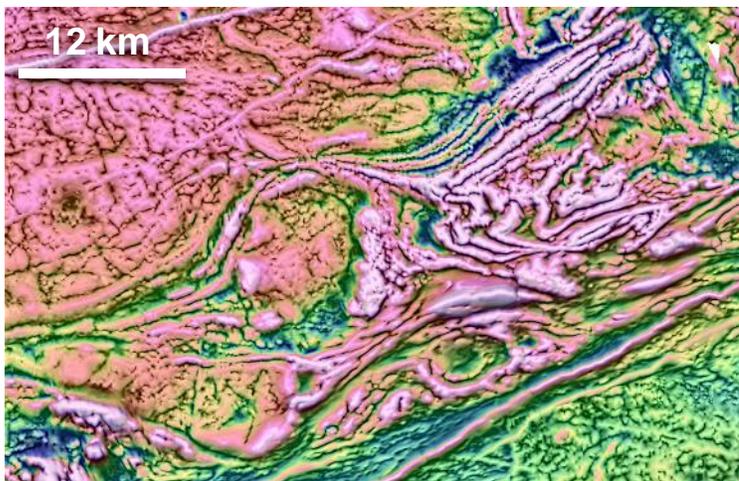
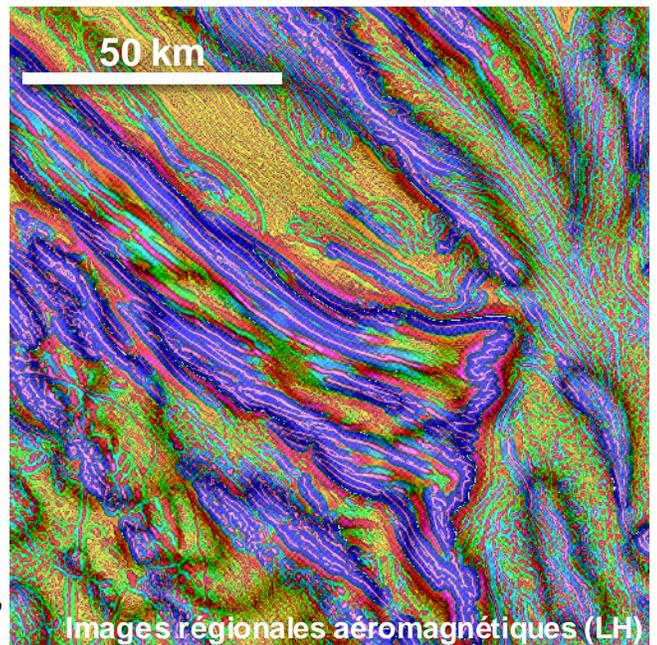


Zone de cisaillement complexe, Cordillère canadienne

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



Zone de cisaillement dextre, Abitibi



Plis superposés, Churchill SE

# PLAN DE COURS

## Nom du cours :

Géologie structurale avancée

## Sigle du cours :

GEO-9604 et GLG-60450

## Offert au trimestre :

Hiver 2022

## Nombre de crédits :

3

Heure :	13h30-16h30	Date :	Mercredi & vendredi	Local :	En ligne (Zoom)
---------	-------------	--------	---------------------	---------	-----------------

## PROFESSEUR RESPONSABLE ET COORDONNÉES

Lyal Harris ([lyal.harris@ete.inrs.ca](mailto:lyal.harris@ete.inrs.ca))

Renaud Soucy La Roche ([renaud.soucy\\_la\\_roche@ete.inrs.ca](mailto:renaud.soucy_la_roche@ete.inrs.ca))

## AUTRES PROFESSEURS PARTICIPANTS AU COURS, LE CAS ÉCHÉANT

Aucun

## DESCRIPTION DU COURS

Ce cours explore les 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.

## OBJECTIFS DU COURS

1. 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. Approfondir les concepts de la déformation progressive et de la déformation finie,
3. Comprendre les mécanismes de déformation des grandes structures tectoniques,
4. Apprendre à interpréter et dater les fabriques tectoniques, et

5. Apprendre à interpréter les structures géologiques et les événements tectoniques régionaux à partir des images aéromagnétiques et gravimétriques, avec les applications en géologie économique.

## CONTENU DU COURS

### 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).

### DESCRIPTION DES COURS

(LH : Lyal Harris, RSLR : Renaud Soucy La Roche)

#### **Cours 1** (RSLR)

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

- Stress vs. strain
- Les niveaux structuraux
  - Profils lithosphériques: les transitions fragile-ductile
  - Facteurs qui contrôlent les régimes de déformation
- Le cercle de Mohr
- La déformation fragile et fragile-ductile
  - Types de déformation: failles, veines, diaclases
  - Critères de mouvement le long des failles
  - Analyse des structures conjuguées
- Description géométrique des structures (rappel sur les stéréonets)

#### *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 de Rick Allmendinger (Mac, Windows et Linux) :

<https://www.rickallmendinger.net/stereonet>

- 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)

### **Les fabriques, les plis et la déformation polyphasée**

- Les fabriques
  - Nomenclature des fabriques (types de foliations, linéations, etc.)
- Les plis
  - Classification géométrique et descriptive
  - Mécanismes de plissement
  - Distribution de la déformation dans les plis
- La déformation polyphasée:
  - Classification des figures d'interférence
  - Modélisation 3D
  - Microstructures associées à des plis superposés (clivage de crénulation, transposition, etc.)
  - Analyses géométrique des plis polyphasés

#### *Laboratoire*

Analyse structurale d'une propriété minière (Eigerwald) dans une région poly-déformée (construction de modèle 3D)

## **Cours 3** (RSLR)

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

- Formation des mylonites
- Indicateurs cinématiques
- Mécanismes de déformation cristalline
- Fabriques du quartz
- La vorticité

#### *Laboratoire*

Analyses des axes cristallographiques du quartz dans une zone de cisaillement.

