

PHD OFFER

**Original study of the link between
the fundamental fragmentation properties of natural ores and
their behaviour under industrial comminution conditions**

Location : Laboratoire de Génie Chimique, Labège Campus, Toulouse, France

Period: by September 2025 (36 months)

Keywords: Fracture mechanics; Experimentation; Numerical data analysis and modelling; Artificial intelligence

Profile required: Master's degree or engineering degree in materials science or equivalent and/or physics

Context

The InnovTech project brings together the French scientific community working in the field of mineral processing. As a project of the PEPR SOUS-SOL, BIEN COMMUN (<https://www.soussol-bien-commun.fr/>), its aim is to remove scientific obstacles to the sustainable exploitation of mineral resources, natural sources of construction materials, industrial minerals and metals useful to human activities. More specifically, the InnovTech project targets the development of cutting-edge experimental and numerical tools for an in-depth understanding of industrial mineral treatment processes, in order to improve their performance and reduce their environmental impact.

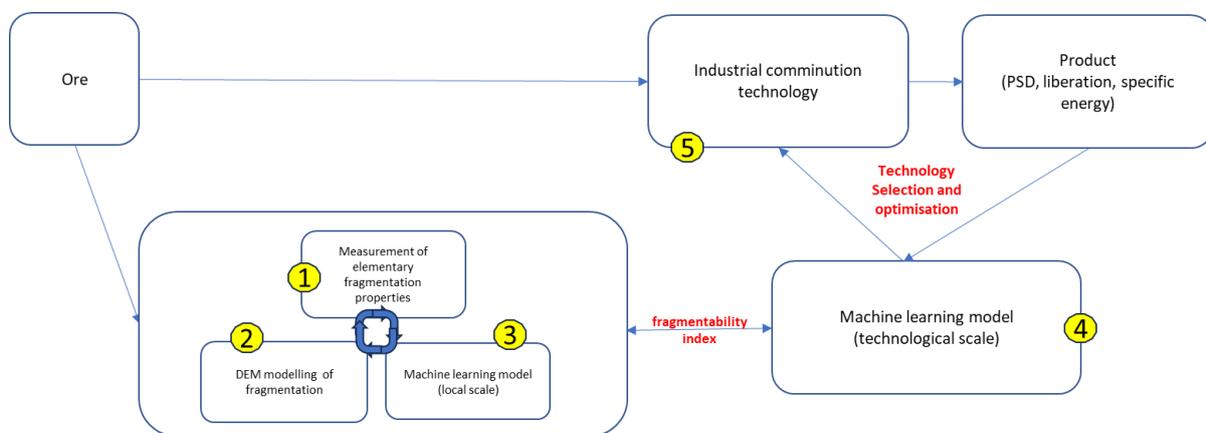
The FRAG2COM project focuses on mineral comminution, which consists in reducing the particle size of materials extracted from a natural deposit by physical fragmentation. As the first stage in ore processing, mineral comminution liberates the valuable minerals (carrier of valuable metals) from the gangue minerals (sterile), generates fresh grain surfaces, and reduces grain size in order to increase their specific surface area to improve the performance (extraction kinetics and yield) of downstream hydrometallurgical and pyrometallurgical processes. Mineral comminution is carried out using a wide range of equipment that subject ores to a variety of mechanical environments. The pitfall of industrial grinding technologies is that they are designed primarily to process large quantities of ore, to the detriment of taking advantage of the mechanical fracture properties of said ore to create new surfaces. As a result, mineral grinding is extremely energy-intensive, its energy consumption being expressed in kWh per tonne of ground material. The grinding stage alone is responsible for between 40% and 60% of a mineral processing plant's total energy consumption, and the energy consumption of natural resource grinding operations worldwide is estimated at 4% of the world's total energy!

Scope and objectives of the thesis

The FRAG2COM project focuses precisely on linking the elementary fracture properties of natural ores with the performance of the grinding technologies used to fragment them. The results of this project are expected to apply beyond the processing of natural resources, since solid wastes, such as deconstruction wastes, are also comminuted in order to be recycled.

