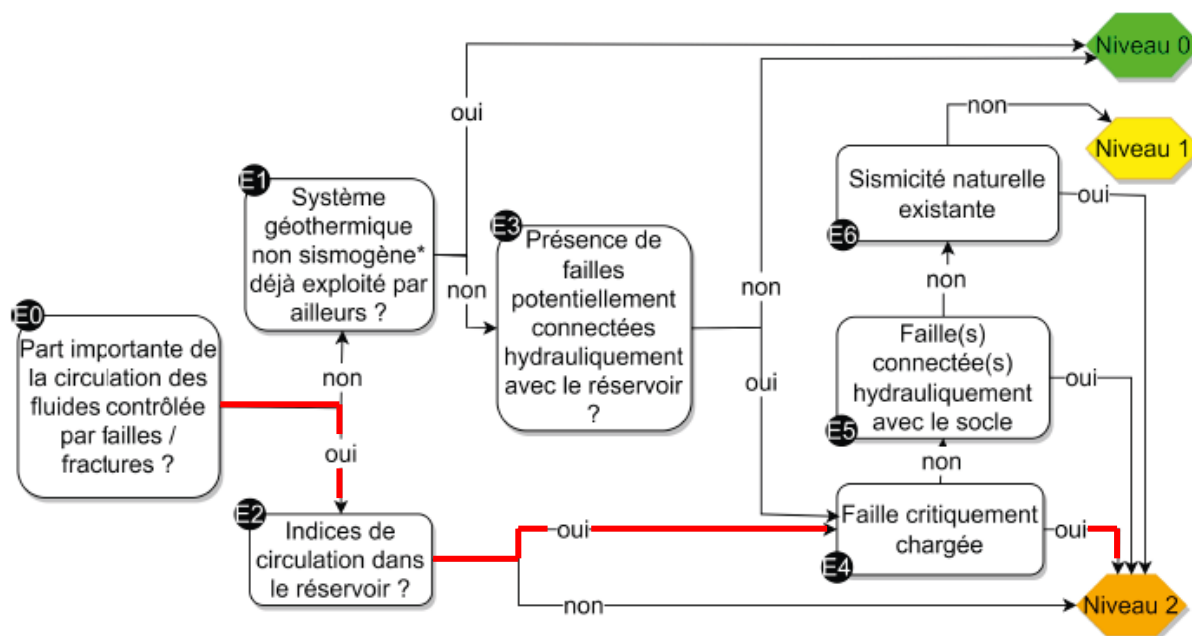


Figure 7.9 : Arbre de décision pour l'évaluation du niveau d'aléa d'un projet avant tout forage profond d'après Maury et al. (2023)¹.

Ce niveau d'aléa est amené à évoluer au cours de la vie du projet, notamment grâce à l'acquisition de nouvelles connaissances et sera réévalué selon les recommandations du « Guide des bonnes pratiques » :

- 1) Lors des phases de forage et de développement de l'ouvrage :
 - après chaque forage et tests hydrauliques permettant de caractériser le comportement hydromécanique du réservoir ;
 - avant toute opération visant à améliorer l'injectivité et/ou la productivité du puits ;
 - après la réalisation d'un protocole visant à améliorer l'injectivité et/ou la productivité du puits ;
 - après la réalisation de tests du doublet prouvant la connectivité en pression entre les forages injecteur et producteur et avant une mise en circulation de longue durée.
- 2) Lors de la phase d'exploitation de l'ouvrage, et si aucune dérive par rapport à la situation attendue n'a été observée :
 - annuellement pendant 5 ans (au minimum),
 - tous les 5 ans après 5 ans d'exploitation (au minimum),
 - en amont de la réalisation de travaux importants ou de redémarrage après un arrêt inopiné, ou/et un arrêt sur une longue période pouvant être à l'origine de surpressions importantes dans le puits (notamment lors de nouvelles stimulations ou lors de nouvelles réinjections).
- 3) Lors de l'arrêt définitif de l'ouvrage : avant la réalisation des opérations visant à stopper l'exploitation d'un ou plusieurs puits.

