
OPTIMISATION DES DONNEES DE FORAGE

Projet 2005-08

Par : Pierre-Simon Ross, Ph.D.

Avril 2006



AVERTISSEMENT

Ce document présente certains résultats des travaux de recherche du CONSOREM (Consortium de Recherche en Exploration minière) rendus publics pour le bénéfice de l'ensemble de la communauté géologique, ceci après la période de confidentialité prévue aux règlements généraux du CONSOREM.

Bien que ce document ait subi un processus d'évaluation interne, des erreurs ou omissions peuvent s'y retrouver et seul CONSOREM en assume la responsabilité.

Le contenu du document demeure la propriété de son auteur et du CONSOREM et peut être reproduit en totalité ou en partie à des fins non commerciales en citant la référence suivante :

Ross, P.-S., 2006. Optimisation des données de forage. Rapport, Projet CONSOREM 2005-08, 77 p.

Toutefois, la reproduction multiple de ce document, en tout ou en partie, pour diffusion à des fins commerciales est interdite, sauf avec la permission écrite de CONSOREM.

CONSOREM

Université du Québec à Chicoutimi
555, boulevard de l'Université
Chicoutimi, QC, G7H 2B1

Tél. : (418) 545-5011 poste 5634

Courriel : consorem@uqac.ca

Site Web: www.consorem.ca

RÉSUMÉ

Le forage au diamant représente fréquemment la partie la plus coûteuse d'une campagne d'exploration minière. Durant un programme de forage ambitieux, plusieurs milliers de mètres de carottes pourront être générés. Néanmoins les données obtenues sur les carottes demeurent souvent limitées aux descriptions qualitatives d'un ou plusieurs géologues et aux analyses chimiques, généralement pour les éléments reliés à la minéralisation.

Il est pourtant possible d'obtenir davantage d'informations – souvent rapidement et à relativement faible coût – en mesurant plusieurs propriétés physiques, chimiques ou minéralogiques des carottes de forage. Parmi les propriétés physiques qui peuvent être mesurées avec des appareils portables (c.-à-d. petits, légers, robustes et fonctionnant à piles), notons la conductivité électrique, la susceptibilité magnétique et le rayonnement gamma. Ces trois paramètres sont notamment très utiles à connaître lors de la planification et/ou l'interprétation de levés géophysiques (EM, magnétométrie, radiométrie). Ce rapport compare plusieurs appareils pour chaque propriété physique et discute des applications possibles de ces mesures grâce à des études de cas (gisements d'uranium de type « discordance », gîtes magmatiques de nickel et or mésothermal).

Plusieurs types de gisements sont associés avec une altération hydrothermale à grain fin, et la minéralogie ne pourra alors être pleinement identifiée à l'œil nu. C'est dans ce type de contexte que des spectromètres infrarouges comme le PIMA deviennent les plus utiles. En effet, plusieurs minéraux d'altération comme les micas, la chlorite et les carbonates peuvent être détectés par ces appareils. Les principes de la spectrométrie infrarouge sont donc décrits, deux appareils portables sont comparés et quelques exemples d'applications sont présentés, notamment pour des gîtes de sulfures massifs volcanogènes et pour un indice aurifère épithermal.

Une des faiblesses du PIMA demeure le long temps de mesure et la nature ponctuelle des observations. Le Hylogger, un prototype australien, combine un spectromètre infrarouge très rapide avec une caméra numérique à haute résolution et une « table X-Y » contrôlée par ordinateur pour obtenir une information minéralogique et visuelle continue sur environ 700 m de carottes par jour. Deux études de cas sont discutées : un prospect fer-oxydes-Cu-Au et un prospect aurifère.

Un autre appareil intéressant consiste en un analyseur XRF portable qui permet de détecter la présence de plusieurs métaux sur le terrain grâce à la fluorescence X. Des analyses quantitatives peuvent même être obtenues sur place, à condition de broyer et d'homogénéiser les échantillons, et d'effectuer une calibration. Un dernier appareil qui mérite d'être mentionné, bien que très dispendieux, est le CoreScan. Il s'agit d'un numériseur optique de carottes, d'abord développé à des fins de préservation des informations de sondages (carothèque numérique). À partir de ces images, on peut mesurer la distribution granulométrique, les fractures avec leur orientation et intégrer des descriptions qualitatives dans une base de données.

TABLE DES MATIERES

1	Introduction	1
1.1	Problématique	1
1.2	Objectifs et contenu du rapport.....	1
2	Présentation des appareils	2
2.1	Susceptibilité magnétique	2
2.2	Conductivité électrique.....	5
2.3	Rayonnement gamma.....	7
2.4	Spectrométrie infrarouge	8
2.5	Analyseur XRF portable.....	13
2.6	Numériseur optique de carottes.....	14
3	Applications et études de cas	16
3.1	Sélection de méthodes géophysiques pour l'exploration de gîtes similaires	16
3.1.1	<i>Gîtes magmatiques de nickel</i>	<i>16</i>
3.1.2	<i>Gisements d'uranium de type « discordance »</i>	<i>17</i>
3.2	Aide à la modélisation géophysique de gisements.....	17
3.3	Estimation des sulfures sans analyse chimique	18
3.3.1	<i>Prévision des variétés de sulfures dans les carottes de forage : densité et susceptibilité magnétique</i>	<i>18</i>
3.3.2	<i>Détermination du pourcentage de sulfures par analyse spectrale</i>	<i>19</i>
3.4	Identification des altérations par spectrométrie infrarouge : un outil d'exploration.....	19
3.5	Analyse hyperspectrale automatisée (HyLogger).....	23
4	Références.....	26
Annexe A : Applications de la géophysique en forage : prédiction de la lithologie et de l'altération.....		28
Annexe B : Imagerie du trou de forage		30
Annexe C : Fiches techniques des appareils		31

Liste des figures

Figure 1.	Conversion des mesures de susceptibilité magnétique des roches (unités SI) en pourcentage de magnétite (par volume), d'après une figure de Mattsson et Thunehed (2003) basée sur Parasnis (1997).....	2
Figure 2.	Le système MS2 de Bartington.....	4
Figure 3.	Le système automatique de la compagnie ASC pour les mesures de susceptibilité magnétique sur carottes de forage	5
Figure 4.	Le DCS-1 de Giscogeo.....	5
Figure 5.	Radiation électromagnétique : des rayons gamma aux ondes radio en passant par la lumière visible et l'infrarouge (http://www.pimausa.com/).....	9

Figure 6.	Diagramme composite montrant les spectres typiques de plusieurs minéraux d'altération des roches, pour les longueurs d'onde détectées par le PIMA, d'après Thompson et al. (1999).....	10
Figure 7.	Diagrammes montrant les spectres typiques de plusieurs minéraux, pour les longueurs d'onde détectées par le PIMA, d'après Thompson et al. (1999). Il est possible de différencier les variétés de chlorite, d'alunite, de carbonates, etc.	10
Figure 8.	Le prototype HyLogger de CSIRO (source).	12
Figure 9.	Une vue d'une version plus ancienne du prototype HyLogger de CSIRO (source : Jon Huntington, commun. pers., 2006).....	12
Figure 10.	Analyseur XRF portable Niton.	13
Figure 11.	Le CoreScan II de DTM (http://www.terraplus.ca/).....	14
Figure 12.	Exemple d'image obtenue avec le CoreScan (source).	14
Figure 13.	Vue du logiciel « Fracture Analysis » qui accompagne le CoreScan (http://www.terraplus.ca/).....	15
Figure 14.	Vue du logiciel d'analyse d'image « C.I.A. » qui accompagne le CoreScan (http://www.terraplus.ca/).....	15
Figure 15.	Section transversale, gisement de nickel Maggie Hays North, d'après Wolfgram et Golden (2001).	17
Figure 16.	Lithologie (a) et zones d'altération (b) dans le secteur de Sulphur Springs, craton de Pilbara, Australie, d'après Huston et al. (1999). Vue en plan.....	22
Figure 17.	Vue en plan de (a) la variation du ratio des caractéristiques d'absorption Fe-OH et Al-OH et (b) la variation de la longueur d'onde de l'absorption Fe-OH. Les cercles montrent la localisation des échantillons analysés avec le PIMA. Secteur de Sulphur Springs, craton de Pilbara, Australie, d'après Huston et al. (1999).	23
Figure 18.	Comparaison du pourcentage de micas blancs et de l'abondance d'or dans un forage du prospect Barns, d'après Keeling et al. (2004). La quantification des micas blancs provient de l'analyse hyperspectrale (HyLogger) mais les valeurs en or sont obtenues par d'autres méthodes.	24
Figure 19.	Visualisation des types de carbonates avec le HyLogger (source : affiche de CSIRO). Le graphique de gauche montre la proportion d'ankérite.	25

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Comparaison de certains appareils portables pour les mesures de susceptibilité magnétique.	3
Tableau 2.	Caractéristiques d'un appareil portable mesurant la conductivité électrique.	6
Tableau 3.	Caractéristiques d'un scintillomètre portable.....	7
Tableau 4.	Comparaison de certains spectromètres gamma portables.....	8
Tableau 5.	Comparaison de deux spectromètres infrarouges portables.....	11
Tableau 6.	Exemples d'utilisation du PIMA en exploration, d'après Thompson et al. (1999)*.....	20
Tableau 7.	Sommaire des minéraux détectables par le PIMA, d'après Thompson et al. (1999).....	21

1 INTRODUCTION

1.1 Problématique

Bien que le forage au diamant représente fréquemment la partie la plus coûteuse d'un programme d'exploration minière, les données extraites des carottes restent traditionnellement limitées aux descriptions qualitatives des géologues et aux analyses chimiques pour les métaux d'importance économique. Pourtant, il existe une panoplie d'instruments pouvant mesurer différentes propriétés physico-chimiques ou minéralogiques soit à partir de capteurs dans les trous de forage ou simplement appliquée sur les carottes de forages.

Ce dernier cas est plus problématique, car très souvent les carottes sont entreposées pendant une période de temps puis détruites à cause des problèmes de stockage et de transport. Or, ces carottes révèlent une somme d'informations qu'il faudrait valoriser. Plusieurs propriétés comme la susceptibilité magnétique, le rayonnement gamma naturel, la conductivité électrique et la réflectance (visible ou infrarouge) peuvent être analysées par des appareils portables.

1.2 Objectifs et contenu du rapport

Ce travail a pour principal objectif de faire l'inventaire des appareils portables permettant de mesurer les propriétés physico-chimiques ou minéralogiques des roches. La plupart des appareils décrits sont vendus commercialement, mais un d'entre eux, le HyLogger, existe uniquement sous forme de prototype.

La section 2 « Présentation des appareils » est organisée par paramètres à mesurer, en commençant par trois propriétés physiques, soit la susceptibilité magnétique, la conductivité électrique, et le rayonnement gamma naturel. Dans la mesure du possible, pour chaque propriété physique, plusieurs appareils sont comparés dans un tableau. Suit une présentation des principes de base de la spectrométrie infrarouge et des appareils – dont le fameux PIMA – permettant d'obtenir, par cette technique, de l'information sur la composition minéralogique des roches. Par la suite, le système d'analyse spectrale automatisée « HyLogger » est décrit. Les deux derniers appareils au menu sont un analyseur XRF portable, le Niton, et un numériseur optique de carottes, le CoreScan.

La section 3 discute des applications possibles de plusieurs de ces appareils et propriétés grâce à des études de cas. Par exemple, l'application du PIMA à deux gîtes de sulfures massifs volcanogènes est présentée.

Finalement, les annexes A et B présentent une discussion sur des diagraphies (levés géophysiques en forage). Les fiches techniques détaillées de tous ces appareils, fournies par le fabricant ou le distributeur, sont incluses à l'annexe C.

2 PRESENTATION DES APPAREILS

2.1 Susceptibilité magnétique

La susceptibilité magnétique représente le degré de magnétisation d'un matériel en réponse à un champ magnétique. Un échantillon contenant beaucoup de magnétite, par exemple, aura une forte susceptibilité (**Figure 1**).

La titanomagnétite, l'ilménite et la pyrrhotite peuvent aussi influencer les mesures de susceptibilité magnétique. La connaissance de ce paramètre est utile pour planifier ou interpréter les levés magnétiques et EM aéroportés, en surface, ou en forage.

Plusieurs appareils permettent de mesurer la susceptibilité magnétique des carottes de forage. Certains appareils effectuent des mesures ponctuelles (KT-9, KT-6, GMS-2, MPP-EM2S+) alors que d'autres (MS2, DCS-1) mesurent toute la circonférence de la carotte simultanément. Les premiers (**Tableau 1**) sont pleinement portables alors que les seconds sont davantage des instruments de laboratoire.

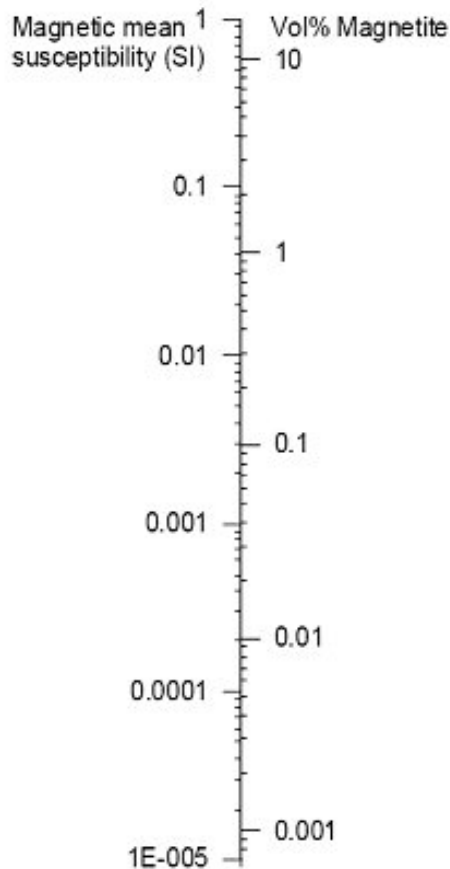


Figure 1. Conversion des mesures de susceptibilité magnétique des roches (unités SI) en pourcentage de magnétite (par volume), d'après une figure de Mattsson et Thunehed (2003) basée sur Parasnis (1997).

Tableau 1. Comparaison de certains appareils portables pour les mesures de susceptibilité magnétique.

	KT-9	KT-6	GMS-2	MPP-EM2S+
Nom complet	KT-9 Digital Magnetic Susceptibility Meter	KT-6 Kappameter	GMS-2 Magnetic Susceptibility Meter	Sonde Multi-Paramètres MPP-EM2S+
Fabricant	Exploranium G.S. Ltd (Canada)	Exploranium (?)	Geo Instruments (Australie)	GDD Instrumentation (Ste-Foy)
Distributeurs	www.terraplus.ca www.saic.com	http://www.geoafrica.co.za/reddog/	www.fugroinstruments.com ⁽¹⁾	www.gddinstrumentation.com
Photo				
Senseur	Pointe (<i>pin</i>) ou plat	Pointe (<i>pin</i>) ou plat	Plat	Plat
Signal audio	Oui	Oui	Oui	Oui
Mémoire interne	10 mesures	70 mesures	100 mesures	PocketPC
Temps de mesure	Trois mesures / sec	?	<1 s	0.1 s
Transfert vers ordinateur	Port série (RS-232)	Port série (RS-232)	Port série (RS-232)	Port USB
Poids	?	?	300 g	?
Sensibilité	1 x 10 ⁻⁵ unités SI	1 x 10 ⁻⁵ unités SI	1 x 10 ⁻⁵ unités SI	1 x 10 ⁻³ unités SI
Source d'énergie	?	Pile 9V (150 h)	Deux piles AA (25 h)	Pile Li-ion 3400 mAh pour le PocketPC; piles Ni-Mh rechargeables pour la sonde
Notes	Seul appareil offrant une correction automatique pour le diamètre de la carotte Soumission de TerraPlus à l'UQAM : 1900 \$ en 2002	Le même distributeur offre plusieurs autres appareils pour la susceptibilité magnétique		Cent fois moins sensible que les autres appareils (2), mais mesure aussi la conductivité électrique Possibilité d'entrer le No. du trou, la profondeur, etc.

(1) Les appareils suivants sont disponibles en location chez Fugro Instruments : KT-9, KT-6, KT-5, GMS-2.

(2) Le MPP-EM2S+ permet tout de même de détecter des concentrations en magnétite d'environ 0,04 % (par volume), selon la figure 1.

Dans le cas où la portabilité de l'appareil est moins importante, le système MS2 (**Figure 2**) de Bartington Instruments Ltd (<http://www.bartington.com>), du Royaume-Uni, constituerait un bon choix. Fugro Instruments (<http://www.fugroinstruments.com/>), TerraPlus (<http://www.terraplus.ca/>) et le fabricant distribuent ce système. Il peut aussi être loué chez Fugro Instruments. Sa sensibilité est de 2×10^{-6} unités SI.



Figure 2. Le système MS2 de Bartington.

Plusieurs senseurs peuvent se connecter à la console principale, dont le MS2C, qui est une plaque verticale percée d'un trou circulaire où l'on insère horizontalement les carottes de forage. Ainsi, toute la circonférence de la carotte est analysée en même temps, à haute résolution (plutôt que seulement un point comme avec les autres appareils). Cette méthode devrait diminuer l'hétérogénéité des mesures. Le MS2C est disponible pour seize diamètres de carottes différents (diamètre du trou du senseur entre 36 et 162 mm). Chaque mesure de susceptibilité magnétique prend environ 1 s.

