



CFMR

COMITE FRANCAIS DE MECANIQUE DES ROCHES

www.cfmr-roches.org

Orléans, le 7 janvier 2013

www.cfmr-roches.org

e-mail: cfmr@brgm.fr

Le secrétaire général

S. GENTIER

BRGM/DGR/DES

Avenue Claude Guillemin

B.P. 6009, 45060 Orléans Cedex 2, France

Tél : (33) 02.38.64.38.77

assistée de E. ORTEGA

Tél : (33) 02.38.64.39.61

Fax : (33) 02.38.64.33.34

INVITATION

La prochaine réunion technique du CFMR aura lieu le

jeudi 7 février 2013

de 13h45 à 17h50

au CNAM

292 rue St-Martin, 75003 Paris (métro : Réaumur-Sébastopol)

Amphi Abbé Grégoire (amphi. C)

La séance technique est organisée par J. Sulem (ENPC) et O. Vincké (IFP) sur le thème :

"Applications de la mécanique des roches à la géophysique"

Quelques informations suite à l'assemblée générale :

Au cours de l'assemblée générale qui s'est tenue le 6 décembre 2012 au CNAM, il a été procédé au renouvellement de quatre membres du conseil d'administration. Ont été élus ou réélus :

- K. BEN SLIMANE
- D. FABRE
- V. MERRIEN-SOUKATCHOFF
- C. VIBERT

Le rapport moral est joint à cet envoi.

S. GENTIER
Secrétaire Général

«Applications de la mécanique des roches à la géophysique»

Programme de la séance

- 13 : 45** **Accueil des participants**
- 14 : 00 Information CFMR - ISRM
- 14 : 10 Introduction : **Jean Sulem et Olivier Vincke**
- 14 : 20** Couplages Thermo-Chemo-Hydro-Mécaniques et glissements sismiques
Jean Sulem, CERMES, Laboratoire Navier, Ecole des Ponts ParisTech, IFFSTAR, CNRS, Université Paris-Est, Mane-la-Vallée
- 14 : 50** Fluage permanent et épisodique des failles actives, par dissolution cristallisation sous contrainte
Jean-Pierre Gratier, ISTERre, CNRS, Université Joseph Fourier, Grenoble
- 15 : 20** Rupture sismique en supershear: du terrain au laboratoire
Alexandre Schubnel, Ecole Normale Supérieure, CNRS, Paris
- 15 : 50** **Discussion**
- 16 : 10** **Pause Café**
- 16 : 30** Déclenchement d'instabilité le long de failles actives : rôle de la compressibilité des fluides et de leur régime de pression, modélisation pour des noyaux de faille répondant à un critère de type Cam-Clay
Maury V. (IFP School), Piau J.-M. (IFSTTAR, Nantes), Fitzenz D. (RMS, Newark, Ca)
- 17 : 00** Prise en compte de la géomécanique pour simuler des sismogrammes dans le cadre d'une production d'huile lourde par SAGD
Axelle Baroni, Olivier Lerat, Gérard Renard, IFP Energies nouvelles)
- 17 : 30** **Discussion**
- 17 : 50** **Fin de la séance**

«Applications de la mécanique des roches à la géophysique»

Applications de la mécanique des roches à la géophysique

Au cours de cette séance, seront présentés quelques travaux récents montrant les liens entre les approches expérimentales et la modélisation en mécanique des roches et les applications à quelques problèmes de géophysique tels que le comportement des failles actives et le glissement sismique ainsi que l'utilisation de données sismiques pour l'étude et la surveillance des réservoirs pétroliers.

COUPLAGES THERMO-CHEMO-HYDRO-MECANIKES ET GLISSEMENTS SISMIQUES

Jean Sulem, CERMES, Laboratoire Navier, Ecole des Ponts ParisTech, IFFSTAR, CNRS, Université Paris-Est, Mane-la-Vallée

Lors de la rupture d'une faille, le séisme est déclenché parce que la résistance au cisaillement le long de la faille chute avec le déplacement, ce qui cause une accélération du glissement. Afin de quantifier l'énergie dissipée lors d'un séisme et évaluer les risques potentiels, il est essentiel de comprendre les mécanismes d'affaiblissement de la faille au cours du glissement.

Au cours de cet exposé, nous présenterons une synthèse des recherches récentes développées à l'échelle internationale sur les processus physiques à l'origine de ce radoucissement.

Les processus couplés associant de larges variations de contraintes, de pression interstitielle et de température peuvent être associés à des phénomènes de changements de phase comme la vaporisation du fluide à relativement faible profondeur ou la fusion de la roche à forte profondeur. Des effets chimiques liés à la déshydratation des minéraux ou la décomposition des carbonates peuvent aussi participer à la pressurisation de la zone de faille et modifier le bilan énergétique du système car une partie de la chaleur de glissement est consommée dans ces réactions endothermiques. Les produits de ces décompositions contribuent aussi à l'affaiblissement de la résistance au frottement par effet de lubrification des surfaces de glissement.