## **Cours 4** (LH)

### **La déformation progressive**

- Notion de phases de plissement versus la déformation progressive
- Évolution 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 (photographies et photomicrographies) de mylonites  
(laboratoire plus court que les autres)

### **Cours 5 (RSLR)**

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

- Objectifs de la datation de la déformation
- Systèmes isotopiques et concepts de base en géochronologie
- Techniques d'analyse en géochronologie
- Datation de la déformation ductile de haute et moyenne température
- Datation de la déformation cassante
- Sélection des meilleurs outils en fonction du contexte géologique (profondeur, température, type de déformation, etc.)

#### *Laboratoire*

La datation de la déformation et la reconstruction de l'évolution tectonique d'une terrane métamorphique.

### **Cours 6 (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 (dômes 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 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
- 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).

### **MATÉRIEL DIDACTIQUE ET APPROCHES PÉDAGOGIQUES**

Ce cours comporte 3 aspects : 1) cours magistraux pour introduire la théorie, 2) laboratoires pour appliquer les concepts à des roches, des exemples de terrain et des images géophysiques, 3) lecture guidée et présentations par les étudiants. La session comprend huit semaines de cours et de laboratoire, les présentations des étudiants et l'examen final. La section INFORMATION COMPLÉMENTAIRE contient le calendrier.

### **ÉVALUATION**

Examen de fin de session: 40 % (à livre ouvert : vous aurez accès aux pdf des cours et à vos notes)

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 des 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.

*Pour plus de détails:*

[Politique d'intégrité en recherche:](http://www.inrs.ca/sites/default/files/inrs/politiques_procedures_reglements/Politique_IntegriteRecherche%20VersionFinale.pdf)

([http://www.inrs.ca/sites/default/files/inrs/politiques\\_procedures\\_reglements/Politique\\_IntegriteRecherche%20VersionFinale.pdf](http://www.inrs.ca/sites/default/files/inrs/politiques_procedures_reglements/Politique_IntegriteRecherche%20VersionFinale.pdf))

[Intégrité en recherche : Guide pour les étudiants:](http://www.inrs.ca/sites/default/files/etudier_inrs/etudiants_actuels/INRS_Guide_de_letudiant_Integrite_Recherche.pdf)

([http://www.inrs.ca/sites/default/files/etudier\\_inrs/etudiants\\_actuels/INRS\\_Guide\\_de\\_letudiant\\_Integrite\\_Recherche.pdf](http://www.inrs.ca/sites/default/files/etudier_inrs/etudiants_actuels/INRS_Guide_de_letudiant_Integrite_Recherche.pdf))

### **CONSIGNES RELATIVES AUX RETARDS DES TRAVAUX ET ABSENCE À UN EXAMEN**

À moins d'indication contraire, les laboratoires doivent être remis une semaine plus tard, à l'heure du début de la période de laboratoire. 10% sera déduit de la note à chaque jour de retard.

**INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES**

À noter: l'INRS suit le calendrier de l'Université Laval pour les cours dans les programmes conjoints.

Date	Cours et labos (en jaune)	Prof.	Sujet
10-14 janvier	1	RSLR	Discussion et révision des notions de base
			Rappels sur l'utilisation des projections stéréographiques: failles conjuguées, plis cylindriques et coniques
17-21 janvier	2	RSLR	Les fabriques, les plis et la déformation polyphasée: les figures d'interférence, microstructures, etc.
			Analyse structurale d'une propriété minière (Eigerwald) dans une région poly-déformée (modèle 3D)
24-28 janvier	3	RSLR	Les zones de cisaillement ductiles: structures cinématiques, microstructures, vorticité
			Analyses des axes cristallographiques du quartz dans une zone de cisaillement
31 janvier – 4 février	4	LH	La déformation progressive: diapirisme, la déformation pendant l'extension régionale, etc.
			Analyse d'échantillons de mylonites <i>(laboratoire plus court que les autres)</i>
7-11 février	5	RSLR	Les méthodes de datation de la déformation et du métamorphisme associé
			La datation de la déformation et la reconstruction de l'évolution tectonique d'une terrane métamorphique
14-18 février	6	LH	Géométrie des structures associées à des failles; les failles de coulissage
			Analyse stéréographique des zones de cisaillement fragile-ductile <i>(la mine Black Flag, Craton de Yilgarn)</i>
21-25 février	7	LH	Le traitement et l'interprétation structurale des données aéromagnétiques et gravimétriques
			- exemple de traitement des données aéromagnétiques - exercice sur l'Île Victoria

28 février – 4 mars	8	LH	Les structures crustales à lithosphériques et leur importance en exploration. Cartographie des structures superficielles avec les données LIDAR
			Exercice d'intégration des données de terrain, les lames minces et les images géophysiques (Craton de Yilgarn)
7-11 mars	Semaine de lecture à U Laval; pas de cours		
14-18 mars	Présentations des étudiants		
21-25 mars			
28 mars – 1 avril			
4-8 avril			
11-15 avril			
18-22 avril			
25-29 avril			Période d'examens finaux (date à déterminer)

## BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

### LIVRES DE RÉFÉRENCE<sup>1</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.

<sup>1</sup> À consulter au besoin. D'autres articles seront donnés pendant les cours

Hancock, P.L. (Éd.), 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>

"Processes in Structural Geology and Tectonics", by Ben van der Pluijm and Stephen Marshak,  
<https://psgt.earth.lsa.umich.edu/>

Contactez [procsqt@gmail.com](mailto:procsqt@gmail.com) pour avoir accès (gratuit pour les étudiants)