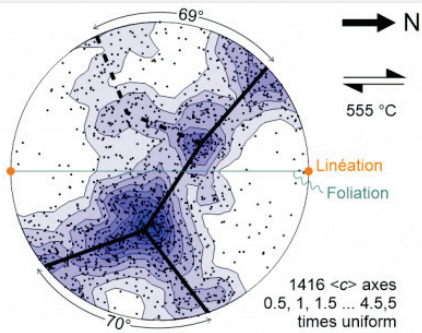
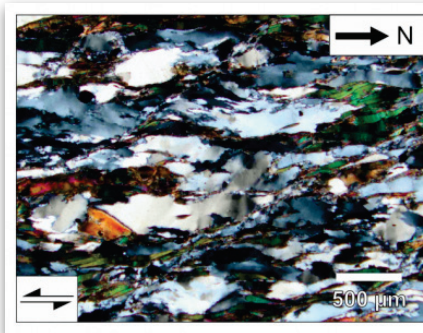


# GÉOLOGIE STRUCTURALE AVANCÉE

## GEO-9604 et GLG-60450

Lyal Harris (LH)<sup>1</sup> & Renaud Soucy La Roche (RSLR)<sup>2</sup>

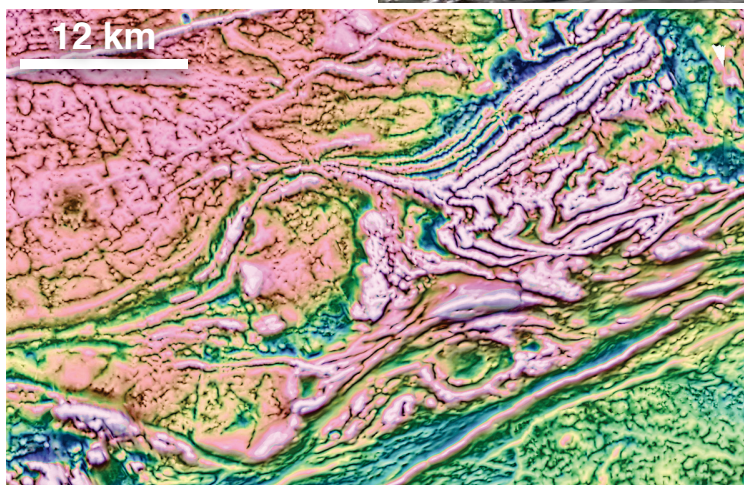


Zone de cisaillement complexe, Cordillère canadienne

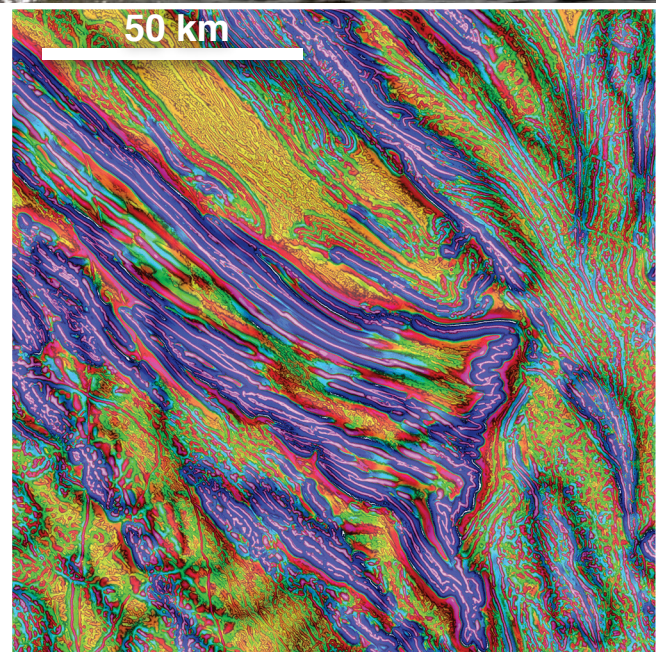


Zone de cisaillement, Province de Grenville, Maniwaki, Québec

**Interprétation des structures géologiques de l'échelle microscopique à l'échelle régionale**



Zone de cisaillement dextre, Abitibi



Plis superposés, Churchill SE

<sup>1</sup> <http://www.ete.inrs.ca/lyal-harris>

<sup>2</sup> <http://www.ete.inrs.ca/renaud-soucy-la-roche>

## **OBJECTIFS DU COURS**

Ce cours gradué concerne l'étude des roches déformées, c.à.d. ayant acquis une structure particulière distincte de la structure originelle sous l'effet de contraintes tectoniques. L'analyse de la déformation enregistrée par les roches déformées à différentes profondeurs de la croûte (soit à différents faciès métamorphiques) sera abordée de même que l'étude des mécanismes géologiques qui engendrent cette déformation, les liens entre la déformation et le métamorphisme et les applications à l'exploration minière.