FLUAGE PERMANENT ET EPISODIQUE DES FAILLES ACTIVES, PAR DISSOLUTION CRISTALLISATION SOUS CONTRAINTE

Jean-Pierre Gratier, ISTerre, CNRS, Université Joseph Fourier, Grenoble

Les failles actives sont susceptibles d'accommoder de grandes déformations par fluage selon deux modes : un mode de fluage permanent qui est souvent accompagné d'une microsismicité, et un mode de fluage épisodique déclenché par certains séismes. Les mécanismes de fluage peuvent être identifiés à la fois par l'observation des déformations naturelles, notamment dans les forages qui traversent des zones actives de fluage et par

«Applications de la mécanique des roches à la géophysique»

l'expérimentation de laboratoire à très faible vitesse de déformation. Ces mécanismes sont complexes mais ils associent en général deux types de processus : une part liée à la friction des roches et une part liée à des transferts de matière sous contrainte (dissolution – cristallisation).

Divers exemples sont présentés qui montrent les conditions de développement de ces mécanismes impliquant à la fois la nature et la structure des roches et les conditions de déformation. On montre ainsi que paradoxalement des roches monominérales composées uniquement de minéraux solubles sous contrainte comme les calcaires (calcite) ou les grès (quartz, feldspaths) sont plus difficilement déformables par dissolution cristallisation sous contrainte que des roches polyminérales composées de minéraux solubles et insolubles (phyllosilicates) la présence de ces derniers facilitant les transferts. On montre aussi que les processus de dissolution cristallisation transforment les roches et peuvent conduire à des processus de localisation des déformations avec fluage permanent.

On montre enfin que la fracturation, notamment induite par les séismes, active le fluage par dissolution cristallisation sous contrainte mais que cette activation n'est que temporaire parce que la cicatrisation des fractures réduit progressivement cet effet. On explique ainsi le fluage post sismique avec une évolution de la vitesse de déformation dans le temps de type loi puissance avec un exposant de l'ordre de 0.4.

RUPTURE SISMIQUE EN SUPERSHEAR: DU TERRAIN AU LABORATOIRE

Alexandre Schubnel, Ecole Normale Supérieure, CNRS, Paris

Depuis les années soixante, la compréhension et la quantification des séismes se sont énormément améliorées, à la fois sur le plan théorique, expérimental ainsi que par les mesures géophysiques. Un des problèmes majeurs mis en relief par les travaux les plus récents concerne la répartition de l'énergie libérée pendant le tremblement de terre, notamment la quantité d'énergie rayonnée par les ondes sismiques. Au premier ordre, celle-ci dépend de la vitesse de propagation du séisme, qui peut être sub-sonique (plus lent que la vitesse des ondes de Rayleigh) ou supersonique (plus rapide que la vitesse des ondes de cisaillement).

Au cours de cet exposé, nous montrerons quelques exemples de séismes s'étant propagés de manière supersonique et définirons leurs grandes caractéristiques. Nous discuterons par la suite des contraintes théoriques et expérimentales que l'on peut donner sur l'occurrence des ruptures supersoniques, à la fois dans des matériaux analogues et dans les roches. Nous chercherons à décrire la transition sub-sonique supersonique au cours de la propagation et étudierons en particulier ce qui contrôle la longueur de transition, c'est à dire la longueur de propagation à partir de laquelle la propagation supersonique est favorisée. Nous ferons ensuite un bilan énergétique au niveau de l'expérience, en mesurant vitesse de rupture et intensité de l'énergie rayonnée. En conclusion, nous montrerons que dans les roches, et dans les conditions de pression et température de la croûte terrestre, les séismes devraient être systématiquement supersoniques, si bien que le problème consiste plutôt à émettre des hypothèses pour expliquer leur rareté.

«Applications de la mécanique des roches à la géophysique»

**DECLENCHEMENT D'INSTABILITE LE LONG DE FAILLES ACTIVES : ROLE DE LA
COMPRESSIBILITE DES FLUIDES ET DE LEUR REGIME DE PRESSION,
MODELISATION POUR DES NOYAUX DE FAILLE REPOUNDANT A UN CRITERE DE
TYPE CAM-CLAY**

*Maury V. (IFP School), Piau J.-M. (IFSTTAR, Nantes),
Fitzenz D. (RMS, Newark, Ca US)*

L'analyse par ondelettes (chirplets) de la microsismicité induite à Lacq (Thèse Bardainne, 2005) a permis de différencier des sources d'ondes provenant du réservoir de gaz d'autres provenant du récif saturé en eau. Entre autres origines possibles de ces différences, on a alors cherché à savoir comment l'influence du gaz était approchée en sismologie (earthquake mechanics).

