

GLQ3401/GLQ3651 : Première partie
Cours 4 : Sondages et rôle du
géologue.



**POLYTECHNIQUE
MONTREAL**

UNIVERSITÉ
D'INGÉNIERIE

Objectifs

- Être en mesure de proposer une campagne d'échantillonnage;
- Expliquer le rôle du géologue dans une campagne de forages;
- Reconnaître les problèmes de déviations de forages et identifier les outils pour mesurer les déviations;
- Calculer des intersections plans/forage;
- Calculer l'épaisseur vraie d'une veine;
- Être en mesure de calculer le pendage vrai d'un plan;
- Effectuer des régularisations de teneurs et comprendre l'utilité de celle-ci.



Plan du cours

1. **Campagne d'exploration**
 - Planification (Géophysique, géochimie, cartographie, base de données);
 - Évolution.
2. **Objectifs**
3. **Étapes à suivre**
4. **Forage au diamant**
 - Valeurs typiques.
5. **Déviations du trou de forage**
6. **Rôle du géologue**
 - Détermination de l'orientation du trou;
 - Récupération de la carotte;
 - Rangement des carottes;
 - Description (Logging) de la carotte;
 - Évaluation du taux de récupération;
 - RQD : Rock quality designation
 - Relevé de la direction et de l'inclinaison des trous;
 - Imposer une déviation volontaire;
 - Orientation des carottes.
7. **Construction graphique**
 - Exemple numérique.
8. **Régularisation des teneurs**
9. **Autres méthodes de forages**
 - Forage par circulation inversée;
 - Forage sonique (mort-terrain).
10. **Exemple de contrat de forage**



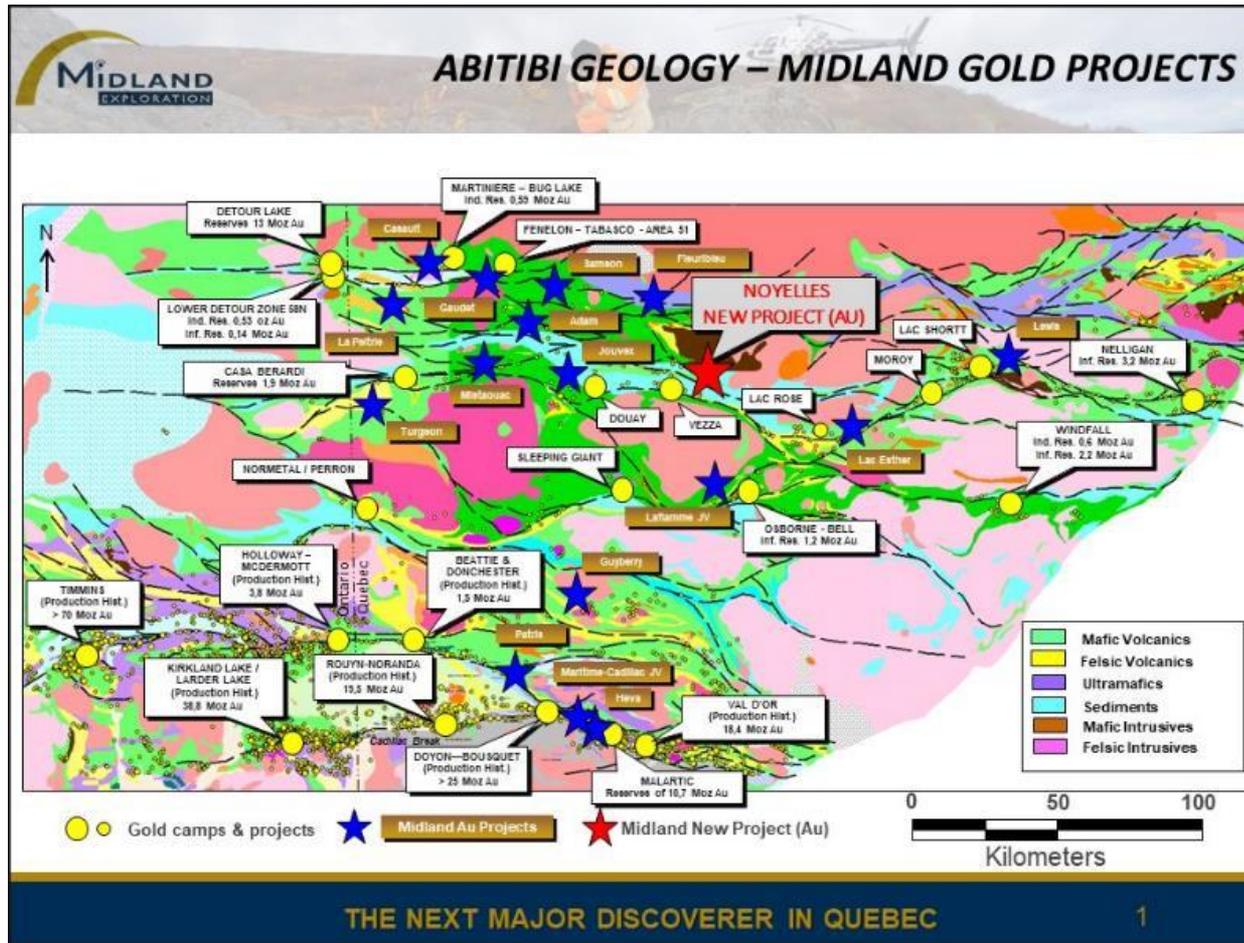
1. Campagne d'exploration

Aller chercher le plus d'information possible à propos du site à l'étude

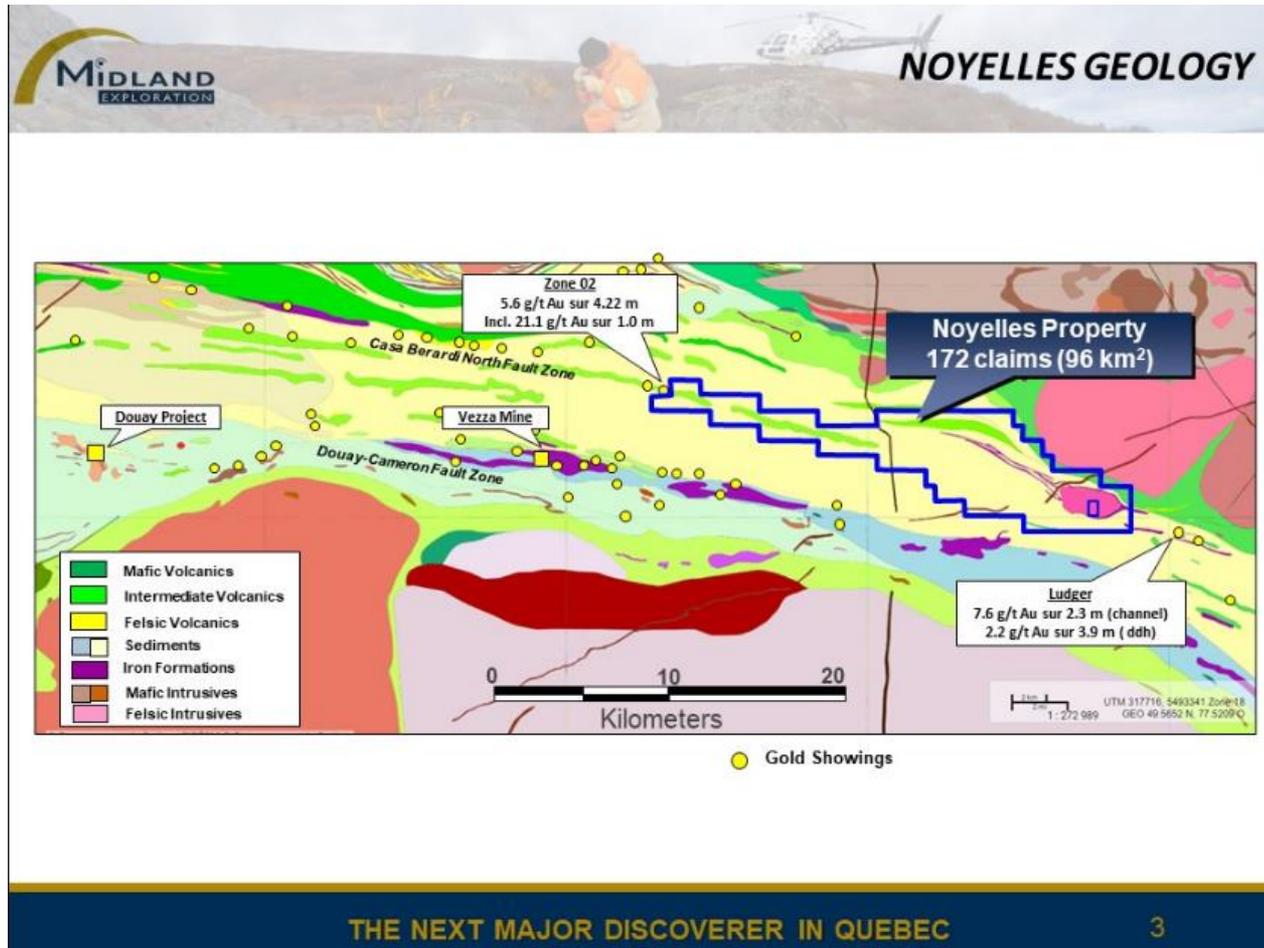
- Modèle de gisement
- Informations disponibles (travaux statutaires)
 - Cartographie géologique
 - Analyses géochimiques (sédiments de lacs, ruisseaux; affleurements; blocs erratiques)
 - Levés géophysiques
 - Forages existants
- Identifier des cibles propices



1. Campagne d'exploration (Planification)

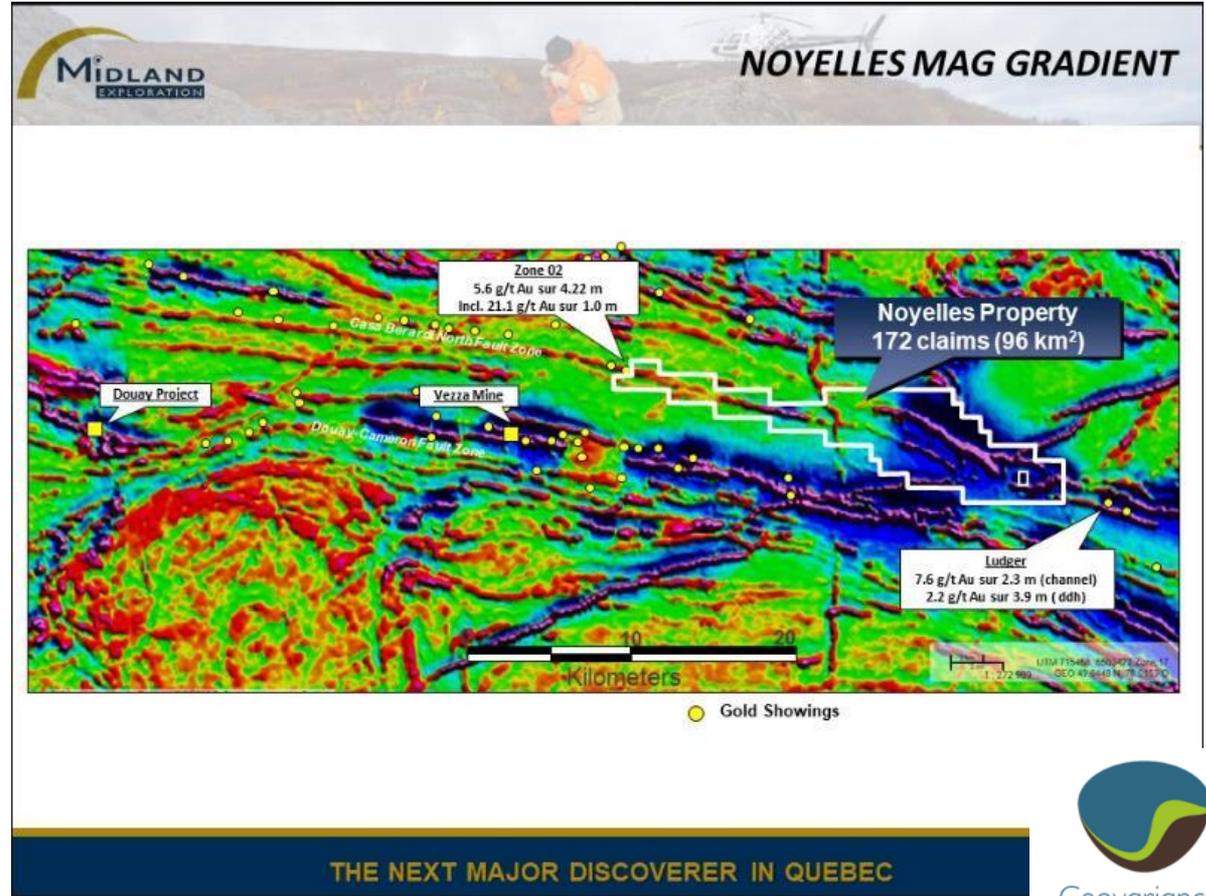


1. Campagne d'exploration (Planification)



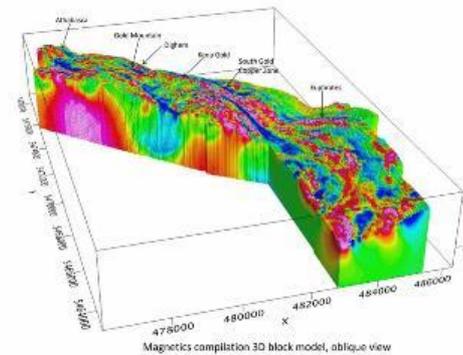
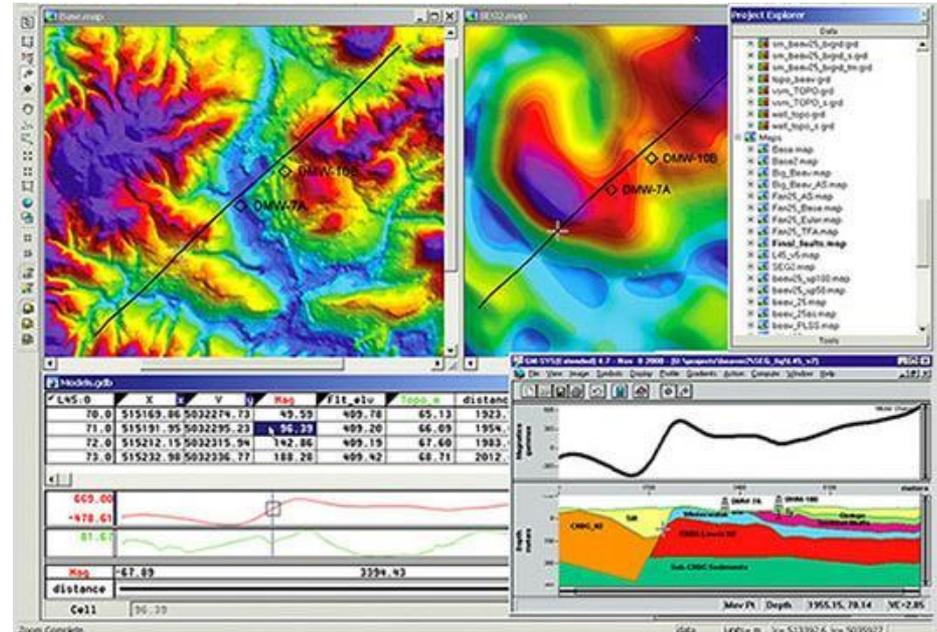
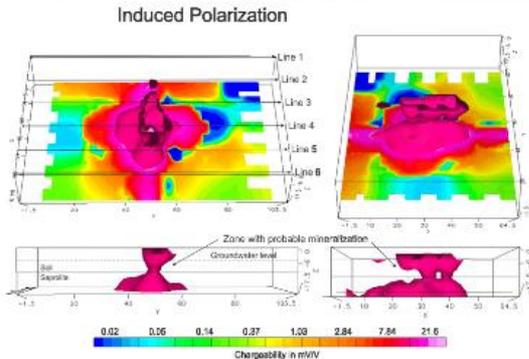
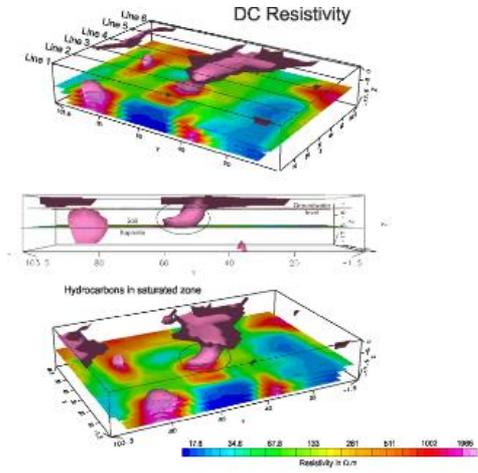
1. Campagne d'exploration (Planification)

