# ÉTUDE DE CAS 1

## CARACTERISATION STRUCTURALE DE LA FRACTURATION

*A remettre au plus tard le 9 mars 2010*
*Travail évalué : 10% de la note finale*

Le réseau de fracturation d'une région donnée est formé de différentes familles qui s'entrecoupent. La caractérisation du réseau de fracturation passe par un relevé détaillé de la géométrie des fractures et par l'identification des familles dominantes et de leur orientation principale. Dans les régions les mieux exposées, par exemple le Grand Nord québécois, la caractérisation du système de joints peut se faire par l'analyse des images LANDSAT ou de photographies aériennes. Là où le couvert végétal et l'épaisseur du sol sont plus abondants, un relevé de terrain devra être effectué.

### LEVÉS DE TERRAIN

Lorsqu'on effectue une étude régionale de la fracturation, on doit tout d'abord définir des domaines structuraux en séparant la région à l'étude en différents secteurs. Les limites de ces domaines peuvent être définies en fonction de paramètres géologiques comme la lithologie et la position structurale. Par exemple, vous pouvez distinguer les fractures d'une unité de calcaire, des fractures dans un dyke recoupant le calcaire, ou encore séparer les fractures qui affectent le flanc ouest d'un pli régional des fractures qui affectent le flanc est. Une fois que vous avez divisé votre région en domaines structuraux, vous devez par la suite identifier des sites d'échantillonnage ou des stations de mesure dans chaque domaine en choisissant des endroits les plus "affleurants" et représentatifs.

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées lors d'une campagne de terrain pour caractériser la fracturation à un site ou une station donnée. La **méthode sélective** consiste à observer les parois ou affleurements et sélectionner et mesurer l'orientation de fractures représentatives des familles principales. Cette méthode est rapide et offre l'avantage d'amasser des données sur plusieurs sites en relativement peu de temps. La méthode sélective est malheureusement subjective et n'est efficace que pour des régions où le réseau de fracturation est relativement simple. La **méthode dite quantitative** consiste à mesurer le plus grand nombre de fractures, peu importe leur orientation ou leur dimension, à une même station. Étant donné la grande quantité de données obtenues à l'aide de cette méthode, il est possible de distinguer les principales familles de fractures systématiques. Par contre, une abondance de fractures non systématiques aura comme effet de masquer les orientations préférentielles des familles principales. La méthode quantitative ne permet aucune analyse statistique de l'intensité ou l'espacement des fractures. La **méthode dite par inventaire** consiste à définir une aire d'une dimension donnée, un cercle de dix mètres de rayon ou un carré de $10m^2$ par exemple, et de mesurer l'orientation et l'extension latérale de toutes les fractures exposées dans cette aire. Cette méthode permet de faire l'analyse statistique de l'orientation des fractures, de calculer leur extension latérale et la densité de fracturation à un site. La **méthode dite par traverse** consiste à définir une ligne de traverse sur l'affleurement ou la paroi verticale et de mesurer toutes les fractures qui croisent cette ligne. Même si cette méthode est relativement coûteuse en temps, elle permet néanmoins une caractérisation quantitative des différentes familles de joints (l'espacement, la fréquence, la densité, l'extension latérale) et une analyse statistique plus complète du réseau de fracturation pour un secteur donné.

## DESCRIPTION DES FRACTURES

Plusieurs termes sont utilisés pour caractériser et décrire les fractures. Il faut d'abord distinguer les familles de fractures dites **systématiques** et **non systématiques**. Les familles systématiques sont composées de plusieurs fractures planes subparallèles d'orientation et d'espacement constants à l'échelle de l'affleurement tandis que les fractures non systématiques sont généralement irrégulières et d'orientation variable. Quantitativement, on doit décrire **l'espacement** entre les fractures d'une même famille (la distance entre deux fractures d'une même famille), **l'intensité ou la densité** de fracturation (nombre de fractures par unité de surface), et la fréquence d'une famille de fractures (nombre de fractures par distance linéaire). Sur le terrain, on doit décrire ou mesurer différents paramètres pour chaque fracture, dont l'orientation (direction/pendage), l'extension latérale, la terminaison et le type de roche. Une fiche de note vous est présentée à la fin du document (Figure 7) en guise d'exemple.