Chaque réévaluation de l'aléa sera soumise à la DREAL et la préfecture.

7.7 Evaluation de l'aléa sismique post-forage

Le projet « Les Sources 1 » étant de niveau 2, l'aléa sismique avant forage sera réévalué après le forage selon le « Guide des bonnes pratiques » (Maury et al., 2023)¹ (Figure 7.10). Cette évaluation sera transmise à la DREAL et à la préfecture à l'issue du forage et des premiers essais et tests permettant de caractériser le réservoir. Elle s'appuie sur trois critères :

- Le critère initial F0 est un **critère mécanique** : il porte sur le chargement (en termes de contraintes) des failles recoupées par le forage ou à proximité. Ce critère, déjà évalué dans l'arbre de décision précédent (critère E4) sera réévalué au regard des données nouvellement acquises, à savoir, d'une part, les informations sur la structure du réservoir, qui auront permis d'identifier les directions des discontinuités majeures recoupées par l'ouvrage, et, d'autre part, les mesures de contraintes réalisées dans le puits.
- Le second critère F1 est un **critère sismique** : il évalue la sensibilité du réservoir aux faibles modifications de contraintes en se basant sur la présence ou l'absence de sismicité induite par les opérations de forage. L'enregistrement d'une microsismicité significative au cours d'une opération de forage témoigne d'un état mécanique instable du réservoir, et par conséquent peut être favorable à la survenue d'un incident sismique. Comme préconisé par Maury et al. (2023)¹, si la sismicité enregistrée pendant l'opération de forage, dans un rayon de 1 km autour du forage, est de magnitude supérieure à 0.5 et/ou avec un PGV en surface supérieur à 0,5 mm/s à au moins deux stations et si cette sismicité est ressentie, l'aléa passera en niveau 3, sinon il restera en niveau 2.
- Le troisième critère F2 est un **critère hydraulique** : à l'issu du forage, seuls des essais hydrauliques permettront de caractériser le comportement hydraulique du système puits-réservoir. Une première évaluation de l'indice d'injectivité et/ou de productivité sera disponible. Si celui-ci apparaît trop faible au regard de l'indice ciblé pour l'exploitation, alors il est probable que Lithium de France ait à utiliser des méthodes d'amélioration de l'injectivité/productivité. Une réponse positive à ce critère classera le projet « Les Sources 1 » en niveau 3 à moins que tous les autres facteurs soient négatifs, auquel cas il restera en niveau 2. Si des opérations de stimulations chimiques, hydrauliques et/ou thermiques sont choisies par Lithium de France, alors une nouvelle évaluation de l'aléa au cours du développement de puits adossée au programme de développement de puits sera soumise à la DREAL et à la préfecture.

F0 - Faille critique ment chargée	F1 - Microsismicité pendant le forage*	F2 - Indice d'injectivité « insuffisant »	Niveau d'aléa
oui	oui	oui	3
		non	2
	non	oui	2
		non	2
non	oui	oui	2
		non	2
	non	oui	Si technologies EGS 2, sinon 1
		non	1

*Si un évènement est ressenti pendant le forage alors le niveau d'aléa passe immédiatement à 3.

Figure 7.10 Arbre de décision prévisionnel pour l'évaluation post-forage du niveau d'aléa du projet « Les Sources 1 ». Cette évaluation sera mise à jour après le forage et les premiers tests hydrauliques de caractérisation du réservoir et transmise à la DREAL et à la préfecture.

