

MODÉLISATION DE LA DYNAMIQUE SISMIQUE DE LA FAILLE DE CADILLAC – INFLUENCE DES LITHOLOGIES ET DU BÂTI STRUCTURAL

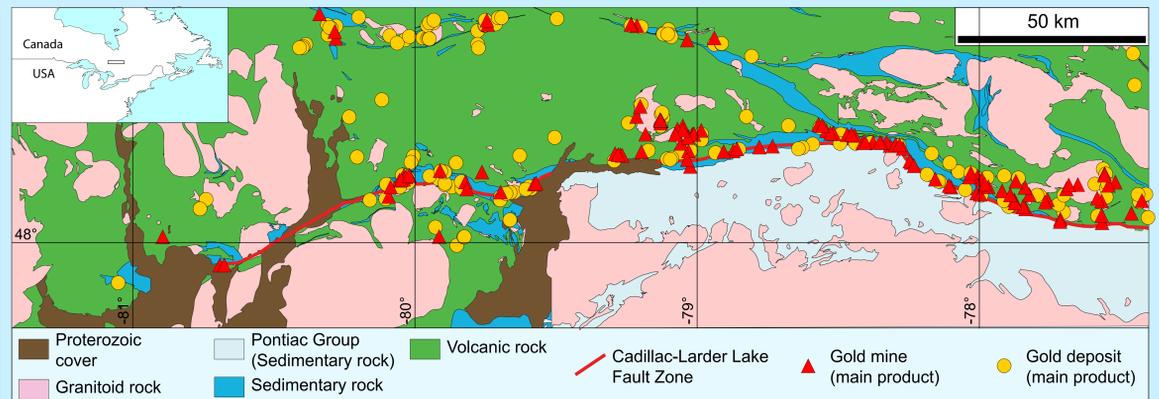
Pierre Bedeaux (UQAC), Silvain Rafini (CONSOREM-UQAC), Réal Daigneault (CERM-UQAC) et Pierre Pilote (MERN).

1 - Introduction

La Faille de Cadillac est une structure Archéenne majeure qui constitue un métalloctecte de premier ordre, comme l'attestent les nombreux gisements aurifères situés à proximité. La mise en place de ces gisements résulte de l'interaction entre le mouvement sismique des failles et l'hydrothermalisme. Leur distribution spatiale hétérogène le long de la structure, formant des regroupements rassemblés sur des segments, reste un aspect mal compris des minéralisations aurifères orogéniques. Ce découpage de la Faille de Cadillac en plusieurs segments a été décrit tant sur le plan structural (Bedeaux et al., 20xx) que sur le plan de la typologie des gîtes et de la fertilité aurifère (Rafini, 2012).

La théorie des "aftershocks" permet en partie d'expliquer la distribution hétérogène des gisements. En effet, la rupture sismique d'un tronçon de faille génère une modification des contraintes élastiques à proximité qui rapproche ou éloigne les roches des conditions critiques de rupture. Les zones placées aux conditions de rupture forment des zones de dommage, où l'augmentation temporaire de la perméabilité structurale entraîne le drainage des fluides hydrothermaux aurifères. Cette théorie a été mise en application pour prédire les zones susceptibles de concentrer la migration de fluides minéralisateurs suite aux séismes le long de failles, notamment la Faille de Cadillac. Ces modèles simples ont produit des résultats prometteurs, avec des corrélations spatiales positives entre les hauts potentiels prédits et les zones aurifères connues (Rafini, 2010).

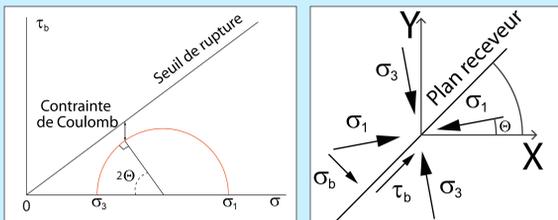
La présente étude propose d'évaluer l'influence de plusieurs paramètres sur la géométrie des zones de dommages : 1) les contrastes rhéologiques, 2) la proximité de failles secondaires et 3) l'orientation des fabriques régionales (foliations), faiblesses rhéologiques orientées susceptibles de se rajuster préférentiellement. L'influence de répliques sismiques et la combinaison de doublet est également investiguée.