Les principaux objectifs du cours sont:

- 1) d'acquérir les outils pour reconnaître et interpréter l'origine des éléments de la déformation dans différents types de roches de l'échelle régionale à l'échelle de la lame mince,
- 2) d'approfondir les concepts de la déformation progressive et de la déformation finie,
- 3) de comprendre les mécanismes de déformation des grandes structures tectoniques,
- 4) d'apprendre à interpréter et dater les fabriques tectoniques, et
- 5) d'apprendre à interpréter les structures géologiques et les événements tectoniques régionaux à partir des images aéromagnétiques et gravimétriques, avec les applications en géologie économique.

## **FORME DU COURS**

Le cours sera présenté sous trois formes: 1) des cours magistraux pour introduire la théorie, 2) des laboratoires pour appliquer les concepts à des roches, à des exemples de terrain et à des images géophysiques, et 3) de la lecture guidée et des présentations par les étudiants. La session de cours comporte huit semaines de cours et de laboratoire les mercredis, selon le calendrier ci-dessous, et l'examen final (date à établir selon les disponibilités des étudiants).

## **LECTURE DE RÉVISION**

Ce cours suppose une connaissance des concepts de base en géologie structurale (niveau premier cycle). Comme les étudiants qui suivent ce cours peuvent avoir des connaissances préalables très différentes, il est recommandé, avant de commencer, de réviser vos notes de cours précédentes, de lire des manuels ou de consulter les modules web sur la géologie structurale (voir la bibliographie à la fin du plan de cours).

*En conséquence, il n'y aura pas de cours la première semaine de la session, soit le 15 janvier en 2020 (à noter qu'INRS suit le calendrier de l'Université Laval pour les cours dans les programmes conjoints).*



## DESCRIPTION DES COURS

### Cours 1 (RSLR)

#### Discussion et révision des notions de base.

- Les niveaux structuraux
  - *Profils lithosphériques: les transitions fragile-ductile*
  - *Facteurs qui contrôlent les régimes de déformation*
- Les fabriques
  - *Nomenclature des fabriques (types de clivage, de linéations, etc.)*
- Les plis
  - *Classification géométrique et descriptive*
  - *Mécanismes de plissement*
  - *Distribution de la déformation dans les plis*
- La déformation fragile et fragile-ductile
  - *Types de failles*
  - *Critères de mouvement le long des failles*
  - *Analyse des failles conjuguées*

#### Laboratoire

Rappels sur l'utilisation des projections stéréographiques  
(à la main et sur ordinateur ou app web)

- analyse des failles conjuguées
- analyse des plis cylindriques et coniques

Installer un des logiciels avant ce labo. (ou apprendre à utiliser un app web):

- Stereonet 10 (Mac, Windows et Linux): <http://www.geo.cornell.edu/geology/faculty/RWA/programs/stereonet.html>
- Innstereo (Windows): <https://innstereo.github.io/>
- Stereonet3D (Mac)  
<https://apps.apple.com/us/app/stereonet3d/id842165852?mt=12>

App web: <https://app.visiblegeology.com/stereonetApp.html>

(possible de faire les petits cercles aussi)

Voir [https://www.youtube.com/watch?v=JJAMAcf\\_BEc](https://www.youtube.com/watch?v=JJAMAcf_BEc)

Renseignements web:

- <https://www.geological-digressions.com/stereographic-projection-the-basics/>

### Cours 2 (RSLR)

#### La déformation polyphasée

- Superposition et réactivation des failles.
- Classification des figures d'interférence
- Microstructures associées à des plis superposés (clivage de crénulation, transposition, etc)
- Modélisation: App web 3D (<https://app.visiblegeology.com/profile.html>) et PyNoddy