L'UQAM a obtenu la soumission suivante de TerraPlus (probablement en 2003) :

<i>MS2 Magnetic Susceptibility Meter with RS-232 interface inclusive of AC mains adaptor for 110V or 220V, connecting cables and Multisus Software</i>	3 580 \$ US
<i>MS2C Core Logging Sensor (standard sizes available, 10 % more for others)</i>	3 025 \$ US*
<i>Equipment carrying case</i>	965 \$ US

* Il s'agit probablement du prix pour un seul senseur MS2C

Il est aussi possible d'acquérir un « système d'analyse automatisé », contrôlé par ordinateur, qui pousse la carotte automatiquement dans l'ouverture du MS2C et enregistre les données sur disque dur. Un tel système (**Figure 3**), accommodant des carottes jusqu'à 5 pieds de longueur (1,5 m), est fabriqué et distribué par ASC Scientific de Californie (<http://www.ascscientific.com/>).



Figure 3. Le système automatique de la compagnie ASC pour les mesures de susceptibilité magnétique sur carottes de forage.

Une alternative existe: le DCS-1 de Giscogeo (<http://www.giscogeo.com>). Cet appareil pèse 118 kg, mesure 1,8 m et se branche dans une prise de courant AC – il ne peut donc guère être considéré comme « portable ». En revanche, il mesure la susceptibilité magnétique (sensibilité 10^{-5} unités SI) et le rayonnement gamma en continu (tous les centimètres). Il est aussi possible de déterminer les pourcentages de U, Th, K grâce à des mesures ponctuelles. L'appareil est contrôlé par ordinateur, et un moteur avance automatiquement la carotte (jusqu'à 1 m de long) (**Figure 4**).



Figure 4. Le DCS-1 de Giscogeo.

2.2 Conductivité électrique


La conductivité électrique mesure l'habilité d'un matériel à conduire un courant électrique. Elle se mesure en siemens par mètre ($S \cdot m^{-1}$). On classe les matériaux en trois catégories selon leur conductivité : élevée pour les conducteurs comme les métaux, faible pour les isolants comme le verre et intermédiaire pour les semi-conducteurs. La résistivité est l'inverse de la conductivité électrique. C'est une propriété caractéristique d'un conducteur donné, alors que la résistance dépend du volume du

matériel. La résistivité montre à quel point le matériel s'oppose à l'écoulement d'un courant (unité SI : le ohm mètre).

Les mesures de conductivité électrique sur les carottes peuvent aider à planifier ou interpréter les levés EM et les levés électriques. La pyrite, la pyrrhotite, la galène et la chalcopyrite, notamment, sont de bons conducteurs, alors que ce n'est pas le cas de la sphalérite. Pour générer une bonne réponse, les minéraux conducteurs doivent être connectés pour faire en sorte que tout le corps minéralisé soit conducteur. Les mesures de conductivité électrique sur les carottes aideront à prévoir ou modéliser la réponse EM d'une zone minéralisée.

Moins d'appareils semblent disponibles pour les mesures de conductivité électrique que pour la susceptibilité magnétique. Le MPP-EM2S+ de GDD Instrumentation, qui mesure aussi la susceptibilité magnétique, a été présenté au **Tableau 1**. Une alternative est le GCM-2 (**Tableau 2**).

Tableau 2. Caractéristiques d'un appareil portable mesurant la conductivité électrique.

GCM-2	
Nom complet	GCM-2 Hand-Held Conductivity Meter
Fabricant	Geo Instruments
Distributeurs	www.terraplus.ca www.fugroinstruments.com
Photo	
Senseurs	Senseurs en forme de beigne pour les carottes de forage (calibre : BQ, NQ, HQ, PQ, AQ ou fait sur demande)
Signal audio	?
Mémoire interne	10 000 mesures
Temps de mesure	0,2-1 s
Transfert vers ordinateur	Port série (RS-232)
Poids	600 g
Source d'énergie	4 piles AA (6 h)
Notes	Développé en collaboration avec AMIRA (Australian Mineral Industry Research Association)

Une soumission de TerraPlus à l'UQAM, datée de 2002, indiquait un total de l'ordre 6 300 \$ pour le GCM-2, incluant les capteurs BQ, NQ, HQ, PQ, et AQ.

2.3 Rayonnement gamma

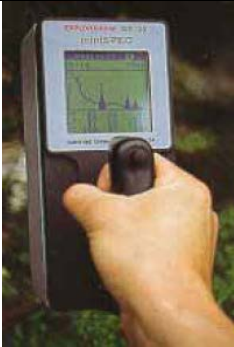

Trois éléments chimiques contribuent fortement à la radioactivité naturelle des roches : le thorium, le potassium et l'uranium. On utilise le rayonnement gamma pour détecter « passivement » ces éléments. Deux sortes d'appareils sont pertinents pour l'exploration minière : les scintillomètres (**Tableau 3**) qui mesurent simplement le rayonnement gamma total (c/s) et les spectromètres (**Tableau 4**) qui différencient U, K, et Th. Voir aussi le DCS-1 ci-dessus pour un spectromètre gamma de laboratoire.

Tableau 3. Caractéristiques d'un scintillomètre portable.

	GR-110
Nom complet	GR-110 Gamma-Ray Scintillometer
Fabricant	Exploranium G.S. Ltd.*
Distributeurs	www.terraplus.ca www.saic.com www.fugroinstruments.com
Photo	
Senseur	Cristal interne de 4,5 pouces cube
Signal audio	Oui
Mémoire interne	Non?
Temps de mesure	1 s ou 10 s
Transfert vers ordinateur	Non
Poids	1,5 kg
Source d'énergie	Deux piles « D » (100 h)

* Exploranium est une division de SAIC (<http://www.saic.com/>)

Tableau 4. Comparaison de certains spectromètres gamma portables.

	GR-135G	GR-320
Nom complet	GR-135G Handheld Gamma Ray Spectrometer	GR-320 Portable gamma ray spectrometer
Fabricant	Exploranium G.S. Ltd.*	Exploranium G.S. Ltd.*
Distributeur	www.terraplus.ca	www.fugroinstruments.com (vente et location)
Photo		
Senseur	Cristal interne de 4,5 pouces cube	Cristal de 21 pouces cube (pour le détecteur dit « portable »)
Signal audio	Oui (mode scan)	?
Mémoire interne	10 000 échantillons (dose totale) ou 200 spectres (256 canaux)	690 spectres
Temps de mesure	1 s en mode scan	1 s ou plus
Transfert vers ordinateur	Port série (RS-232)	Port série (RS-232)
Poids	2,2 kg	Console : 4,1 kg, détecteur : 3,6 kg
Source d'énergie	Deux piles « D » (30 h)	Batterie rechargeable, six piles « D », ou courant DC
Notes	Affichage graphique. Stabilisation automatique. Précision sur une analyse de deux minutes : 0,4 % K, 1 ppm eU, 3 ppm eTh	Stabilisation automatique. Peut être connecté avec un GPS et enregistrer la position en même temps que la radiométrie Soumission de TerraPlus à l'UQAM (avril 2003) : 22 000 \$

* Exploranium est une division de SAIC (<http://www.saic.com/>)

2.4 Spectrométrie infrarouge

En optique, un spectromètre est un instrument servant à mesurer les propriétés de la lumière. La propriété mesurée est normalement l'intensité lumineuse ou la réflectance (ratio de l'énergie réfléchie sur l'énergie incidente). La variable indépendante est normalement la longueur d'onde de la lumière (c.-à-d., on mesure la réflectance à plusieurs longueurs d'onde). La technique s'applique aussi aux instruments mesurant d'autres types de radiation comme l'infrarouge, les rayons gamma ou les rayons X (Figure 5).

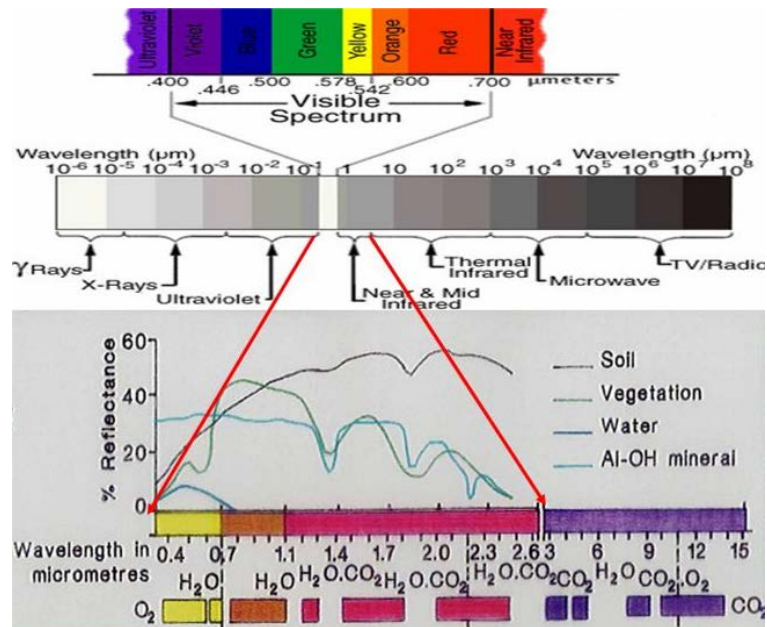


Figure 5. Radiation électromagnétique : des rayons gamma aux ondes radio en passant par la lumière visible et l'infrarouge (<http://www.pimausa.com/>).

L'absorption de la lumière visible ou du rayonnement infrarouge se produit lorsque l'énergie d'un photon est transmise à une autre entité, comme un atome dont les électrons excités changent de niveau orbital. L'énergie absorbée se dissipe sous forme de chaleur ou de radiation. L'absorption dépend de la longueur d'onde de la lumière incidente, ce qui crée la coloration des objets (les pigments absorbent certaines longueurs d'onde, mais pas d'autres). Le phénomène se produit aussi avec les ondes infrarouges ou les rayons X, ce qui permet des applications en chimie et en minéralogie. Spécifiquement, les spectres d'absorption infrarouges permettent d'identifier de nombreux minéraux s'ils sont présents en quantité suffisante dans une roche (**Figure 6**).

Les spectromètres infrarouges sont très utiles en télédétection, mais dans le cas de l'exploration minière, on peut aussi s'en servir notamment pour identifier des minéraux d'altération sur des carottes de forage ou en affleurement. Le PIMA (Portable Infrared Mineral Analyser), par exemple, mesure les spectres de réflectance entre 1300 et 2500 nm. Plusieurs minéraux d'altération absorbent la radiation infrarouge à ces longueurs d'onde. Spécifiquement, des minéraux comme la chlorite, les micas, les carbonates, les argiles et certains sulfates (alunite, gypse, etc.) ressortent bien. De plus, pour certains minéraux, dont la chlorite et les carbonates, il est possible de déterminer la chimie du minéral (**Figure 7**).

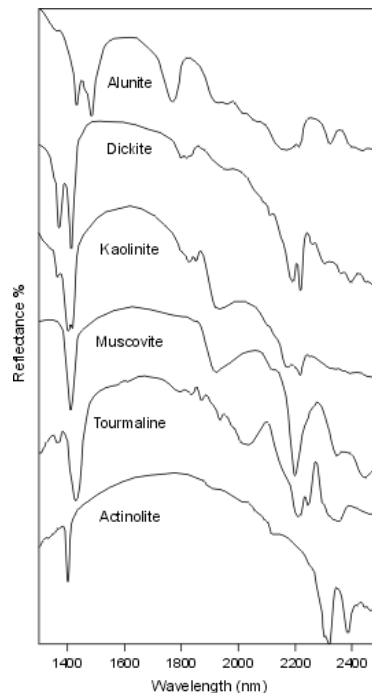


Figure 6. Diagramme composite montrant les spectres typiques de plusieurs minéraux d'altération des roches, pour les longueurs d'onde détectées par le PIMA, d'après Thompson et al. (1999).

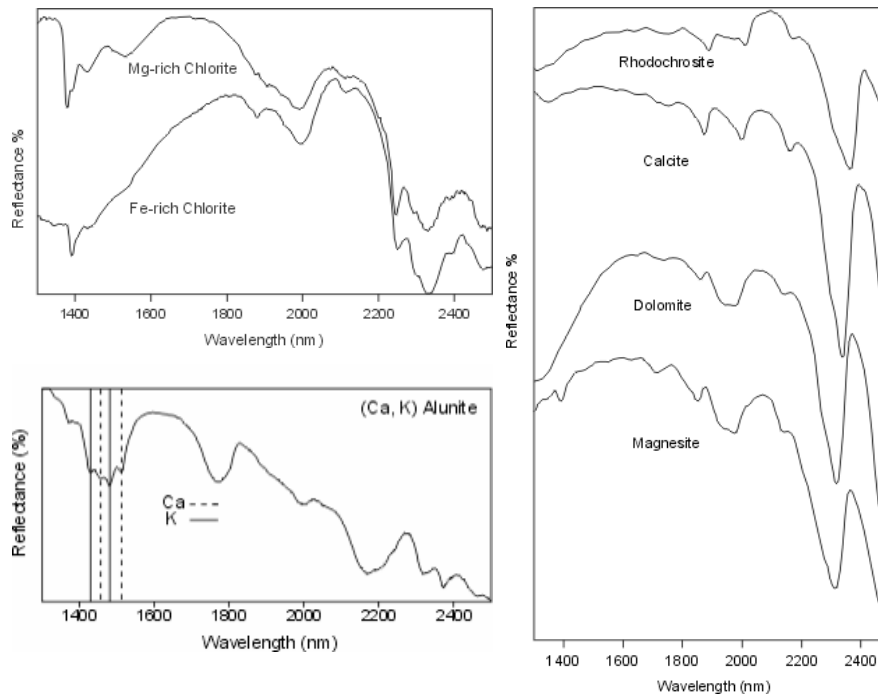





Figure 7. Diagrammes montrant les spectres typiques de plusieurs minéraux, pour les longueurs d'onde détectées par le PIMA, d'après Thompson et al. (1999). Il est possible de différencier les variétés de chlorite, d'alunite, de carbonates, etc.

La spectrométrie infrarouge est la plus utile là où les minéraux d'altération ne peuvent facilement être identifiés à l'oeil nu, par exemple à cause d'une granulométrie très fine (Thompson et al., 1999). Les

minéraux doivent être abondants dans un échantillon pour être détectables (plus de 5 ou 10 %; Thompson et al., 1999). Le **Tableau 5** compare le PIMA et le TerraSpec, deux spectromètres infrarouges portables.

Tableau 5. Comparaison de deux spectromètres infrarouges portables.

	PIMA	TerraSpec
Nom complet	Portable infrared mineral analyzer	TerraSpec Field Spectrometer
Fabricant	Spectral International, Inc.	Analytical Spectral Devices, Inc.
Distributeurs	www.pimausa.com www.terraplus.ca	www.asdi.com www.pimausa.com
Photo		
Longueurs d'onde	1 300-2 500 nm (proche infrarouge)	350-2 500 nm (lumière visible et proche infrarouge)
Source lumineuse	Interne; mesures prises en « mode contact »	Interne. Voir notes.
Mémoire interne	8 MB (Palmtop) (PIMA SP)	Besoin d'un ordinateur portable en tout temps
Temps de mesure	10 sec à 5 mins	0,1 s
Transfert vers ordinateur	Port série (RS-232)	Oui
Poids	3 kg	5,7 kg
Source d'énergie	Se branche dans l'allume-cigarett d'un véhicule; sinon pile 12 Volts 2,5 A/H (rechargeable)	Se branche dans l'allume-cigarett; sinon batterie au plomb
Notes	Logiciel d'interprétation des spectres fourni Frais de location : un mois = 3 000 \$ US (www.pimausa.com) Achat ~ 20 000 \$ US en 2002 (TerraPlus, soumission à l'UQAM)	Moins connu que le PIMA.  Possède une sonde reliée par un câble de fibre optique de 1,5 m de long qui peut éviter de déplacer les échantillons jusqu'à l'appareil

Avec les appareils portables comme le PIMA, le nombre de mesures possibles par jour est limité par le temps de mesure assez long (parfois jusqu'à plusieurs minutes), et le fait qu'il faut placer chaque échantillon devant la source lumineuse. Ensuite il faut noter le numéro et la position de l'échantillon, puis analyser son spectre avec le logiciel fourni. Une analyse systématique de plusieurs kilomètres de carottes de forage prendrait bien trop de temps pour être envisagée sérieusement (dans la plupart des cas, les opérateurs choisissent quelques échantillons « représentatifs »). Un appareil d'analyse spectrale automatisée, qui déplacerait les carottes tout seul et qui prendrait des mesures rapidement, permettrait d'accumuler bien plus de données.

Le HyLogger, un prototype australien développé par le Mineral mapping technologies Group de CSIRO, fait précisément cela (90 000 mesures par jour sur 700 m de carottes; [lien 1](#), [lien 2](#)[†]) (**Figure 8** et **Figure 9**). Le HyLogger combine l'analyse hyperspectrale entre 412 et 2 512 nm (c.-à-d. un spectre plus étendu que le PIMA) avec une camera numérique à haute résolution (le terme hyperspectral désigne un système d'observation à distance utilisant plusieurs bandes et différents types de senseurs). La résolution des mesures hyperspectrales est de 8 mm et celle de la camera de 0,1 mm (Jon Huntington, commun. pers., 2006). Une table « X-Y », contrôlée par ordinateur, permet d'alimenter la machine à un rythme contrôlé. Cet ordinateur enregistre également toutes les données.

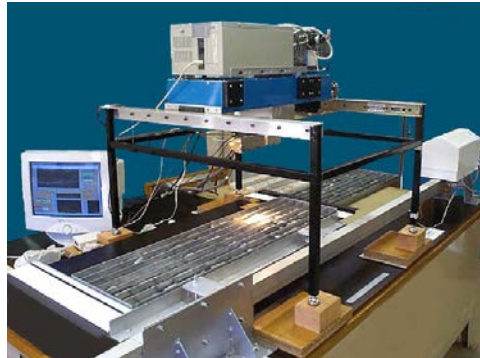


Figure 8. Le prototype HyLogger de CSIRO ([source](#)[‡]).