7.8 Dispositifs de caractérisation du réservoir

En plus du suivi microsismique, Lithium de France prévoit de réaliser des acquisitions de données de *diagraphties* en cours de forage afin de confirmer la présence d'un réseau de fractures naturelles et d'indices de perméabilité qui permettront notamment de mettre à jour les modèles géologiques et

géomécaniques avant forage. A l'issue du forage, si les conditions géologiques sont réunies, des premiers *tests hydrauliques* seront réalisés afin d'évaluer les propriétés hydrauliques initiales du puits. Ces tests se feront par une augmentation lente et prudente du débit par paliers en suivant les recommandations décrits sur le « Guide de bonnes pratiques » des forages géothermiques profonds (Hamm et al., 2021⁷).

Une attention particulière sera apportée à :

- L'absence de paliers à forts débits de manière isolée,
- La réalisation de paliers d'une durée suffisante pour que la pression soit stabilisée ou décroisse,
- La réalisation de paliers à débits décroissants après les paliers croissants.

Un enregistrement de pression en continue sera effectué en fond de puits (ou au niveau du sabot) avec par exemple une sonde immergée, et en surface, comme recommandé dans Maury et al (2023)¹. La suppression du réservoir pour ce test ne devra pas dépasser le seuil de réactivation en cisaillement des failles. Si les propriétés hydrauliques initiales du puits ne sont pas considérées comme suffisantes, plusieurs types de développement sont envisagés parmi les *stimulations* chimiques, hydrauliques et thermiques. La construction de ce programme de stimulations dépendra des analyses géomécaniques et géologiques à partir des données acquises pendant le forage et des premiers tests hydrauliques. L'évaluation de :

- la pressurisation du réservoir,
- l'état de contrainte à l'échelle du puits,
- la confirmation du réseau naturelle de fractures recoupé,

permettra de valider le programme soumis. Lithium de France devra fournir cette évaluation *a minima* 1 semaine avant la réalisation des tests pour validation auprès des autorités compétentes.

Toutes les précautions environnementales et techniques adéquates seront déployées si ces stimulations venaient à être exécutées dans les puits et le protocole sera soumis en conséquence à la DREAL et à la préfecture une semaine avant les opérations. Il est à noter que les expériences du Fossé rhénan ont montré que la microsismicité déclenchée lors des stimulations hydrauliques peut être maîtrisée malgré un dépassement apparent du *seuil d'instabilité géomécanique*. En effet, plus de 1300 événements microsismiques ont été déclenchés lors des tests et stimulations de puits de l'exploitation de Rittershoffen, sans détection d'incident sismique ou de sismicité ressentie (Maurer et al., 2020⁸). La stimulation thermique quant à elle a engendré de la microsismicité dans les projets du Fossé rhénan dans lesquels elle a été appliquée (Maurer et al.,), de bien moindre ampleur que lors des stimulations hydrauliques.

⁷ Hamm, V., Bugarel, F., Giuglaris, E., Goyénèche, O., Gutierrez, A., 2021. Retours d'expérience sur les forages géothermiques profonds. (Rapport final No. BRGM/RP-65443-FR). BRGM.

⁸ Maurer, V., Gaucher, E., Grunberg, M., Koepke, R., Pestourie, R., Cuenot, N., 2020. Seismicity induced during the development of the Rittershoffen geothermal field, France. Geotherm. Energy 8, 1–31.

7.9 Protocoles opérationnels et systèmes de feux de signalisation (TLS)

Le système de feu de signalisation (*Traffic Light System*, TLS) est un système de gestion et maîtrise de la sismicité induite basé sur plusieurs critères (magnitude, PGV, etc.) qui définissent différents niveaux d'alertes (trois à quatre) en fonction desquels l'activité industrielle en cours peut être modifiée. Ces derniers sont mis en place dans le but de réduire le risque sismique causé par la sismicité induite et les dommages pouvant être causés sur les bâtiments à proximité du site.

Il s'agit d'un protocole recommandé par le guide INERIS/BRGM. Ce type de système a été introduit par Bommer et al. (2006)⁹ et a été testé sur plusieurs projets de géothermie pour la gestion et la mitigation de l'aléa sismicité induite. Il a pour principal objectif d'éviter un incident sismique. C'est donc un outil de pilotage qui permet d'ajuster en quasi-temps réel les paramètres opérationnels (ex : débit, pression injection et volume injecté) en fonction de la sismicité enregistrée par le ou les réseau(x) de suivi sismologique en place.

