

Dissolution du gypse : analyse et modélisations

Farid Laouafa, Xavier Daupley

► **To cite this version:**

Farid Laouafa, Xavier Daupley. Dissolution du gypse : analyse et modélisations. Rapport Scientifique INERIS, 2017, 2016-2017, pp.36-37. ineris-01869662

HAL Id: ineris-01869662

<https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-01869662>

Submitted on 6 Sep 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

DISSOLUTION DU GYPSE : ANALYSE ET MODÉLISATIONS

Contributeurs

Farid
LAOUAFA,
Xavier
DAUPLÉY

Le gypse est une ressource minérale importante en France et en particulier en Ile-de-France où les masses de gypse que renferme son sous-sol sont exploitées en carrières, à ciel ouvert et en souterrain. Matière première du plâtre, le gypse est une roche évaporitique soluble. Ainsi, dans un contexte naturel ou dans celui d'exploitations anthropiques, cette spécificité occasionne, au contact de l'eau, la dissolution de la roche et peut créer, en fonction des configurations, des vides souterrains de dimensions plus ou moins importantes. Des recherches ont été entreprises par l'Ineris afin d'améliorer la connaissance de ces mécanismes de dissolution et de développer des outils de modélisation permettant de quantifier l'évolution spatio-temporelle de systèmes de dissolution dans des environnements variés. Les enjeux qui sous-tendent ces recherches résident dans une meilleure prédiction des mouvements de terrain (et leurs impacts) induits par la dissolution de telles évaporites. Dans le cadre de l'analyse des risques liés à la présence de cavités souterraines, il est nécessaire de connaître ou, au minimum, d'estimer la présence de cavités, leur localisation et leurs formes géométriques.

MODÉLISATION DE LA DISSOLUTION

La dissolution se traduit par un transport de masse et la création de vide au sein du milieu. L'Ineris s'est principalement intéressé au lessivage qui correspond à une dissolution de surface plus qu'à une dissolution matricielle qui, elle, affecte la matrice du solide poreux. La modélisation numérique de l'évolution spatio-temporelle de la géométrie des cavités formées par dissolution est complexe. Les processus physico-chimiques en présence sont nombreux et interagissent. Le problème est multiéchelle et multiphysique. Les réactions chimiques sont régies par les lois d'équilibre définies dans le cadre de la thermodynamique et de la cinétique chimique. La dissolution étant conditionnée par la nature du fluide, il est nécessaire de reproduire correctement la concentration des espèces et son évolution au sein du fluide. Il est donc indispensable de décrire précisément les écoulements et le transport des espèces dissoutes dans le milieu. Le principal défi scientifique relatif à la formalisation du problème, réside dans la prise en compte simultanée des couplages thermo-hydro-chimiques et de l'évolution de la géométrie du domaine. L'Ineris a successivement étudié des systèmes bi-phasiques (fluide-solide) [1] puis tri-phasiques (gaz-liquide-solide) [2].

Figure 1 /

Vues d'un même pilier dans la carrière abandonnée de Roquevaire (Bouches-du-Rhône) avec deux niveaux d'ennoyage différent (en 1996 à gauche et en 2010 à droite). Les observations faites depuis une vingtaine d'années ne montrent pas d'évolutions significatives liées à la dissolution.



Le formalisme mathématique de la dissolution est basé sur une approche thermodynamique, contrôlée par la condition d'équilibre à la surface. Pour un milieu poreux, le passage d'une description microscopique (échelle du pore) à une description macroscopique (échelle d'un volume) s'effectue par homogénéisation (théorie de la moyenne). La résolution du problème de transport avec évolution de l'interface a été traitée en utilisant deux méthodes d'interface; franche (*Arbitrary Lagrangian Eulerian*) et diffuse (*Diffuse Interface Method*). La prise en compte des effets densitaires induits par la dissolution crée des instabilités hydrodynamiques (instabilités de Rayleigh) bien reproduites par notre modèle.

Pour optimiser le temps de calcul, une méthode de raffinement adaptatif du maillage a été développée. La méthode de champ de phase introduite il y a une vingtaine d'années pour décrire la solidification de mélanges polyphasiques permet de s'affranchir de la difficulté du suivi du front de dissolution, en créant une interface spatialement diffuse d'épaisseur finie. On passe alors d'un modèle discontinu à un modèle continu. L'interface diffuse est construite sur la base de variables scalaires (variable de champ de phase, ici la porosité). La porosité est constante dans la zone solide et décroît rapidement au sein de l'interface. Cette approche est capable de modéliser l'évolution de morphologies arbitraires et de microstructures complexes.

EXEMPLES D'APPLICATION

Les figures présentées ci-après montrent quelques modes de dissolution en 3D. S'agissant de configurations simplifiées de cas réels de dissolution, on retiendra les ordres de grandeurs des temps de dissolution et les tendances d'évolution spatiale des cavités. Les configurations présentées correspondent à :

1. un cas de dissolution d'un pilier de gypse ennoyé d'une carrière souterraine avec écoulement du fluide de dissolution (**figures 1 et 2**);
2. un cas de dissolution d'une lentille de gypse se situant dans un milieu poreux saturé avec écoulement de l'eau (**figure 3**);
3. une comparaison des cinétiques et des géométries pour deux évaporites (gypse et sel) soumises aux mêmes conditions hydrodynamiques (**figure 4**).

Ces exemples de dissolution montrent les potentialités du modèle à décrire des dissolutions ayant des cinétiques mais également des configurations très différentes.

Cas d'un pilier de gypse dans une carrière

Les simulations présentées ci-contre illustrent, pour un cas similaire à celui de la carrière souterraine de Roquevaire (Bouches-du-Rhône), l'effet de la dissolution sur le pilier (de dimension 5x5x5 m) →

ABSTRACT /

In this research, we are interested in the issue of dissolution of soluble rocks, and their geomechanical consequences like continuous and discontinuous subsidence and sinkholes. This research focuses on gypsum rocks, although the developed method is also adapted to salt rocks. A large-scale Diffuse Interface Model (DIM) is used to describe the evolution of a gypsum cavity induced by dissolution. The method is based upon the assumption of a pseudo-component dissolving with a thermodynamic equilibrium boundary condition. A methodology is proposed based on numerical computations with fixed boundaries to choose suitable parameters for the DIM model and hence predict the correct dissolution fluxes and surface recession velocity. Additional simulations were performed to check which type of momentum balance equation should be used. The potential of the methodology is illustrated on two large-scale configurations: one corresponding to a gypsum lens within a porous rock layer and the other to a pillar in a flooded gypsum mine. A final case is a comparison between salt and gypsum dissolution rate.

Figure 2 /

Dissolution d'un pilier de carrière ennoyée de gypse. État après 30 ans d'une dissolution entretenue par l'écoulement d'une eau pure (vitesse $V = 10^{-6}$ m/s) (dimension 5x5x5 m). De haut en bas, configuration du système pilier-écoulement, isovaleurs de la saturation en gypse et représentation 3D du pilier dissous.