Géophysique de surface



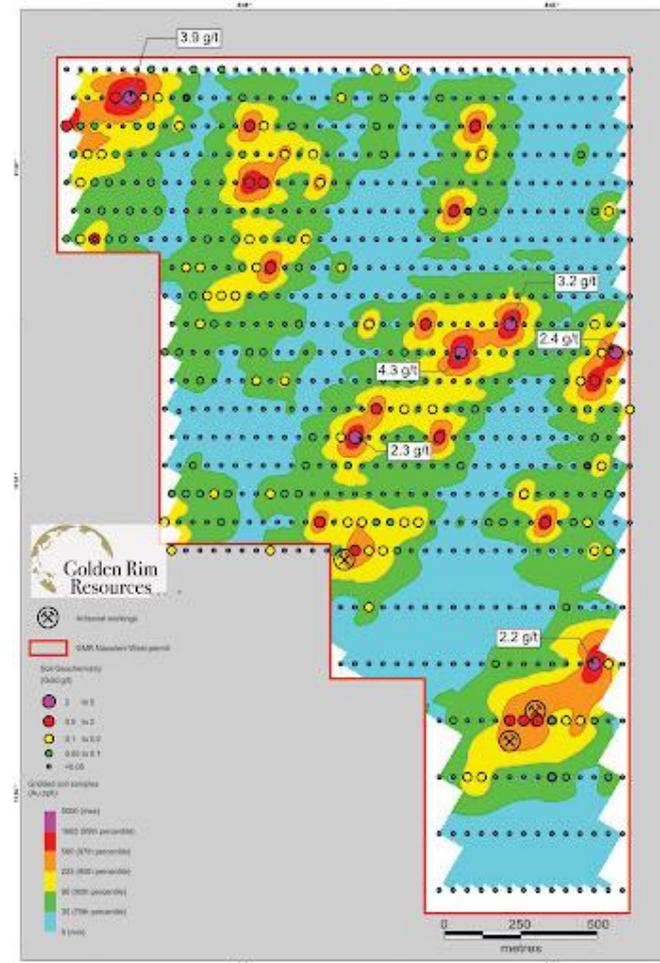
1. Campagne d'exploration (Planification)

Géophysique de profondeur



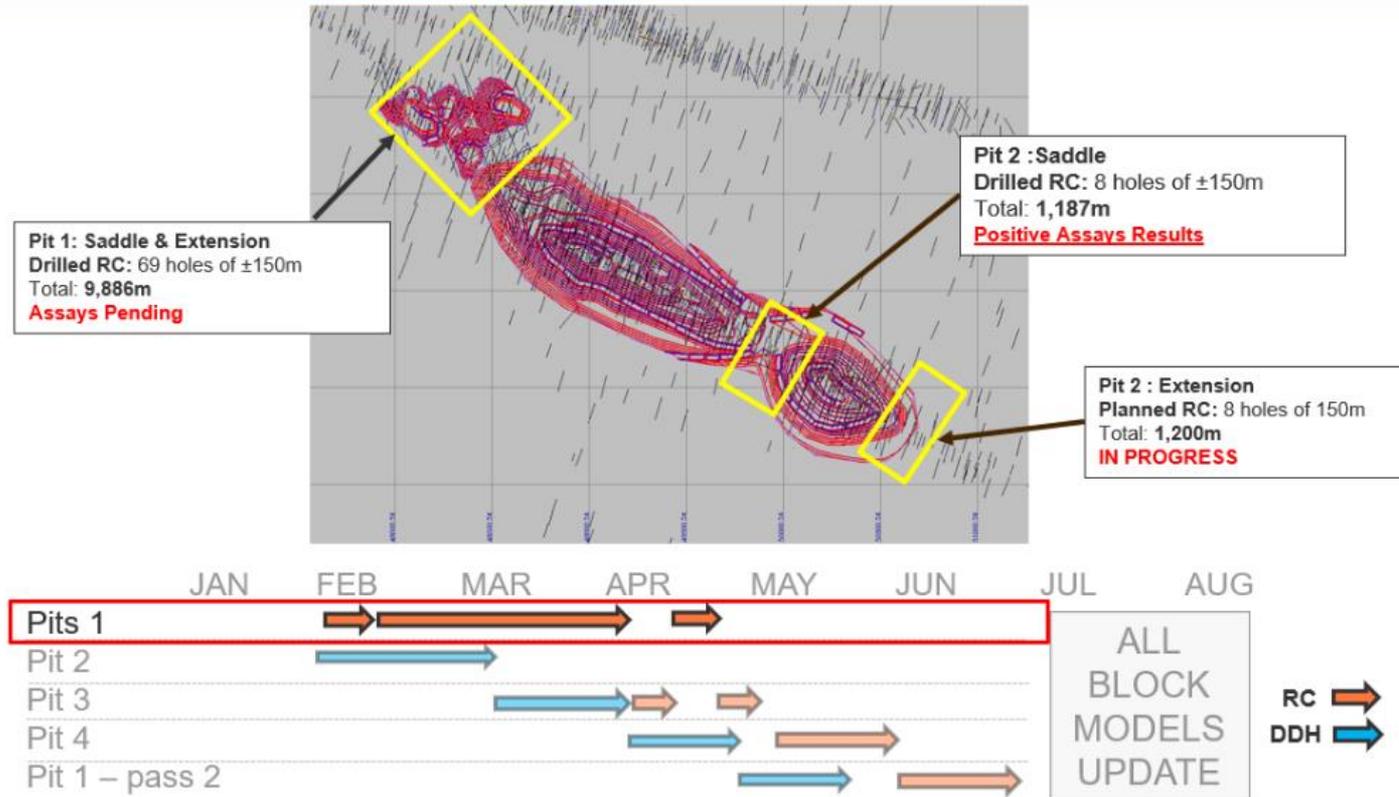
1. Campagne d'exploration (Planification)

Géochimie de surface



1. Campagne d'exploration (Évolution)

Planification des forages : budget et planification Mine à ciel ouvert



Geovariances

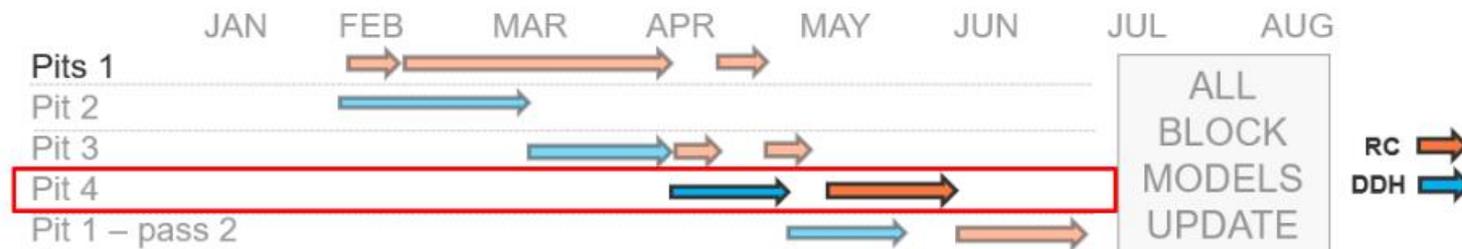
1. Campagne d'exploration (Évolution)

Planification des forages : budget et planification

Mine à ciel ouvert

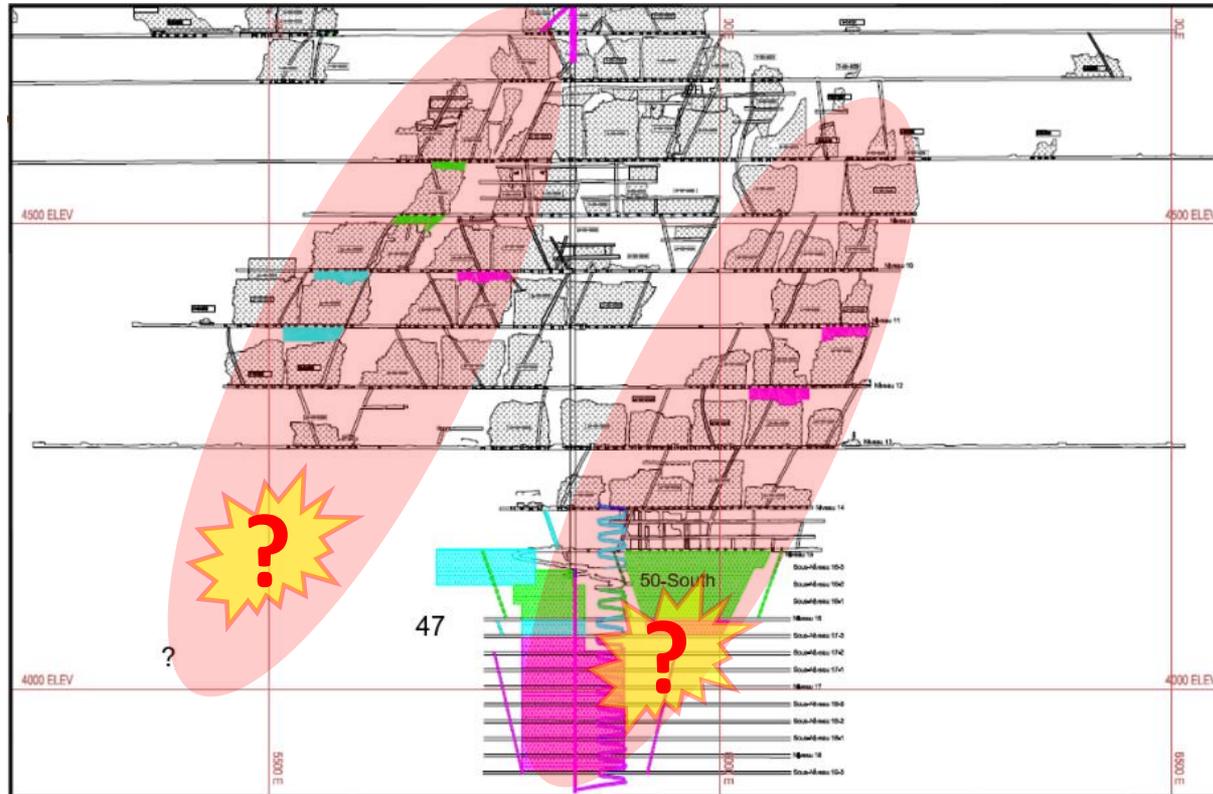
DDH: 5 holes of approx. 250m
Total: **1,250m**
IN PROGRESS

RC: 28 holes of 150m
Total: **4,200m**
Planned for May



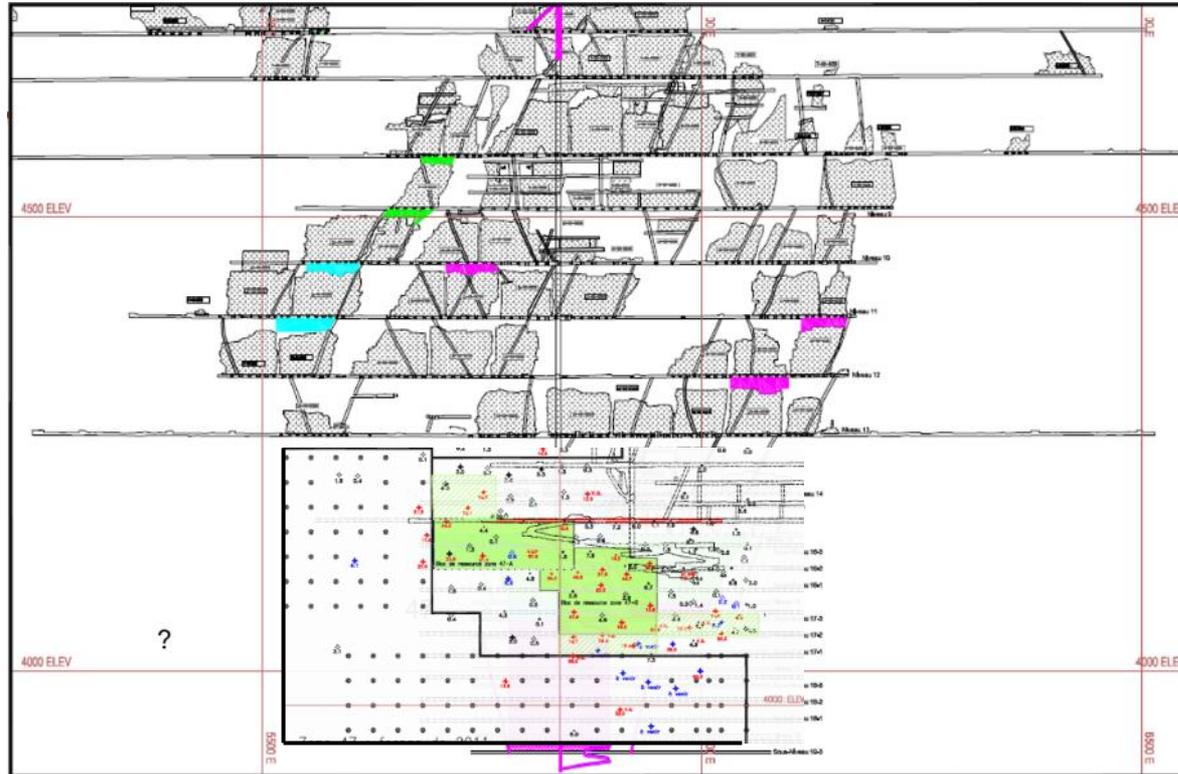
1. Campagne d'exploration (Évolution)