Les seuils des feux de signalisation se basent sur deux paramètres : un niveau acceptable du mouvement du sol et la probabilité d'atteindre ce niveau. Le PGV est utilisé comme paramètre pour mesurer les mouvements du sol car ce dernier est un meilleur indicateur des dommages potentiels pouvant être causés par les vibrations que le PGA (Bommer and Alarcon, 2006¹⁰). Considérant une étude menée par GINGER-CEBTP, 3 seuils basés sur le double critère PGV/magnitude ont été établis :

- Le premier seuil entre le feu vert et le feu jaune est proposé comme étant égal à **0,5 mm/s**. Il s'agit ici du premier niveau d'alerte établi dans le cadre du site de géothermie de Rittershoffen. Pour ces niveaux de PGV, les secousses ne sont pas ressenties par la population et les événements sismiques associés sont de très faible magnitude ($M_L < 1,3$).
- Le deuxième seuil, entre le feu jaune et le feu orange, est défini en fonction du ressenti de la population. Ce seuil est estimé à **1 mm/s** par Bommer (2017)¹¹ et correspond à la limite de perception de l'Humain auquel a été ajouté un facteur de sécurité de 2.
- Le troisième seuil, entre le feu orange et le feu rouge, est estimé en fonction des premiers dommages superficiels (dit « cosmétiques ») pouvant se produire sur une structure.

Tableau 7.3 : Seuils du TLS proposés pour le projet « Les Sources 1 » avec les PGVs et les magnitudes estimés

	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Critère	Pas de ressenti de la population. ML < 1.3 PGV < 0.5 mm/s	Pas de ressenti de la population. $1.3 \leq ML < 1.7$ $0.5 \text{ mm/s} \leq \text{PGV} < 1 \text{ mm/s}$	Ressenti de la population. $1.7 \leq ML < 2.5$ $1 \text{ mm/s} \leq \text{PGV} < 5 \text{ mm/s}$	Premiers dommages superficiels. ML ≥ 2.5 PGV $\geq 5 \text{ mm/s}$
Protocoles	Système nominal. Pas de modifications à apporter.	Communication au superviseur. Poursuite du pompage, ne pas augmenter le débit.	Maintenir la pression de tête de puits en dessous de la pression à laquelle l'événement sismique s'est produit.	Arrêt progressif des opérations

⁹ Bommer, J.J., Oates, S., Cepeda, J.M., Lindholm, C., Bird, J., Torres, R., Marroquín, G., Rivas, J., 2006. Control of hazard due to seismicity induced by a hot fractured rock geothermal project. Eng. Geol. 83, 287–306. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.11.002>

¹⁰ Bommer, J.J., Alarcon, J.E., 2006. The Prediction and Use of Peak Ground Velocity. J. Earthq. Eng. 10, 1–31. <https://doi.org/10.1142/S1363246906002463>

¹¹ Bommer, J.J., 2017. Predicting and monitoring ground motions induced by hydraulic fracturing (Report Commissioned by the Oil and Gas Authority.).

Les protocoles proposés en fonction du niveau d'alerte déclenché sont les suivants :

- **Vert** : Les activités sont maintenues, aucun seuil n'est dépassé.
- **Jaune** : Les activités sont maintenues. Les injections et le pompage se poursuivent sans augmentation du débit. Aucune secousse n'est ressentie par la population.
- **Orange** : Un dépassement des seuils qui s'est produit a déclenché une notification, une documentation associée et la prise de décision d'atténuer le risque si nécessaire. La pression de tête de puits est maintenue en dessous de la pression à laquelle l'évènement s'est produit. Une étude complémentaire de l'évènement est réalisée par les équipes. L'évènement relié à cette alerte peut correspondre à une secousse ressentie à proximité du site sans générer d'impact sur le bâtiment.
- **Rouge** : Un dépassement des seuils qui s'est produit a déclenché l'alarme et l'arrêt progressifs des opérations par paliers. Une étude et une modélisation complémentaire est réalisée par les équipes, puis soumise à une expertise et transmise aux autorités locales. Comme l'alerte orange, la secousse en relation avec le déclenchement de l'alarme rouge correspond à une secousse ressentie à proximité du site sans que des dégâts importants sur les bâtiments aient lieu.

