

De la médecine à la géologie - visualisation des modèles physiques par tomodynamométrie

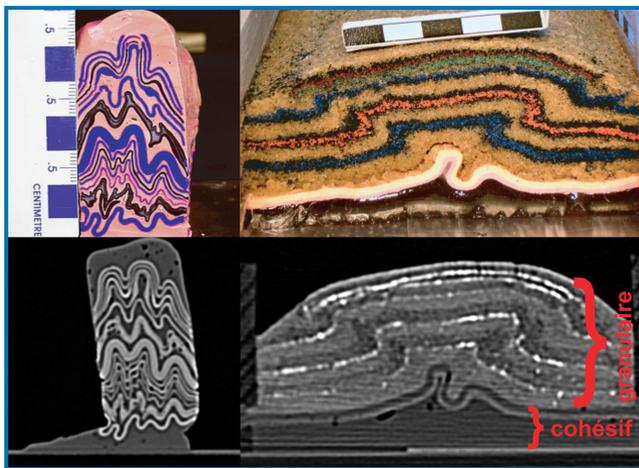
Jimmy Poulin*, Lyal Harris et Elena Konstantinovskaya
INRS-ETE, Québec

Mise en contexte



La tomodynamométrie est une méthode d'imagerie médicale qui permet d'étudier et de traiter les coupes transversales d'un objet et qui révèle les différences relatives de densité des divers composants en fonction des variations d'absorption des rayons X. Cette méthode permet la reconstruction en 3D d'un objet avec une grande précision à partir d'une série de coupes peu espacées.

Dans les laboratoires de modélisation physique appliquée à la géologie structurale et à la géomécanique, la modélisation physique est utilisée pour simuler, à échelle réduite, les processus tectoniques qui se produisent dans la croûte terrestre. Une des limitations majeures de l'approche traditionnelle est l'impossibilité de suivre la déformation progressive interne des modèles puisque seule l'enveloppe externe est visible. L'utilisation de la tomodynamométrie permet de passer outre cette limitation en fournissant des images de la structure interne des modèles mais amène également son lot de défis et de particularités.



À gauche, modèle composé de matériaux cohésifs (mastic de silicone et plasticine) et à droite, modèle composé d'une combinaison de matériaux cohésifs (PDMS, mastic de silicone et plasticine) et granulaires (sable et magnétite).

Objectifs

L'objectif général du projet est de faciliter la liaison entre la tomodynamométrie et les activités de modélisation physique appliquées à la géologie structurale et à la géomécanique.

Deux parties viennent soutenir cet objectif :

- Choix de matériaux pertinents pour la confection des modèles;
- Détermination des meilleures façons de visualiser les structures des modèles à partir d'images de tomodynamométrie.

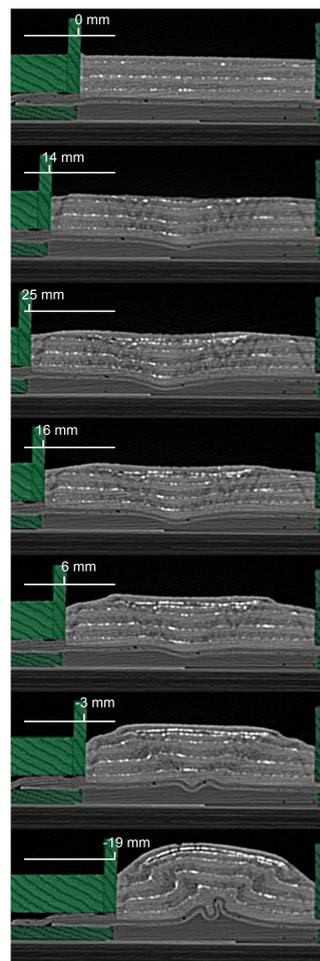
Problématique

Les deux parties de l'objectif soulèvent deux problématiques différentes.

Les matériaux traditionnellement utilisés pour simuler la croûte terrestre et la partie supérieure du manteau ne sont pas nécessairement les plus appropriés pour une utilisation à l'intérieur d'un tomodynamomètre car ils peuvent ne pas être discriminables les uns des autres. Le choix des matériaux de remplacement doit se faire de façon à maximiser leur contraste sur l'image tomodynamométrique. Il doit également respecter les règles de mise à l'échelle des modèles physiques qui requièrent une similitude dynamique entre les composantes du modèle et les composantes du phénomène reproduit.

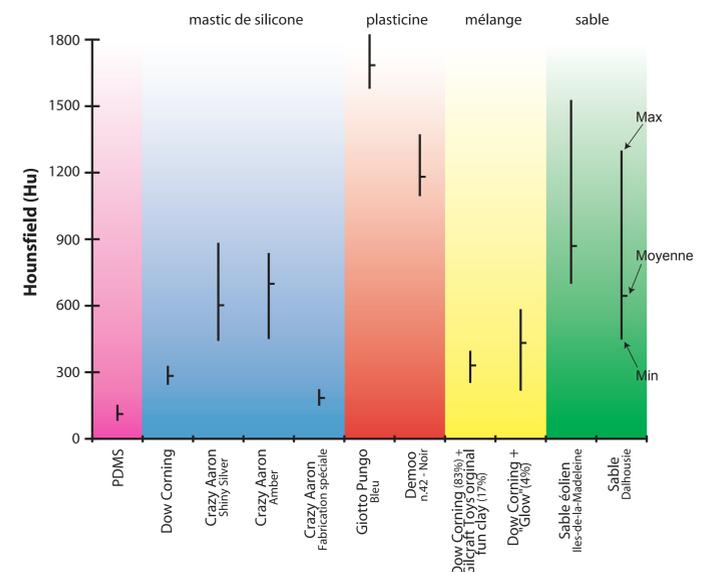
La visualisation des structures internes des modèles peut se faire assez facilement avec un choix judicieux des matériaux et des images tomodynamométriques. Le niveau supérieur d'analyse nécessite cependant la reconstruction du modèle en 3D pour mieux visualiser l'agencement des structures dans l'espace. La reconstruction peut se faire en numérisant manuellement les structures sur chacune des images. Cette tâche, en plus d'être longue et fastidieuse, est également très subjective et offre une faible reproductibilité car elle repose sur l'interprétation de l'opérateur. L'automatisation des étapes de reconstruction permet de régler ces problèmes mais s'avère complexe car un même niveau de gris sur l'image peut être associé à plusieurs structures et une structure peut être représentée par plusieurs niveaux de gris.