Spectrometer subsystem
Telescope
Core tray
Calibration transfer standards
Automatic X-Y transport subsystem
Control computer subsystem

Figure 9. Une vue d'une version plus ancienne du prototype HyLogger de CSIRO (source : Jon Huntington, commun. pers., 2006)

Le système est très rapide : un test a permis d'analyser 50 km de carottes en trois mois dans un entrepôt du Department of Primary Industries and Resources (PIRSA) dans le sud de l'Australie ([référence](#)[§]). Selon le créateur du prototype, Jon Huntington, plus de 120 km de carottes de forage auraient été analysées jusqu'ici (commun. pers., 2006). Un logiciel permet l'identification « automatique » des minéraux présents dans les forages.

^{*} <http://leme.anu.edu.au/Pubs/Monographs/regolith2005/Mauger.pdf>

[†] http://www.doir.wa.gov.au/documents/gswa/gsdFld36_2005.pdf

[‡] [http://www.syd.dem.csiro.au/research/MMTG/P685 Core Logging/P685.htm#instrument](http://www.syd.dem.csiro.au/research/MMTG/P685%20Core%20Logging/P685.htm#instrument)

[§] <http://www.pir.sa.gov.au/pages/minerals/remote/hylogger.htm:sectID=2392&tempID=1>

Les minéraux actuellement détectables incluent les argiles (kaolinite, dickite, etc.), les micas blancs (différentes espèces), la pyrophyllite, la chlorite, le talc, l'antigorite, le gypse, l'alunite, la biotite, la phlogopite, l'épidote, le topaze, la tourmaline, les carbonates (calcite, dolomite, sidérite, magnésite, ankérite) et des oxydes de fer (hématite, goéthite et jarosite) (Jon Huntington, commun. pers., 2006).

2.5 Analyseur XRF portable

La compagnie américaine Thermo Electron Corp. (<http://www.niton.com/index2.asp>) fabrique des appareils portables utilisant la fluorescence X pour déterminer la composition chimique des alliages, des sols ou des roches (**Figure 10**). Au Canada, ces appareils sont distribués exclusivement par Elemental controls (<http://www.elementalcontrols.com/>).



Figure 10. Analyseur XRF portable Niton.

Le Niton XLi-512 pèse environ 800 g et peut contenir un ou deux isotopes parmi un choix de trois (^{109}Cd , ^{241}Am , ^{55}Fe) qui ciblent chacun un sous-ensemble d'éléments (aux nombres de 49, 57 et 23 respectivement). Des temps d'exposition de 60 ou de 120 secondes sont possibles. Le calibrage de l'appareil est automatique et il possède une mémoire interne de 3 000 spectres. Les données peuvent être transférées vers un ordinateur grâce à un port série. L'appareil fonctionne sur des piles au Li (4-6 heures) rechargeables.

Cet appareil ne permet pas d'obtenir une analyse complète des éléments présents dans une roche, puisqu'il ne détecte pas la silice, l'aluminium, le sodium, le magnésium, ni aucun élément au numéro inférieur à 16 dans le tableau périodique. Par contre, la plupart des métaux à valeur économique et de nombreux éléments traces peuvent être détectés :

- entre 0,3 et 100 %, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Pd, Ag, Sn, Hf, Ta, W, Rh, Pb, Bi
- entre 15 et 20 000 ppm (mode Compton) : Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Ni, Zn, As, Rb, Sr, Zr, Nb, Se, Mo, Pd, Ag, Cd, Sn, Sb, Ba, Pb

Sur des roches non broyées, les mesures sont essentiellement qualitatives (présence d'un élément au-delà du seuil de détection). Sur un échantillon en poudre homogénéisé (accessoires de préparation fournis), les résultats sont semi-quantitatifs et deviennent quantitatifs et de qualité équivalente à ceux de méthodes reconnues lorsqu'une matrice de correction est appliquée. Les limites de détection varient en fonction des éléments et du mode d'opération. L'isotope ^{241}Am , qui possède une demi-vie de 432 ans, est le mieux adapté aux applications en géologie.

L'UQAM a obtenu la soumission suivante de Elemental Controls en 2003 ou 2004 :

NITON Xli 512 (510 – 512) High Resolution Dual Mode Mining Bulk Sample Analyzer Configured with Infiniton™ Am 241 source	38 400 \$ US
---	--------------

2.6 Numériseur optique de carottes

Le CoreScan, fabriqué par la compagnie allemande Deutsche Montan Technologie GmbH (<http://www.corescan.de/>) et notamment distribué par TerraPlus (<http://www.terraplus.ca/>), a pour objectif principal l'acquisition d'images digitales couleur (jusqu'à 1 000 dpi) de la carotte de forage, sur 360 degrés. Ces images sont acquises par une caméra se déplaçant au-dessus de la carotte, alors que celle-ci tourne sur place (**Figures 11 et 12**). Les images sont référencées selon la profondeur du forage, et stockées sur un ordinateur (inclus), constituant éventuellement une carothèque numérique. L'instrument est conçu pour pouvoir être transporté sur les lieux d'entreposage des échantillons. Le système complet vaut environ 200 000 \$.



Figure 11. Le CoreScan II de DTM (<http://www.terraplus.ca/>).



Figure 12. Exemple d'image obtenue avec le CoreScan ([source](#)).

Grâce au CoreScan, l'utilisateur peut préserver une information permanente sur l'ensemble de la carotte, même si elle est fendue pour analyse chimique ou éventuellement perdue/détruite. De plus, à partir de ces images, on peut mesurer la distribution granulométrique, les fractures avec leur orientation (calcul du RQD et autres paramètres géotechniques), etc. Cet appareil est surtout utilisé par l'industrie pétrolière, par exemple pour la caractérisation des réservoirs basée sur l'analyse d'image. Cependant au

moins deux compagnies minières ont fait l'acquisition de ce système : AngloPlat (Afrique du Sud) et l'exploitant d'une mine de diamants (Jwaneng?) au Botswana.

L'appareil est accompagné d'une variété de logiciels permettant notamment l'analyse des fractures, l'analyse d'image pour la forme et la taille des particules, la création d'une base de données sur les forages, etc. (Figures 13 et 14).

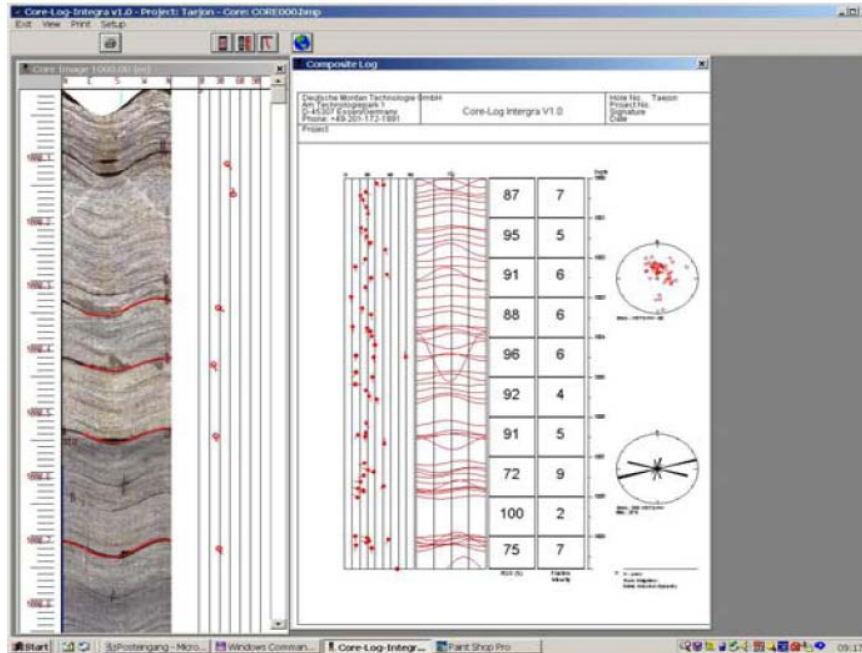


Figure 13. Vue du logiciel « Fracture Analysis » qui accompagne le CoreScan (<http://www.terraplus.ca/>).

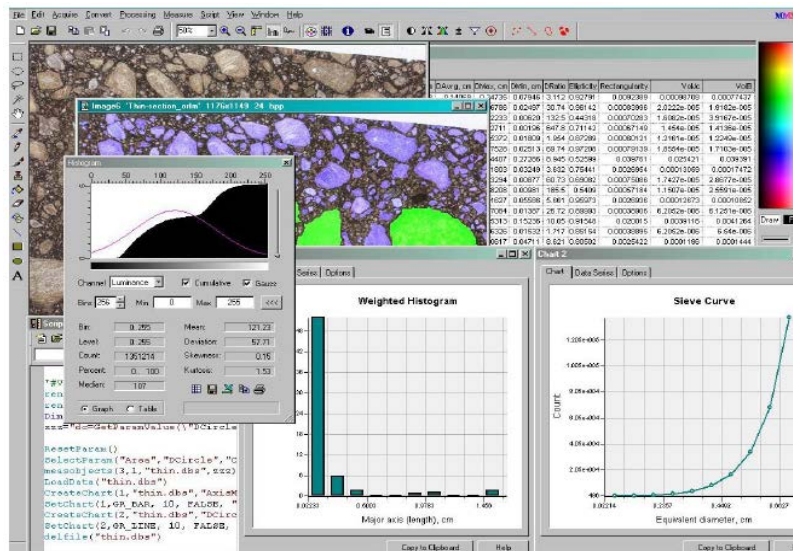


Figure 14. Vue du logiciel d'analyse d'image « C.I.A. » qui accompagne le CoreScan (<http://www.terraplus.ca/>)

3 APPLICATIONS ET ETUDES DE CAS

Dans cette section du rapport, des applications / études de cas sont présentées pour la plupart des mesures physico-chimiques ou minéralogiques discutées dans la partie 2. Pour les paramètres pétrophysiques (conductivité électrique, susceptibilité magnétique, rayonnement gamma), les applications les plus évidentes sont la sélection de méthodes géophysiques pour l'exploration minière (**section 3.1**) et l'aide à la modélisation géophysique de gisements (**section 3.2**). Une étude récente tente également de prévoir les variétés de sulfures dans les carottes de forage, à partir de mesures de densité et de susceptibilité magnétique (**section 3.3.1**). D'autres chercheurs ont plutôt testé le potentiel de l'analyse spectrale pour la détermination du pourcentage de sulfures sur des carottes de forage (**section 3.3.2**). L'introduction de la section 3.3 mentionne également le potentiel de la géophysique en forage pour le contrôle des teneurs métalliques en environnement minier.

L'application classique du PIMA en exploration minière est la détermination des minéraux d'altération hydrothermale (**section 3.4**). L'analyse hyperspectrale automatisée a essentiellement le même objectif, mais le HyLogger (**section 3.5**) produit en plus une image digitale continue de la carotte de forage qui permet de comparer l'aspect visuel de la roche avec les minéraux d'altération détectés. Plusieurs études de cas sont présentées pour les deux appareils (PIMA et HyLogger), dont des études d'altération sur des gisements de sulfures massifs volcanogènes, des indices aurifères, des indices de type « Olympic Dam », etc.

3.1 Sélection de méthodes géophysiques pour l'exploration de gîtes similaires

Supposons qu'un gisement est déjà connu dans un secteur donné et qu'on désire en localiser des extensions ou découvrir d'autres gîtes similaires dans le même secteur. Pour savoir quelle méthode géophysique employer, on pourrait en tester plusieurs sur le gîte connu, en sélectionner une ou deux parmi les plus efficaces, puis partir « à la pêche ». Mais afin de réduire les coûts de cette phase de test et d'améliorer notre compréhension du gisement, on pourrait d'abord mesurer les propriétés physiques des zones minéralisées connues pour tenter de prédire quelle méthode sera la plus efficace. Ces mesures seront normalement effectuées sur des carottes de forage. Spécifiquement, on voudra mesurer :

Méthode géophysique	Propriété(s) physique(s)
Magnétométrie	Propriétés magnétiques
Gravimétrie	Densité (pas d'appareils portables)
EM	Résistivité et susceptibilité magnétique
Sismique	Propriétés acoustiques (pas d'appareils portables)

Deux exemples de ce type de démarche sont abordés : une campagne d'exploration privée pour des gîtes magmatiques de nickel en Australie, et une étude conjointe gouvernement-industrie dans le bassin uranifère d'Athabasca au Canada.

3.1.1 Gîtes magmatiques de nickel

Au cours des années 1990, une équipe d'exploration australienne a entrepris une campagne de recherche de sulfures de nickel dans des cumulats ultramafiques (coulées komatiitiques), à l'intérieur d'une ceinture de roches vertes archéennes (craton de Yilgarn), quelque 500 km à l'est de Perth (Peters et Buck, 2000). Le gisement de nickel Maggie Hays était déjà connu (sulfures massifs à semi-massifs, 200-500 m sous la surface) et des mesures pétrophysiques sur les carottes de forage ont montré que la minéralisation était fortement conductrice et magnétique. Suite à une phase de test, la méthode TEM au

sol a été sélectionnée pour l'exploration dans le secteur; cette méthode a permis la découverte du gisement Emily Ann, composé de sulfures de nickel massifs et situé 3 km au nord de Maggie Hays (120 m sous la surface). Une extension du gisement Maggie Hays a aussi été localisée de cette façon (**Figure 15**). Les mines souterraines de Maggie Hays et Emily Ann sont opérées par LioOre (<http://www.lionore.com/operations/lakejohnston.asp>).

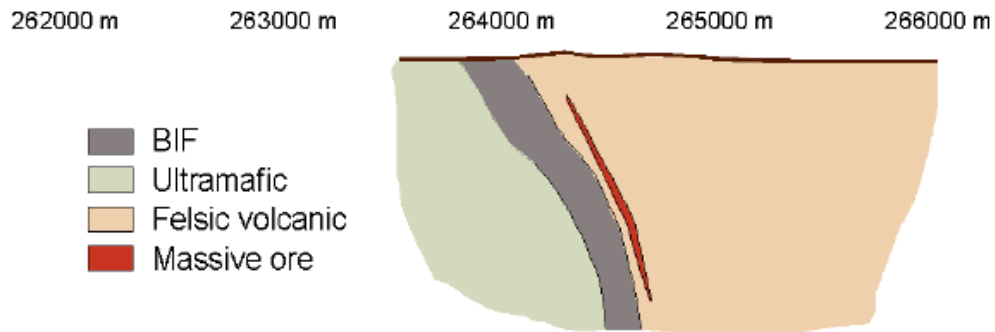


Figure 15. Section transversale, gisement de nickel Maggie Hays North, d'après Wolfgram et Golden (2001).

3.1.2 Gisements d'uranium de type « discordance »

Les gisements d'uranium de type « discordance » qui restent à découvrir dans le bassin d'Athabasca en Saskatchewan seront probablement plus profonds que ceux déjà connus. Il est fort possible que la géophysique jouera un grand rôle dans ces découvertes, mais quelles méthodes employer?

Le projet EXTECH IV (http://gsc.nrcan.gc.ca/extech/extech4_e.php), une initiative conjointe de la Commission Géologique du Canada et de l'industrie, vise à déterminer les caractéristiques de la minéralisation uranifère et de son encaissant dans le bassin d'Athabasca. Une des composantes de ce projet constitue un exemple de combinaison de géophysique en forage et de déterminations des propriétés physiques des carottes (Mwenifumbo et al., 2004). Onze forages ont fait l'objet de diagraphies incluant la spectrométrie des rayons gamma, la résistivité et la vitesse des ondes sismiques de compression (V_p). Les mesures physiques de laboratoire sur les carottes incluent la résistivité, la densité, V_p et la porosité (le produit de V_p et de la densité de la roche donne l'impédance acoustique). L'étude conclut que la densité, V_p et l'impédance acoustique dépendent du degré de silicification des roches, et que la discordance entre les roches sédimentaires et le socle peut être imagée par des méthodes sismiques. Les variations de conductivité électrique peuvent aussi servir à cartographier l'altération hydrothermale.

3.2 Aide à la modélisation géophysique de gisements

L'interprétation des anomalies géophysiques de surface est grandement facilitée par une connaissance tridimensionnelle des propriétés physiques de roches. Cette connaissance peut être obtenue par des mesures pétrophysiques sur les carottes de forage. Dans certains cas, ces mesures joueront un rôle déterminant dans la compréhension de la géométrie d'un gisement et, en combinaison avec d'autres méthodes, permettront de localiser de nouvelles zones minéralisées. Voici un exemple australien éloquent :

Le gisement d'or mésothermal Wallaby (Placer Dome) fait partie la province Eastern Goldfields dans le craton de Yilgarn. La roche hôte est un conglomérat recoupé de dykes de syénite alcaline (Drieberg et

al., 2004). Le gisement comprend une série de filons sub-horizontaux inclus dans une cheminée d'altération à actinote-magnétite de pendage modéré (50°). La géométrie de la zone d'altération a été identifiée grâce à une combinaison de l'interprétation d'une anomalie aéromagnétique avec des mesures de susceptibilité magnétique sur toutes les carottes de forage de 0 à 500 m de profondeur (Coggon, 2003). Spécifiquement, un « modèle de blocs » (*block model*) des susceptibilités a été étudié en conjonction avec le modèle dérivé de l'anomalie magnétique de surface. Ceci a permis d'établir des cibles de forages « bien définies » entre 500 et 1 000 m. La configuration de la cheminée d'altération en profondeur a ensuite été confirmée par une autre campagne de forages, permettant la découverte de quatre nouvelles veines aurifères (Coggon, 2003).

3.3 Estimation des sulfures sans analyse chimique

Les analyses chimiques pour les métaux d'intérêt économique prennent un certain temps à devenir disponibles et demeurent relativement coûteuses lorsque réalisées en grand nombre. À l'étape de l'exploration, des analyses chimiques classiques réalisées par un laboratoire externe sont nécessaires pour rassurer les investisseurs, mais lors de la phase d'exploitation, il est possible de sauver du temps et des coûts en faisant les analyses à l'interne ou mieux, en trouvant des techniques indirectes pour connaître encore plus rapidement les teneurs du minerai.