Les seuils de PGV proposés ci-dessus ne prennent pas en compte des *effets de site* qui sont inconnus au stade avant forage mais qui existent puisque les seuils résultant de l'étude menée par GINGER – CEBTP sont différents de ceux du projet voisin ECOGI à Rittershoffen. Ils seront donc à réévaluer au cours du projet « Les Sources 1 » avec les données acquises et spécifiques au projet.

7.10 Conclusions du rapport d'expertise

Le document présentant les études d'exploration, les modélisations du réservoir avant forage, les évaluations de l'aléa sismique et les dispositifs de prévention développés par Lithium de France a bénéficié d'une revue d'expert de Mariane Peter-Borie et Rebecca Bolton de la compagnie CGG. L'avis porte sur l'aléa incident sismique induit et la mitigation de celui-ci produit à partir des informations contenues dans le mémoire technique traitant « les mesures mises en œuvre et celles envisagées pour connaître la géologie du sous-sol impacté par les travaux et de comprendre les phénomènes naturels, notamment sismiques, susceptibles d'être activés par les travaux » tel que défini dans le code minier (Article L. 164-1-2 du code minier et 15° de l'article D. 181-15-3 du Code de l'environnement). Cet avis s'appuie sur les recommandations du « Guide de bonnes pratiques » (Maury et al., 2023)¹ et stipule en conclusions :

« Il est important de rappeler qu'une opération telle que proposée par le projet « Les Sources 1 » s'accompagnera très probablement de sismicité induite, c'est cependant la probabilité d'occurrence d'un incident sismique, défini comme un évènement sismique dont l'intensité est de nature à provoquer des nuisances pour la population et les enjeux exposés, et à affecter les conditions de déroulement voire la poursuite du projet, qui est ici expertisé.

*En conclusion, et d'après les éléments qui nous ont été fournis (dans le mémoire technique et lors des réunions techniques du 26 octobre et 27 novembre 2023), **il apparaît que les travaux d'exploration et la description des opérations de monitoring et sur puits sont en général conformes aux attendus et bonnes pratiques.** Le projet présente un **aléa moyen (niveau 2)** d'incident sismique induit, et de nombreux évènements microsismiques sont attendus du fait de la nature du réservoir. Globalement, **les mesures que Lithium de France prévoit de mettre en œuvre afin de contrôler cette sismicité et de la garder en dessous d'un seuil acceptable suivent les bonnes pratiques et recommandations principales définies par Maury et al. (2023)¹.***

Des recommandations additionnelles ont été formulées tout au long de ce rapport.

D'un point de vue général, le projet « Les Sources 1 » présente un aléa incident sismique induit moyen qui a été correctement identifié par Lithium de France. Lithium de France a prévu de mettre en place un protocole d'opérations qui, s'il est suivi, apparaît être en bonne cohérence avec une prévention et une mitigation efficace de cet aléa.

En complément de ces études et opérations prévues, Lithium de France a planifié la réalisation d'une branche exploratoire : ce projet mérite d'être salué. L'apport de connaissances nécessaire à une compréhension holistique du système, notamment en termes de structure des zones de failles et perméabilité dans les formations sédimentaires, sera un plus évident non seulement pour ce projet, mais bien au-delà pour les projets dans des contextes analogues. »

L'ensemble des recommandations ont été prises en compte dans la version finale de l'étude et du projet « Les Sources 1 » soumis à la DREAL et à la préfecture.