Planification des forages : budget et planification Mine souterraine



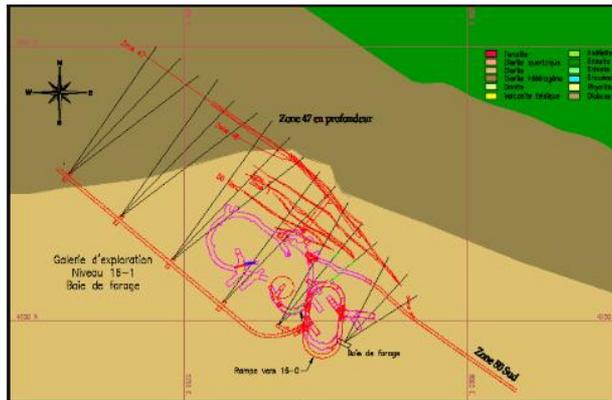
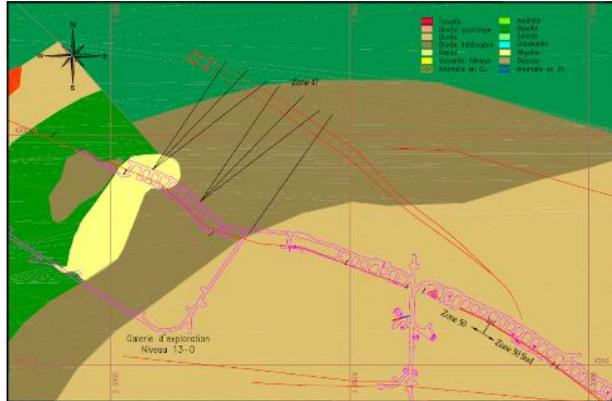
1. Campagne d'exploration (Évolution)

Planification des forages : budget et planification Mine souterraine



1. Campagne d'exploration (Évolution)

Planification des forages : budget et planification Mine souterraine



Mine Site Exploration Expenses Details

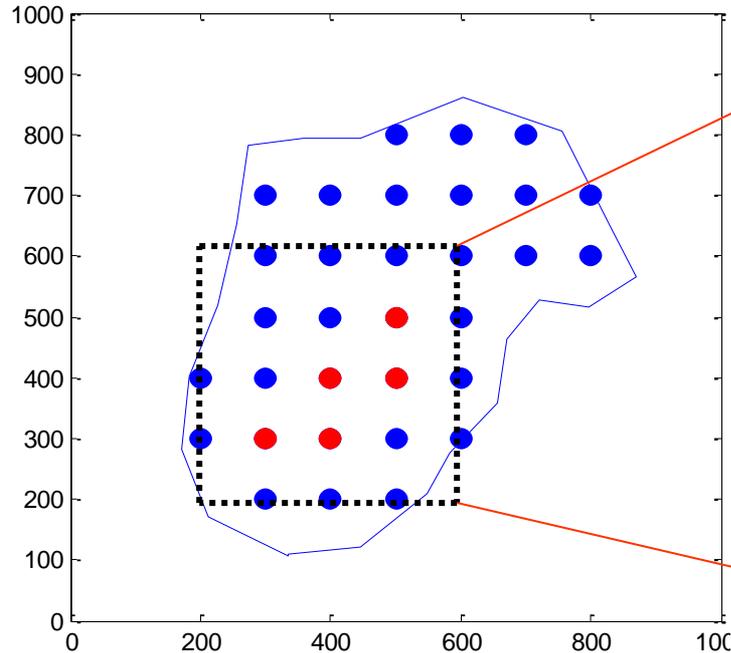
	Total 2011 \$ US
<u>Infrastructure</u>	
Ramp	2 202 399 \$
Ventilation raise	68 089 \$
Exploration drift	263 286 \$
Total development	2 533 774 \$
<u>Diamond Drilling</u>	
Infill	1 869 333 \$
Exploration	787 276 \$
Total drilling	2 656 610 \$
<u>Scoping Study</u>	
Golder, Genivar, Oracle, LGL	200 000 \$
<u>IT</u>	
Promine, Gemcom	200 000 \$
<u>Mining equipment</u>	
Scoop	314 071 \$
Scissors lift	210 476 \$
Dump truck	452 381 \$
Total mining equipment	976 929 \$
Grand total	6 367 313 \$



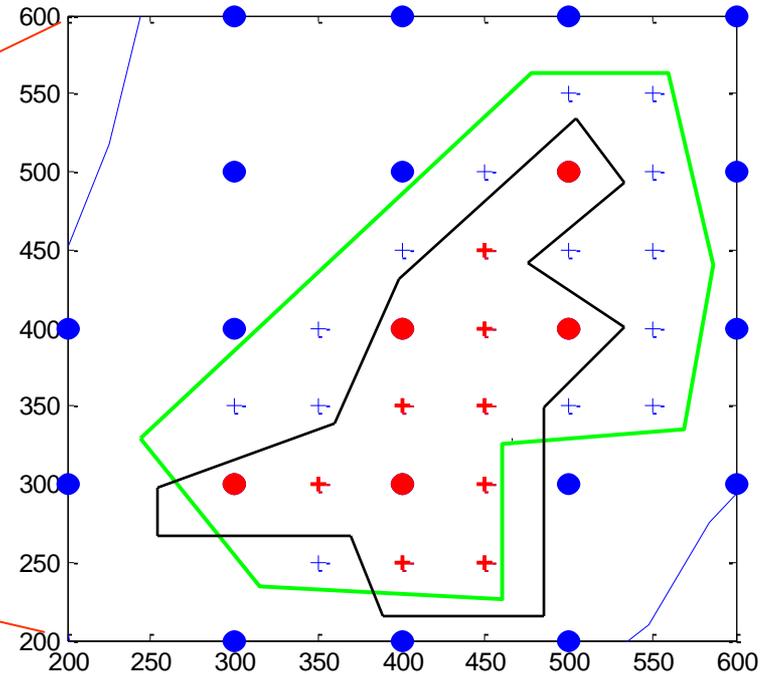
1. Campagne d'exploration (Évolution)

Procédé à des campagnes successives en fonction des résultats précédents

100 m



50 m



2. Objectifs

Les sondages d'exploration sont un outil indispensable pour :

1. la recherche des gisements;
2. une meilleure connaissance du socle rocheux en général.

L'avancement des travaux de forage ne doit pas être tourné autour d'une seule cible bien identifiée.

On estime que sur 25000 claims seulement 500 seront forés et un seul gisement sera trouvé (source : J. de la Vergne, Hard Rock Miner's Handbook, p. 2)

Quelles sont les étapes à suivre pour arriver à la détermination d'une telle cible?



3. Étapes à suivre

En réalité, les forages commencent bien avant qu'une cible soit en vue, les différentes étapes où des forages peuvent entrer en ligne de compte sont résumées.

- A. Orientation des recherches:** (premier indice) des forages ont pu avoir déjà été faits dans la région pour des minéraux, pétrole, eau... Si les carottes, logs ou coupes de sondage sont disponibles, c'est une première information pour orienter les travaux.

- B. Reconnaissance:** forages faits pour établir des coupes stratigraphiques ou des informations lithologiques. Spécialement dans des régions de gisements stratiformes.

- C. Investigation de région cible:** les informations souterraines renseignent sur la structure, la stratigraphie, le zonage et servent de points d'interprétation des données géophysiques.



3. Étapes à suivre

- D. Vérification des cibles:** le forage montre la présence ou l'absence de minéralisation. Si des indices encourageants sont révélés, la cible devient un *prospect*.
- E. Évaluation:** la minéralisation est délimitée et échantillonnée pour déterminer son tonnage, sa teneur et évaluer s'il s'agit d'un gisement.
- F. Préproduction:** Le *prospect* s'achemine vers l'étape de la mine. D'autres forages délimitent mieux le gisement. On procède au calcul des réserves, aux investigations géotechniques et métallurgiques et on planifie le cheminement du développement éventuel de la mine.
- G. Mine:** les forages se poursuivent pour délimiter des blocs supplémentaires (sous la direction de l'ingénieur minier et du géologue) et pour obtenir les informations pour planifier l'implantation de la mine.
- H. Production ou cul-de-sac:** Si les réserves délimitées sont insuffisantes pour les conditions du marché, on aboutit à un cul-de-sac.



3. Étapes à suivre

Fait cocasse

Les premières informations peuvent être de vieux *logging* (description des forages et des carottes) dans la région ou des carottes d'une autre compagnie qui sont réexaminées en fonction d'un nouveau modèle.

À noter que le réexamen de carottes de forage a conduit à la découverte **d'un des plus importants gisements de cuivre** en Amérique du Nord (Kalamazoo en Arizona).

Les carottes de quatre forages passaient de la zone d'altération à propylite à la zone à quartz et séricite et un cinquième montrait une faible minéralisation en cuivre. **Les forages avaient été arrêtés au seuil du gisement.**



4. Forages au diamant

Les plus courantes en exploration dans le monde.

Très utilisées au Québec.

Présente dans toutes les étapes d'un projet.

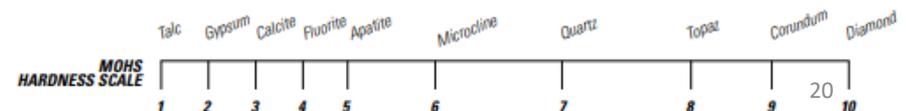


Avantages :

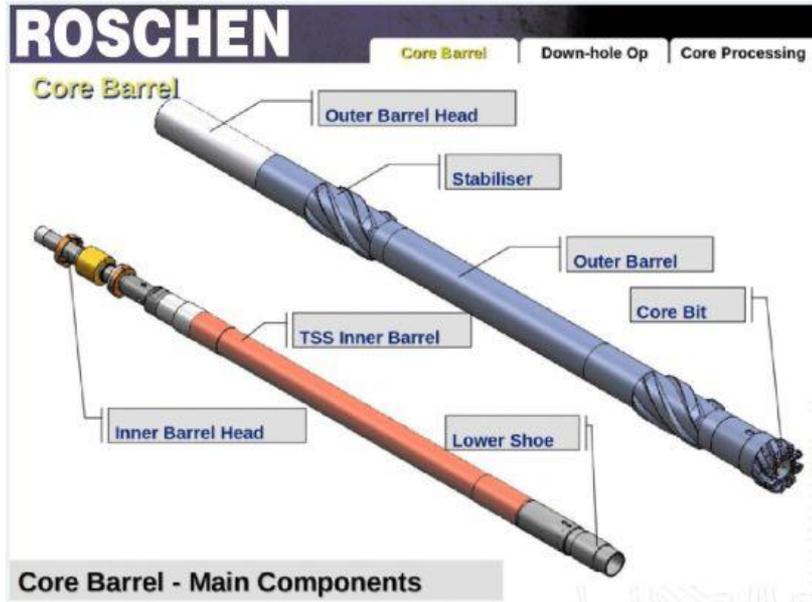
- Flexibles, précis.
- Non destructives (produit facile à décrire)

Inconvénients :

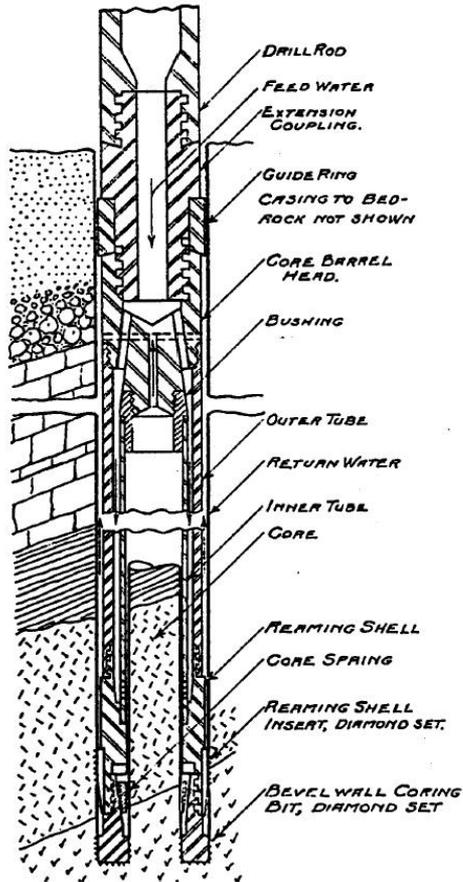
- Échantillons généralement petits (2-8Kg)
- Coûteuses (80-200\$/m), besoin d'eau.