The project brings together a multidisciplinary team from the *Laboratoire de Génie Chimique* (LGC - UMR5503, <https://lgc.cnrs.fr/en/>), the department *Procédés de Mise en œuvre des*

Milieus Granulaires (SPIN/PMMG, <https://www.mines-stetienne.fr/spin/areas-of-expertise/powder-handling/>) of the *Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne*, and the French Geological Survey (BRGM, <https://www.brgm.fr/en>). The team's combined expertise will enable FRAG2COM's original methodology for selecting and optimizing the operation of comminution equipment, bridging the gap between the fragmentation of an individual particle and the performance of a comminution technology. This approach is made possible by the availability of tools to measure the fragmentation properties of individual particles (LGC), the means to simulate fragmentation on a local scale to match the physical fracture properties of ores (SPIN/PMMG), advanced solutions for capitalizing on massive information of various kinds using artificial intelligence (BRGM), and the possibility of conducting tests on industrial crushing and grinding equipment (BRGM). The diagram below illustrates the 5 modules making up the FRAG2COM project.



The thesis project will focus more specifically on FRAG2COM's modules 1 to 3:

1. Experimental characterization of elementary particle fragmentation
2. Numerical modelling of elementary particle fragmentation
3. Local predictive modelling of elementary particle fragmentation by AI

The aim of the thesis is to produce the knowledge that will underpin the project's ability to establish the link between the fundamental fracture properties of ores and the prediction of their fragmentation under industrial grinding conditions, the latter varying considerably from one industrial comminution to another.

Module 1 will focus on the experimental characterization of fragmentability at the individual particle scale. The work will use dedicated equipment to generate fragmentation data from individual particles subjected to a variety of mechanical environments. This scale of characterization of ore fragmentability will provide a significant number of quantitative observations that will capture the statistical variability of ore fragmentation. These data on the fragmentation properties of individual particles will lead to the expression of a true signature of mineral fragmentability, sensitive enough to distinguish minerals on the basis of their fragmentation behaviour.

Module 2 will focus on estimating the fundamental fracture properties of ores by DEM (Distinct Element Modelling) simulation of the dynamic fracture of a mineral particle subjected to controlled stress conditions. The work will involve adjusting the simulation by changing the physical properties of the particle so that the simulation reproduces the observations obtained in Module 1 under the same stress conditions.

Finally, module 3 will capitalize on all the information generated by modules 1 and 2 to produce predictive models of individual particle fragmentation under specified stress conditions. The thesis will be carried out in parallel with a post-doctoral contract based at BRGM and dedicated to AI, with whom the candidate will be expected to interact regularly.

Work environment

The candidate will be based at the *Laboratoire de Génie Chimique* (LGC, <http://www.lgc.cnrs.fr/>), a joint research unit of the *Institut National Polytechnique de Toulouse*, *Université Paul Sabatier* and the *Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)*. He will be co-supervised by the project's 3 partners (LGC / ENSMSE / BRGM), enabling him to work on modules 1, 2 and 3 during the course of the thesis project.

Candidate profile

The proposed work requires a strong appetite for coupling experimentation, numerical simulation and data analysis. The proposed work can be tackled by a candidate with a Master's degree or engineering degree in materials science or equivalent and/or physics.

Supervision

- Florent Bourgeois, Laboratoire de Génie Chimique (LGC), INP-ENSIACET, <https://lgc.cnrs.fr/annuaire/florent-bourgeois/>
- Eric Serris, Centre SPIN / Département Procédés de Mise en œuvre des Milieux Granulaires (PMMG), Mines Saint-Étienne, <https://www.mines-stetienne.fr/author/serris/>
- Co-supervision by BRGM research staff for AI analysis (through companion post-doctorate project) and access to crushing/grinding data under industrial conditions

Application

Applications must be sent before July 1, 2025 to the following contacts: florent.bourgeois@toulouse-inp.fr and serris@emse.fr:

The application file (in the form of a single pdf file) must contain the following information:

- Resume
- Academic background and transcripts
- Cover letter demonstrating the suitability of the candidate's profile for the proposed subject

OFFRE DE THESE

**Etude originale de la liaison entre
les propriétés fondamentales de fragmentation des minerais naturels et
leur comportement en conditions de broyage industrielles**

Lieu : Laboratoire de Génie Chimique, Toulouse (site de Labège/ENSIACET), France

Période : A partir de Septembre 2025 (36 mois)

Mots-Clés : Physique du solide ; Mécanique de la fracture ; Expérimentation ; Analyse numérique de données et modélisation ; Intelligence artificielle

Profil recherché : Etudiant titulaire d'un Master 2 ou diplôme d'ingénieur en génie des matériaux ou équivalent et/ou en sciences physiques

Contexte

Le projet InnovTech est un projet fédérateur de la communauté scientifique française travaillant dans le domaine du traitement des minerais. S'agissant d'un projet du PEPR SOUS-SOL, BIEN COMMUN (<https://www.soussol-bien-commun.fr/fr>), son objectif est la levée de verrous scientifiques liés à l'exploitation durable des ressources minérales, sources naturelles de matériaux de construction, des minéraux industriels et des métaux utiles aux activités humaines. Le projet InnovTech cible plus spécifiquement le développement d'outils expérimentaux et numériques de pointe au service d'une compréhension approfondie des procédés industriels de traitement des minerais afin d'améliorer leurs performances et de réduire leurs impacts environnementaux.