#### Laboratoire

Analyse structurale d'une région de plissement polyphasé

### **Cours 3 (RSLR)**

#### **Les zones de cisaillement ductiles: structures cinématiques, microstructures, et la vorticité**

- Formation des mylonites
- Indicateurs cinématiques et les fabriques du quartz
- La vorticité

#### *Laboratoire*

Analyse de lames minces et/ou les photomicrographies, et d'axes cristallographiques du quartz (données microstructurales)

### **Cours 4 (LH)**

#### **La déformation progressive**

- Notion de phases de plissement versus la déformation progressive
-  volution des plis dans les zones de cisaillement ductile
- Le plissement pendant l'extension régionale.
- Structures associées à la mise en place des plutons et le diapirisme.
- Changements de mouvement dans les zones de cisaillement associées à des plutons et les corps rigides.

#### *Laboratoire*

Analyse d'échantillons de mylonites et des plis en extension (*laboratoire plus court que normal*)

### **Cours 5 (LH)**

#### **Géométrie des structures associées à des failles**

- Les failles extensionnelles
- Les failles de coulissage (« wrench systems »)
  - Environnements tectoniques
  - Structures secondaires
    - Structures de Riedel, etc.
    - Plis (d mes et bassins, « saddle reefs » et les veines associées, etc.)
- Transpression et transtension
  - Bassins « pull apart »
  - Sites de dilatation : applications à l'exploration
- Liens avec les structures profondes et avec la mise en place des intrusions

#### *Laboratoire*

Analyse stéréographique des zones de cisaillement fragile-ductile (la faille Black Flag, Craton de Yilgarn et la région de Val d'Or, Abitibi)

### **Cours 6 (RSLR)**

#### **Les méthodes de datation de la déformation et du métamorphisme associé**

- Concepts de base en géochronologie
- Systèmes isotopiques
- Techniques de datation des phases de déformation et de métamorphisme
- Sélection des meilleurs outils en fonction du contexte géologique (profondeur, température, type de déformation, etc.)
- Exemples (Himalaya, Cordillère, Grenville, etc.)

### *Laboratoire*

Application de la géochronologie à l'analyse de l'histoire tectonique d'une région.

### **Cours 7 (LH)**

#### **Le traitement et l'interprétation des données aéromagnétiques et gravimétriques**

- Méthodes géophysiques et leur utilisation en géologie structurale
  - *Rappel sur les notions de base des méthodes géophysiques*
  - *Les sources de données*
  - *Techniques de filtrage / rehaussement des images*
  - *Séparation des composantes des différentes longueurs d'onde pour l'interprétation des structures géologiques à différentes profondeurs*
- Densité et susceptibilités des roches
  - *Variabilité pour les mêmes types de roche*
  - *Liens entre les observations de surface et les images magnétiques*
- Analyse des plis et des zones de cisaillement

### *Laboratoire*

Traitement et introduction à l'interprétation des données géophysiques

- Exemple de traitement des données aéromagnétiques
- Exercice sur l'Île Victoria

### **Cours 8 (LH)**

Les structures crustales à lithosphériques

- *Gravimétrie, MT, tomographie sismique*
- *L'importance en exploration.*

Cartographie des structures superficielles avec les données LIDAR

- *Cartographie des failles et des fractures avec les données de télédétection et de LIDAR*
- *Utilisation et intégration des données radiométriques*

### *Laboratoire*

Exercice d'intégration des données de terrain, les lames minces et les images géophysiques (Craton de Yilgarn).