4. Forages au diamant



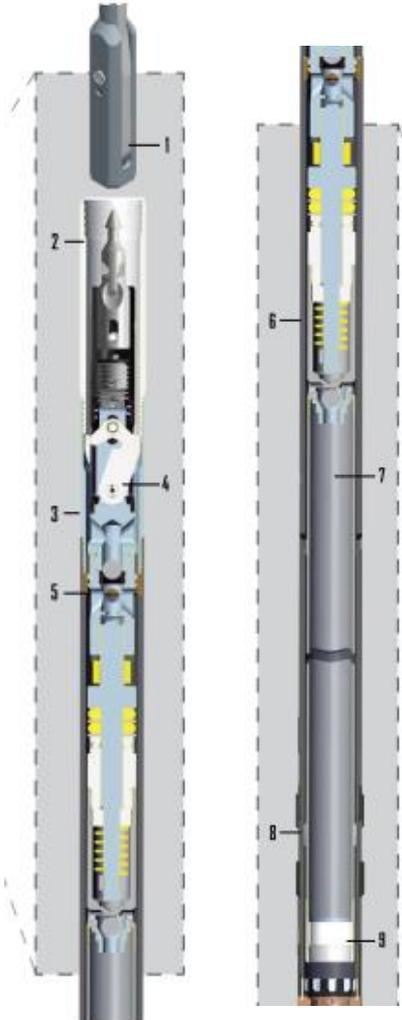
4. Forages au diamant



No	Diamètre du trou (mm)	Diamètre des carottes (mm)
AQ	48	27
BQ	60	36
NQ	76	48
HQ	96	63
PQ	123	84



4. Forages au diamant



- 1- Outil de repêchage (*overshot*)
- 2- Adaptateur tige-tube externe
- 3- Adaptateur
- 4- Mécanisme de la tête (*head assembly*)
- 5- Collier d'atterrissage
- 6- Tube externe
- 7- Tube interne
- 8- Stabilisateurs (*reaming shell*)
- 9- Extracteur (*core lifter*)



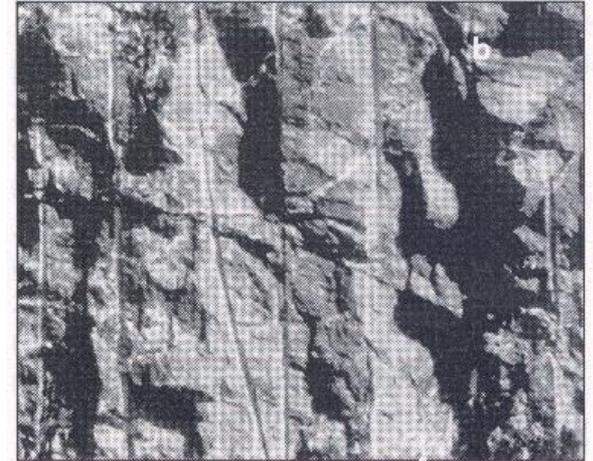
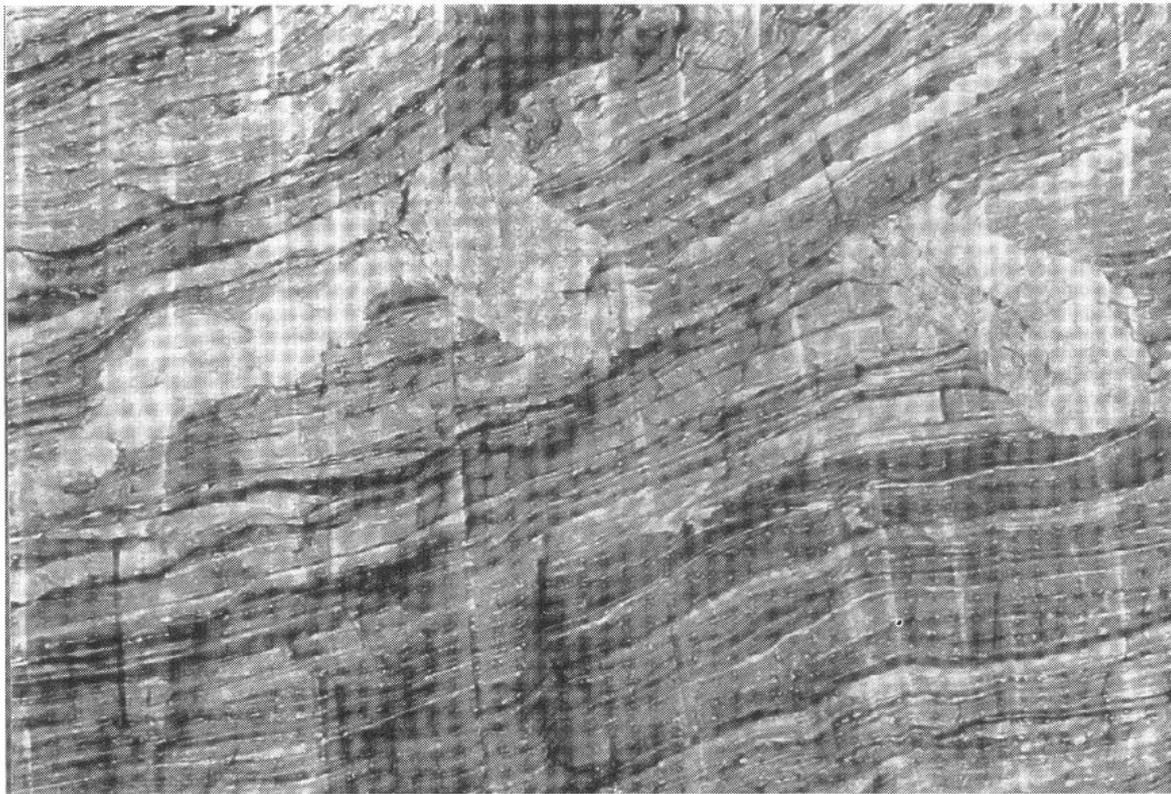
4. Forages au diamant

Valeurs typiques

Quantité d'eau	20 l/min
Pression d'eau	300 à 900 lb/po ² selon la profondeur
Vitesse de rotation des tiges	1000-1400 t/min
Sens de rotation (vue d'en haut)	horaire
Pression exercée sur la couronne	100-200lbs/po ² (idéalement 125) (700 à 1400 kPa)
Calibre des échantillons	BQ (36.5mm) et NQ (48 mm)
Type de couronne	À diamants imprégnés
Taux de récupération	100%
Type de foreuse	À câble, moteur diesel, hydraulique, sur traîneau, déplacement par chenillard
Taux d'avancement	80m/j (BQ, 0-400m)
Coût	~170\$/m en 2018



5. Déviations du trou de forage



5. Déviations du trou de forage

Pourquoi dévient-ils?

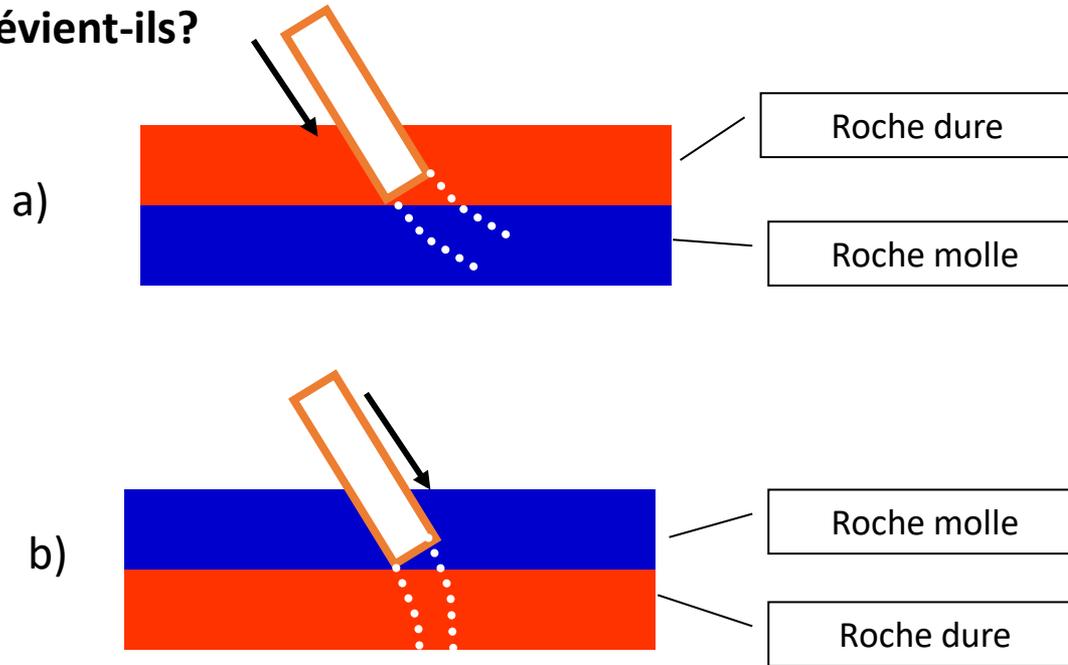
- Paramètres de forages
 - Diamètre, longueur, inclinaison du trou
- L'équipement utilisé
 - Condition des tiges, de la couronne, des raccords...
- Paramètres fixés par les opérateurs
 - Poussée exercée, vitesse de rotation, pression d'eau...
- Caractéristiques de la roche
 - Joints (présence, ouverture, condition),
 - Variations de résistance, résistances anisotropes
 - Épaisseur et résistance des lits
- Opérateurs de la foreuse
 - Expérience, formation

Note: comme la rotation des tiges est dans le sens horaire, les déviations en direction se font plus souvent vers la droite.



5. Déviations du trou de forage

Pourquoi dévient-ils?



La déviation est plus importante en b) qu'en a) où la roche dure empêche le train de tige de trop dévier → alternance de lits → forages s'orientent perpendiculairement.

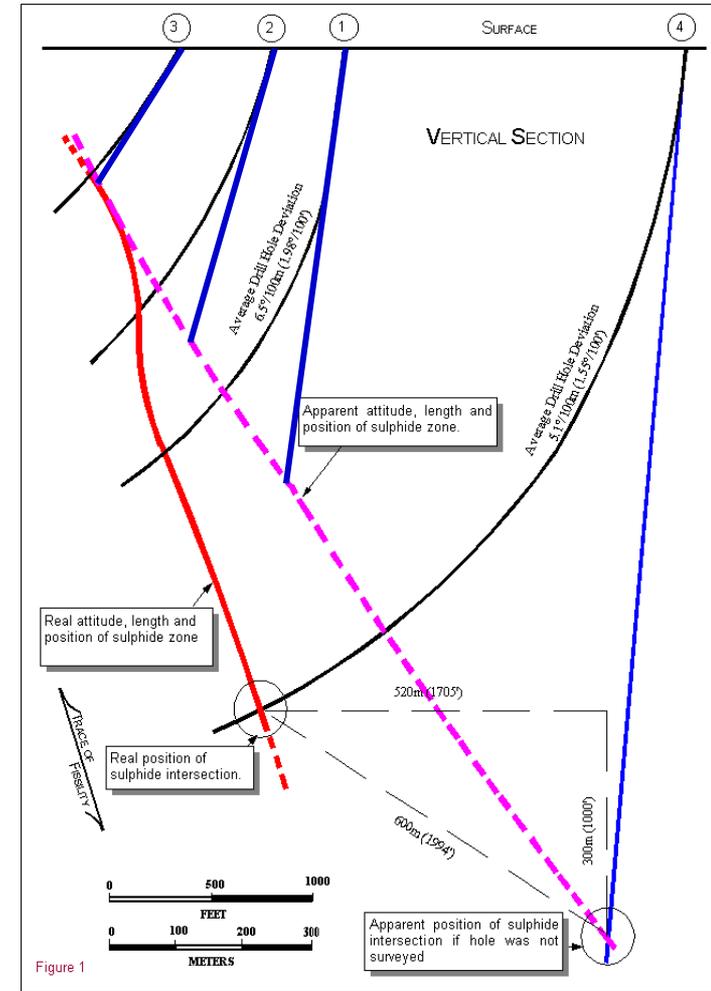
5. Déviations du trou de forage

Impact des déviations

La veine n'est pas où l'on croit

La veine est plus petite que prévu

Exemple fameux: Mine Louvicourt, les forages ont dévié et l'arpentage a été mal fait → **forte surestimation** des réserves (40 Mt au lieu de 15 Mt; 25 ans prévu au lieu de 10 ans).



6. Rôle du géologue

Voici une liste exhaustive, mais non complète, du rôle du géologue. Nous allons nous attarder sur les points les plus importants pour l'estimation des ressources.

- Obtenir les permis nécessaires (ou s'assurer que le contractant assume cette responsabilité)
 - Intervention en milieu forestier;
 - Coupe de bois;
 - Pose de ponceaux;
 - Campements temporaires;

- Préparer les cartes de localisation comprenant :
 - Sondages;
 - Points d'eau;
 - Chemins d'accès;
 - Ponceaux à faire;
 - Campement;
 - Aire d'entreposage;

- Concevoir le plan d'exécution de façon à minimiser les impacts sur l'environnement



6. Rôle du géologue

Voici une liste exhaustive, mais non complète, du rôle du géologue. Nous allons nous attarder sur les points les plus importants pour l'estimation des ressources.

- Fournir les informations suivantes :
 - Profondeur de chaque sondage;
 - Épaisseur de dépôts meubles à chaque site;
 - Fréquence et type de tests d'orientation;
 - Balisage des nouveaux chemins à faire;
 - Utilisation (ou non) de matériel de stabilisation des forages (manchon aléueur, tubes carottiers spéciaux, etc.);
 - Consignes sur le retrait ou non des tubages;
 - Établissement de l'horaire de travail;
 - Lieu de livraison des boîtes de carottes;
 - Contrôle ou non de la vitesse de pénétration (déviations);
 - Probabilité de cointage;
 - Probabilité de cimentation;
 - Probabilité de télescopage (ex. passer de NQ à BQ);
 - Coordonnées des intervenants (téléphone à la foreuse, au motel, au bureau, au domicile...).

6. Rôle du géologue

Voici une liste exhaustive, mais non complète, du rôle du géologue. Nous allons nous attarder sur les points les plus importants pour l'estimation des ressources.

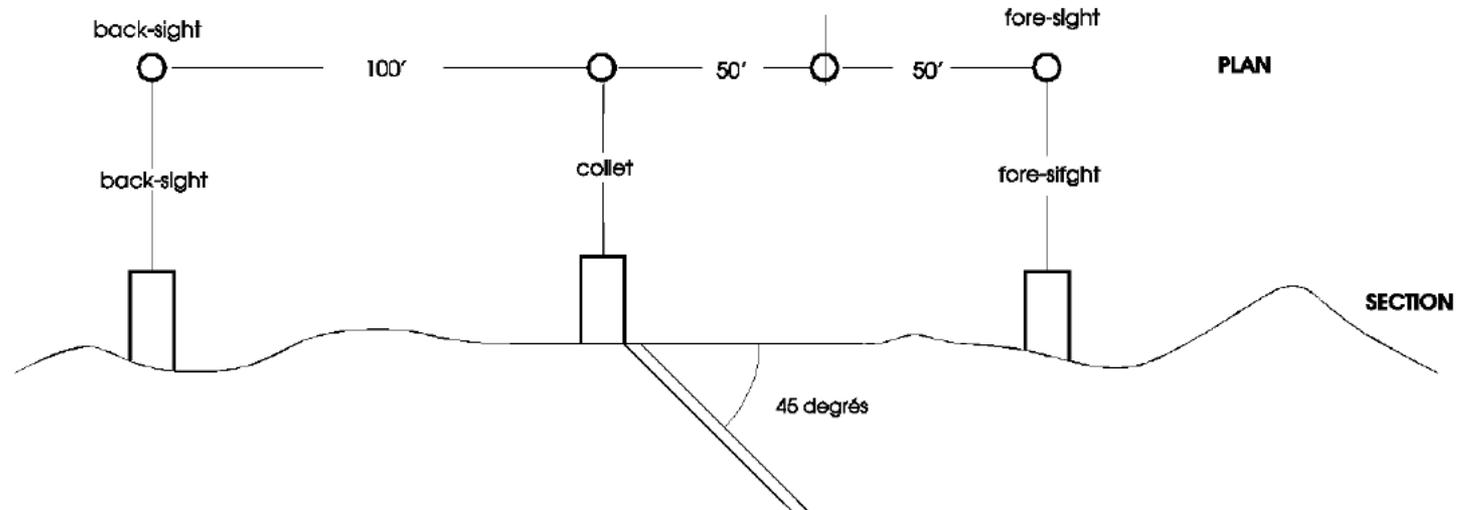
- Lors de l'exécution des sondages :
 - **Orienter le départ du trou;**
 - Assurer une visite quotidienne au site de forage;
 - Prendre la décision d'arrêter ou de continuer un trou;
 - **Relever l'orientation exacte du trou** afin de faire les sections géologiques le plus précisément possible;
 - **Faire la description et l'étude des carottes (*logging*);**
 - **Couper les carottes et préparer des échantillons pour analyse.**



6. Rôle du géologue

Détermination de l'orientation du trou

Si le trou est incliné, il faut indiquer l'axe de forage à l'aide de deux ou trois piquets et déterminer la position du collet et l'angle de forage pour atteindre la cible visée.