2 - Approche théorique

La modélisation de la dynamique sismique est basée en premier lieu sur la « théorie des aftershocks » issue de la recherche en sismologie. Elle stipule une cartographie de la contrainte de Coulomb, définie comme une fonction de la contrainte normale et de la contrainte de cisaillement sur un plan d'orientation donnée :

$$\sigma_C = \tau_b - \nu(\sigma_b - p)$$



Lorsque la contrainte de Coulomb excède un seuil critique propre à chaque type de roche, celle-ci rompt. L'activation, c'est à dire le déplacement, d'un plan de faille génère un changement des contraintes élastiques normale et de cisaillement au pourtour de ce plan. Il résulte ainsi une augmentation ou une diminution de la contrainte de Coulomb.

En domaine cassant, dans la croûte sismogénique, l'activation d'une faille régionale s'accompagne d'un séisme majeur. Les régions où la contrainte de Coulomb augmente ou se rapproche du seuil de rupture suite à ce séisme vont concentrer les répliques de plus faibles envergures durant les mois suivant la rupture principale.

Ce concept peut être appliqué dans le domaine de l'exploration minérale, notamment dans la recherche de gisements aurifères associés à des failles. En effet, les fluides hydrothermaux à l'origine de ces gisements sont confinés dans les niveaux inférieurs de la croûte et/ou dans le manteau supérieur, et sont expulsés vers le haut lors de l'activation sismique de la faille crustale grâce à la perméabilité structurale sismique (Micklethwaite et Cox, 2004, 2006).

La théorie des aftershocks appliquée à l'exploration consiste donc à cartographier les zones d'augmentation de la perméabilité structurale, contrôlant l'écoulement et la décharge des fluides aurifères dans les failles de 2ème et 3ème ordre « ouvertes ». La géométrie de ces zones (lobes sismiques) est largement conditionnée par le découpage des segments de rupture sur la faille principale.

Code géomécanique UDEC :

Les éléments dans le code sont fins, c'est à dire que le modèle est découpé en blocs délimités par des bordures rhéologiques. UDEC permet de solutionner et déterminer les contraintes élastiques en tout point d'une maille en 2D en utilisant les équations de Hooke. Ce système est adapté à la dynamique sismique de la Faille de Cadillac puisqu'il permet de représenter les ensembles lithologiques et leurs contacts en plan dans un système en décrochement.

Dans tous les modèles, un segment de faille est activé et subit un décrochement fixé en fonction de sa longueur. Les autres tronçons de faille sont rendus inactifs en modifiant leurs propriétés rhéologiques. Ensuite UDEC calcule les contraintes dans le modèle en tenant compte des propriétés géomécaniques des blocs et des bordures.

3 - Paramètres du modèle

Orientation des contraintes :

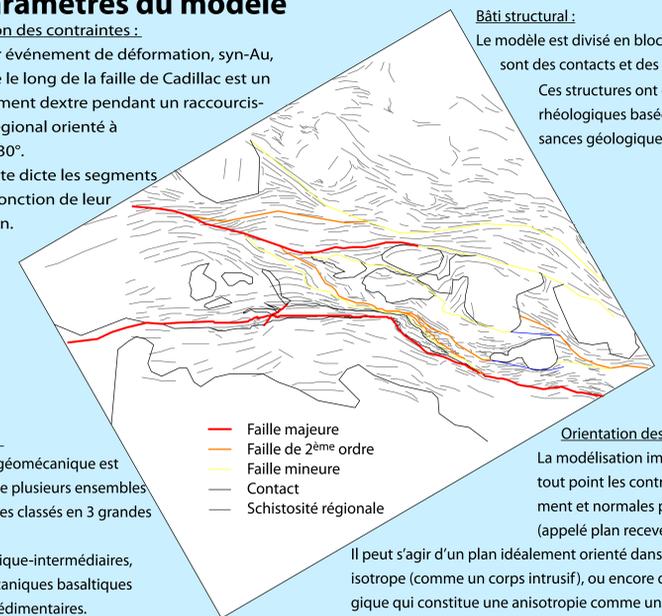
Le dernier événement de déformation, syn-Au, enregistré le long de la faille de Cadillac est un décrochement dextre pendant un raccourcissement régional orienté à environ 330°.

Ce contexte dicte les segments actifs en fonction de leur orientation.

Bâti structural :

Le modèle est divisé en blocs dont les bordures sont des contacts et des failles.

Ces structures ont des caractéristiques rhéologiques basées sur les connaissances géologiques disponibles.



Lithologie :

le modèle géomécanique est composé de plusieurs ensembles lithologiques classés en 3 grandes familles : intrusif felsique-intermédiaires, roches volcaniques basaltiques et roches sédimentaires.

