

OFFRE DE THÈSE

Identification des facteurs de prédisposition des effondrements miniers à l'aide de l'analyse de données et de la modélisation numérique 3D

Le sujet de la thèse porte sur l'identification des critères de prédisposition et de déclenchement d'un effondrement en masse des mines de fer arrêtées, dans le bassin ferrifère lorrain, noté BFL dans la suite du document. Depuis plusieurs années, l'Ineris conduit des travaux de recherche et d'appui à la demande des services de l'état et de son appui en matière d'expertise, Geoderis¹, pour contribuer à l'identification des zones à risques dans le BFL. Les travaux de recherche concernés par la thèse s'inscrivent dans l'objectif d'une amélioration continue de l'évaluation des risques, et visent pour cela à mobiliser les nouveaux outils numériques et d'analyse pour faire évoluer la méthodologie d'identification des zones à risque d'effondrement ou d'affaissement au sein de secteurs miniers exploités par la méthode dite des chambres et piliers abandonnés.

Les travaux de recherche qui seront réalisés pendant la thèse de doctorat comportent deux parties : la première partie concerne l'identification des facteurs de prédisposition des effondrements brutaux et des affaissements progressifs. La deuxième partie concerne le développement de modélisations numériques couplées hydromécaniques, principalement en 3D (H-M), et de méta-modèles.

La thèse apportera des éléments de connaissances nouvelles sur : les facteurs (paramètres) de prédisposition et de déclenchement des effondrements des anciennes exploitations minières, les caractéristiques des configurations minières qui pourraient être classées à risque d'effondrement et les configurations qui peuvent provoquer des effondrements brutaux ou/et progressifs.

Mots clés : Mouvements de terrain, effondrements, mines, analyse de données, modélisation géomécanique, IA, développement, méthodologie.

Date souhaitée de début du doctorat : 03/10/2025

Date limite de candidature : dimanche 22/06/2024

Lieu : INERIS - Mines Nancy, Campus ARTEM, Université de Lorraine

Type de contrat : Contrat doctoral de droit privé (2 105€ brut par mois)

Le(la) candidat(e) doit candidater en complétant le [formulaire en ligne](#) et en envoyant son dossier complet à Marwan AL HEIB (Marwan.Alheib@ineris.fr) :

- Un CV détaillé,
- Le relevé de notes des 2 dernières années,
- Un exemple de production scientifique personnel (rapport de stage, rapport de projet scientifique, article, etc.)
- Une ou deux lettres de recommandation.

Contacts pour plus d'informations : Marwan Al Heib : marwan.alheib@ineris.fr et Olivier Deck : olivier.deck@mines-nancy.univ-lorraine.fr

¹ GEODERIS est un Groupement d'Intérêt Public (GIP) constitué par le ministère de la transition écologique et solidaire, le BRGM et l'INERIS. Il apporte à l'état (administrations centrales et services déconcentrés) une assistance et une expertise en matière d'après-mine.

1. PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE

1.1. Contexte et objectif de la thèse

Le bassin ferrifère lorrain s'étend sur environ 100 km du nord au sud, entre la frontière franco-luxembourgeoise et le sud de Nancy. Son exploitation intensive a débuté au milieu du 19^{ème} siècle et s'est arrêtée en 1997.

Durant l'exploitation et après que la mine fut abandonnée, certaines zones ont vu la manifestation d'affaissements progressifs mais également d'effondrements brutaux. Parmi les événements les plus marquants survenus récemment dans le bassin ferrifère lorrain : affaissements d'Auboué en 1996, de Moutiers en 1997 ou encore de Roncourt en 1999, d'Angevillers en 2009, etc.

L'approche actuelle d'identification et d'évaluation des aléas miniers et risques associés a été mise en place progressivement depuis les événements de 1996. Les niveaux d'aléas miniers ont été définis par un comité d'experts sur la base d'un ensemble d'études disponibles. Bien que l'approche soit toujours considérée comme valide et opérationnelle, des pistes de réflexion ont émergé pour la consolider et l'améliorer en exploitant de nouvelles données et en recourant à la modélisation numérique et à l'intelligence artificielle (IA) pour tenir compte des caractéristiques géotechniques et de la complexité des ouvrages.

1.2. Problématique (enjeux scientifiques)

Dans le cadre des travaux de thèse, le doctorant aura à améliorer la méthodologie de prédiction des effondrements (brutaux, progressifs) grâce à une modélisation élaborée prenant en compte à la fois la complexité géométrique, le comportement géomécanique, notamment à long-terme, des géomatériaux (minerais, terrains de recouvrement, discontinuités, etc.), les données disponibles et les résultats recherchés.

La thèse devra apporter des éléments de réponse aux questionnements suivants :

- Quels sont les facteurs (paramètres) de prédisposition et de déclenchement des effondrements des anciennes exploitations minières ?
- Quelles sont les caractéristiques des configurations minières qui pourraient être classées à risque d'effondrement ?
- Quelles sont les configurations qui peuvent provoquer des effondrements brutaux ou/et progressifs ?

1.3. Retombées et valorisation

La thèse correspond à des travaux de recherche opérationnelle. Ses résultats auront une application directe dans le domaine de l'après-mine et notamment dans l'évaluation des aléas relatifs aux mouvements de terrain, aux risques d'affaissement/effondrement généralisé.

La valorisation scientifique est envisagée à travers la publication des résultats dans des revues scientifiques mais également d'un partage des résultats avec les acteurs principaux concernés par la problématique, en France mais également en Europe.

1.4. Déroulement des travaux durant le doctorat

Il s'agit plus particulièrement de développer des modèles numériques plus élaborés que ceux actuellement utilisés permettant ainsi une amélioration de la prédiction des événements redoutés et de mieux gérer les risques associés.