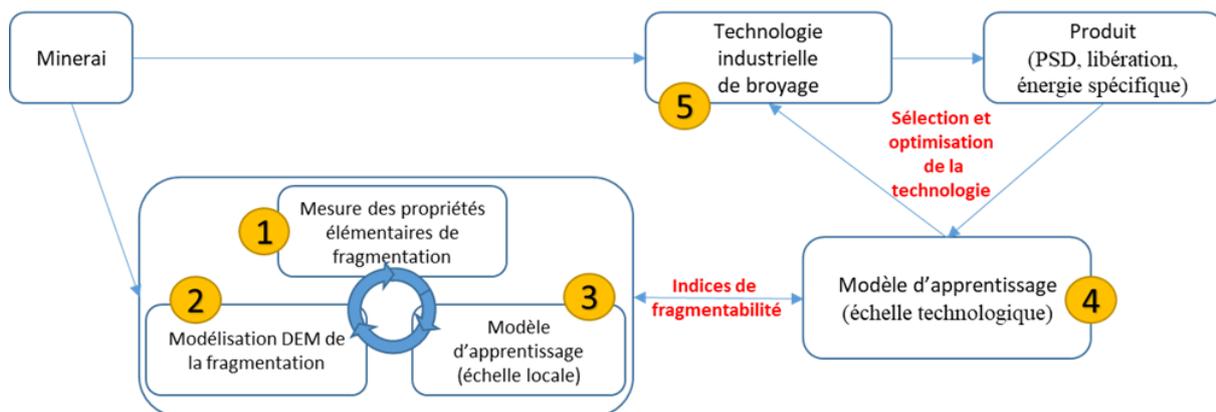
Le projet FRAG2COM porte sur l'étape incontournable de broyage mécanique des minerais, appelée comminution, consiste en la réduction granulométrique des matériaux extraits d'un gisement naturel. Première phase de traitement d'un minerai, elle permet de libérer les minéraux de valeur (porteur des métaux valorisables) des minéraux de la gangue (stérile), de générer des surfaces de grain fraîches, et de réduire la taille des grains afin d'augmenter leur surface spécifique pour améliorer la performance (cinétique et taux d'extraction) de transformation des procédés hydrométallurgiques et pyrométallurgiques aval. L'étape de comminution est réalisée au moyen d'un grand nombre d'équipements qui soumettent les minerais à des environnements (contraintes) mécaniques diversifiés. L'écueil des technologies industrielles de broyage est qu'elles sont conçues avant tout pour traiter de grandes quantités de minerais, au détriment de tirer parti des propriétés mécaniques de fracture desdits minerais pour créer de nouvelles surfaces. Il résulte que le broyage minéral est extrêmement coûteux en énergie, ce coût s'exprimant en kWh par tonne de matériau broyé. La seule étape de broyage consomme entre 40% et 60% de la consommation énergétique totale d'une usine de traitement de minerais et la consommation énergétique des opérations de broyage des ressources naturelles de par le monde est estimée à 4% de l'énergie totale mondiale !

Contours et objectifs de la thèse

Le projet FRAG2COM porte précisément sur la compréhension et la prédiction de la liaison entre les propriétés élémentaires de fracture des minerais naturels et la performance des technologies de broyage utilisées pour leur fragmentation. Les résultats de ce projet vont au-delà du seul traitement des ressources naturelles, puisque qu'ils s'appliqueront aussi au

recyclage de déchets solides, en particulier les déchets de déconstruction, qui nécessitent aussi d'être fragmentés pour être recyclés.