8 GOUVERNANCE DES DONNEES ET MISE A JOUR DES MODELES

Le présent document décrit une certaine quantité de données acquises par Lithium de France lors de la campagne d'exploration mais également celles que l'opérateur met un point d'honneur à acquérir dans le cadre du forage de ce premier doublet.

Une base de données est en cours de construction au sein de la société afin de conserver et d'archiver les données et les métadonnées selon une méthodologie adaptée aux besoins du projet.

Lithium de France prévoit d'utiliser, dans la mesure du possible, des outils « open-source » (accès libre) et des formats ouverts, dans l'esprit du principe FAIR :

- Une partie de nos données seront capitalisées au sein d'une base de données PostgreSQL (open-source, standard international) ou archivées sur un serveur ;
- Ces données pourront être extraites au besoin dans des formats standards et ouverts (csv, shapefile, mini-seed, ...)

En revanche, pour certains types de données comme les modèles produits ou les interprétations sismiques, il sera plus difficile d'utiliser des formats ouverts en raison de l'utilisation de logiciels propriétaires.

Lithium de France s'engage à rédiger et stocker systématiquement les métadonnées associées aux jeux de données manipulées par l'entreprise au sein de sa base de données. Ces métadonnées seront au format Dublin Core et seront accessibles à l'administration via une liste ou un catalogue en ligne.

Cette gestion rigoureuse de la base de données permettra d'intégrer les futures données acquises lors de la vie du projet avec comme priorité la traçabilité et la mise à jour des modèles. En effet, les études de ce document présentent des modèles prédictifs avant forage basés sur des données de la littérature, mais seront mis à jour continuellement durant la vie du projet à partir des nouvelles données acquises sur le projet « Les Sources 1 ». Cette base de données et de modèles sera également organisée à des fins de partage avec les intervenants opérationnels et les parties prenantes mais aussi de rétro-analyse.

Lithium de France est dans une démarche de partage constructive pour les données de connaissances de réservoir avec les opérateurs de ce même réservoir. Suite aux discussions engagées avec les autres opérateurs, les données permettant de caractériser l'état géomécanique de ce réservoir type XLOT (eXtended Leak Off Test, e.g. Zoback et al., 2003¹²) devraient être partagées. Lithium de France propose également que les Rapports de Fin de Sondage et Rapports Techniques de Sondage soient partagés.

Concernant les données sismologiques, des discussions sont en cours entre les opérateurs du Fossé rhénan, le RENASS et la DREAL Grand Est sur amélioration de la mutualisation de stations sismologiques avec une homogénéisation des formats et une accessibilité grand public de la donnée sismologique. Lithium de France développe son réseau en parallèle ainsi que ses dispositifs de conservation et archivage de données sismologiques et de traitements de paramètres sismiques tout en prenant part à la discussion commune. Lithium de France souhaite que la publication des données au grand public se fasse après traitement (relocalisation, temps d'occurrence et magnitude) et vérification de la donnée par un sismologue dans un souci d'exactitude de l'information communiquée.

Lithium de France s'engage à rendre accessible, aux autorités et sur demande, un certain nombre de ses données via un portail d'échange de données (ex : SharePoint ou serveur FTP), notamment :

- les données de suivi sismologiques, stockées sur un serveur Lithium de France au format mini-seed. ;
- les données de suivi de la phase forage, stockées en base de données, exportables au besoin et visualisables via le rapport journalier de suivi de forage.

¹² Zoback, M.D., Barton, C.A., Brudy, M., Castillo, D.A., Finkbeiner, T., Grollmund, B.R., Moos, D.B., Peska, P., Ward, C.D., Wiprut, D.J., 2003. Determination of stress orientation and magnitude in deep wells. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 40, 1049–1076. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2003.07.001>



Lithium de France

16 rue des Couturières

67240 Bischwiller

contact@lithiumdefrance.com