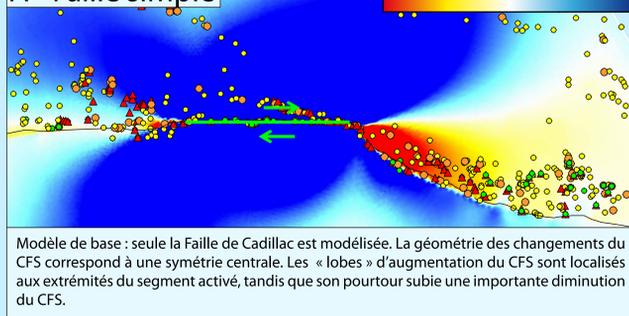
Orientation des plans receveurs

La modélisation implique de calculer en tout point les contraintes de cisaillement et normales par rapport à un plan (appelé plan receveur).

Il peut s'agir d'un plan idéalement orienté dans le cas d'un milieu isotrope (comme un corps intrusif), ou encore d'un élément géologique qui constitue une anisotropie comme un plan de schistosité.

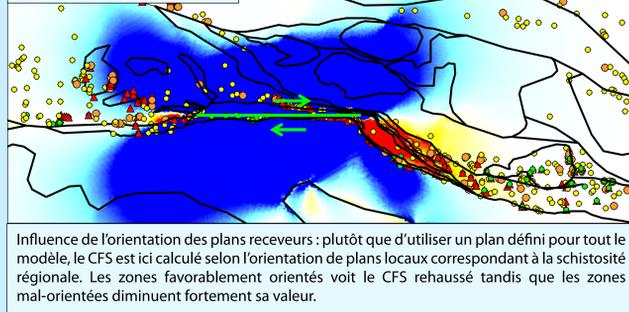
4 - Résultats de la modélisation

A - Faille simple



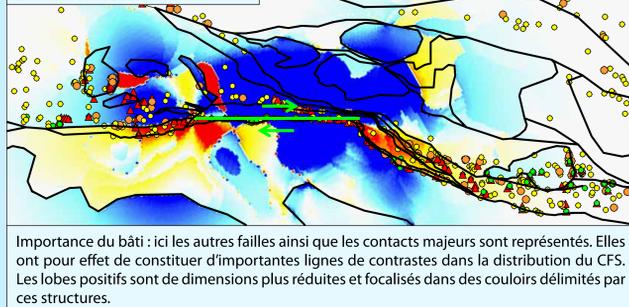
Modèle de base : seule la Faille de Cadillac est modélisée. La géométrie des changements du CFS correspond à une symétrie centrale. Les « lobes » d'augmentation du CFS sont localisés aux extrémités du segment activé, tandis que son pourtour subit une importante diminution du CFS.

B - Bâti structural



Influence de l'orientation des plans receveurs : plutôt que d'utiliser un plan défini pour tout le modèle, le CFS est ici calculé selon l'orientation de plans locaux correspondant à la schistosité régionale. Les lobes favorablement orientés voient le CFS rehaussé tandis que les zones mal-orientées diminuent fortement sa valeur.

C - Plans receveurs

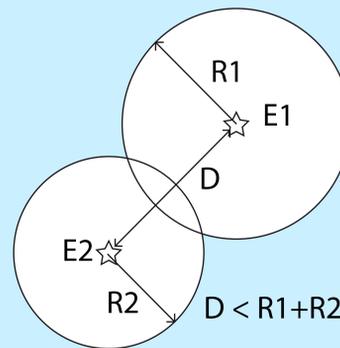


Importance du bâti : ici les autres failles ainsi que les contacts majeurs sont représentés. Elles ont pour effet de constituer d'importantes lignes de contrastes dans la distribution du CFS. Les lobes positifs sont de dimensions plus réduites et focalisés dans des couloirs délimités par ces structures.

5 - Doublet sismique

À la suite d'un séisme majeur le long d'une faille, la région environnante subit sur une courte période de temps un ensemble de répliques sismiques. Parmi celles-ci, une réplique de forte intensité, comparable au séisme initial, est souvent observée et constitue un « doublet sismique ». Pour qu'une paire de séisme forme un « doublet sismique », deux conditions doivent être remplies :

- les deux épicentres doivent être séparés d'une distance inférieure à la somme de leur rayon d'influence
- la réplique doit être de magnitude similaire au premier séisme.