Les travaux de recherche à réaliser pendant la thèse de doctorat comportent deux parties :

- La première partie concernera l'identification des facteurs de prédisposition des effondrements brutaux et des affaissements progressifs. Pour cela, le doctorant s'appuiera sur l'analyse des 70 cas d'effondrements identifiés dans le bassin ferrifère lorrain. Il s'agira d'utiliser des outils d'analyse de données classiques (régression, analyse factorielle discriminante, etc.) et avancés (issus des techniques d'apprentissage automatique), pour identifier, quantifier, hiérarchiser les paramètres qui permettent d'expliquer l'occurrence des effondrements et leurs conséquences en surface (géométrie des travaux, géologie du recouvrement, topographie, conditions hydrogéologiques, etc.). La méthodologie d'analyse des données pourra s'inspirer de celle appliquée aux 16 cas d'effondrement déjà étudiés par l'Ineris et Géoderis. Une analyse comparée sera menée entre les zones qui se sont effondrées et celles qui sont restées stables (pour l'instant). Les techniques d'apprentissage automatique seront utilisées dans un objectif de classification (clustering) des phénomènes basés sur le REX. Aussi, on cherchera à développer une métrique reliant les classes d'aléas et les zones effondrées pour tenter des prévisions. L'un des points à développer est la gestion des incertitudes sur les données collectées et l'influence du manque de données. Il sera question également de proposer des méthodes pour compléter les données manquantes.
- La seconde partie concerne le développement de modélisations numériques couplées hydromécaniques principalement en 3D (H-M) et de méta-modèles. L'objectif de cette partie est de fournir des explications phénoménologiques et mécaniques des effondrements notamment des secteurs a priori identifiés comme étant fortement à risques, mais qui ne présentent pas de signes d'instabilité significatifs. Il est aussi envisagé de considérer l'historique de l'ennoyage et son influence sur la stabilité des travaux miniers ainsi que le rôle des failles dans la modification des champs de contraintes initiales et modifiées par les travaux d'exploitation.
- Dans un premier temps, le travail consistera à développer / construire des modèles numériques réalistes et fidèles d'un ensemble de configurations représentatives d'exploitations sujettes à des effondrements miniers passés ou présentant des risques d'effondrement. Les résultats obtenus au cours de la première partie seront exploités pour identifier les configurations d'intérêt. L'utilisation de modélisations numériques 3D devra permettre de prendre en compte les géométries le plus fidèlement possible. Une attention particulière sera portée à la géométrie des travaux miniers et aux modèles de comportement des matériaux en présence. Dans un second temps, le doctorant testera la faisabilité du développement d'un métamodèle pouvant permettre, à terme, d'accéder à des résultats proches de ceux obtenus par modélisation hydromécanique 3D, sans avoir recours à des calculs consommateurs de temps et de ressources informatiques importantes. Ces travaux de développement d'un métamodèle impliqueront de réaliser un nombre significatif de calculs 3D dont les principales grandeurs d'intérêts seront extraites afin de développer un modèle mathématique équivalent (régression, réseau de neurones, etc.). Un tel métamodèle pourra permettre d'étudier, d'une part, des configurations complexes, proches de celles précédemment modélisées en 3D, sans calcul numérique, et, d'autre part, l'influence des incertitudes sur les résultats.

Deux cas bien documentés, bénéficiant de nombreuses données et ayant déjà fait l'objet d'une analyse, seront particulièrement étudiés. Le premier cas est celui d'un effondrement brutal et l'autre un affaissement progressif en tenant compte de l'ensemble des paramètres. La validation des résultats s'appuiera sur les mouvements en surface, affaissement, crevasse, cratère, dommage, etc.

2. INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES

PROFIL

Le(la) candidat(e) est titulaire d'un Master 2 et/ou d'un diplôme d'Ingénieur en génie civil, mécanique, mathématiques appliquées, avec une mention.

Le(la) candidat(e) dispose des compétences en physique et numérique, mécanique des milieux continus, comportement des matériaux, et analyse de données.

Il(elle) a un très bon niveau d'anglais. Il(elle) a une capacité à prendre des initiatives, à travailler en équipe et à échanger des résultats avec les partenaires impliqués dans le projet, à la fois oralement et par écrit.

ENCADREMENT :

Le projet de thèse sera encadré par une équipe mixte Ineris/GeoRessources (Université de Lorraine-CNRS) hébergée dans les locaux de l'Ecole de Mines de Nancy. Des interactions pourront également être mises en place avec les chercheurs du LORIA (Laboratoire Lorrain de Recherche en Informatique et ses Applications) pour les aspects relatifs à l'apprentissage automatique.

CONDITIONS DE TRAVAIL :

Contrat de 39h/semaine.

Il/elle disposera de 18 RTT en plus des 31 CP annuels.

Salaire : 2 105€ brut par mois

Horaires variables

Restaurant d'entreprise (ou titres restaurants pour les sites hors Verneuil)

Bornes de recharge électriques

Notre offre d'emploi est ouverte à tous, nous souhaitons intégrer nos nouveaux talents au sein d'un environnement de travail inclusif.

INERIS

L'Ineris (Institut national pour l'environnement industriel et des risques), qui compte environ 500 collaborateurs, est un organisme national de référence, sous tutelle du ministère chargé de l'environnement, dont la mission principale est de réaliser des études et des recherches permettant de prévenir les risques que les activités économiques font peser sur la sécurité des personnes et des biens.

Rejoindre l'Ineris c'est l'opportunité de mettre en œuvre et développer ses compétences dans le cadre des missions de recherche, d'appui et d'expertise pour le compte des pouvoirs publics et des industriels. L'Ineris dispose de 30 000 m² de laboratoires et halles d'essais avec des équipements multiples et à la pointe de la technologie.