6. Rôle du géologue

Récupération de la carotte

La carotte est l'**image fidèle** du terrain traversé, l'échantillon est donc **très précieux** et doit être traité avec beaucoup de soin. Il est donc recommandé de :

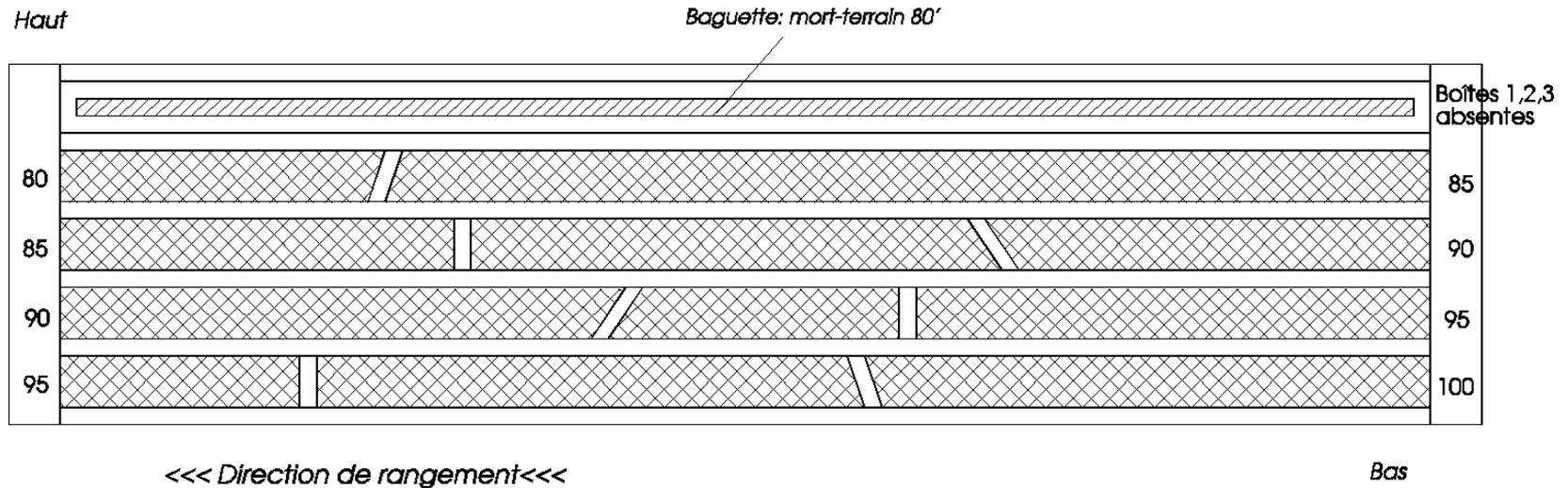


- a) Embaucher des **foreurs expérimentés**.
- b) Si les **trous** doivent être **longs**, ou la **roche** de **mauvaise qualité**, choisir un **fort diamètre** pour avoir la possibilité de diminuer en cours de forage. (Plus le diamètre est gros, meilleure est la récupération).
- c) Le foreur doit surveiller la pression exercée sur la foreuse, la vitesse de rotation, le débit et la nature du fluide.
- d) À **l'approche du minéral**, il faut **diminuer la longueur des passes** pour éviter la perte de carottes par usure (fragments coincés).
- e) En cas de **perte de carotte**, demander au foreur de **recueillir les boues du passage** dans le minéral.
- f) Dans les **terrains difficiles** (friables), **utiliser une boue légère** à la place de l'eau (eau + argile, bentonite, huile) qui assure la remontée des débris plus gros et dépose un film protecteur qui consolide les parois.

6. Rôle du géologue

Rangement des carottes

Positionner les carottes à leur vraie position dans la boîte



6. Rôle du géologue

Description (*Logging*) de la carotte

- Nom de la roche
- Couleur, texture
- Altérations visibles
- Minéralisation et minéraux indicateurs
- Joints, schistosité, ...
- Taux de récupération
taux= long récupérée / long forée
- RQD (rock quality designation)
 - Somme longueurs >10cm / longueur forée
 - Mesure dépend de l'orientation du forage
- Autres observations...

Plusieurs logiciels facilitent la saisie de ces données:

Ex : **Acquire**, **Datashed**, Prolog, WellCad (Rockware), Rockworks+Logplot (Rockware), Geoticlog, Easycore, Geospark Core, Geologix, Drillhole ms, Straterra, Geobase, Geosoft,...



6. Rôle du géologue

Évaluation du taux de récupération

Le taux de récupération est :

$$Taux = \frac{\textit{carotte recouvrée}}{\textit{longueur totale forée}}$$

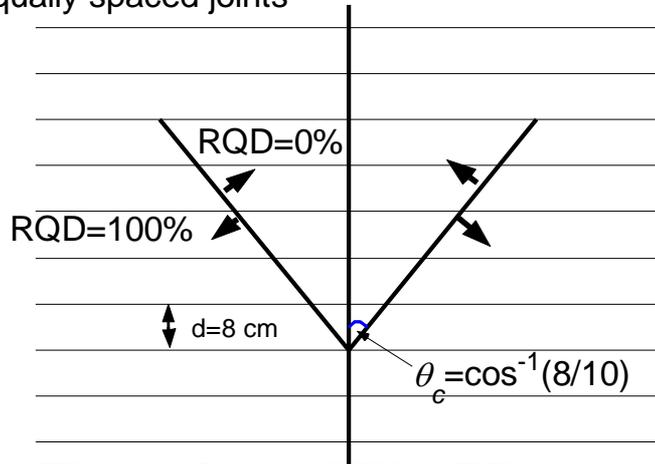
On vise **toujours** un taux de récupération de 100%.



6. Rôle du géologue

RQD : *Rock quality designation*

Equally spaced joints



Le RQD est défini comme le quotient suivant :

$$RQD = (\sum L_{10}) / L_{tot} * 100\%$$

Où $\sum L_{10}$ est la somme des longueurs de morceaux dont la longueur est supérieure à 10cm et L_{tot} est la longueur totale de la carotte.



RQD = 0 % IRMR = 8 (CLASS 5b)



RQD = 0 % IRMR = 34 (CLASS 4a)



RQD = 100 % IRMR = 63 (CLASS 2b)



RQD = 100 % IRMR = 92 (CLASS 1a)

6. Rôle du géologue

Relevé de la direction et de l'inclinaison des trous

Méthodes discrètes

- Clinomètre à acide fluorhydrique
- Tropari (maintenant Pajari)
- Tropari monté sur un tube spécial muni d'une caméra
- Systèmes Sperry-Sun ou Eastmain (caméra photographiant boussole et clinomètre)

Méthodes de mesure de déviation en quasi-continu

- Méthode optique (Reflex Maxibor)
- Sondes magnétiques
- Les systèmes gyroscopiques

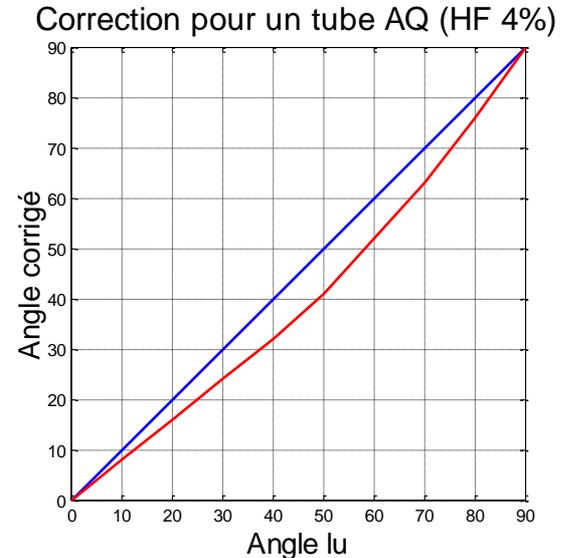
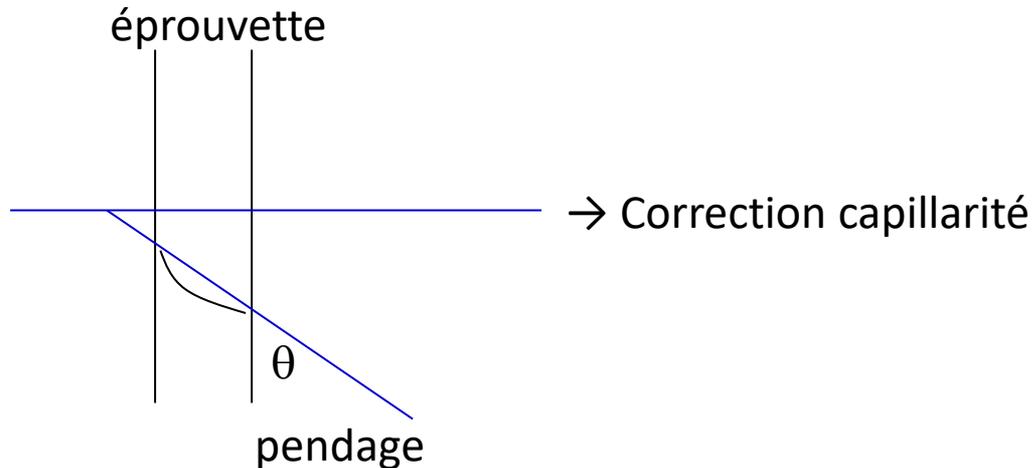


6. Rôle du géologue

Relevé de la direction et de l'inclinaison des trous : discrètes

Clinomètre à acide fluorhydrique (très très dangereux!)

- Descendre un tube en verre contenant de l'acide dans le trou;
- On laisse 30 minutes au repos pour marquer l'éprouvette;
- Le verre est attaqué selon l'angle du forage;
- On remonte. Cela donne le pendage seulement.



6. Rôle du géologue

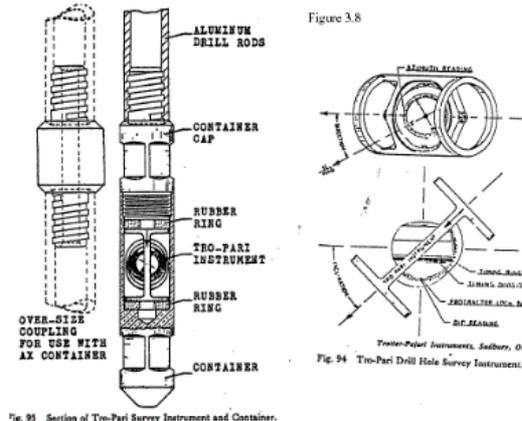
Relevé de la direction et de l'inclinaison des trous : discrètes

Tropari (ou Pajari)

- Boussole lestée pour demeurer horizontale;
- Montée sur un boîtier hermétique non magnétique;
- Train de tige remonté pour dégager le tube;
- Mécanisme de blocage de la boussole après « x » minutes;
- Permet des mesures discrètes (ex. à tous les 50 m);
- Inutilisable en terrain magnétique.



<http://www.pajari.com/>



6. Rôle du géologue

Relevé de la direction et de l'inclinaison des trous : quasi continues

Méthode optique

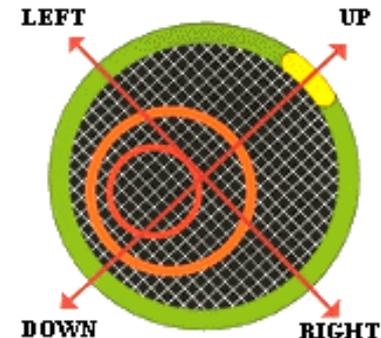
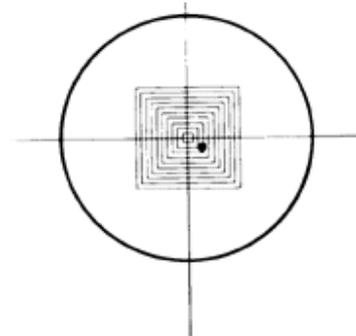
- Deux ou trois anneaux réfléchissants espacés de 1m, dont un est muni d'une bulle indiquant le haut du forage;
- À partir de la tête du forage, le décentrage relatif des disques indique une déviation du trou. Les déviations sont cumulées à partir de la tête du forage;
- Mesure en continu;
- Insensible au magnétisme;
- Fait par des équipes spécialisées;
- Coûteux;
- Les erreurs se cumulent.

Le départ est critique;

1 degré sur 1000 m = 17.5 m.

“LIGHT-LOG” Instrument

(U.S. Patent 4047306, 4142193 others pending)

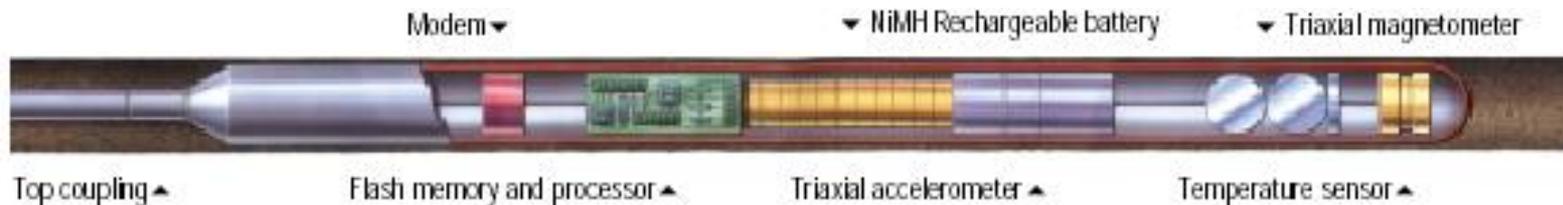


6. Rôle du géologue

Relevé de la direction et de l'inclinaison des trous : quasi continues

Sondes magnétiques avec accéléromètre

- Mesure les trois composantes du champ magnétique;
- Permet de détecter la présence de magnétisme dans la zone;
- Permet de déterminer les zones où les mesures ne sont pas fiables;
- Donne la direction;
- Donne le pendage grâce à l'accéléromètre triaxial.