Conséquemment, le contrôle des teneurs métalliques en environnement minier par la géophysique en forage devient de plus en plus populaire. Par exemple, Hattula et Rekola (2000) citent les cas suivants (voir aussi l'**annexe A** pour une discussion des autres applications possibles de la géophysique en forage, comme la prédiction de la lithologie) :

« Depending on ore type, geophysical borehole logging can also be applied to classify mineralization, interpret lithology, and sometimes to transform physical responses to metal grades in ore. At the Pyhasalmi zinc-copper-sulfur mine, density logging in percussion boreholes is used to locate mineable ore boundaries and to classify drillhole intersections as massive or semi-massive sulfide ore types. Pyrrhotite-bearing zones are separated from other sulfides by inductive conductivity logs. The use of geophysical logging for grade estimation and control has been most effective in the nickel mines at Enonkoski, Finland, and Namew Lake, Canada (using conductivity logs), and in the Kemi chromium mine, Finland (using gamma-gamma density logs). »

Il est aussi possible de tenter d'estimer les teneurs ou les pourcentages de sulfures directement sur les carottes de forage, bien que les avantages de la géophysique en forage sont de ne pas exiger de forage carotté et de fournir une information continue. Plusieurs tentatives d'estimation des pourcentages de sulfures sur des carottes de forage par la mesure de paramètres physiques ou la spectrométrie ont tout de même été faites, mais aucune technique ne semble encore véritablement au point. Quelques essais sont résumés ci-dessous.

3.3.1 Préviation des variétés de sulfures dans les carottes de forage : densité et susceptibilité magnétique

En combinant des mesures de densité et de susceptibilité magnétique, Williams et Dipple (2005) arrivent à fournir des « estimations réalistes » des concentrations en pentlandite dans des groupes de roches provenant du gisement de nickel Perseverance en Australie. Les auteurs ont utilisé plus de 40 000 mesures de susceptibilité magnétique et 80 000 mesures de densité sur une centaine de groupes d'échantillons, et des méthodes de programmation linéaires et non linéaires. Les autres paramètres

* La mine Pyhasalmi exploite un gisement de sulfures massifs volcanogènes en Finlande.

estimés étaient les pourcentages de pyrrhotite (monoclinique et hexagonale), de pyrite, de magnétite et de roche stérile.

3.3.2 Détermination du pourcentage de sulfures par analyse spectrale

Complexe de Stillwater

Dans plusieurs gîtes d'éléments du groupe du platine (EGP), le pourcentage de sulfures dans les roches mafiques ou ultramafiques est directement corrélé avec les teneurs en EGP. Dans le complexe de Stillwater, au Montana, les géologues estiment fréquemment les teneurs en EGP – aux fins de contrôle des teneurs, par exemple – en déterminant visuellement le pourcentage de sulfures (chalcopyrite, pentlandite, et pyrrhotite) dans les carottes de forages ou les galeries de mine. Il est bien connu que ce genre d'estimation visuelle varie beaucoup d'un géologue à l'autre, et l'utilisation d'une technique plus « objective » serait souhaitable. Une méthode de détermination des sulfures par analyse spectrale a donc été testée en collaboration avec l'Université du Montana (Bolin et Moon, 2003). Le spectromètre utilisé était un prototype nommé « *Airborne and Laboratory Imaging Spectrometer* » et cinq échantillons de carottes de forage fendues du « JM Reef » furent traités. Les chercheurs ont analysé les images du spectromètre pour mesurer le pourcentage de sulfures et comparé ces résultats avec des comptages de points sur les mêmes carottes. Il semble que pour l'instant, l'analyse spectrale sous-estime le pourcentage de sulfures dans tous les cas, mais des améliorations de la méthode demeurent possibles.

Complexe de Sudbury

Gallie et al. (2002) ont tenté de résoudre plus ou moins le même problème (détermination du pourcentage de sulfures dans des roches mafiques ou ultramafiques) grâce à l'analyse hyperspectrale (infrarouge et rayonnement visible). Spécifiquement, leur objectif était de déterminer le pourcentage de certains sulfures, dont la chalcopyrite et la pentlandite (et non pas le pourcentage total des sulfures comme dans l'étude de Bolin et Moon, 2003) sur des échantillons minéralisés et stériles provenant de huit mines de la région de Sudbury, ON. Le spectromètre choisi était un appareil portable, le FieldSpec FR, fabriqué par Analytical Spectral Devices Inc. (<http://www.asdi.com/products-FSP.asp>). La grandeur de champ de l'appareil est de 5 cm et donc les échantillons devaient être de taille suffisante. Le spectromètre fournit des mesures entre 350 et 2500 nm, ce qui représente un spectre plus étendu que le PIMA. Les auteurs arrivent à estimer le pourcentage de chalcopyrite avec une erreur absolue de $\pm 15\%$, ce qui ne semble pas être suffisant pour être utile. En somme, cette étude représente une étape d'un processus de raffinement des méthodes qui mènera peut-être à un protocole d'analyse précis et utile dans plusieurs années (A. Gallie, commun., pers., 2006).

3.4 Identification des altérations par spectrométrie infrarouge : un outil d'exploration

Grâce à sa capacité d'identifier les minéraux d'altération, la spectrométrie infrarouge est utilisable lors de campagnes d'exploration pour les gîtes de sulfures massifs volcanogènes, les gîtes d'or épithermaux et mésothermaux, les gîtes d'or ou de cuivre dans les sédiments, les gîtes de type porphyrique, ou tout autre type de gisement où l'altération comprend des minéraux listés aux **Tableaux 6** et **7**.

Tableau 6. Exemples d'utilisation du PIMA en exploration, d'après Thompson et al. (1999)*

Mineral Identification	Alteration Interpretation	Exploration Application
Alunite	Advanced argillic	— High-sulfidation environment, and zoning around high sulfidation — Steam-heated zones in low sulfidation
Dickite	Advanced argillic	— Zoning around high sulfidation — Sediment-hosted Au, with mineralization
Kaolinite	Advanced argillic and weathered rock	— High-sulfidation — Sediment-hosted Au, zoning
Dickite, pyrophyllite, diaspore	Advanced argillic	— Depth estimation
Chlorite	Propylitic, chloritic	— VMS zoning — Uranium zoning
Illite/smectite	Argillic	— High and low sulfidation, zoning — Uranium, zoning
Carbonate	Carbonate	— Mesothermal, zoning

* High-sulfidation et low sulfidation se rapportent à des types de gîtes épithermaux.

Voici deux exemples d'applications du PIMA aux gîtes de sulfures massifs volcanogènes et un exemple d'application pour un indice aurifère épithermal :

Parys Mountain, Grande-Bretagne

Le PIMA a été testé en collaboration avec le British Geological Survey sur des carottes de forages du gîte de sulfures massifs volcanogènes Parys Mountain (Anglesey Mining plc, <http://www.angleseymining.co.uk/>). Ce gîte de 6,5 Mt @ 10 % Zn-Cu-Pb combinés est d'âge Ordovicien et demeure le plus important de son type en Grande-Bretagne. L'interprétation des mesures PIMA a permis d'identifier des « assemblages minéralogiques distincts » qui ont été intégrés dans le modèle 3D du gîte (Denniss et al., 1999). Ces données apporteraient une « meilleure compréhension » du système et l'acquisition de mesures PIMA. L'intégration de celles-ci dans le modèle 3D pourrait permettre d'identifier de nouvelles cibles de forages dans l'objectif d'augmenter les réserves de minerai à Parys Mountain.

Sulphur Springs, Australie

Un autre test du PIMA sur un gîte de sulfures massifs volcanogènes a été effectué en Australie. Les gisements du district de Panorama dans le craton archéen de Pilbara sont peu déformés et bien exposés (Huston et al., 1999). Le secteur du gisement de Sulphur Springs, sujet de l'étude, est caractérisé par trois principaux faciès d'altération : (1) une altération régionale à chlorite-quartz-albite ± carbonate ± pyrite; (2) un faciès à chlorite-quartz, formant une cheminée sous le gisement et une zone semi-concordante à la base de l'andésite; et (3) un faciès à feldspath-séricite-quartz dans la dacite (Figure 16).

Tableau 7. Sommaire des minéraux détectables par le PIMA, d'après Thompson et al. (1999)

Environment of formation	Standard terminology	SWIR active mineral assemblage (key minerals are in bold)
Intrusion-related	Potassic (biotite-rich), K silicate, biotitic	Biotite (phlogopite) , actinolite, sericite, chlorite, epidote, muscovite, anhydrite
	Sodic, sodic-calcic	Actinolite, clinopyroxene (diopside), chlorite, epidote, scapolite
	Phyllic, sericitic	Sericite (muscovite-illite), chlorite, anhydrite
	Intermediate argillic, sericite-chlorite-clay (SCC), argillic	Sericite (illite-smectite), chlorite, kaolinite (dickite), montmorillonite, calcite, epidote
	Advanced argillic	Pyrophyllite , sericite, diaspore, alunite, topaz, tourmaline, dumortierite, zunyite
	Greisen	Topaz , muscovite, tourmaline
	Skarn	Clinopyroxene, wollastonite, actinolite-tremolite, vesuvianite, epidote, serpentinite-talc, calcite, chlorite, illite-smectite, nontronite
	Propylitic	Chlorite , epidote, calcite, actinolite, sericite, clay
High-sulfidation epithermal	Advanced argillic—acid sulphate	Kaolinite , dickite, alunite, diaspore, pyrophyllite, zunyite
	Argillic, intermediate argillic	Kaolinite , dickite, montmorillonite, illite-smectite
	Propylitic	Calcite , chlorite, epidote, sericite, clay
Low-sulfidation epithermal	“Adularia” — sericite, sericitic, argillic	Sericite , illite-smectite, kaolinite, chalcedony, opal, montmorillonite, calcite, dolomite
	Advanced argillic—acid-sulphate (steam-heated)	Kaolinite , alunite, cristobalite (opal, chalcedony), jarosite
	Propylitic, zeolitic	Calcite , epidote, wairakite, chlorite, illite-smectite, montmorillonite
Mesothermal	Carbonate	Calcite , ankerite, dolomite, muscovite (Cr-/V-rich), chlorite
	Chloritic	Chlorite , muscovite, actinolite
	Biotitic	Biotite , chlorite
Sediment-hosted gold	Argillic	Kaolinite , dickite, illite
Volcanogenic massive sulfide	Sericitic	Sericite , chlorite, chloritoid
	Chloritic	Chlorite , sericite, biotite
	Carbonate	Dolomite , siderite, ankerite, calcite, sericite, chlorite
Sediment-hosted massive sulfide	Tourmalinite	Tourmaline , muscovite
	Carbonate	Ankerite , siderite, calcite, muscovite
	Sericitic	Sericite , chlorite
	Albitic	Chlorite , muscovite, biotite
<i>Minerals are grouped by assemblages of alteration minerals, and keyed to commonly used terminology; Complete assemblages are in Thompson and Thompson (1996)</i>		

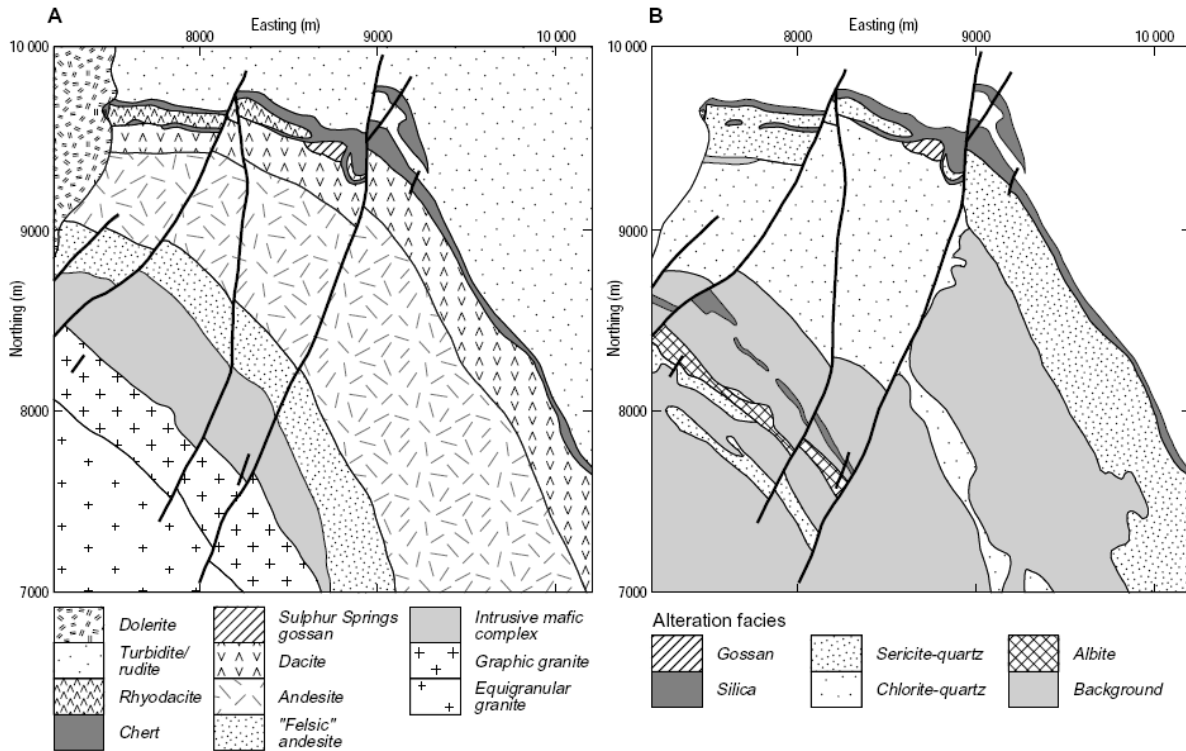


Figure 16. Lithologie (a) et zones d'altération (b) dans le secteur de Sulphur Springs, craton de Pilbara, Australie, d'après Huston et al. (1999). Vue en plan.

Les chercheurs ont utilisé le PIMA sur les poudres de 63 échantillons de surface du secteur de Sulphur Springs (**et non sur des carottes entières**). La méthode d'interprétation des spectres consistait à mesurer la « profondeur » et la position des pics des bandes d'absorption Al-OH (2180 à 2220 nm) et Fe-OH (2230 à 2295 nm). Le ratio $D_{[2230-2295]}/D_{[2180-2220]}$, où D représente la « profondeur » d'un pic (*depth*), correspond approximativement au ratio chlorite/sericite (**Figure 17a**). Les valeurs supérieures à 0,5 correspondent au faciès d'altération chlorite-quartz (plus proximal) alors que les plus petites valeurs correspondent à la zone à sericite. Une autre application est la cartographie de la composition des chlorites grâce à la longueur d'onde des bandes d'absorption Fe-OH : les courtes longueurs d'onde correspondent aux chlorites plus magnésiennes (**Figure 17b**).

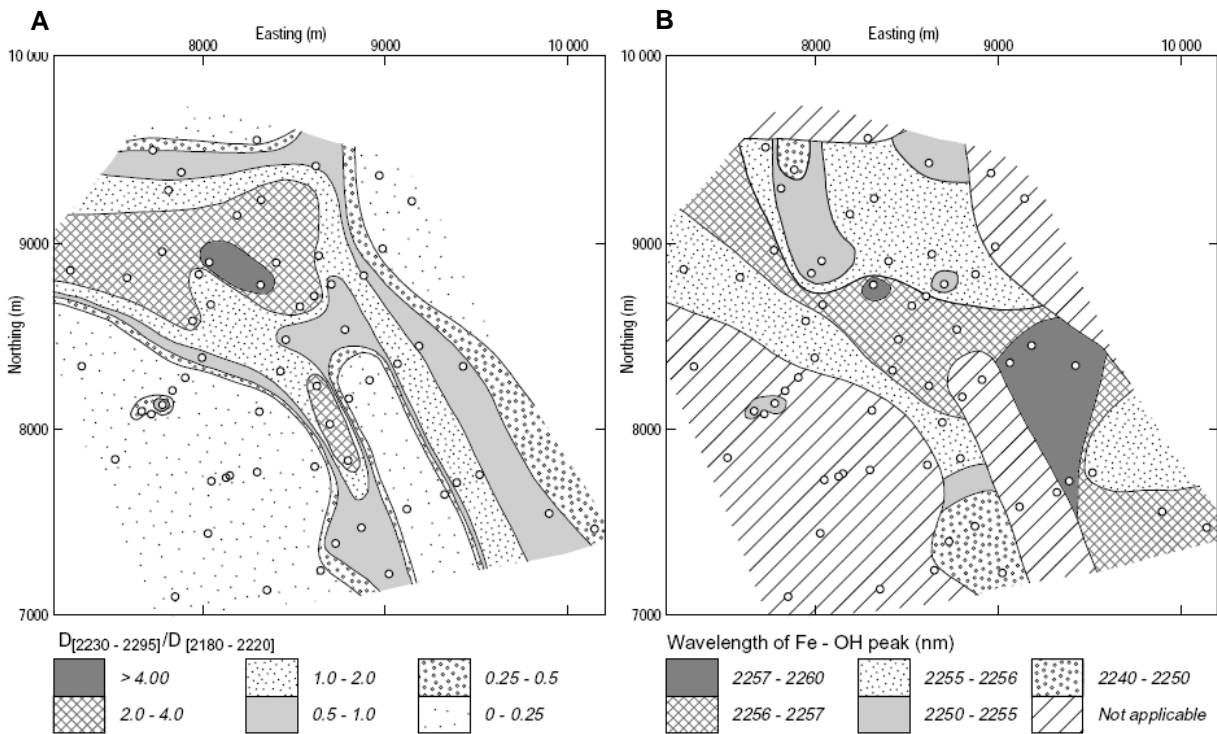


Figure 17. Vue en plan de (a) la variation du ratio des caractéristiques d'absorption Fe-OH et Al-OH et (b) la variation de la longueur d'onde de l'absorption Fe-OH. Les cercles montrent la localisation des échantillons analysés avec le PIMA. Secteur de Sulphur Springs, craton de Pilbara, Australie, d'après Huston et al. (1999).

