



Dissolution des évaporites : formalisation et développement de modèles numériques bi & tri-phasiques

Farid Laouafa

► **To cite this version:**

Farid Laouafa. Dissolution des évaporites : formalisation et développement de modèles numériques bi & tri-phasiques. Rapport Scientifique INERIS, 2014, 2013-2014, pp.42-43. ineris-01869503

HAL Id: ineris-01869503

<https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-01869503>

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.



**Farid
LAOUAFA**

DISSOLUTION DES ÉVAPORITES : FORMALISATION ET DÉVELOPPEMENT DE MODÈLES NUMÉRIQUES BI & TRI-PHASIQUES

Références

Laouafa F., Luo H., Quintard M., Debenest G. A numerical method for cavity dissolution in salt formation 7. Conference on the Mechanical Behavior of Salt « SaltMech7 ». Taylor & Francis Group, 2012, 313-320

Luo H., Quintard M., Debenest G., Laouafa F. Properties of a diffuse interface model based on a porous medium theory for solid-liquid dissolution problems. Comput Geosci (2012). DOI 10.1007/s10596-012-9295-1

Luo H., Laouafa F., Quintard M. Numerical modeling of three-phase dissolution of underground cavities using a diffuse interface model. Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech. DOI: 10.1002/hag.2274

La question scientifique motivant cette recherche concerne les risques naturels de cavités formées par dissolution au sous-sol. Elle porte sur la quantification de l'évolution spatio-temporelle des vides souterrains créés par dissolution. Dans le cadre de l'analyse des risques induits par la présence de cavités souterraines, il est nécessaire de pouvoir estimer la vitesse à laquelle les cavités se créent et se développent. Les modèles numériques développés par l'INERIS ont pour vocation de quantifier ces phénomènes. Les systèmes de dissolution naturelle dans le gypse ou dans les formations calcaires ou de sel sont concernés comme ceux des anciennes exploitations souterraines. Dans ce contexte, une meilleure connaissance de la physique de la dissolution et l'utilisation d'outils de modélisation spécifiques peuvent permettre d'optimiser les méthodes d'exploitation. La dissolution n'est pas spécifique au domaine souterrain, elle peut affecter les versants rocheux et induire des glissements de terrains ou des chutes de blocs. Les roches concernées ont la spécificité d'être plus ou moins solubles selon leur composition minérale et la nature

des sollicitations hydrodynamique, chimique et climatique. 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. Le lessivage modélisé se différencie de la suffusion où les cavités sont principalement formées par érosion mécanique.

Formalismes et modèles numériques

La modélisation numérique de l'évolution de la géométrie des cavités formées par dissolution est complexe *Figure 1*. Les processus physico-chimiques en présence sont nombreux et interagissent. Le problème est multi-échelle et multi-physique. Les réactions chimiques sont régies par les lois d'équilibre définies dans le cadre de la thermodynamique et 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

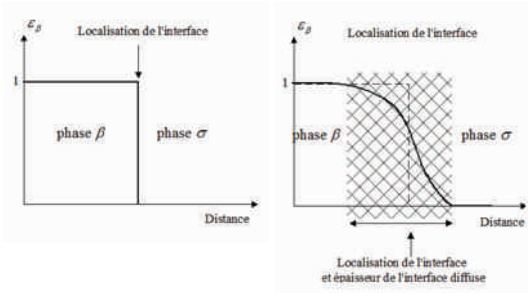
Figure 1

Illustration d'un effondrement induit par une dissolution *in situ* (à gauche) et explicitation des variables du modèle à l'échelle locale au niveau de l'interface (à droite). V_∞ , V_β , $W_{\beta\sigma}$, $n_{\beta\sigma}$ représentent respectivement la vitesse d'écoulement du fluide loin de l'interface, la vitesse de la phase au voisinage de l'interface, la vitesse de récession, et la normale à l'interface.