<http://www.reflex.se/files/Ems%20brochure.pdf>

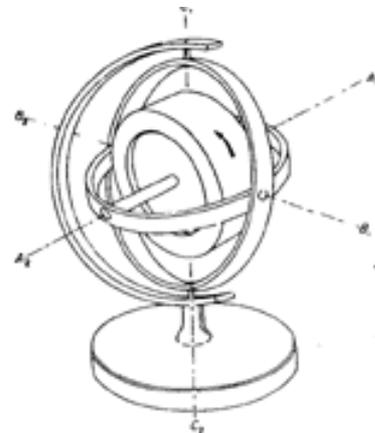
Ex. flexit HTMS: BQ

6. Rôle du géologue

Relevé de la direction et de l'inclinaison des trous : quasi continues

Gyroscope

- Une masse en rotation garde toujours la même orientation;
- Gyroscopes électro-mécaniques (MEMS);
- Mesures relatives ou absolues (north seeking) en continu.



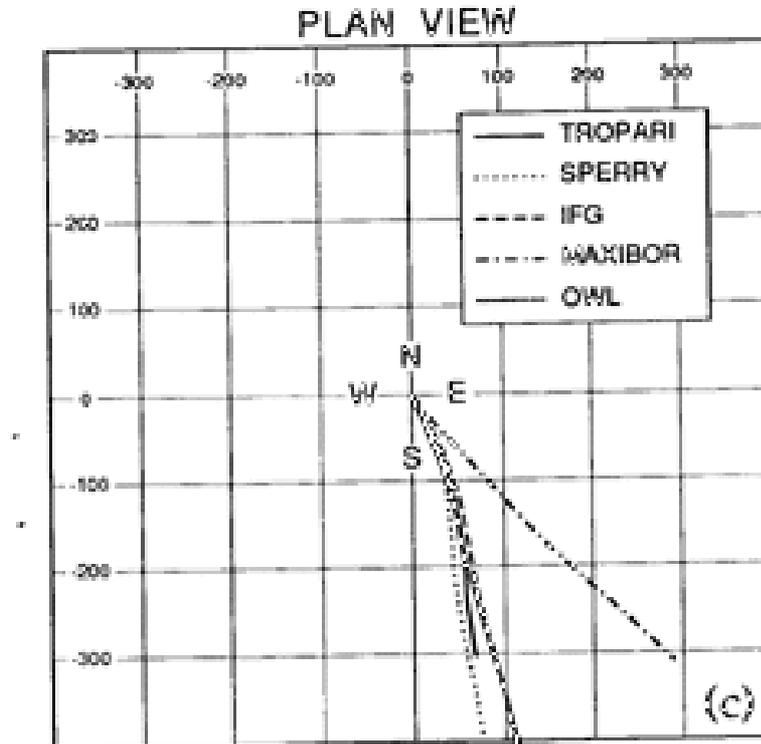
**GyroTracer Directional™ 42mm directional
(Stockholm precision tools)**



ISGYRO, absolues ou relatives

6. Rôle du géologue

Relevé de la direction et de l'inclinaison des trous : exemple



6. Rôle du géologue

Relevé de la direction et de l'inclinaison des trous : exemple



Écart entre les méthodes d'arpentage : 40 m à 214 m (trou de 900m)

<http://www.mgls.org/95Sym/Papers/Killeen/>

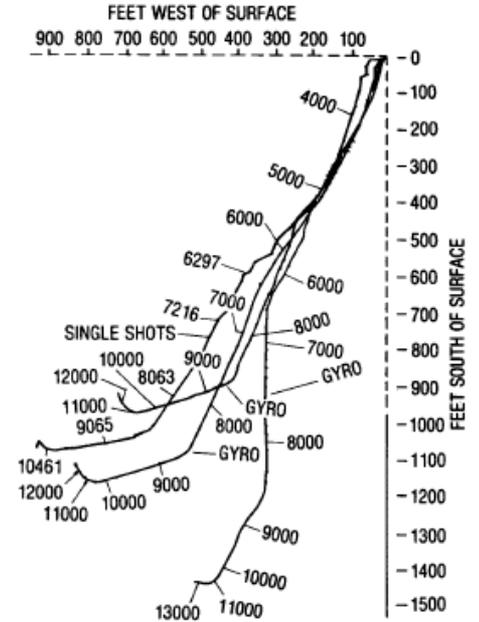


Fig. 8.79—Plan view of wellbore based on four different surveys.

Une méthode magnétique et 3 gyroscopes

Applied drilling engineering (~1990)

6. Rôle du géologue

Relevé de la direction et de l'inclinaison des trous : exemple

Un article plus récent arrive aux mêmes conclusions (Sindle et al. 2006)

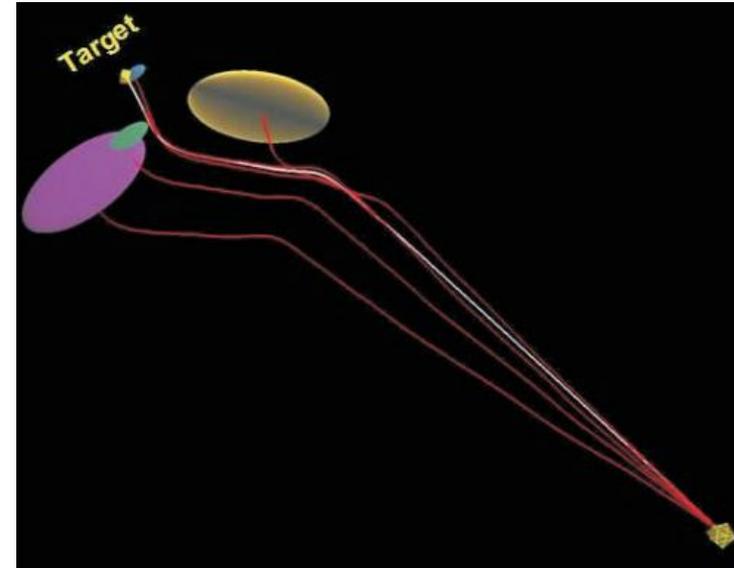
Tuyau PVC de 370 m de long déposé sur le sol.



Écart de 2.3 à 48 m pour les 3 sondes magnétiques;

63 et 72 m pour les méthodes optiques;

1 m pour la méthode gyroscopique.



Calibration

-Température

-Anomalies magnétiques

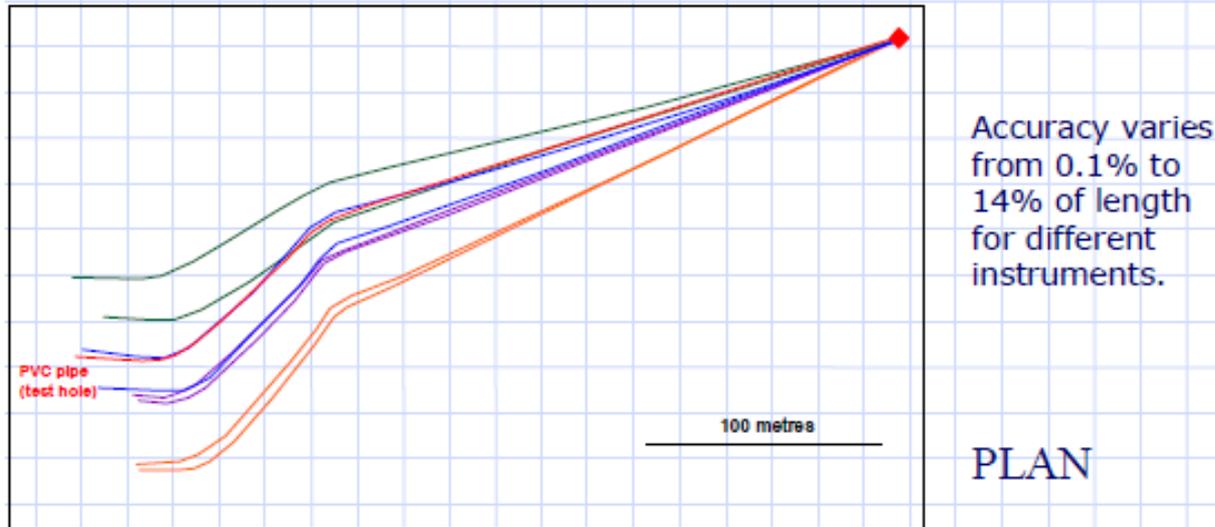
-Dérive du pôle magnétique

6. Rôle du géologue

Relevé de la direction et de l'inclinaison des trous : exemple

Voorspoed test (2005) – approx 370m

Scatter of surveyed paths in plan around the Voorspoed test pipe. Largest scatter distance is approximately 75m. Colours show in and out runs of same instrument. Most show good precision (repeatability) without accuracy. Redrawn from Wolmarans (2005)

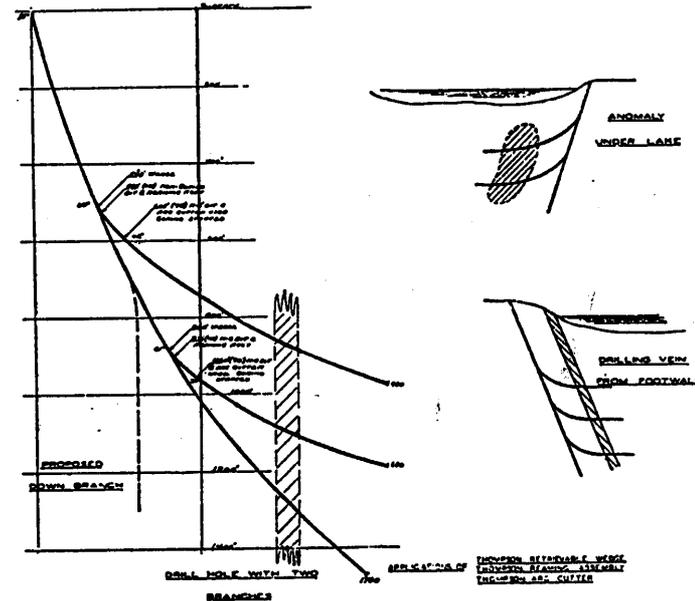
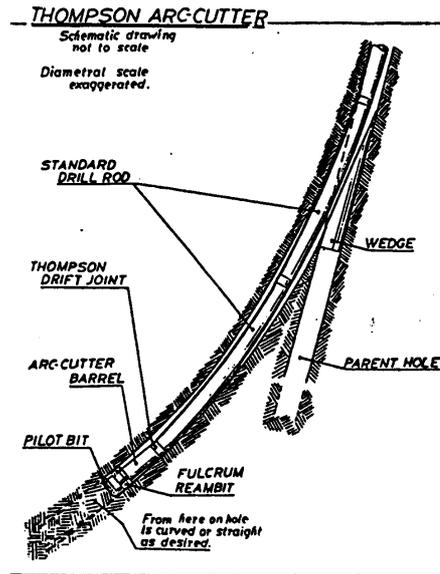


Gyroscope, sondes électromagnétiques et optique (orange). Les courbes doublées indiquent une mesure en entrant et en sortant → bonne précision (reproductibilité) mais justesse très variable.

6. Rôle du géologue

Imposer une déviation volontaire

- Pose de coins dans un trou permet d'obtenir plusieurs intersections avec la minéralisation à moindre coût



Video ?

<https://www.youtube.com/watch?v=8PyEJn7V1h4>

6. Rôle du géologue

Orientation des carottes

Connaître la vraie orientation de la carotte et des joints dans l'espace

Nécessaire pour des études structurales

Ex. Mine Gaspé:

Classer chaque joint dans une famille donnée pour connaître la distribution spatiale des familles

→ Prédire la distribution de la taille des blocs découpés naturellement par les joints (foudroyage)

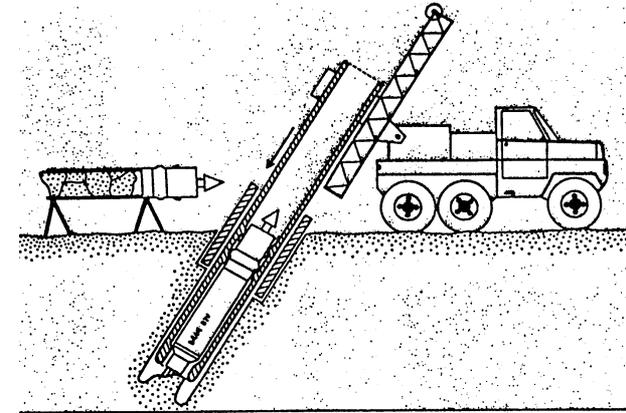
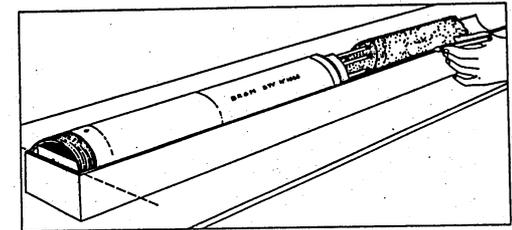
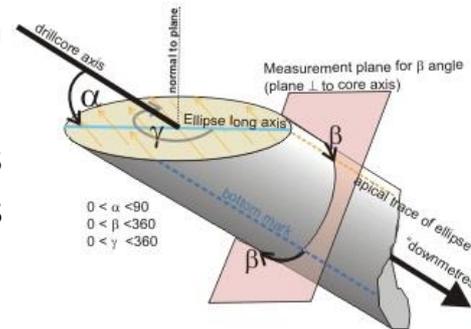


Fig. 1. — Prise d'empreinte du fond de trou par l'orienteur BTV 20-160.