Huston et al. (1999) proposent que le PIMA puisse être utile dans les études d'altération pour l'exploration semi-régionale ou à l'échelle du gisement; ils proposent l'utilisation du paramètre $D_{[2230-2295]}/D_{[2180-2220]}$ pour identifier les zones d'altération proximale (à chlorite).

Propriété Virgen, Pérou

En général, il est pratiquement impossible d'identifier les minéraux des argiles à l'oeil nu; or, dans les gîtes aurifères épithermaux de type « high-sulfidation », ces minéraux sont très importants (zone d'altération argillique avancée, etc.). PetraScience Consultants a étudié les zones d'altération de la propriété aurifère Virgen au Pérou (Gitennes Exploration Inc.), à l'aide du PIMA ([référence](#)). Les roches hôtes de la minéralisation sont des sédiments créacés et des andésites tertiaires. Les minéraux détectés par le PIMA incluent l'alunite, la dickite, la pyrophyllite, le diaspore, la kaolinite, la smectite, l'illite et le quartz. Il semble que l'altération en dickite puisse servir de vecteur vers la minéralisation.

3.5 Analyse hyperspectrale automatisée (HyLogger)

Un des objectifs du HyLogger, en plus de numériser les carottes de forage, est l'identification des zones d'altération hydrothermales. Le spectromètre serait assez sensible pour quantifier la chimie de certains minéraux. Deux études de cas sont présentées : un prospect de fer-oxydes-Cu-Au et un prospect aurifère.

^{*} <http://www.petrascience.com/cases/casesframe.htm>

Prospect Emmie Bluff

Le prospect fer-oxydes-Cu-Au Emmie Bluff est situé à 80 km au SSE du gisement d'Olympic Dam, dans le sud de l'Australie. L'analyse hyperspectrale a permis de caractériser des zones d'altération enveloppant une minéralisation sub-économique dans le socle ([référence](#)). Les zones d'altération reconnues incluent des phases à mica blanc (le contenu en Al des micas diminue quand on se rapproche de la minéralisation); une zone riche en oxydes de fer (hématite) dans le mur de la minéralisation; et une zone proximale enrichie en chlorite. Les zones à chlorites ferrifères correspondent aux plus fortes valeurs de cuivre.

Prospect Barns

Au prospect aurifère Barns, dans la « Central Gawler Gold Province » (Protérozoïque, sud de l'Australie), l'or est inclus dans des veines étroites, comprises dans une enveloppe d'altération, à l'intérieur d'une granodiorite (Keeling et al., 2004). L'analyse hyperspectrale a permis d'établir que la concentration d'or s'améliore quand la quantité de mica blanc augmente (**Figure 18**) et que la quantité de chlorite diminue. On a aussi noté que quand la zone à micas blancs est large (plusieurs mètres), l'or est souvent concentré en bordure. Finalement, les zones à phengite correspondent aux plus fortes valeurs en or (**Figure 18**).

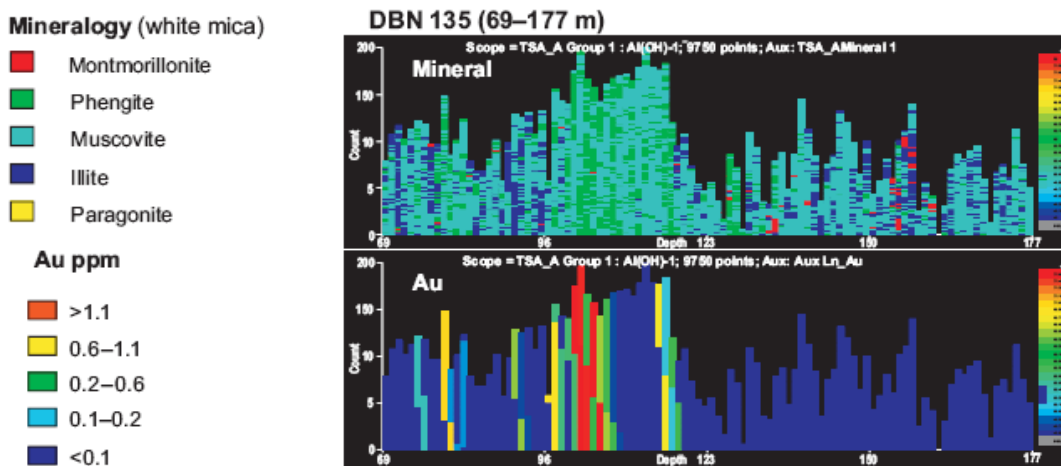


Figure 18. Comparaison du pourcentage de micas blancs et de l'abondance d'or dans un forage du prospect Barns, d'après Keeling et al. (2004). La quantification des micas blancs provient de l'analyse hyperspectrale (HyLogger) mais les valeurs en or sont obtenues par d'autres méthodes.

Comme mentionnée ci-dessus, la possibilité de visualiser simultanément les minéraux d'altération tels que détectés par le HyLogger et une image numérique de la carotte pour un intervalle de forage donnée est une caractéristique très intéressante de cette technologie (**Figure 19**).

^{*} <http://www.pir.sa.gov.au/pages/minerals/remote/hylogger.htm:sectID=2392&tempID=1>

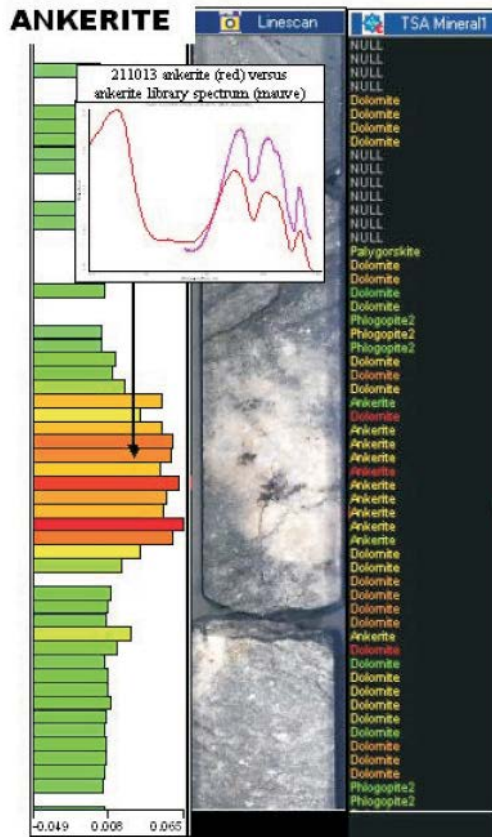


Figure 19. Visualisation des types de carbonates avec le HyLogger (source : affiche de CSIRO). Le graphique de gauche montre la proportion d'ankérite.

4 REFERENCES

- Bolin, B. J., et Moon, T. S., 2003, Sulfide detection in drill core from the Stillwater Complex using visible/near-infrared imaging spectroscopy: *Geophysics*, v. 68, p. 1561-1568.
- Coggon, J., 2003, Magnetism; key to the Wallaby gold deposit: *Exploration Geophysics Melbourne*, v. 34, p. 125-130. (Australian Society of Exploration Geophysicists 16th geophysical conference and exhibition. Adelaide, South Aust., Australia, Feb. 16-19, 2003)
- Drieberg, S, Walshe, J. L., Halley, S., Hall., G., 2004, Embedded insights into the Wallaby gold deposit, Western Australia. Predictive mineral discovery CRC Conference, Barossa Valley, Australia, 1-3 June 2004 (http://www.ga.gov.au/image_cache/GA6745.pdf)
- Gallie, A., McArdle, S., Rivard, B., et Francis, H., 2002, Estimating sulphide ore grade in broken rock using visible/infrared hyperspectral reflectance spectra: *International Journal of Remote Sensing*, v. 23, p. 2229–2246.
- Hattula, A., et Rekola, T., 2000, Exploration geophysics at the Pyhasalmi Mine and grade control work of the Outokumpu Group: *Geophysics*, v. 65, p. 1961-1969 (Society of Exploration Geophysicists, Exploration 97 conference. Toronto, ON, Canada).
- Huston, D. L., Kamprad, J., et Brauhart, C., 1999, Definition of high-temperature alteration zones with PIMA: an example from the Panorama VHMS district, central Pilbara Craton: *AGSO Research Newsletter*, v. 30. (<http://www.agso.gov.au/information/publications/resnews/>)
- Keeling, J., Mauger, A., et Huntington, J., 2004, Spectral core logger update - preliminary results from the Barns gold prospect. *MESA Journal* 33, p. 32-36. ([PDF](#))
- Killeen, P. G., Elliott, B. E., et Mwenifumbo, C. J., 1997a, Towards prediction of geological drill core logs using geophysical logs in volcanic stratigraphy: Bell, R. S. (éditeur), *Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Environmental and Engineering Problems*, March 1997, p. 963-972.
- Killeen, P. G., Mwenifumbo, C. J., Elliott, B. E., et Chung, C. J., 1997b, Improving exploration efficiency by predicting geological drill core logs with geophysical logs: Gubins, A. G. (éditeur), *Proceedings of Exploration 97: Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration*, p. 713-716.
- Mattsson, H., et Thunehed, H., 2003, Simpevarp site investigation - Measurements of petrophysical parameters on rock samples during autumn 2002: Rapport P-03-19, Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB), 24 p. ([PDF](#))
- Mwenifumbo, C. J., Pflug, K. A., et Elliott, B. E., 2000, Application of multi-sensor borehole geophysical measurements to gold exploration at the Giant Mine, Yellowknife, NWT; preliminary results: *Proceedings of the Seventh international symposium on Borehole geophysics for minerals, geotechnical, and groundwater applications*, Golden, CO, Oct. 24-26, 2000, p. 77-87.
- Mwenifumbo, C. J., Elliott, B. E., Jefferson, C. W., Bernius, G. R., et Pflug, K. A., 2004, Physical rock properties from the Athabasca Group; designing geophysical exploration models for unconformity uranium deposits: *Journal of Applied Geophysics*, v. 55, p. 117-135.
- Parasnis, D. S., 1997, *Principles of applied geophysics*: Chapman and Hall, Londres, 429 p.

- Peters, B., et Buck, P., 2000, The Maggie Hays and Emily Ann nickel deposits, Western Australia; a geophysical case history: Exploration Geophysics Melbourne, v. 31, p. 210-221. (Australian Society of Exploration Geophysicists, 14th international conference and exhibition. Perth, West. Aust., Australia, March 12-16, 2000)
- Thompson, A. J. B., Hauff P. L., et Robitaille, A. J., 1999, Alteration Mapping in Exploration: Application of Short-Wave Infrared (SWIR) Spectroscopy. SEG Newsletter, no. 39
- Williams, N. C., et Dipple, G., 2005, Identifying sulfide mineralization from physical property measurements and its application to mineral exploration inversions: Abstracts with Programs - Geological Society of America, v. 37, p. 23.
- Wolfgram, P. et Golden, H., 2001, Airborne EM Applied to Sulphide Nickel – Examples and Analysis: Exploration Geophysics, v. 32, p. 136-140

ANNEXE A : APPLICATIONS DE LA GEOPHYSIQUE EN FORAGE : PREDICTION DE LA LITHOLOGIE ET DE L'ALTERATION

Cette annexe se veut un complément d'information sur ce qui a été dit à la section 3.3 sur le contrôle des teneurs métalliques en environnement minier par la géophysique en forage. L'industrie pétrolière utilise depuis longtemps la géophysique multi-paramètres en forage pour prédire notamment la lithologie, avec beaucoup de succès puisque les bassins sédimentaires où se trouvent les hydrocarbures demeurent souvent fort simples (alternance de shale et de grès, par exemple : les shales sont plus radioactifs, etc.).

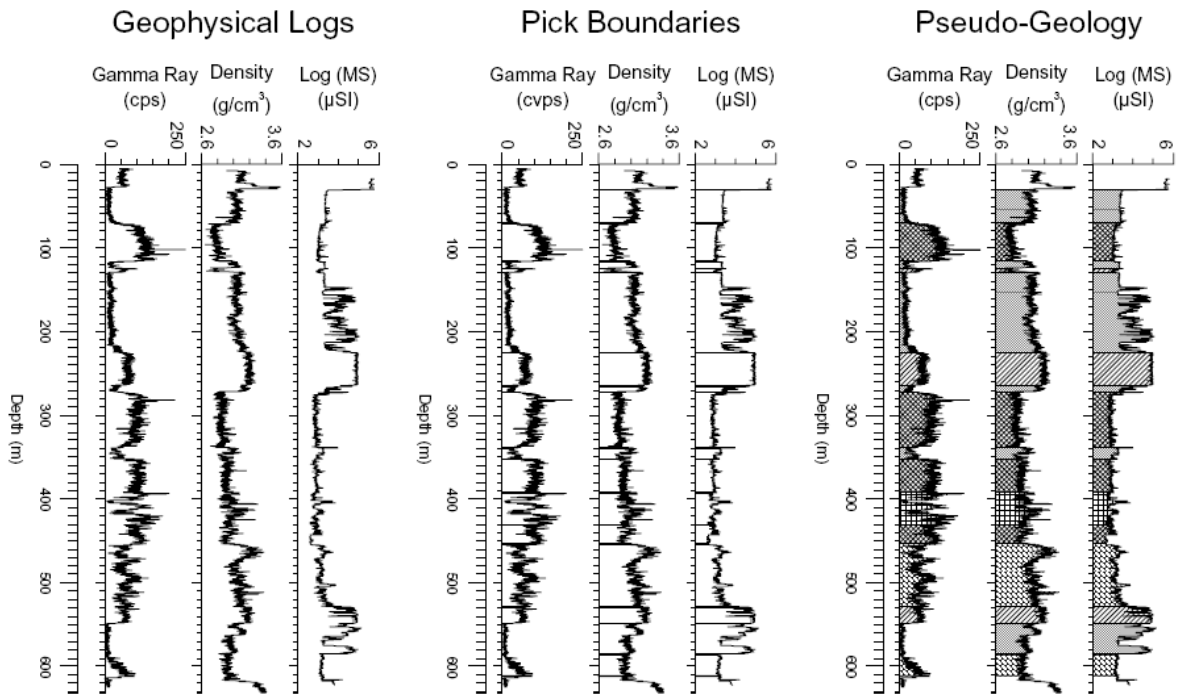
Dans le domaine minier, la dominance des forages carottés et la plus grande complexité de la lithologie (en général) ont ralenti la croissance des diagraphies pour des objectifs de caractérisation lithologique. Néanmoins la géophysique multiparamètres en forage pourrait devenir un bon complément aux descriptions de carottes des géologues, puisque :

- les levés géophysiques sont complets (par d'intervalles manquants)
- ils mesurent des propriétés chimiques ou physiques « invisibles » à l'œil nu, comme la densité ou la susceptibilité magnétique.

Le groupe « Géophysique des sondages et pétrophysique » (http://gsc.nrcan.gc.ca/borehole/intro_f.php) de la CGC travaille sur ce genre de problèmes depuis plusieurs décennies, et a notamment publié un « Manuel du cours abrégé de la Commission Géologique du Canada sur l'utilisation des diagraphies en exploration minière » (320 p., http://gsc.nrcan.gc.ca/borehole/of_f.php#3247).

Lors de l'exploration pour les sulfures massifs volcanogènes dans les ceintures de roches vertes, plusieurs types de roches volcaniques ou volcanoclastiques peuvent présenter un aspect visuel très similaire suite à l'altération et/ou au métamorphisme. Les diagraphies peuvent alors devenir fort utiles; Killeen et al. (1997a) présentent quelques cas canadiens d'applications. Ils citent par exemple un gisement de sulfures massifs près de Timmins où un pseudo-log géologique a été obtenu en combinant trois levés géophysiques (rayons gamma naturels, susceptibilité magnétique et densité; voir figure ci-dessous d'après Killeen et al., 1997b).

Les diagraphies peuvent aussi servir pour caractériser les gisements d'or, comme le montre l'étude de Mwenifumbo et al. (2000) à la mine Giant (près de Yellowknife). Les levés géophysiques suivants ont été réalisés sur quatre trous de forage: spectrométrie des rayons gamma naturels, densité de la roche (diagraphie gamma-gamma), résistivité, polarisation induite (IP), diagraphie acoustique (*full waveform sonic*), susceptibilité magnétique, et température. Pour la cartographie de la lithologie, la spectrométrie gamma et la susceptibilité magnétique donnent les meilleurs résultats, suivis par la diagraphie acoustique. Les sulfures disséminés ressortent bien sur un levé IP, alors que les concentrations de séricite sont repérables sur un levé radiométrique.

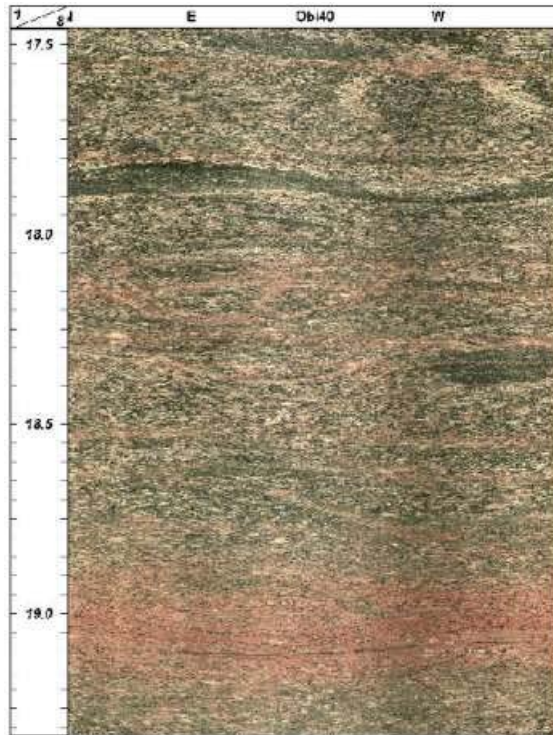


« Gamma-ray, density and magnetic susceptibility logs from hole R5603 in the Kam-kotia Mine Area, Ontario. To produce a pseudo-geological log, boundaries between homogeneous zones on the geophysical logs (left) are selected and shown in the centre of the figure. The zones with similar amplitudes are assigned similar patterns to produce the pseudo-geological on the right. »

ANNEXE B : IMAGERIE DU TROU DE FORAGE

Il est possible d'obtenir une image complète (360°) du mur du trou de forage en y descendant une caméra numérique au bout d'un câble (comme pour les autres diagraphies).