## CORRECTION DES DONNÉES

Lorsqu'on travaille sur des affleurements horizontaux, ou sur des faces verticales dans une carrière par exemple, il est important de s'assurer de relever les fractures sur différentes surfaces de référence, car l'orientation de celles-ci influencera grandement la qualité de l'échantillonnage (figure 1). Par exemple, la quantité de fractures mesurées pour la famille P sur la face X de la figure 1 ne sera pas représentative de la réalité puisque l'orientation de la paroi est parallèle à la direction générale des fractures de la famille P. L'espacement entre les fractures sera également erroné si la traverse se situe sur une paroi oblique à la direction des fractures comme sur la face Z de la figure 1.

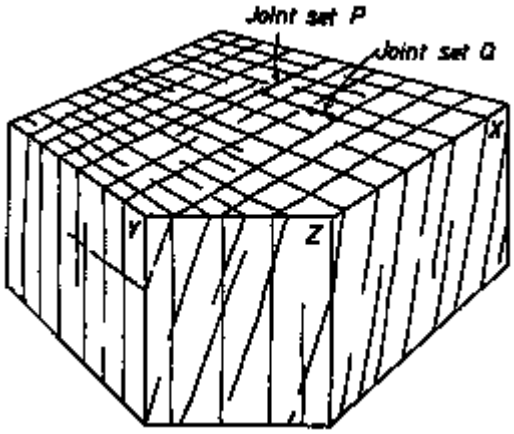



**Figure 1.** Effet de l'orientation des surfaces sur la fréquence des joints exposés.

Dans une région donnée, la fréquence réelle de distribution d'une famille de fractures sera obtenue en relevant les fractures sur une face perpendiculaire à la direction des fractures (Face Y pour la famille P dans la figure 1). Lorsque les levés s'effectuent sur des parois orientées obliquement par rapport à la direction des fractures, il sera nécessaire d'apporter une correction sur le nombre de fractures mesurées en fonction de l'orientation de la traverse pour obtenir un diagramme représentatif de la fréquence des fractures (figure 2).

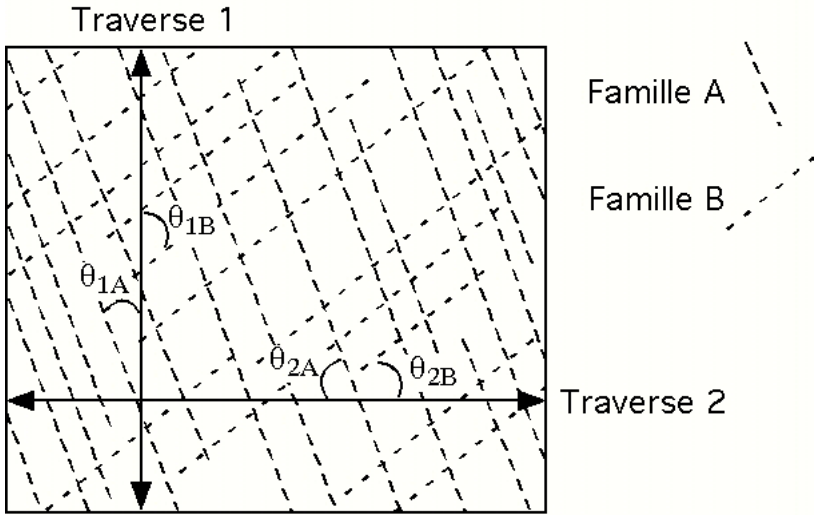



**Figure 2.** Levé de terrain le long de deux traverses d'orientation différente.

Il s'agit d'utiliser la correction de Terzaghi (1965), donnée par

$$N = n / \sin \theta$$

où $\theta$ est l'angle entre la traverse et l'orientation moyenne de la famille de fracture à l'étude, $n$ est le nombre de fracture rencontrées le long de la traverse et $N$ le nombre qui aurait été mesuré si la traverse était orientée perpendiculairement à l'orientation moyenne des fractures. On fait alors l'hypothèse que l'espacement des fractures est constant (ce qui n'est pas toujours le cas). Par exemple, si on veut connaître le nombre de fractures d'orientation N50 (famille B de la figure 2) que l'on aurait croisé le long de la traverse 2 si elle était perpendiculaire à celles-ci, on utilise la correction de Terzaghi, soit

$$N = 4/\sin\theta_{2B} = 4/\sin 40° = N = 5.37.$$

Le Tableau 1 présente un exemple d'application de la correction de Terzaghi lors du traitement des données pour la réalisation d'un histogramme. Les logiciels utilisés pour la préparation des rosaces de direction (*i.e.*, DIPS, SpheriStat) ont tous une option afin d'appliquer automatiquement cette correction en fournissant l'orientation et la plongée de la traverse. Lorsque l'on applique la correction de Terzaghi, il faut définir une différence minimale entre le relevé et l'intervalle puisque les fractures mesurées dans cet intervalle sont très biaisées. Ainsi, pour ne pas introduire d'artefact dans le résultat final, on considère que ces fractures sont plus ou mois parallèles à la traverse et on ne leur applique pas de correction. On choisit habituellement une valeur de 10° ou 15°.