Figure 2

Illustration géométrique du concept d'interface diffuse entre les phases (à droite) à comparer avec une interface franche (à gauche)



Natural evaporite dissolution at sub-surface can lead to cavities having critical dimensions in the sense of mechanical stability resulting in natural hazards. Geomechanical effects may be significant for people and infrastructures since the underground dissolution may lead to subsidence or collapse (sinkholes). The knowledge of the cavity evolution in space and time is thus crucial in many cases. We describe the use of a local nonequilibrium Diffuse Interface Model (hereafter denoted as DIM) for solving dissolution problems involving multi-moving interfaces within two or three phases, i.e., solid-liquid-gas as found in superficial aquifers and karsts. On one hand, a local non-equilibrium dissolution porous medium theory allows to describe the solid-liquid interface as a diffuse layer characterized by the evolution of a phase indicator (e.g. porosity). On the other hand, the liquid-gas interface evolution is computed using a classical porous medium two-phase flow model involving a phase saturation, i.e., generalized Darcy's laws. Such a DIM formulation is suitable for the implementation of a finite element or finite volume numerical model on a fixed grid without an explicit treatment of the interface movement. A numerical model has been implemented using a finite volume formulation with adaptive meshing (AMR: Adaptive Mesh Refinement), which improves the computational efficiency and accuracy significantly since fine gridding may be attached to the dissolution front.

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 l'évolution de la géométrie du domaine. L'INERIS a étudié des systèmes bi-phasiques (fluide-solide) et des systèmes tri-phasiques (gaz-liquide-solide). Le formalisme mathématique de la dissolution est basé sur une approche thermodynamique, contrôlée par la condition d'équilibre à la surface. Le passage d'une description microscopique (échelle du pore) à une description macroscopique (échelle d'un certain volume) de milieu poreux intégrant un grand nombre de pores 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 dans de nombreux problèmes des instabilités de Rayleigh reproduits précisément par notre modèle. Pour optimiser le temps de calculs, 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 *Figure 2*. On passe alors d'un modèle discontinu à un modèle continu. L'interface diffuse est créée par l'intermédiaire de variables scalaires (variable de champ de phase, ici la porosité ϵ_p). Cette variable 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

De nombreuses applications ont été réalisées en 3D et 2D. La *Figure 3*, par exemple, simule un essai expérimental de dissolution (création de cavité) par injection d'eau douce en partie basse du tubage. On peut observer la forme complexe des champs de concentration et également le caractère très chahuté de l'écoulement à un instant donné. La *Figure 4* illustre les potentialités de l'approche lorsque l'on considère en plus une phase gazeuse. L'approche développée a été mise en œuvre avec succès dans des cavités réelles.

Remerciement : ce travail fait l'objet d'une collaboration scientifique avec l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT).

Figure 3

Instantanés de (a) champ de concentration, (b) lignes de courant et (c) lors de la dissolution et évolution temporelle du taux de dissolution en trois endroits d'une cavité saline.

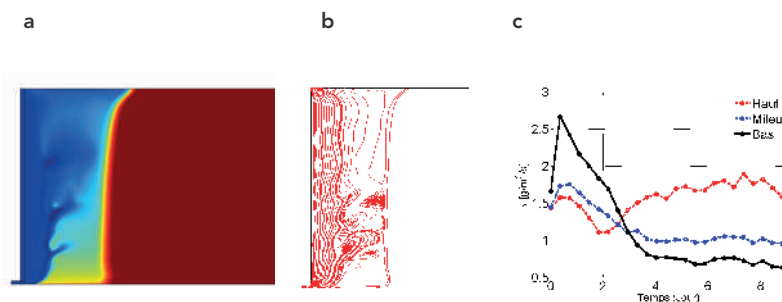


Figure 4

Dissolution tri-phasique : air-sel-eau pure. problème (à gauche) et concentration à deux instants et représentation du maillage adaptatif.