La sonde OBI-40 Optical Televiewer (distribuée par TerraPlus), par exemple, est équipée d'un module d'orientation permettant d'obtenir des images orientées pour des fins d'analyse structurale. Le module d'orientation comprend des magnétomètres et des accéléromètres ([site web](http://www.terraplus.ca)).



Les images obtenues sont très semblables à celles fournies par le CoreScan, elles sont continues pour tout le trou de forage (pas de sections manquantes) et elles sont très précisément orientées.

^{*} <http://www.terraplus.ca/products/borehole/obi40.htm>

5 ANNEXE C : FICHES TECHNIQUES DES APPAREILS

1. Susceptibilité magnétique
 - a) Susceptibilité des roches et des minéraux
 - b) Types de matériaux
 - c) Conversion des susceptibilités en pourcentage de magnétite
 - d) KT-9 Digital Magnetic Susceptibility Meter
 - e) KT-6 Kappameter
 - f) GMS-2 Magnetic Susceptibility Meter
 - g) MS2 Magnetic Susceptibility System
 - h) DCS-1 Gamma-ray and magnetic susceptibility core scanner
 - i) MPP-EM2S+ Multi-Parameter Probe

2. Conductivité électrique
 - a) GCM-2 Hand-Held Conductivity Meter

3. Radiométrie
 - a) GR-110 Gamma-Ray Scintillometer
 - b) GR-135G Handheld Gamma Ray Spectrometer
 - c) GR-320 enviSpec Portable Gamma Ray Spectrometer

4. Analyse spectrale
 - a) Spectrométrie infrarouge
 - b) Portable infrared mineral analyser (PIMA)
 - c) TerraSpec

5. Analyse spectrale automatisée
 - a) HyLogger

6. Fluorescence X
 - a) Analyseur XRF portable : Niton
 - b) XRF Core Logger

7. Numériseur optique de carottes
 - a) CoreScan

1. SUSCEPTIBILITE MAGNETIQUE

a) Susceptibilité des roches et des minéraux

<http://www.earthsci.unimelb.edu.au/ES304/MODULES/MAG/NOTES/rocksus.html>

MATERIAL	BULK SUSCEPTIBILITY X 10 ³ (SI)*	MATERIAL	BULK SUSCEPTIBILITY X 10 ³ (SI)*
AIR	~0	LIMESTONES	0 - 3
QUARTZ	-0.01	SANDSTONES	0 - 20
ROCK SALT	-0.01	SHALES	0.01 - 15
CALCITE	-0.001 - 0.01	SCHIST	0.3 - 3
SPHALERITE	0.4	GNEISS	0.1 - 25
PYRITE	0.05 - 5	SLATE	0 - 35
HEMATITE	0.5 - 35	GRANITE	0 - 50
ILMENITE	300 - 3500	GABBRO	1 - 90
MAGNETITE	1200 - 19,200	BASALT	0.2 - 175
		PERIDOTITE	90 - 200

b) Types de matériaux

http://epsc.wustl.edu/classwork/454/pdfs/lecture_white_magnetic.pdf

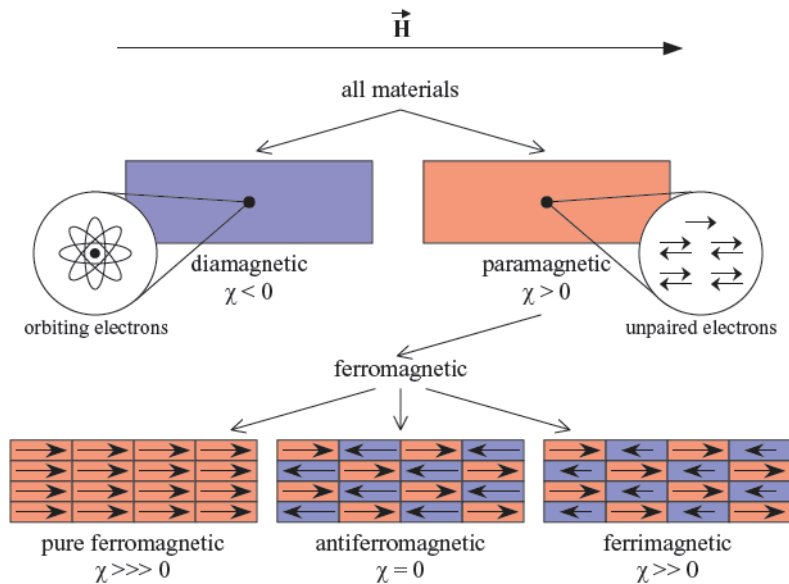


Figure 7: Diamagnetism and paramagnetism arise due to either orbiting or unpaired electrons, respectively. For ferromagnetic materials, the magnetic domains (small rectangles) align either parallel (red) or antiparallel (blue) to the imposed magnetic field to result in a net magnetic susceptibility. The length of the arrows illustrate the relative strength of the magnetic dipole moments within each domain.

c) Conversion des susceptibilités en pourcentage de magnétite

www.skb.se/upload/publications/pdf/P-03-19webb.pdf

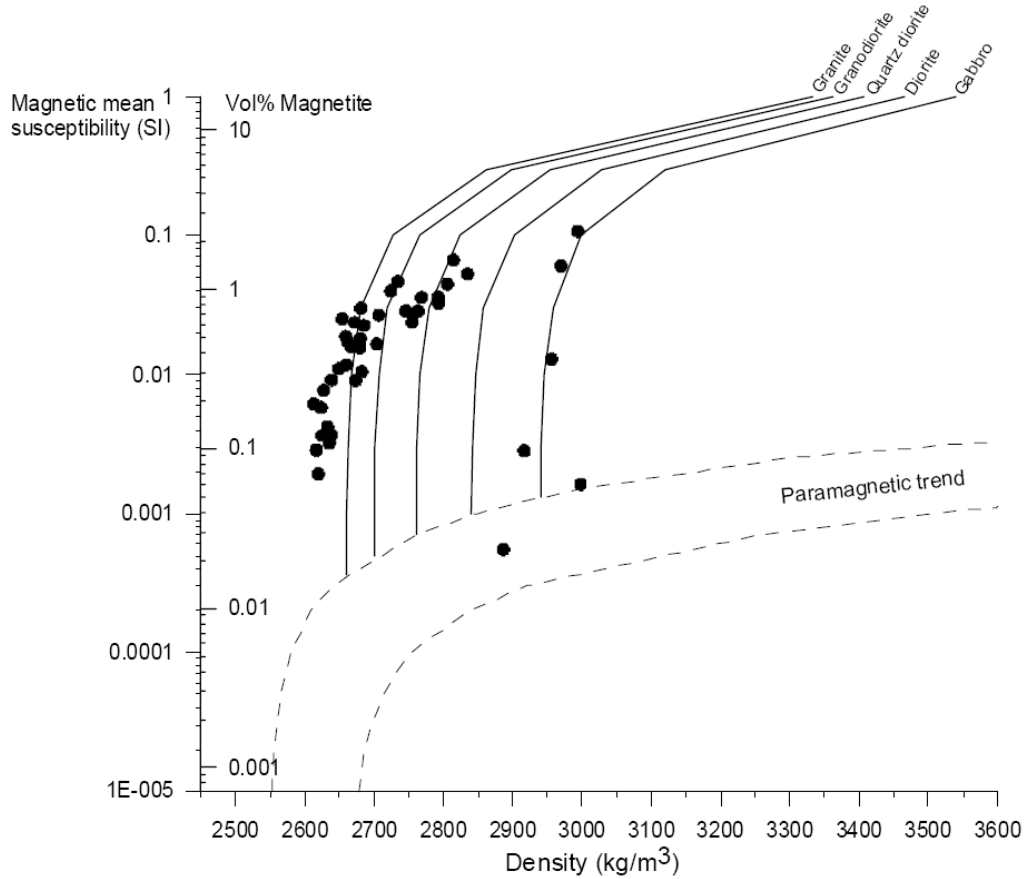


Figure 5-1. Magnetic susceptibility versus density in a rock classification diagram. The classification curves are calculated from /3/ with average densities from /4/. The volume percent magnetite is estimated from /5/.

/5/ **Parasnis D S, 1997.** Principles of applied geophysics. Chapman and Hall, London, 429 pp.

d) **KT-9 Digital Magnetic Susceptibility Meter**

<http://www.terraplus.ca/products/properties/index.html>

Measuring Pin:	Easy sampling for accurate readings on uneven surfaces
Drill Core Sampling:	Automatically corrects data for drill core diameter.
Digital Output:	Serial data output for data storage on a laptop computer.
External Sensor:	Permits easy core scanning.
Extendible Handle:	Permits ground sampling from a standing position.
Variable Audio:	Emits audio tone related to measured values for fast search.
High Sensitivity:	1×10^5 SI units (8×10^7 cgs)
Large Range:	1×10^5 to 999×10^3 SI units (8×10^7 to 8×10^2 cgs)
Real Susceptibility:	Automatically corrects for errors in the high ranges.
Rugged Design:	Designed for demanding field operations.
General:	The KT-9 is the state-of-the-art in portable Magnetic Susceptibility Meters. The field geologist will find that the many advanced features of the KT-9 make it an indispensable tool for the accurate analysis of rock samples. This very compact, hand-held unit can be used to analyze and classify rock types or drill core samples. It measures the volume magnetic content of rocks to extremely low levels, and thus can identify and classify minute quantities of magnetite, titanomagnetite, ilmenite and pyrrhotite.
Sensitivity:	The KT-9 has a sensitivity of 1×10^5 Si units (8×10^7 cgs). As the instrument is fully digital, the operator is not required to make any selection changes over the complete operating range (1×10^5 to 999×10^3 SI units [8×10^7 to 8×10^2 Cgs]) of the KT-9. In previous instruments, the higher ranges gave only the apparent susceptibility thereby requiring the user to make manual corrections. These corrections are now automatic in the KT-9.
Pin / No-Pin:	A unique feature of the KT-9 is a pin that protrudes from the center of the coil. This pin enables the user to take a reading from an extremely small portion of the sample's surface. By taking successive readings on an uneven surface, the "unevenness" error will be removed from the data, and a very accurate result will be obtained. The KT-9 gives the user a data average for samples in memory. The KT-9 can also be operated in the No-Pin mode, which is possible by replacing the measuring pin with a stud. In this mode the sensor is able to come into direct contact with the sample.
Sensor:	The KT-9 uses an air-cored measuring coil which has a much greater degree of sample "penetration". Unlike the 2-3 mm sample depth from an instrument using a ferrite core, the KT-9 coil gets 90% of its signal

from the first 20 mm of the sample. Thus small amounts of local mineralization will not distort the measured values.

- Drill Core:** The KT-9 automatically corrects for drill core diameters thereby providing corrected data immediately to the user. The core diameters are specified in 1 centimeter increments from 3 to 12 centimeters. A special value of 2.54 is used to specify a 1 inch diameter core.
- Digital Output:** The KT-9 can be connected to a laptop computer, and special software is supplied to enable the instrument to be remotely controlled by the computer. This permits the user to enter identification codes, and to start and stop scanning of data. Thus logging of drill cores can be directly correlated to core labels, and profile scanning related to location.
- External Sensor:** An external coil is available for scanning of narrow core samples. This coil may also be mounted on an extendible handle to facilitate ground sampling from a standing position. When an external sensor is connected, the internal sensor is automatically disconnected.
- Fast Scanning:** The KT-9 has an automatic SCAN mode to allow larger areas to be scanned quickly for changes in susceptibility. The scan rate is three readings per second (three times faster than the KT-5).
- Data Storage:** Up to 10 readings can be stored in the KT-9's internal memory. This data is retained even if the unit is powered off.
- Data Averaging:** The average of up to the 10 stored readings can also be displayed. This allows for very accurate measurement of uneven surfaces while in the PIN mode, as well as improved data quality for smoother surfaces while in the NO-PIN mode.
- Standard Components:** Complete field unit includes: KT-9, battery, RS-232 cable and software, leather carrying case, and instruction manual.

<http://www.saic.com/products/security/kt-9/>



Fabricant : Exploranium G.S. Ltd.

e) **KT-6 Kappameter**

<http://www.geoafrica.co.za/reddog/kappameter/magsusc.htm>



The KT-6 is the state-of-the-art in Magnetic Susceptibility Meters. The field geologist will find it an indispensable tool as it allows fast, easy and accurate analysis of rock samples.

This portable, hand-held unit can be used in the field by geologists to analyse and classify rock types or core samples.

The data can be transmitted via serial channel RS-232 to a computer to immediate evaluation and graphic representation.

The KT-6 has a maximum sensitivity of 1×10^{-5} SI units - 0.8×10^{-6} cgs units. This allows the unit to accurately measure very low level susceptibility for reliable identification of sedimentary rocks and other weakly magnetised minerals. However, the system is fully auto ranging and can measure up to a maximum of 999×10^{-3} SI units without operator adjustment. Thus over the entire operational range, the KT-6 delivers highly accurate and reliable data.

Most susceptibility meters use a ferrite cored coil. This restricts the "depth of penetration" to typically 1 - 3 mm. The KT-6 uses an air-cored coil giving much larger depth penetration - 90% of signal is from the first 20 mm. This means that if sample is being measured that has a rough surface, the KT-6 can be relied upon to give an accurate measurement of the rock's magnetite content. This "depth of penetration" also allows more accurate results from all rock types due to the better volume analysis that occurs with this feature.

FEATURES :

- Sensitivity 1×10^{-5} SI units
- Auto-range
- Real susceptibility automatic calculated
- Air cored coil for more accurate data
- LCD display to read easily in bright sunlight
- Easy to operate - single push-button
- Autoscan mode for core analysis
- Audio indication of relative reading values
- Data memory - 70 readings
- 9V battery, typically 150 hr's battery life
- Output RS-232C
- Real time and date

f) **GMS-2 Magnetic Susceptibility Meter**

http://www.fugroinstruments.com/html/inst/prod_magsus.htm



The GMS-2 is a high sensitivity, portable, hand-held magnetic susceptibility meter with both digital and analog readout. The analog and digital display provides the best of both worlds for those who prefer one display over another.

The unit is microprocessor controlled which allows flexibility in display, auto-ranging, auto-calibration in free-air, and serial output.

KEY FEATURES :

- Digital and Analog Display
- Pocket Sized and Lightweight
- High Sensitivity, Auto-Ranging
- Scan and Step Reading Modes
- Field and Laboratory Use
- Memory for 100 Readings
- Optional RS-232 Output

WHAT IS “MAGNETIC SUSCEPTIBILITY” AND WHEN SHOULD WE MEASURE IT?

Magnetic Susceptibility is the intrinsic property that determines the amount of magnetism a rock can have in a given magnetic field. Rocks are composed of minerals which vary in their magnetic susceptibility and magnetite accounts for most of the susceptibility observed. Thus the measurement of susceptibility can be used before magnetic surveys take place, to ascertain which rocks will be detectable magnetically, and to what degree. This can be undertaken in the field on outcrop or on samples in the laboratory. It is also used after drilling has taken place to measure the drill core and so determine from what rock types and at what depths the observed magnetic responses have originated.

TECHNICAL SPECIFICATIONS :

DC/DC Controls:	Three button touchpad
Display type and rate:	<ul style="list-style-type: none">- Rate : Liquid crystal, dot matrix screen, 128x64 pixels. Displays analog and digital reading and menus.- Digital Display: 4 digits updated approx. once per second.- Analog Display : 2D graphical, updated 10 times per second.

Sensitivity:	1 x 10 ⁻⁵ SI units
Units:	S.I. or C.G.S. units
Sensor oscillator frequency:	760 Hz. (Low to avoid effects of high conductivity in some samples.)
Response time:	Less than 1 second
Operating mode:	Single or Continuous Reading
Memory :	100 Readings and 10 Flags
Audio:	Audio Output on Key Touch. Selectable - Continuous Audio Indication of relative readings.
Range:	1 x 10 ⁻⁵ to 10 SI units - auto ranging
Power source:	2 x 1.5 Volts "AA" Alkaline Batteries
Battery life:	Better than 25 hours continuous use
Meter case:	Water Resistant - 'O' ring seal
Temperature range:	- Operating : 0 to +50 degrees Celsius - Storage : -40 to +60 degrees Celsius
Relative humidity:	10 to 90 percent (non-condensing)
Dimensions:	- Length : 155mm - Width : 84mm - Height : max. 34mm
Weight:	Approx. 300 grams
Standard accessories:	Leather carrying case
Optional accessories:	- RS-232 Serial Interface complete with PC software for the collection and storage of magnetic susceptibility data. - Sturdy Plastic 'Pelican' Case

g) MS2 Magnetic Susceptibility System

<http://www.bartington.com/ms2.htm>

FABRICANT:

Bartington Instruments Ltd
10 Thorney Leys Business Park, Witney,
Oxford, OX28 4GG England
<http://www.bartington.com/magsus.htm>
Tel: +44 1993 706565
Fax: +44 1993 774813
E-mail:sales@bartington.com



The MS2 system comprises a meter together with one of a wide range of individually calibrated sensors for measuring the magnetic susceptibility of soils and rocks in both the field and laboratory. It is the international standard for magnetic susceptibility measurements in environmental sciences.

The MS2 is a versatile system offering high resolution and accuracy, excellent temperature stability and very low measurement drift. It provides non destructive measurements and has a low operating frequency so measurements are not affected by sample conductivity. Readings are taken in around 1 second.