**Relevé XXXXX**
**Orientation du relevé [°] = 60**

| Intervalle | Centre de l'intervalle | Fréquence | Fréquence corrigée |
|---|---|---|---|
| 0-5 | 2,5 | 2 | 2 |
| 6-10 | 7,5 | 0 | 0 |
| 11-15 | 12,5 | 0 | 0 |
| 16-20 | 17,5 | 4 | 6 |
| 21-25 | 22,5 | 1 | 2 |
| 26-30 | 27,5 | 2 | 4 |
| 31-35 | 32,5 | 1 | 2 |
| 36-40 | 37,5 | 2 | 5 |
| 41-45 | 42,5 | 1 | 3 |
| 46-50 | 47,5 | 0 | 0 |
| 51-55 | 52,5 | 1 | 1 |
| 56-60 | 57,5 | 0 | 0 |
| 61-65 | 62,5 | 1 | 1 |
| 66-70 | 67,5 | 2 | 2 |
| 71-75 | 72,5 | 2 | 9 |
| 76-80 | 77,5 | 2 | 7 |
| 81-85 | 82,5 | 3 | 8 |
| 86-90 | 87,5 | 1 | 2 |
| 91-95 | 92,5 | 2 | 4 |
| 96-100 | 97,5 | 0 | 0 |
| 101-105 | 102,5 | 1 | 1 |
| 106-110 | 107,5 | 0 | 0 |
| 111-115 | 112,5 | 1 | 1 |
| 116-120 | 117,5 | 0 | 0 |
| 121-125 | 122,5 | 0 | 0 |
| 126-130 | 127,5 | 0 | 0 |
| 131-135 | 132,5 | 1 | 1 |
| 136-140 | 137,5 | 5 | 5 |
| 141-145 | 142,5 | 8 | 8 |
| 146-150 | 147,5 | 2 | 2 |
| 151-155 | 152,5 | 1 | 1 |
| 156-160 | 157,5 | 1 | 1 |
| 161-165 | 162,5 | 1 | 1 |
| 166-170 | 167,5 | 0 | 0 |
| 171-175 | 172,5 | 0 | 0 |
| 176-180 | 177,5 | 2 | 2 |

**Tableau 1.** Démonstration du calcul de la correction de Terzaghi pour la construction d'un histogramme d'orientations. Différence minimale entre le relevé et l'intervalle pour appliquer la correction de Terzaghi = 10°

**ÉTUDE RÉGIONALE DE LA FRACTURATION**

Une étude du réseau de fracturation a été effectuée dans la région Mirabel située à une trentaine de kilomètre au nord de Montréal. Le but du projet était de caractériser la géométrie des fractures en trois dimensions pour mieux comprendre la circulation de l'eau souterraine dans un aquifère de roc fracturé.

Les roches de la région font partie de la province géologique des Basses-Terres du Saint-Laurent (BTSL) qui s'étend d'Ottawa à La Malbaie et qui est limitée au nord par les Laurentides. La séquence sédimentaire des BTSL constitue une plate-forme d'âge Cambrien à Ordovicien supérieur et représente un cycle de transgression-régression. La succession comprend quatre assemblages lithologiques principaux soient les grès du Cambrien supérieur (Groupe de Potsdam), les carbonates de l'Ordovicien inférieur et moyen (les groupes de Beekmantown, Chazy, Black River et Trenton), les flyschs de l'Ordovicien supérieur (les groupes d'Utica et de Lorraine) et les lits rouges molassiques de l'Ordovicien supérieur (le Groupe de Queenston). Les unités cambro-ordoviciennes de la plate-forme du Saint-Laurent sont très peu plissées, car les épisodes tectoniques majeurs responsables de l'édification de la chaîne appalachienne n'ont presque pas affectées la province des Basses-Terres (figure 3).