Le projet réunit une équipe pluridisciplinaire composée du Laboratoire de Génie Chimique (LGC – UMR5503), du Département Procédés de Mise en œuvre des Milieux Granulaires (PMMG) de l'École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, et du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM). Cette équipe permettra par ses expertises combinées d'adopter une méthodologie originale pour la sélection et l'optimisation du fonctionnement des équipements de comminution, qui part de la fragmentation d'une particule individuelle pour remonter à la performance des technologies de broyage. Cette approche est rendue possible par la disponibilité d'outils de mesure des propriétés de fragmentation de particules individuelles (LGC), de moyens de simuler la fragmentation à l'échelle locale pour remonter à des propriétés physiques de fracture des minerais (SPIN/PMMG), de solutions avancées de capitalisation d'informations massives de nature variée par intelligence artificielle (BRGM), et de la possibilité de conduire des essais sur des machines industrielles de concassage et broyage (BRGM). Le schéma ci-après illustre les 5 modules qui constituent le projet FRAG2COM.



Le projet de thèse se concentrera plus spécifiquement sur les modules 1 à 3 du projet :

4. Caractérisation expérimentale des modes de fragmentation des particules
5. Modélisation numérique de la fragmentation élémentaire des particules
6. Modélisation prédictive locale de la fragmentation des minerais par IA

L'objectif de la thèse est de produire les connaissances sur lesquelles reposera la capacité du projet à établir la liaison entre les propriétés fondamentales de fracture des minerais et la prédiction de leur fragmentation en conditions de broyage industriel, ces dernières variant considérablement d'un équipement à un autre.

Le module 1 portera sur la caractérisation expérimentale de la fragmentabilité à l'échelle de la particule. Le travail utilisera des dispositifs dédiés pour la production de données de fragmentation de particules individuelles soumises à des environnements mécaniques variés. Cette échelle de caractérisation de la fragmentabilité de minerais fournira une quantité significative d'observations quantitatives qui captureront la variabilité statistique de la fragmentation des minerais. Ces données de propriétés de fragmentation de particules individuelles conduiront à l'expression d'une véritable signature de la fragmentabilité des

minerais, suffisamment sensible pour permettre de distinguer les minerais par rapport à leur comportement vis-à-vis de la fragmentation.

Le module 2 portera sur l'estimation des propriétés fondamentales de fracture des minerais simulation DEM (Distinct Element Modelling) de la fracture dynamique d'une particule minérale sujette à une contrainte donnée. Le travail consistera à ajuster la simulation en changeant les propriétés physiques de la particule de manière à ce que la simulation restitue les observations obtenues dans le module 1 dans les mêmes conditions de contrainte.

Enfin, le module 3 capitalisera toute l'information générée par modules 1 et 2 pour produire des modèles prédictifs de la fragmentation de particules individuelles. La thèse sera réalisée en parallèle d'un contrat post-doctoral basé au BRGM et dédié à l'IA avec lequel le candidat devra échanger régulièrement.

Environnement du travail

Le candidat sera basé au Laboratoire de Génie Chimique (LGC, <http://www.lgc.cnrs.fr/>), qui est une unité mixte de recherche entre l'Institut National Polytechnique de Toulouse, l'Université Paul Sabatier et le Centre National de la Recherche Scientifique. Il bénéficiera d'un co-encadrement des 3 partenaires (LGC / ENSMSE / BRGM) du projet pour lui permettre de traiter les 3 modules du projet de thèse.

Profil du candidat

Le travail proposé nécessite une appétence forte pour le couplage entre l'expérimentation, la simulation numérique et l'analyse de données. Le travail proposé peut être abordé par un candidat de niveau M2/ingénieur en génie des matériaux ou équivalent et/ou en sciences physiques.

Encadrement

- Florent Bourgeois, Laboratoire de Génie Chimique (LGC), INP-ENSIACET, <https://lgc.cnrs.fr/annuaire/florent-bourgeois/>
- Eric Serris, Centre SPIN / Département Procédés de Mise en œuvre des Milieux Granulaires (PMMG), Mines Saint-Étienne, <https://www.mines-stetienne.fr/author/serris/>
- Co-encadrement du BRGM pour l'analyse IA (post-doctorat en parallèle de la thèse) et l'accès aux données de concassage / broyage en conditions industrielles

Pour candidater

Les candidatures doivent être envoyées avant le 1er Juillet 2025 aux contacts suivants : florent.bourgeois@toulouse-inp.fr et serris@emse.fr :

Le dossier de candidature (sous forme d'un unique fichier pdf) doit contenir les informations suivantes :

- CV synthétique
- Coursus scolaire et relevé de notes
- Lettre de motivation montrant l'adaptation du profil du candidat au sujet proposé