Résultats

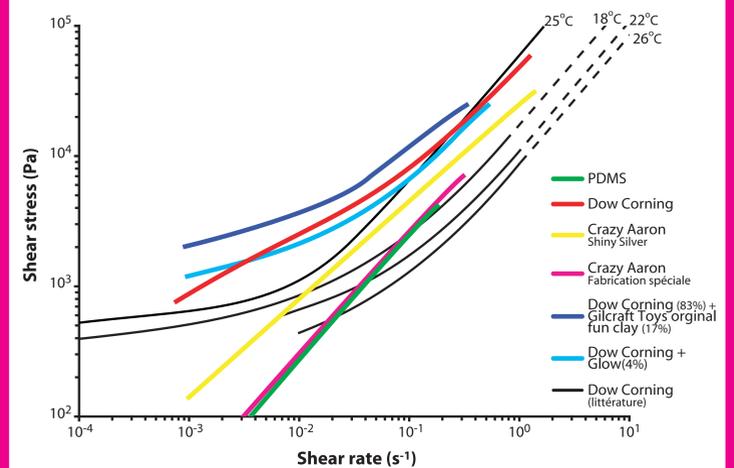


Modèle bac à sable. Extension de 25 mm avec remplissage du bassin sédimentaire syn-rift puis compression pour simuler la déformation dans une "fold and thrust belt". L'utilisation du bois pour les installations diminue beaucoup l'interférence à l'intérieur du tomodynamomètre et facilite la visualisation des structures dans les modèles. De la magnétite est également saupoudrée entre les couches de sable afin d'agir comme marqueur (apparaît en blanc) dans le but de mieux discriminer les couches.

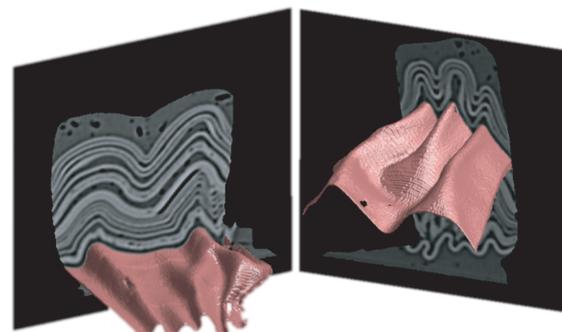
Une base de données de référence a été réalisée à partir d'échantillons de matériaux, aussi bien cohésifs que granulaires, de type similaire mais de compagnies, marques ou provenances différentes. Ces échantillons furent passés au tomodynamomètre afin de mesurer leur atténuation relative des rayons X.



Suite aux mesures de tomodynamométrie, certains échantillons de matériaux cohésifs, particulièrement ceux présentant les plus grandes différences de valeurs au tomodynamomètre, furent conservés afin d'évaluer leur comportement rhéologique. Les tests furent effectués à 23°C.



Modèle plissé composé de couches de compétences différentes. La reconstruction du modèle par isosurfaces à partir des niveaux de gris de l'image offre des résultats intéressants uniquement pour l'enveloppe externe en raison du chevauchement des niveaux de gris. Ces chevauchements rendent impossible l'isolement d'une couche spécifique pour des fins d'analyse.



L'utilisation conjuguée d'opérateurs statistiques, spatiaux et morphologiques peut permettre de séparer l'image tomodynamométrique en régions distinctes correspondantes aux couches du modèle et de leur assigner des étiquettes différentes. À partir d'une série d'images étiquetées, le passage du 2D au 3D se fait aisément et permet de retirer du modèle une quantité beaucoup plus grande d'information.

Perspectives

Les modèles physiques sont des outils très utilisés et très populaires pour représenter, à une échelle réduite, les phénomènes qui nous entourent. Le perfectionnement des matériaux, des techniques et l'analyse d'images des modèles visualisés par tomodynamométrie dans ce projet sera donc de grand intérêt aux géologues et aux ingénieurs à travers le monde qui font de la modélisation physique appliquée à la géologie structurale et à la géomécanique. Les résultats peuvent ainsi mener à une plus grande base de connaissance pour aider l'analyse structurale de la croûte terrestre. Le projet permettra aussi l'extraction d'une plus grande quantité d'information à partir des modèles analogues aidant l'interprétation géologique et sismique dans l'industrie de la prospection pétrolière et permettant d'assister les études géomécaniques.

Remerciements

Les auteurs remercient le Petroleum Research Fund, American Chemical Society pour le financement de ce projet ainsi que Mosto Bousmina et Marlaïne Rousseau pour l'utilisation du laboratoire de caractérisation rhéologique des polymères et l'aide apportée. Remerciement spécial à Sylvie Daniel pour ses conseils sur le traitement des images.

* Coordonnées de l'auteur
Téléphone : (418) 654-2530 poste 4472
Courriel : jimmy.poulin@ete.inrs.ca