Des levés de terrain ont été effectués à l'échelle régionale en caractérisant le réseau de fracturation sur tous les affleurements. Le type de fracture (joints ou fractures de cisaillement) n'a toutefois pas été noté. Des levés détaillés ont également été effectués dans cinq carrières en exploitation, la carrière Matters à St-Eustache, la carrière St-Canut, la carrière Lafarge, la carrière Demix et la carrière Laurentienne. Les roches qui affleurent à la carrière Matters appartiennent au Groupe de Beekmantown et sont constituées de bancs épais et subhorizontaux de dolomie ou de calcaire dolomitique recoupés par plusieurs familles de fractures qui les découpent en blocs décamétriques. À la carrière St-Canut, les levés ont été effectués dans les grès de la Formation de Cairnside. De même, l'étude de fracturation à la carrière Lafarge a été effectuée dans les calcaires argileux de la Formation de Theresa. Dans ces deux carrières, les strates sont subhorizontales et l'épaisseur des bancs est comparable à celle de la carrière Matters. La fracturation y est aussi semblable puisqu'on y retrouve majoritairement des fractures verticales qui se terminent sur les plans de litage. Les données recueillies dans les carrières proviennent de faces verticales de différentes orientations, positionnées sur les cartes locales (figures 4, 5 et 6).