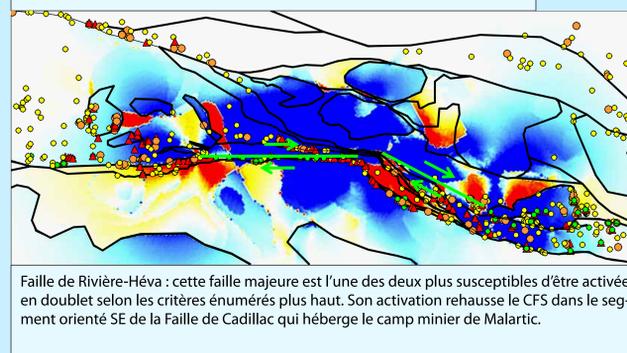
Dans le cadre de la modélisation sismique, les segments susceptibles d'initier une réplique majeure peuvent être ainsi sélectionnés d'après :

- 1) la distance par rapport au segment initialement activé,
- 2) la longueur du segment (qui détermine l'amplitude estimée du séisme) et
- 3) sa position dans une zone estimée favorable à la rupture d'après le changement de la contrainte de Coulomb associé au premier séisme.

Selon ces critères, deux tronçons appartenant à deux failles de second ordre ont été retenus : la Faille Rivière-Héva et la Faille Lapause. Toutes deux sont des failles d'importances régionales.

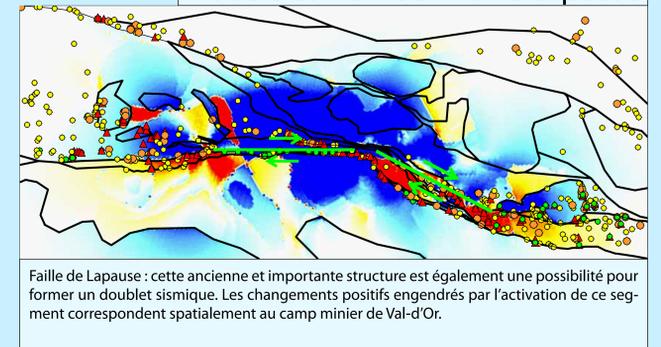
Les deux modèles présentés incluent également les paramètres intégrés précédemment

Modèle combiné A - Faille Rivière-Héva



Faille de Rivière-Héva : cette faille majeure est l'une des deux plus susceptibles d'être activée en doublet selon les critères énumérés plus haut. Son activation rehausse le CFS dans le segment orienté SE de la Faille de Cadillac qui héberge le camp minier de Malartic.

Modèle combiné B - Faille Lapause



Faille de Lapause : cette ancienne et importante structure est également une possibilité pour former un doublet sismique. Les changements positifs engendrés par l'activation de ce segment correspondent spatialement au camp minier de Val-d'Or.

6 - Discussion et conclusion

D'après les résultats présentés ci-dessus, le bâti structural génère des lobes positifs présentant une très bonne corrélation spatiale avec les indices et gisements aurifères connus. Comparé au modèle n'incluant que la Faille de Cadillac, les lobes sont de taille plus réduite et pourtant offrent une meilleure corrélation. L'utilisation de plans receveurs variables se corréle peu avec la position des camps miniers. Les lobes sont également moins bien définis spatialement.

L'utilisation des doublets sismiques est prometteuse, puisque les deux modèles basés sur les Failles Lapause et Rivière-Héva génèrent des zones qui coïncident avec les amas de gisements qui n'étaient pas couverts par les modèles basés uniquement sur l'activation de la Faille de Cadillac.

En conclusion, l'introduction comme paramètre du bâti structural et des doublets sismiques permet de former un modèle bien défini par les connaissances géologiques, plus représentatif, moins vague dans les résultats générés et correspondant bien à la distribution des gisements et aurifères documentés.

7 - Bibliographie

UQAC
Université du Québec
à Chicoutimi

CERM
Centre d'études sur
les ressources minérales

- Micklethwaite S., Cox S.F., 2004. Fault-segment rupture, aftershock-zone fluid flow, and mineralization. Geol. 32, 813-6.
- Micklethwaite S., Cox S., 2006. Progressive fault triggering and fluid flow in aftershock domains: Examples from mineralized Archean fault systems. Earth Planet. Sci. Lett. 250, 318-30.
- Rafini S., 2014. Typologie des minéralisations aurifères associées à la Faille de Cadillac. In: CONSOREM project reports 2011-01, 2011-02. 45 p.
- Rafini S., 2011. Modélisation de la dynamique sismique de la faille Cadillac – Impact sur la genèse des gisements aurifères orogéniques. Projet CONSOREM 2008-01 - Phase III; 35 p.
- King G.C.P., Stein R.S., Lin J., 1994. Static stress changes and the triggering of earthquakes. Bull. Seismol. Soc. Am. 84, 935-53.