Applications include geological and soil surveys, palaeomagnetism, archaeological prospecting, palaeoclimatic studies, hydrology, sedimentology, core logging/correlation, and magnetic fabric analysis.

MS2C: CORE LOGGING SENSOR



A series of loop sensors, ranging from 36 to 162mm in diameter is available for high-resolution volume susceptibility measurements on whole cores. They are suitable for measuring any type of peat, lake, or marine sediment core, provided it is not metal clad. These rugged sensors, with a very low temperature induced drift, are designed for laboratory, field or shipboard use. They can be used with manual or automated core analysis systems - details on request.

The MS2C sensors are used in prospecting, core correlation and the identification of palaeoclimatic sequences. Optimum measurement accuracy is achieved with 5-10mm core clearance. Calibration graphs are provided for varying core to sensor diameter.

Specification - MS2C Sensor	
Loop internal diameter	36, 40, 45, 60, 72, 80, 90, 100, 125, 130, 135, 140, 145, 150, 160 or 162mm standard <i>Intermediate sizes can be provided at an additional charge</i>
Calibration accuracy	5% (calibration sample provided)
Measurement period - x 1 range - x 0.1range	0.9 seconds 9 seconds
Operating frequency	0.565kHz
Drift at room temperature	<2 x 10 ⁻⁶ CGS in 10 minutes after 5 minutes operation
Enclosure material	white polyacetal
Weight	2-2.65kg depending on diameter
Dimensions	290 x 200 x 144mm

ASC AUTOMATED CORE ANALYSIS SYSTEM

<http://www.ascsci.com/coretran.html>

Rapid, Automated Analysis of Magnetic Susceptibility



The ASC Core Analysis System is an automated system for moving cores through the Bartington Instruments MS2C magnetic susceptibility coil and collecting data along the length of the core. Additional sensors that can also be added to the system include a multi-channel natural gamma detector and gamma attenuation analyzer. Each system can be tailored to the specific logging sensors and core dimensions desired by the customer.

The standard system will accommodate core sections up to 5 inches in diameter and 5 feet long. It is of modular construction which enables easy break-down for shipping and addition of more track sections for longer cores or more sensors. The core sits on a semi-cylindrical fiberglass boat which is pulled through the sensor(s) using a stepping motor with power being transmitted to the boat via a Kevlar

reinforced cog belt. The core boat rides on two rails covered with replaceable, low friction UHMWPE extrusion.

The system includes a PC and ASC's MAGTRAK Software, which controls movement of the core and collects, displays and stores the susceptibility and/or other data. Please contact ASC Scientific at jtoth@ascscientific.com for a price quotation.

FABRICANT : ASC Scientific
2075 Corte del Nogal, Suite T
Carlsbad, CA 92011 USA
Tel. 800-272-4327 Fax. 760-431-0904

h) DCS-1 Gamma-ray and magnetic susceptibility core scanner

<http://www.giscogeo.com/pages/gfcrscn.html>

Automatic laboratory instrument for precise gamma-ray and magnetic susceptibility measurements of drill cores and sediment samples.



- Geological surveys
- K, U, Th assays
- Sedimentology
- Artificial radioactivity detection

The DCS - 1 provides continuous precise measurements on drill cores or other soil and rock samples placed in plastic measuring trays. Magnetic susceptibility and dose rate of gamma-ray are measured simultaneously in 1 cm steps along 1m long samples. After continuous scanning the spectral measurement with consequent analysis of K, U, Th concentrations on chosen parts of samples is available.

The DCS - 1 equipped with automatic correction for background levels of both magnetic susceptibility and gamma-ray. The device is calibrated on artificial standards for 36 mm and 100 mm diameters of drill cores (other diameters can be used as well). K, U, Th assays are based on the use of 512 channel gamma-ray spectrometer with quantitative spectral analysis. The precise movement and positioning of the measuring head over the sample is performed with the use of the stepping motor.

The DCS - 1 is designed for geological laboratory survey (scanning of rock samples), where it can save

significant part of the working time and provide such a high quality of the measurement that cannot be reached using handheld instruments. The device is controlled from a users IBM compatible computer. Software for Windows 95 or later is included with the DCS-1. The measured curves of magnetic susceptibility and dose rate are shown currently on the computer screen. Measured results are organized in the form of MS Excel files.

TECHNICAL SPECIFICATIONS:

- | | |
|----------------------|--|
| Gamma-ray unit: | <ul style="list-style-type: none"> - detector NaI(Tl) 3x3" with shielded photomultiplier - energy resolution better than 8.5% (137Cs) - energy range to 2 MeV - reference source 137Cs 16 kBq - pulse shaping 1us - analyzer 512 channels, up to 70000 pulses per second |
| Susceptibility unit: | <ul style="list-style-type: none"> - air-cored detection coil - sensitivity 1×10^{-5} SI units - measuring range 0 to 99999 $\times 10^{-5}$ SI units - operating frequency 10 kHz |
| PC interface: | RS-232C serial |



- | | |
|-----------------------|---|
| Power supply: | 110/220 V 60/50Hz |
| Dimensions: | 180 x 60 x 62 cm |
| Weight: | 118 kg |
| Standard accessories: | <ul style="list-style-type: none"> - two measuring trays for 36mm and 100mm cores - box for sheading material - two pads for sample distance adjustment - PC communications cable (RS-232) - Software for IBM compatible computer with Windows 95 or later - operation manual |

i) **MPP-EM2S+ Multi-Parameter Probe**

<http://www.gddinstrumentation.com/NewSite/>

Measures magnetic susceptibility & electrical conductivity simultaneously



Grâce à la sonde MPP-EM2S+, il est maintenant possible de confirmer instantanément les propriétés des sulfures contenus dans des échantillons de roches prélevés à la surface ou provenant de vieilles et nouvelles carottes de forage.

La sonde Multi-Paramètres MPP-EM2S+ détecte la susceptibilité magnétique (10^{-3} SI) ainsi que les valeurs de conductivité relative et absolue (MHOS/M) de petits et gros objets tels que: carottes de forage, échantillons prélevés sur le terrain, blocs erratiques, indices minéralisés, etc. Les valeurs sont affichées en temps réel pour interprétation immédiate et peuvent être sauvegardées et transférées à un PC pour interprétation future. Un signal sonore se fera entendre pour indiquer la présence d'un conducteur. La sonde détecte également les effets de hautes chargeabilités. Elle les indique de façon qualitative.

La sonde MPP-EM2S+ ressemble à un pistolet et doit être branchée à l'Axim X5 de DellTM.

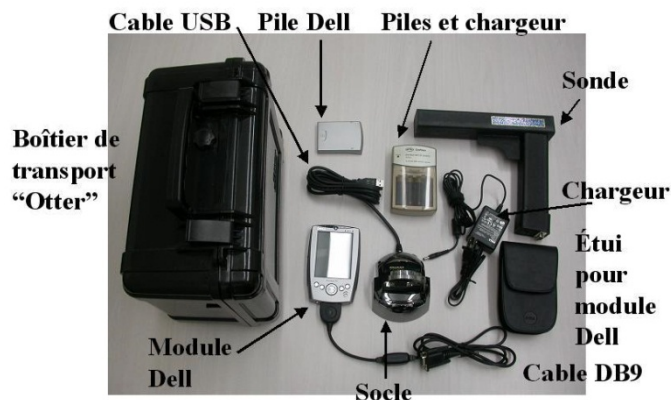
L'Axim X5 est équipé du Pocket PC 2002 Premium de la meilleure qualité de MicrosoftTM . Des applications familières sont préinstallées telles que Pocket Word et Pocket Excel, calendrier, contacts, enregistreur de voix ainsi qu'un certain nombre de fonctions incorporées.

CARACTERISTIQUES :

- Affichage du résultat instantané.
- Identification du trou de forage ou de l'échantillon.

- Mémorisation des données et de la position par un toucher sur l'écran tactile (touch screen).
- Affichage et enregistrement simultanés des propriétés: la susceptibilité magnétique (en 10^{-3} SI) de même que les valeurs relative et absolue (MHOS/M) de conductivité.
- Détection des hautes chargeabilités causées par les sulfures disséminés et le graphite.
- Enregistrement et transfert des données en format ASCII à un PC.
- Transfert des données à un PC avec le câble USB Travel Sync de DELLTM.
- Émission d'un signal sonore pour indiquer la présence d'un conducteur.
- Sonde calibrée à 10^{-3} SI & MHOS/M.
- Conviviale, rapide et peu dispendieuse.
- Hardware amélioré permettant d'enregistrer les données avec un bouton spécial sur la dernière version de la sonde.
- Option de connecter la sonde à un ordinateur avec le logiciel GDD.

La simplicité de la prise de mesures et l'enregistrement en mode manuel ou automatique vous permettront d'obtenir facilement des profils de conductivité et de susceptibilité associés aux carottes.



ACCESSOIRES INCLUS DANS L'ENSEMBLE MPP-EM2S+

- Sonde MPP-EM2S+ de GDD avec un câble série DB9.
- Logiciel GDD pour votre Axim X5 de DellTM.
- Module de lecture Axim X5 de DellTM avec pile Li-ion 1440 mAh
- Pile Li-ion 3400 mAh pour Axim X5 de DellTM.
- Socle chargeur avec câble USB pour transfert des données.
- Chargeur et piles Ni-Mh pour la sonde MPP-EM2S+.
- Boîtier de transport.
- Manuel d'utilisation.

SPECIFICATIONS

- Fréquence d'échantillonnage: 10 fois par seconde - Continu
- Fréquence d'échantillonnage affichée: 0.5 secondes
- Échantillonnage manuel en appuyant sur l'écran tactile
- Auto-échantillonnage: 0.1 à 60 secondes

NOUVEAU MODE GRAPHIQUE EN TEMPS REEL

- Échantillonnage continu
- Visualisation graphique en temps réel
- Échelle logarithmique
- Options
- Fréquence d'échantillonnage de 0.1 à 5 secondes
- Plusieurs vitesses d'affichage du graphique sur l'écran

2. CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE

a) GCM-2 Hand-Held Conductivity Meter



FABRICANT: Geo Instruments (Fugro Instruments)

FEATURES:

- Wide dynamic range from 10⁻¹ to 10⁵ S/m
- Digital and analog display readout with autoscaling
- Coil sensors for drill-core measurements
- Capability of galvanic measurements to supplement the induced measurements
- Corrects for magnetic effects of samples
- Memory for 10,000 readings
- RS-232 output

General:

The Model GCM-2 Hand-held Conductivity Meter is designed to measure the electromagnetic and galvanic conductivity of rock and drill-core samples. It is used to assist in interpretation of field data from electromagnetic surveys. Its design and implementation result from research on the conductivity of real sulfide ores and rocks sponsored by the Australian Mineral Industry Research Association (AMIRA).

Specifications:

Controls: 6 key membrane keypad

Display Type:	2 line x 16 character LCD. Displays menus and readings in analog and digital form with frequency used.
Display Rate:	Analog - 5 times per sec. Digital approximately once per second.
Sensitivity:	Inductive mode - 0.1 Siemens / meter, Galvanic mode - 1 ohm
Dynamic Range:	Inductive mode - 10 ⁻¹ to 105 S/m, Galvanic mode - 1 to 105 ohms
Sensor Frequency:	Inductive mode - 15.625 kHz to 2MHz, Galvanic mode - 15.625kHz
Sensor Type:	Flat coil for planar measurements and test leads for galvanic measurements as standard. Optional air-cored coils specific to standard core sizes.
Response Time:	Less than 1 second after zeroing has been performed (Zeroing takes 8seconds).
Memory:	10,000 readings in a circular buffer.
Storage Interval:	Continuous at 1, 2, 10, 20sec, 1min. 2min, or on command.
Data Output:	RS-232 ASCII format giving sequence number, conductivity and frequency.
Baud Rate:	Selectable 300 baud to 9600 baud.
Power Requirements:	4 x 1.5 Volt AA size alkaline batteries
Battery Life:	6 hours continuous operation at 70mA. Low battery indicator and auto shutdown provided.
Temperature Range:	Operating 0°C to 50°C Storage -40°C to 70°C
Relative Humidity:	10% to 90% (Non condensing)
Dimensions:	100mm x 180mm x 45mm with standard coil.
Weight:	approx. 600gms.
Optional Sensor Coils:	BQ-36.5mm, NQ-47.6mm, HQ-63.5mm, PQ-85.0mm, AQ- 27.0mm (or customized as per clients request)
Standard Components:	GCM-2 hand-held conductivity meter, carrying case, and instructions manual

http://www.fugroinstruments.com/html/inst/prod_conductivity.htm

This world first, hand-held conductivity meter designed by Geo Instruments, measures the inductive and galvanic conductivity of rock samples, mine faces and drill-core.

It is used to assist in the interpretation of field data from electromagnetic surveys. Its design and implementation result from research on the conductivity of sulphide ores and rocks sponsored by the Australian Mineral Industry Research Association (AMIRA).

PRINCIPLE OF OPERATION:

Since the impedance of an inductor will alter when placed in close proximity to a conductive body, the GCM-2 measures the in-phase and quadrature components of this impedance change and calculates the conductivity. A large dynamic range is obtained by utilising a measuring frequency appropriate to the conductivity and correcting for magnetic effects.

KEY BENEFITS:

- Wide dynamic range from 10⁻¹ to 105 Siemens per metre
- Digital and analog display readout with autoscaling
- Coil sensors for drill-core measurements

- Capability of galvanic measurements to supplement the induced measurements
- Corrects for magnetic effects of samples
- Memory for 10,000 readings
- RS-232 Output

CONDUCTIVITY VALUES OF ROCKS AND ORE:

It is important for users of the GCM-2 to note that the measured values of conductivity of rock samples will not be the same as quoted values for pure minerals. They will generally be much less.

The reason for this is that the conductivity of a heterogeneous sample of many different minerals and gangue varies greatly depending on the relative proportions of each mineral and the texture of the rock, its moisture content, etc. Gangue minerals such as quartz are in fact insulators and a typical proportion greatly reduces the overall measured conductivity. Measurements on rock samples rarely give values more than 104 S/m and generally range down to 1 S/m. Values of the order of 100 S/m are most typical and values greater than 105 S/m are not observed.

The range of measurement of the GCM-2 (10-1 to 105 S/m) has been arranged to cover these typical values. Instances of where the values would exceed the maximum value of the GCM-2 (105 S/m) would be pure metals such as native silver, gold, copper and iron. As pyrrhotite and graphite are very good conductors, their presence in a rock sample increases the conductivity. The texture of minerals can generate anisotropy which results in the measured values being apparent and not true values. Anisotropy will cause the conductivity measured by inductive means to be different from those measured galvanically. A difference between galvanic and inductive measurements is therefore an indicator of anisotropy.

TECHNICAL SPECIFICATIONS:

DC/DC Controls:	6 key membrane keypad
Display type and rate:	<ul style="list-style-type: none"> - 2 line x 16 character LCD. Displays menus and readings in analog and digital form with frequency used. - Digital: Approximately once per second - Analog: 5 times per second
Sensitivity:	<ul style="list-style-type: none"> - 0.1 S/m in INDUCTIVE MODE with appropriate sensors - 0.1 ohm in GALVANIC MODE
Dynamic range:	<ul style="list-style-type: none"> - INDUCTIVE MODE - 10-1 to 105 S/m - GALVANIC MODE - 0.1 to 106 ohms
Sensor frequency:	<ul style="list-style-type: none"> - Inductive mode - 15.625 kHz to 2 MHz - Galvanic mode - DC
Sensor type:	<ul style="list-style-type: none"> - Flat coil for planar measurements and test leads for GALVANIC measurements as standard. - Optional Air cored coils specific to standard core sizes.

Response time:	Less than 1 second after zeroing has been performed. (Zeroing takes 10 seconds).
Operating mode:	Single or Continuous Reading
Storage interval:	Continuous at 1,2,10,30s,1,2min, or on command
Memory:	10,000 readings in a circular buffer.
Data output:	RS232 ASCII format giving sequence number, conductivity and frequency.
Baud ratet:	Selectable 300 to 9600 baud.
Power source:	4 x 1.5 Volts "AA" Alkaline Batteries
Battery life:	- 6 hours continuous operation at 50mA. - Low battery indicator and auto shutdown provided.
Meter case:	Water Resistant - 'O' ring seal
Temperature range:	- Operating: 0 to +50 degrees Celsius - Storage: -40 to +60 degress Celsius
Relative humidity:	10 to 90 percent (non-condensing)
Dimensions:	100mm x 180mm x 45mm with standard coil.
Weight:	Approx. 600 grams
Standard accessories:	Sturdy Plastic 'Pelican' Carrying case
Optional accessories:	- Sensor coils to suit AQ, BQ, NQ, HQ, PQ cores. - Special sensors to order. - Sturdy field case for optional coils

3. RADIOMETRIE

Spectromètre : différentie U, K, Th à partir des rayons gamma

Scintillomètre : mesure rayonnement gamma total (c/s)

a) GR-110 Gamma-Ray Scintillometer



Features:

- Large internal crystal provides high sensitivity.
- Versatile data collection with 2 energy thresholds & 2 accumulation periods.
- Adjustable audio threshold.
- Audio level proportional to rate.
- Calibration test source.
- Large 4-digit LCD display for easy viewing.
- Small size and lightweight: 1.5kg.
- Rugged and watertight case.
- Efficient power provides over 100 hours operation on two "D" cell batteries.
- Adjustable leather carrying case.

General:

The GR-110 is a rugged, lightweight and portable scintillometer designed for the field geologist who requires the accuracy of a digital display, and large crystal volume for reliable statistics. Even under low light conditions, readings are easily visible on the large four digit Liquid Crystal display (LCD). In high sensitivity mode (0.08 to 3.0MeV) total counts are obtained at either 1 or 10 second intervals. For work where ground cover is highly variable, a 0.4 to 3.0MeV total count mode, "HE," provides significant geological information since the low energy portion of the spectrum is subject to the largest variations in Compton scatter absorption. The HE mode can also handle the high count rates found in drill core and mine face analysis applications.

