



**1. Titre Title :**

**Modélisation des phénomènes Electro-Hydro-Thermo-Mécaniques gouvernant la fragmentation électrodynamique des roches par Hautes Puissances Pulsées**

**Modelling of the Electro-Hydro-Thermo-Mechanical stresses occurring during electrodynamic fragmentation of rocks using High Pulsed Power**

**2. Mots clés Key words :**

**Fragmentation électrodynamique, décharge électrique, électrode, roche, diélectrique, Modélisation, Outil numérique**

**Electric-Pulse Fragmentation, high pulse power, electrode, Rock, dielectric material, Modelling, Numerical tool**

**3. Description du projet de thèse, PhD subject :**

La fragmentation dynamique des roches par décharges électriques consiste à délivrer, à un matériau immergé dans un milieu liquide, des impulsions électriques de haute tension afin de le fragiliser et/ou de le fragmenter au niveau de ses constituants et/ou au niveau des interfaces entre ses constituants en raison de contrastes dans leurs propriétés électriques et acoustiques. Son efficacité est démontrée pour la fragmentation de matériaux nécessitant de conserver une haute pureté (silicium) au cours de sa production et pour le recyclage des déchets (valorisation des mâchefers). Comparée aux méthodes traditionnelles de concassage, cette technique permet d'améliorer la libération des éléments d'intérêts, de diminuer l'énergie de broyage et de diminuer la production de particules ultrafines nuisibles aux opérations ultérieures de tri. Malgré les nombreuses études menées sur cette technique ces dix dernières années, des travaux sont encore nécessaires pour optimiser la compétitivité de cette technique et favoriser son déploiement à l'échelle industrielle. La thèse proposée porte sur la compréhension et la modélisation mathématique des phénomènes mis en jeu lors de ce processus avec l'objectif à terme d'optimiser les conditions de mise en œuvre industrielle de cette technique.

L'approche envisagée pour cette thèse est composée de trois grandes étapes :

- **Mesures et analyse de résultats expérimentaux** : Il s'agit d'analyser les résultats existants et de les compléter par de nouveaux essais. L'objectif est de comprendre, d'une part, le rôle des différents paramètres décrivant la source d'énergie, la roche et le mode opératoire sur ce processus et, d'autre part, formuler les hypothèses les plus appropriées pour une modélisation paramétrique des processus visant à répondre à une approche technique et fonctionnelle. L'évaluation des interactions ondes/matière pourra s'appuyer sur différents types de caractérisation dont la tomographie 3D principalement.

- **Modélisation** : Le travail consiste à mettre en équation les phénomènes mis en jeu dans le cadre d'une approche électro-hydro-thermo-mécanique et à identifier les modes de couplage entre ces différentes physiques. Dans une approche macroscopique, ce formalisme théorique existe, mais il a besoin d'être enrichi par des lois de comportement adaptées à ces sollicitations rapides. Deux démarches complémentaires peuvent être envisagées : une démarche par milieu homogène équivalent et une autre par milieu hétérogène.

- **Simulation numérique** : Des développements numériques et des simulations seront réalisés afin d'élucider la sensibilité du processus aux différents facteurs intervenants dans le processus de fragmentation électrodynamique des roches.

The Electric-Pulse Fragmentation (or electrodynamic fragmentation) is a selective comminution method that uses highly energetic electrical pulses applied to a material immersed in a liquid for generating cracks specifically at the boundaries between mineral grains rather than randomly as in a mechanical comminution system. The selectivity arises from differences in electrical and acoustic properties of the components of the material. Its feasibility has been proved for the production of high purity material (silicon) and for waste recycling (valorization of bottom ashes). Compared to the conventional crushing methods, this technique allows improving the liberation of the valuable elements, decreasing the energy consumption of the grinding steps and reducing the production of fine particles which can impede the downstream separation processes. Several studies have recently been performed on this technique, however more work is needed to optimize the competitiveness of this technique and foster its use at an industrial scale. This thesis focuses on the understanding and mathematical modelling of the phenomena involved during this process in order to optimize the operating conditions of its industrial implementation.

The suggested approach for this thesis is divided in three main stages:

- **Measurements and analysis of experimental results:** This involves analyzing existing results and defining new tests. The objective is to understand, on one hand, the role of the different parameters describing the energy source, the rock and the operating mode on this process and, on the other hand, to formulate the most appropriate hypotheses for a parametric modelling process. This process has to respond to a technical and functional approach. The evaluation of wave/material interactions can be based on different types of characterization, mainly 3D computer tomography.

- **Modelling:** The work consists in writing equations corresponding to the phenomena involved in the framework of an electro-hydro-thermo-mechanical approach and in identifying the key parameters existing between these different physics. In a macroscopic approach, this theoretical formalism exists, but it needs to be enriched by laws of behavior adapted to these rapid stresses. Two complementary approaches can be envisaged: an approach with equivalent homogeneous medium and another with heterogeneous medium.

- **Numerical simulation:** Numerical developments and simulations will be carried out in order to analyze the sensitivity of the results to the various factors involved in the electrodynamic fragmentation of rocks.

#### **4. Compétences et connaissances requises, profil**

Ingénieur généraliste possédant des solides connaissances en mathématiques et en physique des roches. Des connaissances en traitement de la matière, en mécanique des roches et en développement numérique seraient un plus.

Master degree with excellent level in Mathematics, physics of rocks. Knowledge of material processing, rock mechanics and digital development would be appreciated.

#### **5. Adresses courriel des contacts scientifiques, contacts :**

[Hedi.sellami@mines-paristech.fr](mailto:Hedi.sellami@mines-paristech.fr)

[K.Bru@brgm.fr](mailto:K.Bru@brgm.fr)