## Tableau sommaire

Date	Cours et labos (jaune)	Prof.	Sujet
15 janvier			Lecture/révision personnelle: pas de cours (voir ci-dessus)
22 janvier	1	RSLR	Discussion et révision des notions de base
			Rappels sur l'utilisation des projections stéréographiques: Failles conjuguées, plis cylindriques et coniques
29 janvier	2	RSLR	La déformation polyphasée: les figures d'interférence, microstructures, etc.
			Analyse structurale d'une région plissée: style de plis, domaines structuraux (+/-construction de bloc diagramme)
5 février	3	RSLR	Les zones de cisaillement ductiles: structures cinématiques, microstructures, vorticité
			Analyse de lames minces (RSLR)
12 février	4	LH	La déformation progressive: diapirisme, la déformation pendant l'extension régionale, etc.
			Analyse des échantillons de mylonites et des plis en extension (laboratoire plus court que normal)
19 février	5	LH	Géométrie des structures associées à des failles; les failles de coulissage
			Analyse stéréographique des zones de cisaillement fragile-ductile (la mine Black Flag, Craton de Yilgarn)
26 février	6	RSLR	Les méthodes de datation de la déformation et du métamorphisme associé
			Application de la géochronologie à l'analyse de l'histoire tectonique d'une région
4 mars			Semaine de lecture à U Laval et PDAC; pas de cours
11 mars	7	LH	Le traitement et l'interprétation structurale des données aéromagnétiques et gravimétriques
			- exemple de traitement des données aéromagnétiques - exercice sur l'�le Victoria
18 mars			Présentations des étudiants
25 mars			LH et RSLR seront à l'extérieur; pas de cours
1 Avril	8	LH	Les structures crustales � lithosphériques et leur importance en exploration. Cartographie des structures superficielles avec les données LIDAR
		LH	Exercice d'intégration des données de terrain, les lames minces et les images géophysiques (Craton de Yilgarn)
			Date à déterminer: Examen

## ÉVALUATION

Un examen de fin de session: 40%

« Livre ouvert »: Vous aurez accès aux pdfs des cours et vos notes.

Les laboratoires: 50%

Rapport et présentation : 10%

Chaque étudiant doit faire une présentation (en PowerPoint, Keynote, PDF, etc.) de 15 minutes et soumettre un résumé avec 2 ou 3 figures clefs (comme les « extended abstracts » lors d'un congrès, dont les exemples seront fournis) sur un sujet d'intérêt, potentiellement en lien avec leur sujet de recherche. Il est recommandé de discuter des sujets potentiels avec les responsables du cours et vos directeurs tôt dans la session. Les détails du format, etc., seront donnés dans les cours.

## LIVRES DE RÉFÉRENCE<sup>3</sup>

- Bles, J.L. & Feuga, B., 1981. La fracturation des roches, Collection "Manuels et méthodes" No 1, Bureau de recherches géologiques et minières, Orléans, 121p.
- Choukroune, P. 1995. Déformations et déplacements dans la croûte terrestre. Masson, Paris, 226 p.
- Davis, G.H. & Reynolds, S.J. 1996. Structural Geology of Rocks and Regions. Second Edition. Wiley, New York, 776 p.
- Dentith, M. C. & Mudge, S. T., 2014. Geophysics for the mineral exploration geoscientist.
- Fossen, H. 2016. Structural Geology, 2<sup>nd</sup> edition, Cambridge University Press, 524 p.
- Hancock, P.L. (éditeur), 1994. Continental deformation. Pergamon Press, Oxford, 421 p.
- Passchier, C. W., & Trouw, R. A. (2005). Microtectonics. 2<sup>nd</sup> edition. Springer Science & Business Media, 372 pp.
- Ramsay, J.G. & Huber, M.I. 1983. The techniques of modern structural geology. Volume 1: Strain Analysis. Academic Press, London, pp. 1-307.
- Ramsay, J.G. & Huber, M.I. 1987. The techniques of modern structural geology. Volume 2: Folds and Fractures. Academic Press, London, pp. 307-700.
- Ramsay, J.G. & Lisle R.J., 2000. The techniques of modern structural geology. Volume 3: Applications of continuum mechanics in structural geology, Academic Press, London

## LIVRE À TÉLÉCHARGER (GRATUIT)

- Isles, D. & Rankin, L., 2011. Geological Interpretation of Aeromagnetic Data, ASEG.  
<https://www.aseg.org.au/sites/default/files/ebook-ASEG-eBook-Geo-Interpretation-of-Aeromagnetic-Data-Opt-for-user-1621.pdf>

## MODULES WEB

Haakon Fossen (*en anglais, à utiliser conjointement avec son livre*):  
<https://folk.uib.no/nglhe/StructuralGeoBookEmodules.html>

Donna Kirkwood (*en français*):  
<http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/dkirkwoo>

---

<sup>3</sup> D'autres articles seront donnés pendant les cours