La bibliographie montre que le rôle de la compressibilité du fluide de saturation des noyaux de failles et la présence de gaz qui change radicalement cette compressibilité posent un problème encore non résolu (King 2006). Le gaz qui apparaît ou non en surface ne peut pas être mis en relation directe avec le déclenchement d'instabilité et ne peut donc constituer un signe précurseur permettant une prédiction fiable comme espéré après le séisme de Haicheng (1973). Par ailleurs le rôle d'une liaison avec le réseau hydrogéologique extérieur qui peut modifier le régime de pression du fluide (et sa nature) sur le déclenchement de secousses n'a fait l'objet que d'un nombre limité d'études et la dépendance de la compressibilité du fluide de pore avec la pression est rarement introduite dans les modèles directs de failles sismogéniques (Sleep and Blanpied 1992, Fitzenz et Miller, 2003).

Pourtant, en ce qui concerne le matériau de remplissage du noyau de faille, le gaz même à très faible teneur augmente considérablement la compressibilité du fluide de saturation. Même pour un panneau de faille active en conditions non drainées (pas d'échange de fluide avec l'extérieur), son comportement non drainé se fait avec des caractéristiques proches de celles drainées (coefficient de Skempton tendant vers 0, pas de génération de pression fluide sous effort tectonique). Ceci change totalement le chemin de chargement de failles actives sous chargement tectonique en général lent, ainsi que les états de contrainte dans lesquelles les instabilités peuvent apparaître.

Par ailleurs, une liaison avec le réseau hydrogéologique, qui peut être très rapide peut changer radicalement le régime de pression fluide et le chemin de chargement d'un panneau de faille active, le faisant passer de régime non drainé à drainé, modifiant également les conditions d'apparition d'instabilité.

Pour évaluer le poids de ces mécanismes et paramètres physiques, un modèle analytique a été développé (Pékin, 2011) simulant le comportement d'un noyau de faille entre deux patins élastiques piloté par les déplacements de contraction/extension et de distorsion imposés au large. Le comportement du noyau est supposé de type poroplastique suivant une loi d'interface, dérivée d'un critère type Cam-Clay.

Au-delà d'une phase de chargement élastique, le modèle fait apparaître une zone de déformation plastique dilatante stable et progressive du noyau de faille, puis une zone d'instabilité en glissement brutal, enfin une zone d'oscillations élastiques, s'achevant sur un état de contrainte proche de l'état critique après dissipation des ondes élastiques émises.

Une remise en charge par liaison avec une source de pression extérieure fait apparaître des secousses secondaires qui évoquent les répliques souvent constatées. Le modèle permet

«Applications de la mécanique des roches à la géophysique»

de calculer toutes les caractéristiques des instabilités (déplacements au noyau, chutes de contraintes normales et de cisaillement, de pression de pore, vitesses, accélérations, énergie dissipée).

Des analyses de cas sont en cours pour calibrer les données d'entrée et juger de la validité des hypothèses et caractéristiques du modèle. Plusieurs conclusions phénoménologiques peuvent déjà être tirées, le modèle constituant un cadre pour intégrer les mesures in situ et en proposer de nouvelles qui font défaut pour l'instant.

**PRISE EN COMPTE DE LA GEOMECHANIQUE POUR SIMULER DES SISMOGRAMMES
DANS LE CADRE D'UNE PRODUCTION D'HUILE LOURDE PAR SAGD**

*Axelle Baroni, Olivier Lerat, Gérard Renard,
IFP Energies nouvelles, Rueil-Malmaison*

Dans le cadre d'un projet bilatéral CGGVéritas-IFP Energies nouvelles, la modélisation de sismogrammes, pouvant être acquis au cours d'une production d'huile lourde dans des sables bitumineux, par SAGD (Steam Assisted Gravity Drainage), a été réalisée. Ce travail a été effectué sur des données synthétiques réalistes (utilisation de données publiques du champ d'Hanginestone au Canada). L'objectif de cette modélisation était de promouvoir la méthodologie Seismovie™ : cette méthodologie est une méthode de surveillance, basée sur un dispositif de sources et de capteurs permanents, permettant l'acquisition de sismogrammes avec une périodicité journalière.

Le workflow qui a été utilisé est le suivant :

1. Construction du modèle géologique (modèle statique) ;
2. Simulation de la production des huiles lourdes en effectuant un couplage entre un modèleur d'écoulement et un modèleur géomécanique afin de mettre à jour la perméabilité du réservoir ;
3. Construction d'un modèle pétro-élastique pour modéliser l'effet du changement des contraintes et des teneurs en fluides sur les vitesses sismiques ;
4. Production de cartes sismiques synthétiques à différentes étapes de l'injection de vapeur et analyse de sensibilité du modèle pétro-élastique.

En parallèle de ce travail, des études expérimentales ont été réalisées afin de caractériser les propriétés géomécaniques et pétro-acoustiques des sables bitumineux.