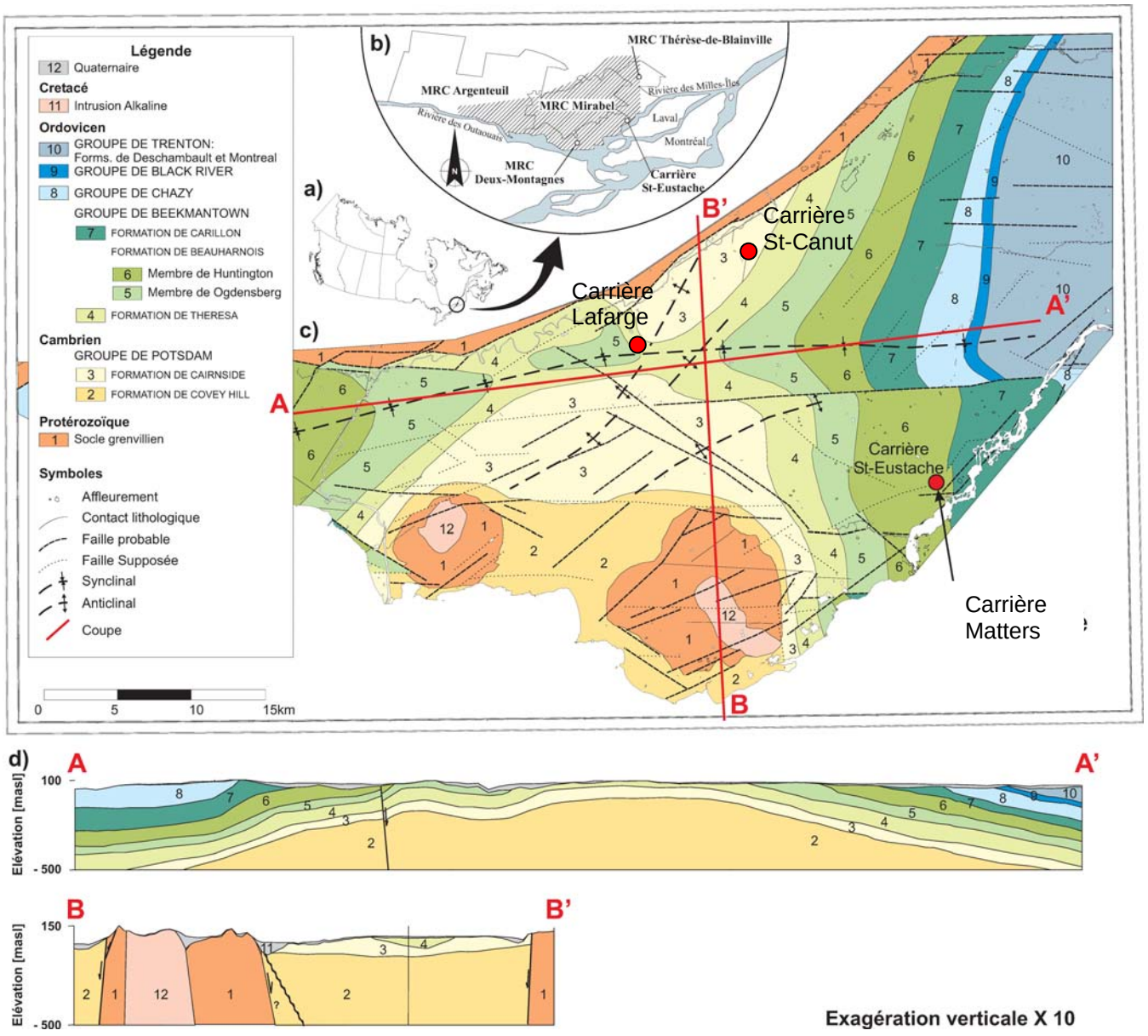



**Figure 3.** Carte et coupe géologiques des Basses-Terres du St-Laurent, au nord de Montréal.

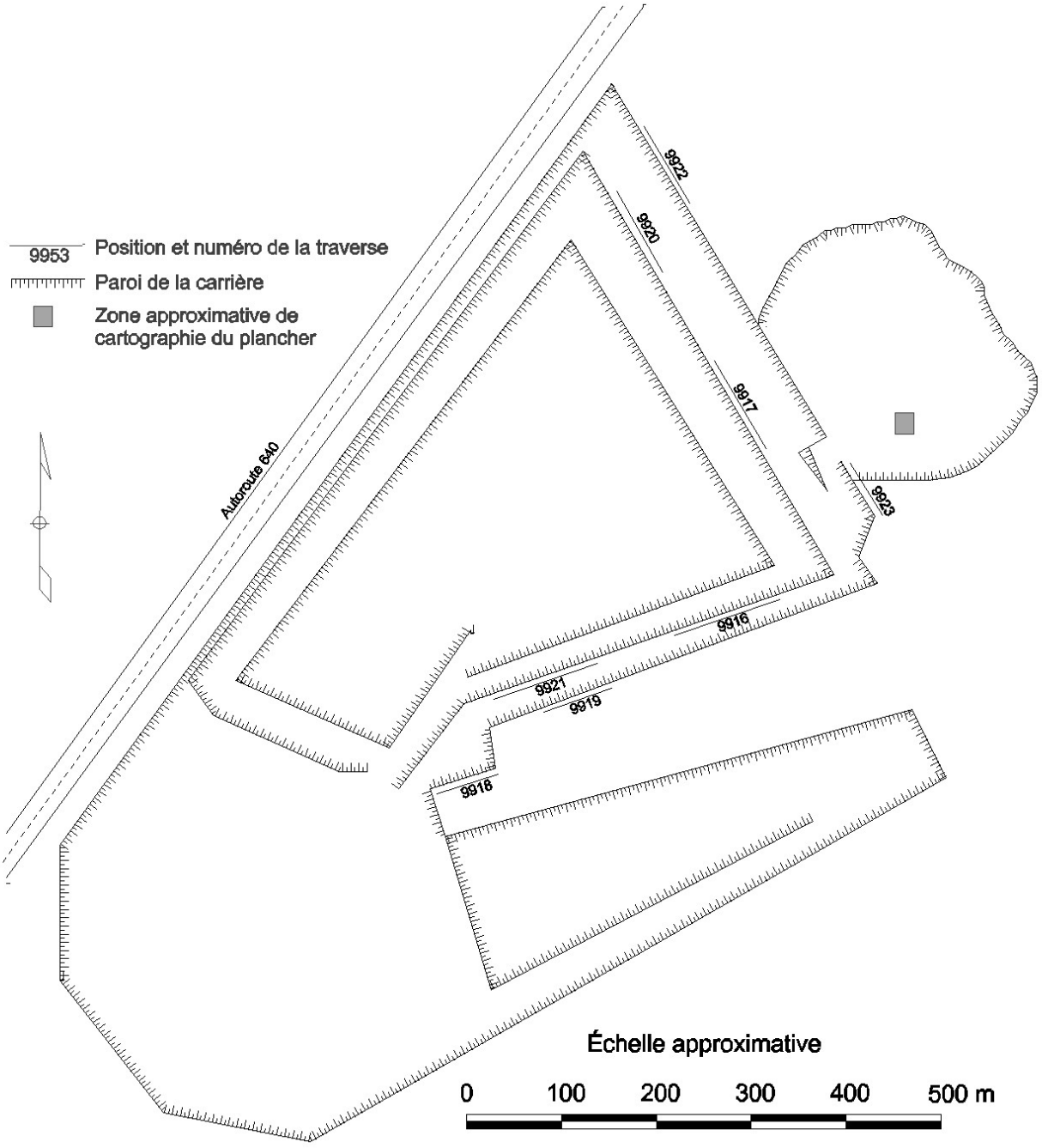



**Figure 4.** Schéma de la carrière Matters et localisation des sections échantillonnées.

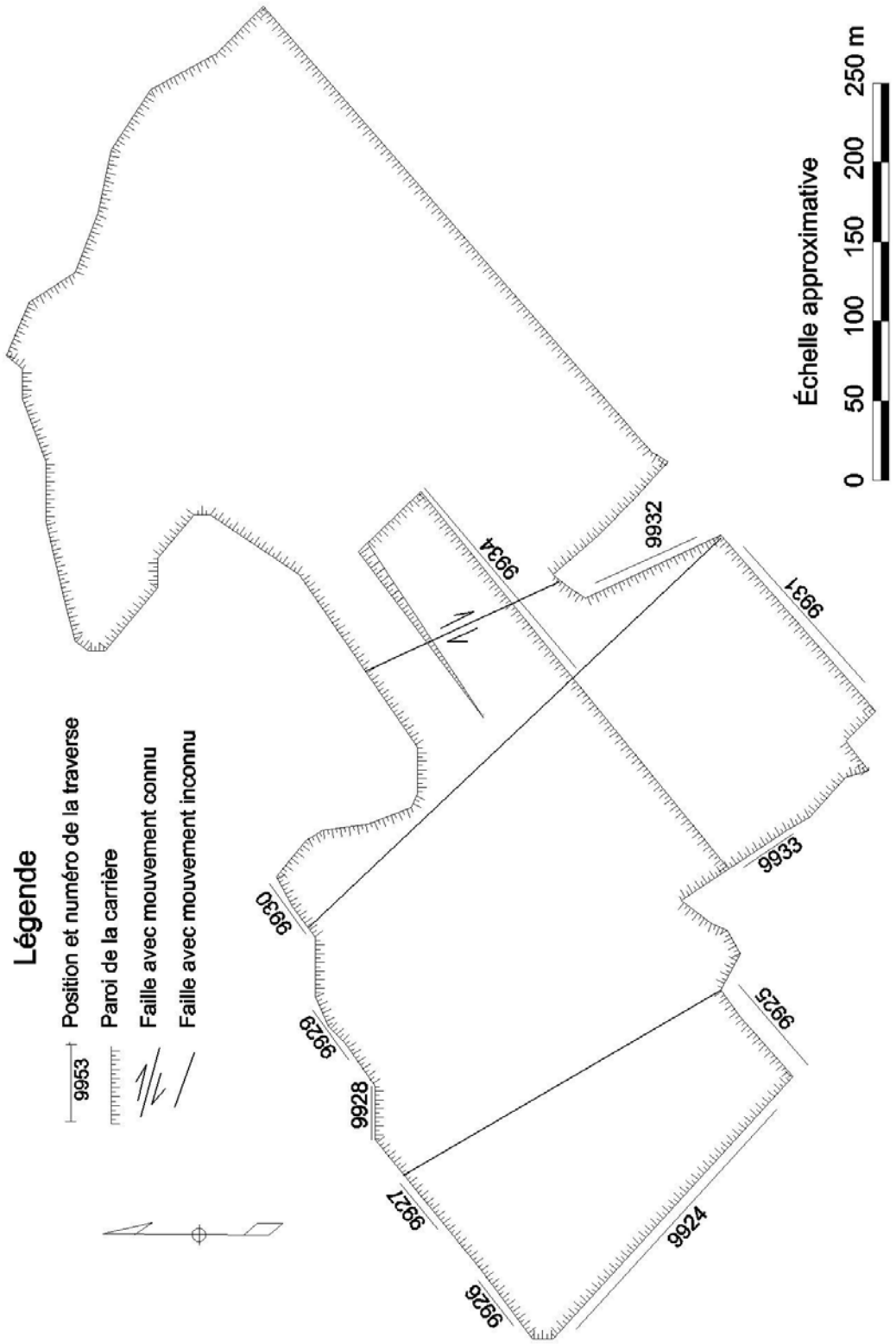



**Figure 5.** Schéma de la carrière Lafarge et localisation des sections échantillonnées.

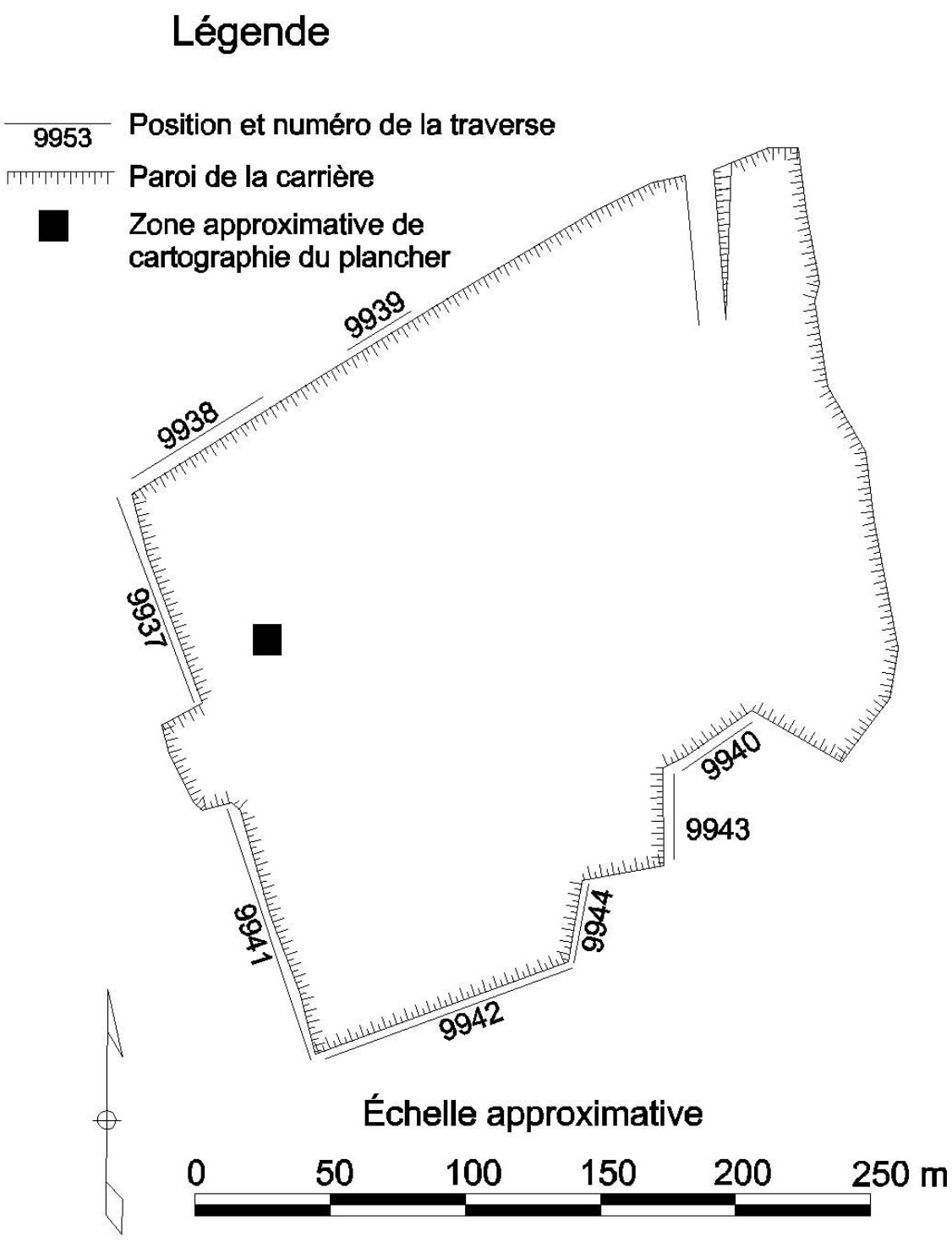



**Figure 6.** Schéma de la carrière St-Canut et localisation des sections échantillonnées.

**DONNÉES STRUCTURALES**

Les données structurales provenant de levés par traverse pour les carrières Matters (St-Eustache), Lafarge et St-Canut sont disponibles sur le site du cours pour effectuer une analyse statistique de la fracturation. Utilisez le fichier intitulé « donnees_completes.xls » disponible dans la section « ressources/documents ». Vous trouverez dans le premier onglet l'information concernant les traverses réalisées (orientation, longueur). Dans les trois autres onglets, vous trouverez l'information recueillie à chacune des carrières visitées (direction, pendage, # de traverse, position, espacement, remplissage et commentaires).

**ROSACES DE DIRECTION**

Pour la carrière Matters, préparez deux rosaces pour trois stations de votre choix en utilisant les valeurs mesurées sur le terrain et les valeurs corrigées. Choisissez des stations avec un nombre de mesures contrasté et des orientations de traverses différentes (i.e., 99jml0023, 99jml0021 et 99jml0019), éliminez les fractures à pendage inférieur à 70° et utilisez des intervalles de 5°. Pour la correction de Terzaghi, utilisez une différence minimale de 10° entre le relevé et l'intervalle.