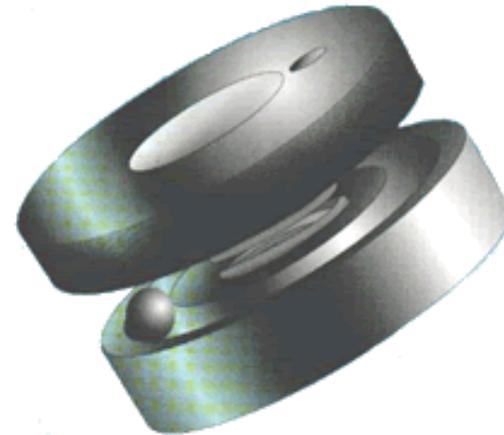
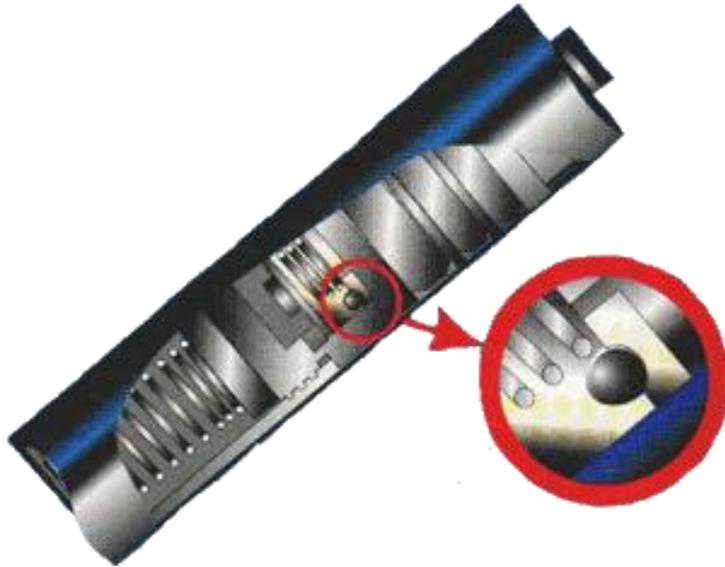


6. Rôle du géologue

Orientation des carottes

Système Ballmark :

- Trous NQ et HQ
- Bille marque le disque au moment où l'on casse la carotte



Utilisateurs: Inco, BHP, Falconbridge, ...



6. Rôle du géologue

Orientation des carottes

Système Ezy Mark :



6. Rôle du géologue

Orientation des carottes

Systeme Ezy Mark électronique :



6. Rôle du géologue

Orientation des carottes

Problème majeur de ces méthodes d'orientation des carottes:

- Historiquement faible précision des mesures et coûts élevés
- Récemment, grande amélioration de précision et coût réduits (+/- 10\$/m)
- Forte possibilité que la carotte tourne dans le carottier et que les fragments tournent les uns par rapport aux autres : travail manuel de réalignement...

Tendance actuelle est de recourir aux:

- Géocaméras (pour les trous secs ou avec une eau Claire)
- Sonde téléacoustique pour les forages humides (donc tous les DDH)

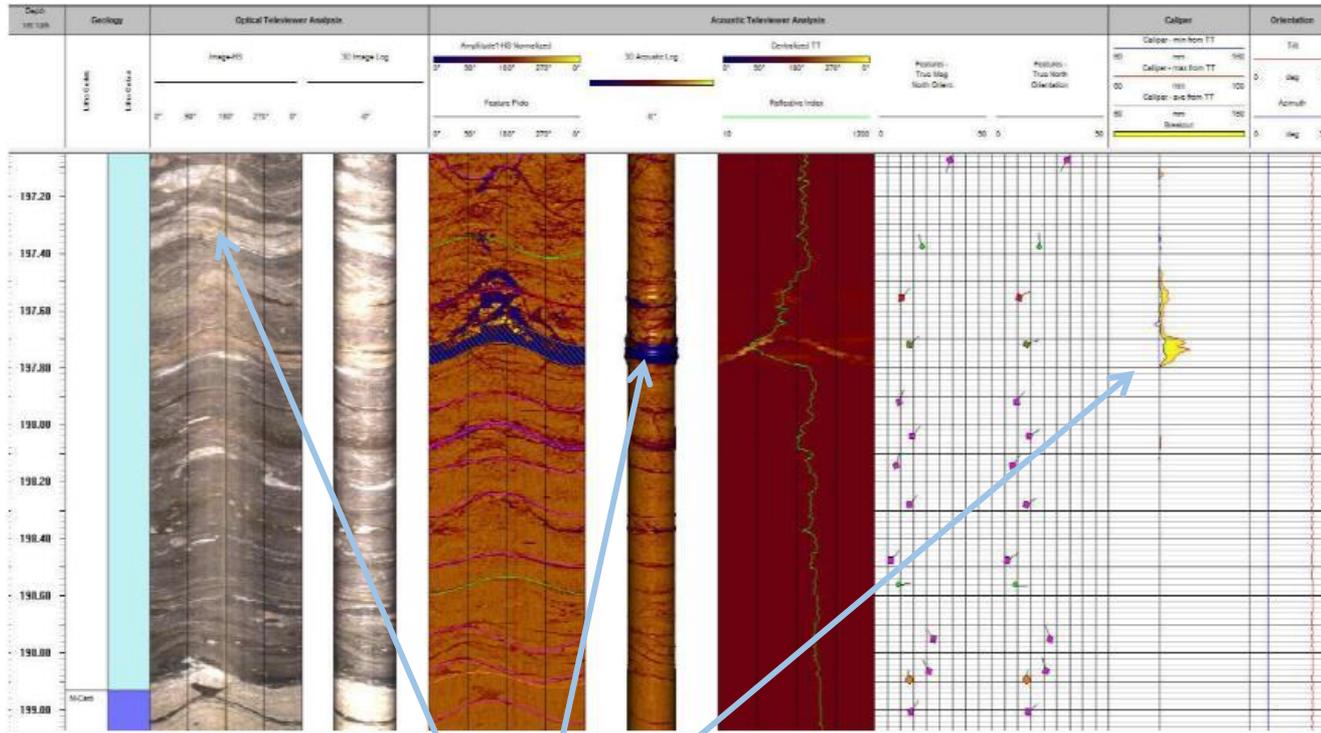
Principe : relever la trace des joints sur le mur du forage en identifiant la position du Nord sur le mur (avec un magnétomètre jumelé).

Peuvent relever la majorité des joints importants sur le mur du forage en une seule passe effectuée à la fin du forage, donc plus économique que les méthodes d'orientation des carottes.



6. Rôle du géologue

Orientation des carottes : Levées optique, acoustique et géophysique

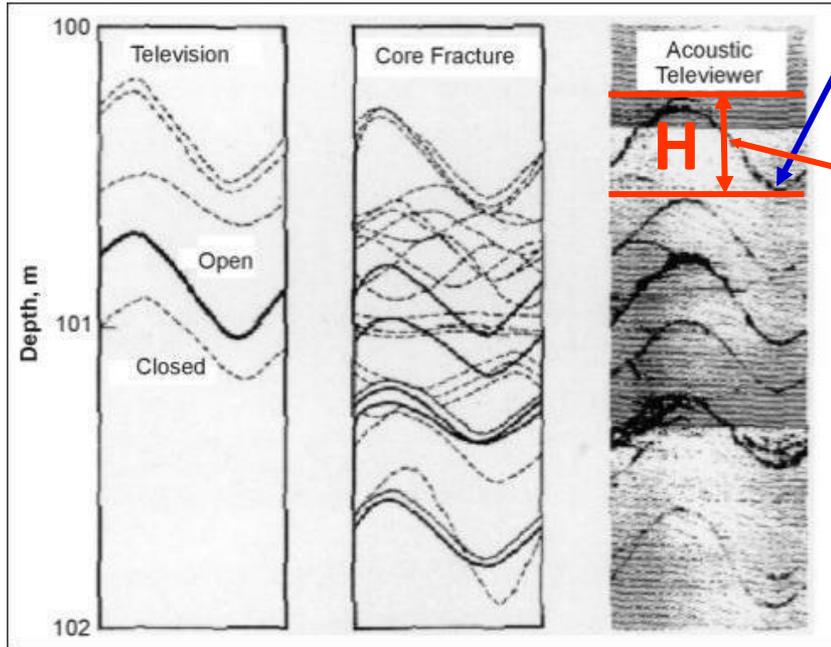


Orientation 3D des caractéristiques structurales et potentielle minéralisation

6. Rôle du géologue

Orientation des carottes : Levées optique, acoustique et géophysique

Pour un forage vertical



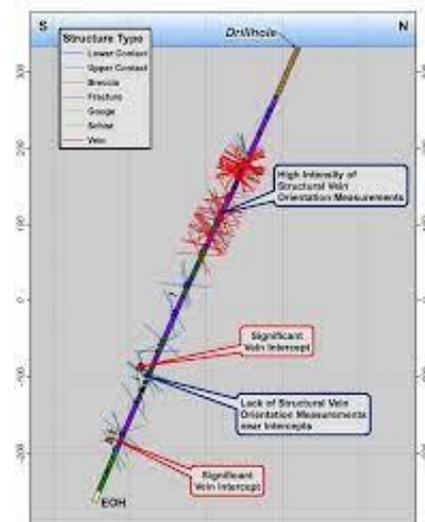
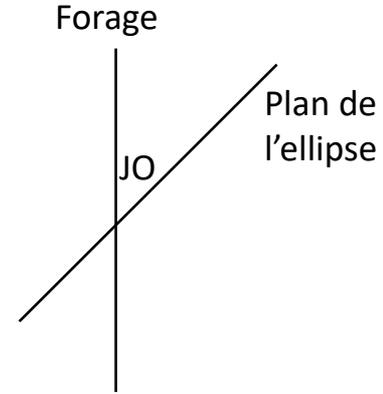
La position du point bas donne la direction du vecteur pendage

Le pendage du plan est obtenu par pendage = $\tan^{-1}\left(\frac{H}{D}\right)$

avec H: différence de hauteur entre point haut et point bas

D: diamètre du trou

$$JO = 90 - \tan^{-1}\left(\frac{H}{D}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{D}{H}\right)$$



6. Rôle du géologue

Orientation des carottes : Levées optique, acoustique et géophysique

Lorsque l'on connaît le plan et le forage :

Autre formule utile pour calculer JO :

$$\sin(JO) = \cos(a) [\sin(b) - \cos(b) \cos(c) \tan(a)]$$

où

a est le pendage du plan

b est la plongée du forage

c est la différence d'azimuts entre le vecteur pendage du plan et le forage

Ex. 1) Vecteur pendage (90,15) forage (0,90) → a=15, b=90, c=90

$$\sin(JO) = \cos(15) [\sin(90) - \cos(90) \cos(90) \tan(15)] = 0.966$$

$$\rightarrow JO = 75^\circ$$

Ex. 2) Vecteur pendage (30,40) forage (80,65) → a=40, b=65, c=50

$$\sin(JO) = \cos(40) [\sin(65) - \cos(65) \cos(50) \tan(40)] = 0.52$$

$$\rightarrow JO = 31.3^\circ$$



6. Rôle du géologue

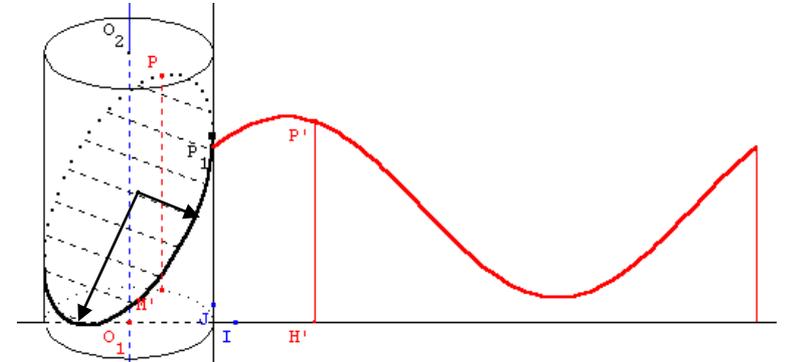
Orientation des carottes : Levées optique, acoustique et géophysique

Pour des forages non verticaux

Le point bas correspond à l'axe majeur de l'ellipse formée par l'intersection du forage avec le plan.

Étapes:

- i. Ayant JO et la direction du grand axe de l'ellipse, **trouver l'inclinaison** du grand axe sur une projection polaire.
- ii. Axe du forage et grand axe de l'ellipse → **petit axe de l'ellipse** (stéréonet)
- iii. Petit axe de l'ellipse et grand axe de l'ellipse → **vecteur pendage** (stéréonet)

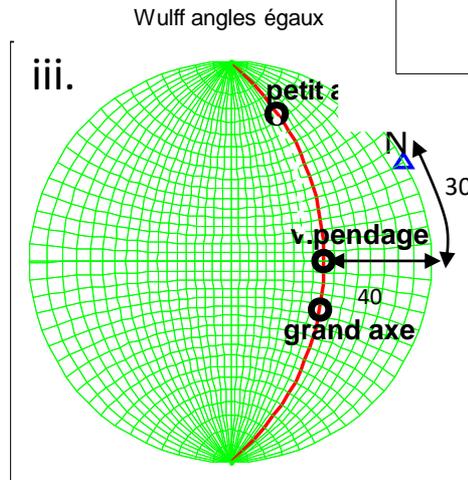
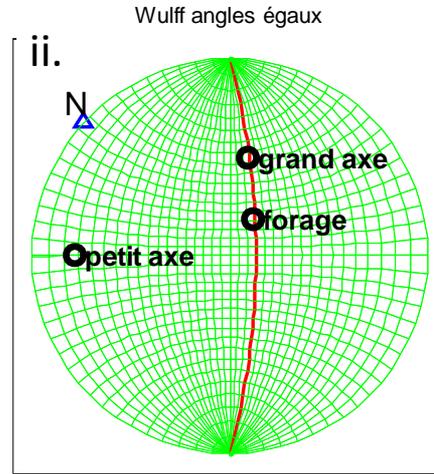
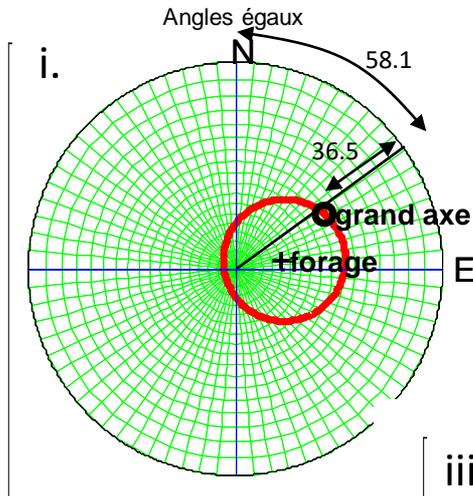


Modifié d'après: <http://www.irem.univ-mrs.fr/>

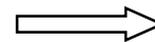


6. Rôle du géologue

Orientation des carottes : Levées optique, acoustique et géophysique



- i. Un forage orienté 80-65 montre un JO de 31.3°. La direction du point bas (grand axe) est 58.1° ce qui donne un grand axe orienté de (58.1,36.5)
- ii. On reporte le grand axe et le forage sur le stéréonet. Le petit axe est orthogonal
- iii. On reporte le grand axe et le petit axe sur le stéréonet, le vecteur pendage est à l'équateur, le pôle au plan est orthogonal à ce plan.



Vecteur pendage: 30-40

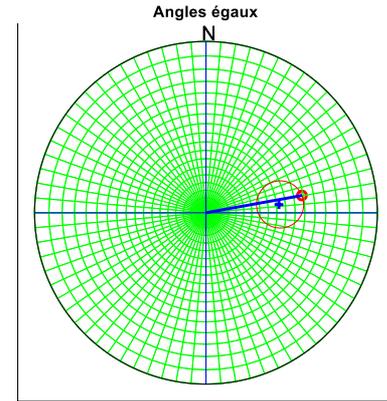
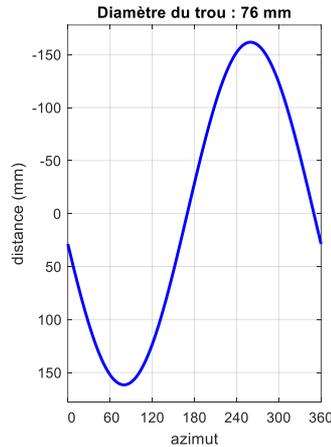
Plan az: 300, pendage 40



6. Rôle du géologue

Orientation des carottes : Levées optique, acoustique et géophysique

Lorsque le cercle JO n'inclut pas l'origine:



On suit l'azimut du relevé téléacoustique jusqu'à la 2e intersection du cercle défini par le JO. Ceci identifie le grand axe de l'ellipse. Le pôle du plan est calculé à la position du triangle noir.

Cette situation survient avec un forage incliné et un plan présentant un faible JO. Ces cas se produisent rarement en pratique, car on peut difficilement identifier une sinusoïdale correspondant à un faible JO. La sonde est surtout utilisée dans des trous subverticaux et identifie les joints avec grand JO.

6. Rôle du géologue

Orientation des carottes : Levées optique, acoustique et géophysique

Autre utilisation du JO:

Un horizon marqueur (plan) reconnu dans deux forages non parallèles

Le pôle au plan est orthogonal au grand axe de l'ellipse.

Le forage, le grand axe et le pôle sont dans un même plan, ce plan est orthogonal au petit axe de l'ellipse;

→ le pôle forme un angle de $90-JO$ avec l'axe du forage.

- Sur une projection polaire, on trace le cône de $90-JO_1$ autour du forage 1 et de $90-JO_2$ autour du 2^e forage → 2 intersections.

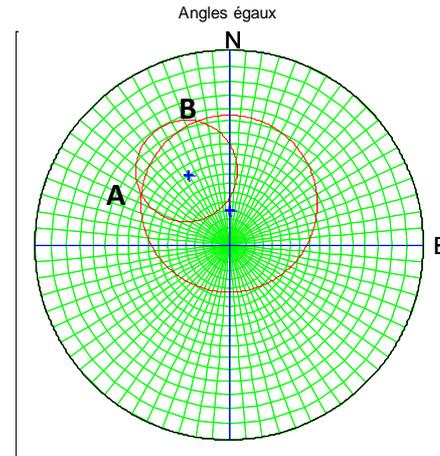
Exemple:

$f_1 \rightarrow (0, 70)$ et $f_2 \rightarrow (330, 45)$

$JO_1=42.8^\circ$ et $JO_2=65.1^\circ$

Le pôle de l'horizon marqueur est $A=(300, 35)$ ou $B=(345.4, 23.5)$.

Avec 3 forages non parallèles → une intersection unique



6. Rôle du géologue

Exercices en équipe :

Rappel sur les plans et vecteurs et orientations des forages



7. Construction graphique

Tracer les sondages à partir des mesures de déviation.

1. Supposer l'attitude du sondage constante entre deux mesures, du point A au point B, on utilise la mesure effectuée en A (à éviter);
2. Faire la moyenne des attitudes en 2 points de mesure consécutifs et l'appliquer pour le segment défini par les 2 points de mesure;
3. Appliquer l'attitude en 1 point de mesure jusqu'à mi-chemin avec le point de mesure voisin;
4. Supposer un changement graduel (linéaire) entre les attitudes obtenues en 2 points de mesure;
5. Ajuster une sphère de rayon maximal (courbure minimale) et pour laquelle les points de mesure sont tangents.

Note : Plus le nombre de mesures augmente, plus les méthodes donnent des résultats similaires. Avec l'utilisation des mesures en quasi-continues, les différences entre les méthodes s'estompent.



7. Construction graphique

Cette méthode est la méthode du **point milieu** ou méthode **équilibrée tangentielle**

<i>Point de mesure</i>	<i>direction</i>	<i>inclinaison</i>
Collet	103°	53°
40 m	107°	58°
100 m	120°	65°
120 m	135°	72°

<i>Distance du collet (m)</i>	<i>Longueur du segment L (m)</i>	<i>Angle entre la section et la direction du sondage α</i>	<i>Inclinaison du sondage γ</i>	<i>(1) Distance verticale $b = \text{Sin}(\gamma)L$ (m)</i>	<i>(2) Dist. Horiz. $a = \text{Cos}(\gamma)L$ (m)</i>	<i>(3) Dist. horiz. projetée dans la section $c = a \text{Cos}(\alpha)$ (m)</i>	<i>(4) Dist. horiz. perpendiculaire à la section $d = a \text{Sin}(\alpha)$ (m)</i>
0-20	20	13°	53°	15.97	12.04	11.73	2.71
20-70	50	17°	58°	42.40	26.50	25.34	7.75
70-110	40	30°	65°	36.25	16.90	14.64	8.45
110- 120	10	45°	72°	9.51	3.09	2.19	2.19

7. Construction graphique

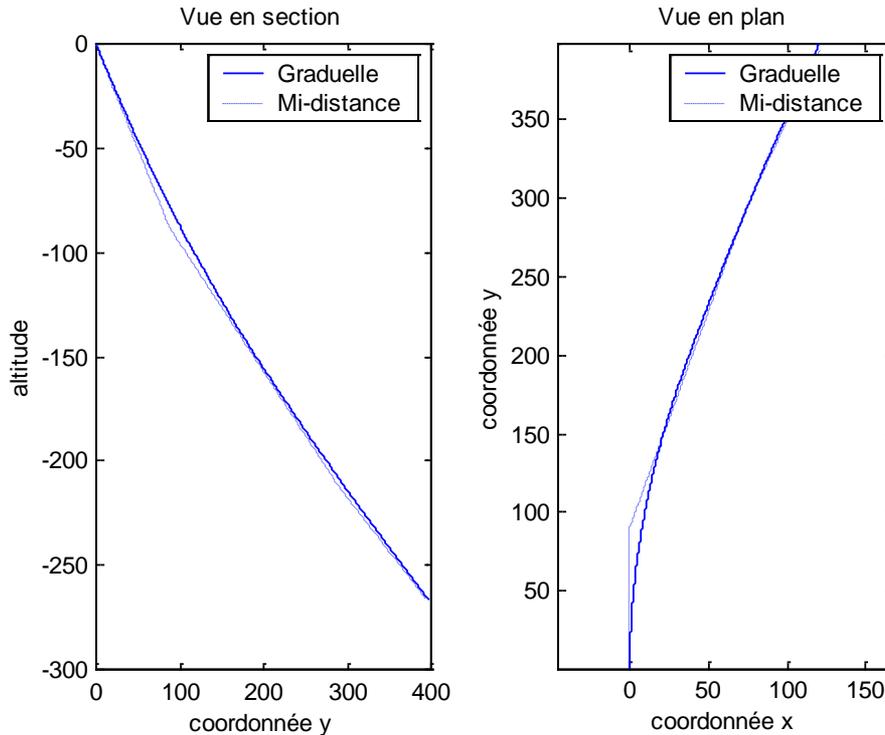


TABLE 8.4—COMPARISON OF ACCURACY OF VARIOUS CALCULATION METHODS (after Craig and Randall¹)

Direction: Due north
 Survey interval: 100 ft
 Rate of build: 3°/100 ft
 Total inclination: 60° at 2,000 ft

Calculation Method	Total Vertical Depth, Difference From Actual (ft)		North Displacement, Difference From Actual (ft)	
Tangential	1,628.61	- 25.38	998.02	+ 43.09
Balanced tangential	1,653.61	- 0.38	954.72	- 0.21
Angle-averaging	1,654.18	+ 0.19	955.04	+ 0.11
Radius of curvature	1,653.99	0.0	954.93	0.0
Minimum curvature	1,653.99	0.0	954.93	0.0
Mercury*	1,153.62	- 0.37	954.89	0.04

Toutes les méthodes de calcul donnent des résultats très semblables, les **différences sont négligeables** comparées à la précision des instruments d'arpentage des trous.

8. Régularisation des teneurs

- Pour plusieurs méthodes d'estimation, on doit avoir des teneurs rapportées à des échantillons de taille identique;
- De plus, on doit convertir les mesures d'orientation du forage en coordonnées cartésiennes (x,y,z).
- Il faut que les teneurs soient 'moyennable'. Même **support**.

Exemple numérique: teneurs observées forage 6059 de Niocan

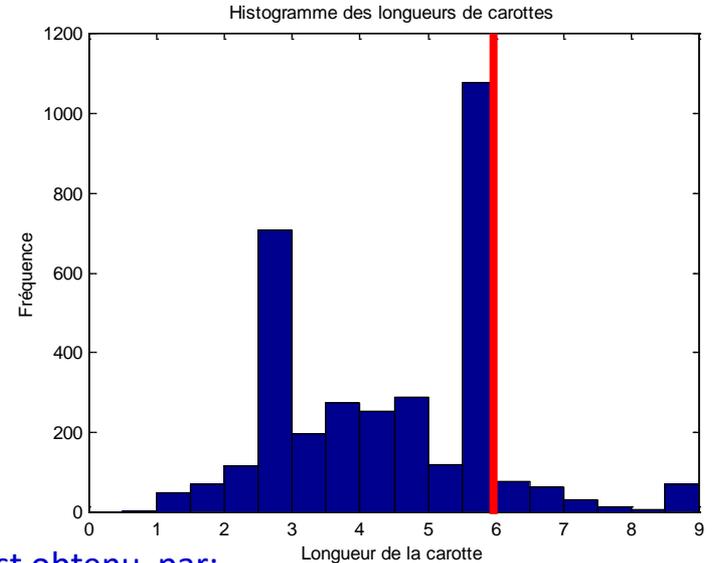
De (m)	à (m)	Nb ₂ O ₅ (%)
30.50	35.10	0.17
35.10	38.10	0.25
38.10	41.10	0.21
41.10	45.70	0.20
45.70	50.30	0.12
50.30	53.30	0.12
53.30	58.20	0.18



8. Régularisation des teneurs

Le choix de la longueur de régularisation doit être dans le sens d'**augmenter le support** et non de le réduire.

De (m)	à (m)	Nb ₂ O ₅ (%)
30.50	35.10	0.17
35.10	38.10	0.25
38.10	41.10	0.21
41.10	45.70	0.20
45.70	50.30	0.12
50.30	53.30	0.12
53.30	58.20	0.18

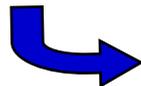


Le 1er composite est obtenu par:

$$\{(35.1-30.5)*0.17\%+(36.5-35.1)*0.25\}/6=0.19 \%$$

Le 2e composite est obtenu par:

$$\{(38.1-36.5)*0.25\%+(41.1-38.1)*0.21\%+(42.5-41.1)*0.20\}/6=0.22 \%$$



x (m)	y (m)	z (m)	Nb ₂ O ₅
170.00	-216.99	70.15	0.19
170.00	-211.79	67.15	0.22
170.00	-206.60	64.15	0.16



8. Régularisation des teneurs

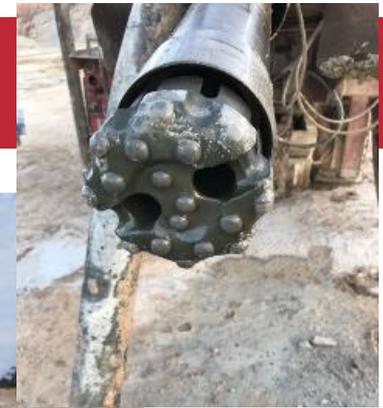
Exercices en équipe : Régularisation et choix du support



9. Autres méthodes de forages

Foreuse à Circulation Inverse (RC)

- Très utilisée en exploration dans les 'pays du sud', elle est moins commune au Canada.
- C'est aussi une foreuse très courante dans les mines à ciel ouvert, et ce partout dans le monde.



Avantages :

- Peu coûteuse (25-80\$/m)
- Rapide, précise (Collet, orientation)
- Plus grande masse d'échantillons (20Kg)

Inconvénients :

- Destructive (description difficile, perte d'information)
- Échantillonnage plus problématique

9. Autres méthodes de forages

Foreuses de production

- Les foreuses de production ont pour but de faire le 'trou de tir' dans lequel les explosifs seront par la suite introduits.
- Il s'agit de forages de plus grand diamètre, généralement difficile à échantillonner.



Avantages :

- Inévitable ('coûte 0\$' pour le département de géologie)
- Haute densité d'information (4-8m)

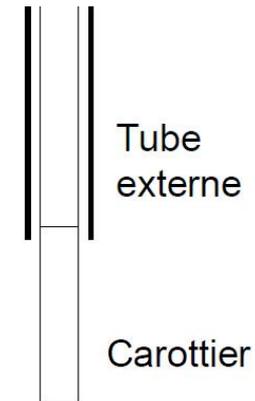
Inconvénients :

- Destructif (description difficile, perte d'information)
- Échantillonnage problématique
- Position imposée par le patron de production
- Échéancier court (quelques jours avant le sautage)

9. Autres méthodes de forages

Sonique

- Surtout pour l'échantillonnage de matériaux meubles (p. ex. environnement);
- Une vibration mécanique haute fréquence est transmise au train de tige;
- Train de tiges doubles, la tige interne (avec carottier) est avancée en premier par vibration → échantillon intact;
- Équipement spécialisé; dispendieux.



10. Exemple d'un contrat de forage

- 1- Objet du contrat
- 2- Date des travaux
- 3- Prix et coûts des travaux
 - a) mobilisation
 - b) mort terrain
 - c) roc
 - e) tubage laissé à la demande du client
 - f) cimentation
 - g) alésage
 - h) cointage
 - i) conduites d'eau
 - j) tests d'orientation
 - k) boîtes de carottes
 - l) déplacement entre forages
 - m) délais dus au client
 - n) suppléments non prévus au contrat
- 4- But des travaux

Le recouvrement complet des carottes de sondage est le but essentiel de ce contrat.

10. Exemple d'un contrat de forage

5- Employés de l'entrepreneur

- Personnel compétent
- Respect des lois
- clause de confidentialité

6- Responsabilité en cas d'accident

- Charge de l'entrepreneur

7- Modification au contrat

- Prolongement (aux mêmes coûts)
- Réduction → indemnité raisonnable à l'entrepreneur

8- Droits de résiliation

Si l'entrepreneur fait preuve d'incompétence

9- Jalonnement

Droit de rachat de claims pris par l'entrepreneur ou ses employés à proximité du forage

10- Environnement

- Laisser le site propre
- Limiter les dommages
- Respect des lois