Faites les rosaces synoptiques suivantes pour chacune des carrières :

1. Valeurs mesurées sur le terrain; intervalles de 5° (éliminez les fractures à pendage inférieur à 70°).

2. Valeurs corrigées; intervalles de 5° (éliminez les fractures à pendage inférieur à 70°).

3. Valeurs corrigées; intervalles de 10° (éliminez les fractures à pendage inférieur à 70°).

**HISTOGRAMMES DE L'ESPACEMENT DES FRACTURES**

Pour chacune des carrières, préparez un histogramme synoptique de l'espacement des fractures. Déterminez la valeur moyenne et l'écart-type.

**INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS**

En vous référant aux rosaces de la carrière Matters, y a-t-il une différence entre les diagrammes construits à partir des données brutes de terrain et ceux construits à l'aide des valeurs corrigées? Quelle est l'influence de l'orientation de la traverse sur la fréquence des fractures mesurées sur le terrain? Que remarquez-vous quant à la distribution des données en fonction du nombre de mesures?

En vous référant aux rosaces synoptiques, identifiez les familles dominantes à chacune des carrières. Quelle est l'influence du choix des intervalles (5° vs. 10°) sur les rosaces obtenues? Est-ce que le choix d'un intervalle peut influencer la détermination des familles dominantes?

Faites le lien entre les fractures régionales dominantes et la géologie de la région en vous référant à la carte géologique. Y a-t-il des différences notables dans l'orientation des fractures d'une carrière à l'autre ? Cette différence peut-elle être attribuée à la géologie locale? À partir des résultats présentés, est-il possible d'identifier différentes familles de fractures régionales?

D'après vous, l'espacement des fractures traduit-il un comportement différent des différentes lithologies en ce qui a trait à la fracturation ? Pour y répondre, utilisez l'espacement moyen des fractures à chaque carrière. Est-ce que l'espacement mesuré correspond à l'espacement réel des fractures? Est-ce que l'espacement des fractures suit une distribution normale? Si non, est-ce que la valeur moyenne et l'écart-type calculés sont représentatifs des données mesurées?

Dessinez un schéma de la géométrie des fractures dominantes de la région (bloc-diagramme en 3D semblable à la figure 1).

Reprenez tous ces points dans la section discussion de votre rapport.

**STRUCTURE DU RAPPORT**

*Longueur du rapport :* 10 pages max (sans les annexes)
*Attention à la qualité du français (10% de la note)*

Vous devez aborder les points suivants dans votre rapport :

- Page titre (titre du rapport, nom, prénom, date)
- Résumé
- Introduction (problématique, objectifs, localisation)
- Méthodologie (type de relevés, données recueillies, traitement des données, logiciels utilisés)
- Résultats (présentation des résultats : rosaces, histogrammes, espacement moyen, identification des familles dominantes à chaque site).
- Discussion (analyse des résultats et réponses aux questions (**toutes les questions !**) sous forme de discussion, bloc-diagramme 3D synthèse)
- Conclusion
- Références
- Annexes (si il ya lieu)

**REFERENCES**

Terzaghi, R. D. 1965. Sources of errors in joint surveys. *Geotechnique*, 15, 287-304.

Géologue : Jean-Michel Lemieux Date : ____________________

Localisation : ________________________________________ Type d'affleurement : __________

________________________________________ Dimensions :

Groupe/formation :________________________________________

Commentaires sur le contexte: ________________________________________

A = Coupe verticale
B = Face inclinée
C = Face horizontale
1 = Affleurement naturel
2 = Coupe de rivière
3 = Coupe artificielle

Profondeur du transec :________________________________________

Familles apparentes et espacement: ________________________________________

Type de relevé : ______________________ Orientation et longueur de la traverse : ____________

| Dir./pend. | dir/pend $S_0$ | longueur/ aire | surface, grande /petite échelle | remplissage | extrémité | distance | type roche / épaisseur | Commentaires |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

Extrémité : 1 - les 2 sont libres; 2 - une se termine dans un autre joint; 5 - les 2 se divisent; 3 - les 2 se terminent dans un autre joint; 4 - une seule se divise; 6 - les 2 se terminent dans le litage

**Figure 7.** Exemple de fiche de terrain pour la réalisation de relevés par traverse.