Special calibration is not required to maintain high accuracy. The GR-110 uses digital counting and display of incoming radiation levels. All units are factory calibrated and are highly stable so that relative readings from unit to unit can be compared, or readings made at different times can be plotted on the same basis.

The small size and rugged construction of the GR-110, combined with its accuracy, ease of use, and operational features, make it a useful and advanced field portable scintillometer.

Specifications:

- | | |
|--------------------------------|---|
| Rotary Switch Controls: | <ul style="list-style-type: none"> - Battery check/display test - 1 second accumulate: 0.08MeV - 3.0MeV - 10 seconds accumulate: 0.08MeV - 3.0MeV - 1 second accumulate: 0.40MeV - 3.0MeV |
| Conversion Factors for Cesium: | <ul style="list-style-type: none"> - Range 1/10 (- B/G)- - 1 cps = 0.14 x 10⁻³ mR/Hr - = 1.25 x 10⁻³, μSv/Hr - Range HE (- B/G) - 1 cps = 0.36 x 10⁻³ mR/Hr - = 3.23 x 10⁻³, μSv/Hr |
| Temperature Ranges: | <ul style="list-style-type: none"> - Operating -25°C to 50°C - Storage: -30°C to 70°C |
| Audio Frequency Control: | Allows output tone to be range adjusted. Increases in count rate results in an increase in audio frequency |

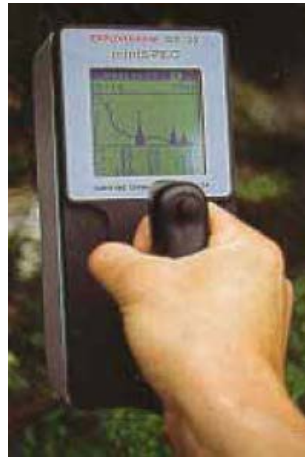
Internal Crystal:	1.5 x 1.5 x 2.0 inch (4.5 cubic inches) square cross section NaI (TI) detector with PMT, magnetic shield, and shock mounting
Display:	Liquid crystal type (LCD), 0.5 x 2.0" 4-digit, displays a maximum value of 9999cps
Audio Output:	Audio (adjustable threshold tone proportional to rate) via high efficiency loudspeaker
Time Constants:	Audio: 0.5 seconds for 0 to 2,500cps change
Construction:	Hardened aluminum 1mm thick case
Dimensions:	Approximately 5.3 x 12.4 x 21cm
Weight:	1.5 kg
Power:	Two "D" Cells- 100 hours (Alkaline at 15°C)
Alarm:	Low battery alarm via audio and flashing display Signal alarm if threshold is exceeded.

Standard Components:

GR-110 gamma-ray scintillometer, leather case with belt clip and shoulder strap, test source, two "D" cell batteries, PVC storage case, and instruction manual.

b) GR-135G Handheld Gamma Ray Spectrometer

<http://www.terraplus.ca/products/properties/index.html>



FEATURES:

- 1000 Channel Operation
- Assay Mode for %K, PPM eU, PPM eTh
- Automatic Gain Stabilization
- Graphics Display
- Internal Memory

The GR-135G is an ideal instrument for the exploration geologist/geophysicist looking for a light weight spectrometer. The 4.5 cubic inch crystal provides more sensitivity than many handheld scintillometers, plus with automatic gain stabilization the spectrum is free from drift, dramatically improving data quality.

The GR-135G allows long integration times, up to an hour or more. With the automatic gain stabilization these long integration times will yield accurate data. Typical precision in assay mode with a two minute integration is 0.4% K, 1 PPM eU, and 3 PPM eTh.

For general reconnaissance work the GR-135G may be operated in Scan mode, with readings every second. This mode provides a variable audio tone corresponding to count rate. The graphics display uses a chart recorder type output in this mode, displaying the last 60 readings. Time is stored with each reading. Memory storage is 10,000 samples or 200 spectra.

The GR-135G is truly a portable instrument, weighing just 2.2 Kg. An ergonomically designed handle and carrying case with shoulder strap make it easy to carry in the field. Built for rugged field conditions it will operate from -10°C to 50°C, and is weatherproof.

A Base Station mode is available to monitor changes in local site conditions. This may be useful to record radon flux changes. Power is supplied by rechargeable battery pack, or two alkaline D-cell batteries. Current battery condition is displayed. Memory back up is provided by an internal lithium battery.

A single 4-way toggle switch handles all set up and control procedures. Simple menus on the LCD display guide the user easily through set up. The display features adjustable contrast for viewing in any light condition.

For Health Physics applications the GR-135G is also offered as the GR-135 miniSpec. With an EPROM change the software converts to Dose Meter Mode, and Analysis Mode. The GR-135 miniSpec becomes a real time dosimeter that can be used to locate and measure radioactive sources. The Analysis mode can be used to identify the isotopes involved.

SPECIFICATIONS:

Detector:	1.5" x 1.5" x 2" (4.5cu. ins. 0.07L) Sodium-Iodide detector for high sensitivity and high energy resolution.
Spectrometer:	The system utilizes a 256 channel Gamma-Ray spectrometer permitting high resolution analysis of the spectra. The system may be set in the 0 - 0.75MeV or 0-1.5MeV mode to more accurately identify isotopes in the lower portion of the spectrum - or to the full 0 - 3.0MeV range, permitting analysis of all nuclides in the spectrum.
Spectrum Stabilization:	Automatic gain stabilization is used to eliminate drift. The unit displays system performance parameters including gain and detector resolution.
Spectrum Display:	In this mode the accumulated spectrum is displayed and the user can use the 4-way switch to move a cursor up and down the spectrum to inspect

special peaks. The display also gives the current channel number and count rate. This feature is used for detailed analysis of the spectrum.

Peak Analysis:	All the peaks that can be identified are listed, showing their energy and intensity.
Nuclide Identification:	The system has a built-in library of isotopes. Peaks are automatically identified and individual nuclides determined; then displayed for easy interpretation.
Assay Mode:	%K, PPMeU, PPMeTh based on internal calibration constants.
Assay Accuracy:	120 sec. count in a normal background area with 2%K, 2ppm U and 8ppm Th.
Assay Precision:	K= $\pm 0.35\%$, U= $\pm 1.5\text{ppm}$, Th= $\pm 2.6\text{ppm}$
Exposure Rate:	The user can select the display of exposure rate in appropriate units- selections are $\mu\text{R/h}$, $\mu\text{Sv/h}$ or $\mu\text{Gy/h}$. Measuring range 0.5 $\mu\text{R/h}$ - 10mR/h.
Survey Mode:	In this mode the GR-135G operates as a Gamma Ray scintillator indicating counts/sec with adjustable integration time, audible alarm and chart recorder display.
Scan Mode:	In this mode the system is being used in a search mode, primarily to locate a source of radiation. The audio tone varies with radiation levels to permit easy "eyes-only" scanning.
Controls:	A special molded handle has an integrated 4 way switch (joy stick) permitting user friendly, "onebutton", menu driven operation.
Data Storage:	The GR-135G can store up to 10,000 single readings or 200 full 256-channel spectra. Data storage is backed up with an internal lithium battery protecting the data while changing the main battery. The data is Time/Date tagged for accuracy.
Data Output:	The data storage in memory may be retrieved via an RS-232 data output at 9600baud. Special software is available to display trends in Survey or Dose data. Full spectral data may also be downloaded to a computer.
Base Station:	In this mode the system can be set to cycle at a regular rate (1min -1hr) and store data in memory. This mode is intended for long term local site monitoring. Data can be total count rate or full spectrum recording.
Remote:	All functions of the GR-135G can be controlled remotely from an external computer or modem.
Mechanical:	This instrument is well balanced and housed in a rugged aluminum case with full weather proofing, including short term water immersion. Operating temperature range is -10°C to 50°C . Size is 4.0" x 9.0" x 3.5" (101 x 228 x 89mm). Weight is 51 lbs (2.2kgs) including internal battery.
Battery:	The GR-135G is powered by 2 D-cell alkaline batteries permitting typically 30 hours of operation at 25°C . Rechargeable D-cells also can be used. The supplied battery charger permits recharging overnight without removing the batteries.

- Functions:** Measurement mode setting (survey, analyses, calibrate, stabilize, exposure rate.) Internal parameter setting (exposure rate units, alarm threshold, energy range, time of measurement, data output, integration time). Spectrum display (moving cursor, vertical rage). Start, Stop and Menu switching.
- Display:** High contrast 128 x 128 dots backlit graphic display.
- Connectors:** in back panel RS-232 serial port, external charger.
- Standard Components:** GR-135G, carrying strap, RS-232 cable and software, shipping case, and instruction manual.

c) GR-320 enviSpec Portable Gamma Ray Spectrometer

<http://www.geomatrix.co.uk/gr320%20new.htm>



OVERVIEW :

The GR-320 enviSpec is a portable gamma ray spectrometer that is accurate and easy to operate. This instrument provides real-time results for mineral exploration.

APPLICATIONS:

- The GR-320 enviSpec is intended for use as a mineral exploration tool suited for:
- Exploration geologists and geophysicists
- Mineral exploration companies
- Superficial and bedrock mapping geologists
- Individual prospectors

FEATURES:

- The GR-320enviSpec measures potassium, equivalent thorium concentrations in-situ, virtually in real time. See photo
- Key features include:
- 256/512 channel operation: software selectable.
- One or two detector input: size range of 21 to 512 cu. ins.
- Automatic spectrum stabilization: internal or natural isotope.
- 8 regions-of-interest set from the keyboard.
- High linearity ADC with zero dead time.
- Choice of coincidence or anti-coincidence operation.
- Exposure rate mode + isotope analysis for environmental data.
- Assay mode for geophysical data - %K, ppm eU, eTh.
- Large internal data memory with input capability for GPS position.
- RS-232 serial digital output facilitates spectrum, ROI and GPS data.
- Rechargeable (standard) or alkaline battery operation.
- Full remote control capability.

- User application programs supplied.
- Background, K, U and Th calibration using traceable test pads.
- Benefits
- Using the GR-320enviSpec can minimize the high costs associated with rock or soil sample collection, shipping, lab preparation and chemical analysis for elements collected. The use of gamma ray spectrometry increases the likelihood of finding deposits of gold, silver, copper, lead, zinc, rare earth elements and many other commodities.

SPECIFICATIONS:

Console Weight:	9 lbs (4.08 kg)
256/512 Channel Operation:	For most geophysical applications, the 256 channel operation is fully adequate. However, the extra precision provided by the 512 channel capability, especially in the lower regions of the spectrum, offers significant improvements in data resolution for the environmental sector. This 256/512 channel option is software selectable from the GR-320 keyboard.
Two Detector Capabilities:	In most portable applications, a single 21 cubic inch sodium-iodide detector is adequate. However, in surface vehicle, helicopter and aircraft applications, larger crystals are required. The GR-320 can support detector packs of up to 512 cu. in.
Automatic Spectrum Stabilisation:	The operator may select to stabilize the system using an internal Cesium source, or choose a naturally occurring isotope at the site of operation. In the local isotope mode, the system automatically accumulates until the isotope data is useable for gain control.
Calibration:	Exploranium, a Division of SAIC, provides calibration for each spectrometer on test pads traceable to GSC standards to assure the accuracy of each instrument.
Assay Mode:	Using internal calibration constants, the GR-320 measures concentrations in %K, or ppm of U and Th.
Regions-of-Interest:	Up to 8 ROIs may be set from the system keyboard.
Exposure Rate:	For environmental applications, the GR-320 does automatic natural isotope spectrum stripping, and then carries out a full peak analysis to identify any isotopes in the stripped spectrum. The individual isotope exposure rate is then computed by using internal calibration data.
High Linearity ADC:	The GR-320 uses a unique technique to achieve fast, reduced to virtually zero dead time analog-to-digital conversion with excellent differential linearity. This capability is important in large detector/high count rate applications.
Sample Time:	From: 1 to 9999 seconds.
Coincidence:	Either coincidence or anti-coincidence operation is possible when two detectors are used with the GR-320.

GPS Data:	The GR-320 has the capability to accept the location data from a portable GPS receiver. This position data is then stored in memory with the spectrometer data.
Real Time Clock:	A real time clock is built into the system.
Data Storage:	The GR-320 enables the operator to select combinations of ROI, spectra and GPS data to be stored in an internal memory (capacity 384 kbytes) or output via an RS-232 port. 690 full spectra or 3574 sets of ROI data can be stored.
Display:	An LCD graphics display is used to display computed data as well as full spectra data.
Digital Output:	Bidirectional serial (RS-232) output port with operation up to 19200 Baud is provided. Data is fully buffered so that 1/sec data transfer of full spectrum data does not interfere with data acquisition.
Power:	The GR-320 is powered by a rechargeable battery pack with built-in charger, or by 9-15V DC external power. The following power options are also available: a battery pack for operation with 6 "D" type alkaline batteries, and a power attachment permitting operation from 14-40V DC.

This wide range of abilities allow the GR-256 to be used by a variety of users including: Uranium Exploration, Laboratory Analysis, Vehicle Mobile as well as Environmental Analysis applications

4. ANALYSE SPECTRALE

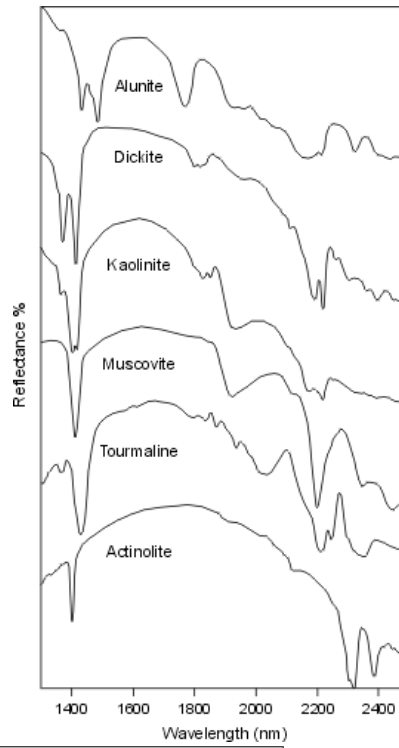
a) Spectrométrie infrarouge

<http://www.unr.edu/geothermal/pdffiles/CalvinStanford05.pdf>

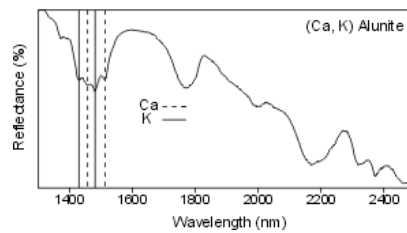
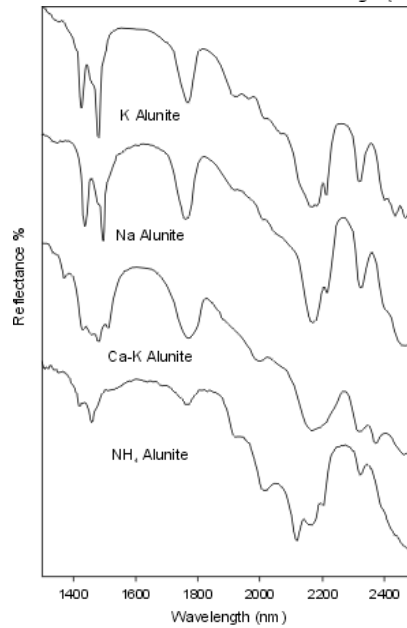
Optical and infrared spectroscopy has been used since the 1960's to identify specific rocks and minerals (e.g. Farmer, 1974; Hunt, 1977). The technique hinges on the interaction of light with geologic materials that absorb specific wavelengths creating a fingerprint signature. The resulting spectrum contains information on both the primary elemental composition as well as crystallographic coordination. At shorter wavelengths, the optical and infrared (0.4 to ~ 2.5 μ m), the resulting spectrum is most sensitive to iron (oxides, oxyhydroxides) and alteration cations (water, hydroxyl, carbonate) (e.g. Clark, 1999; Gaffey, 1997). In the infrared (5 to 50 μ m) absorption features from various classes of silicates are apparent (Hook et al., 1999; Christensen et al., 2000). Instruments have been developed so the spectra of samples can be quickly and directly measured in the field, as well as in the lab (e.g. <http://www.asdi.com>; Korb et al., 1996).

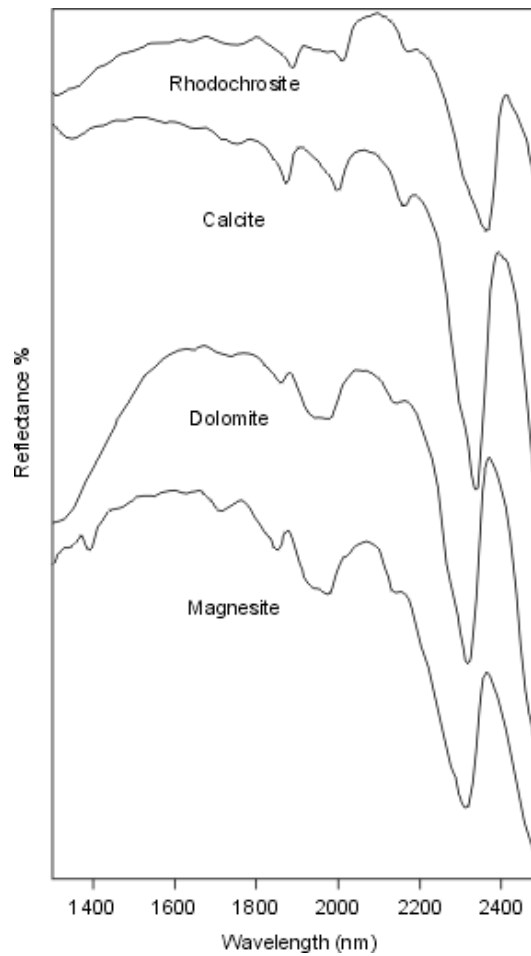
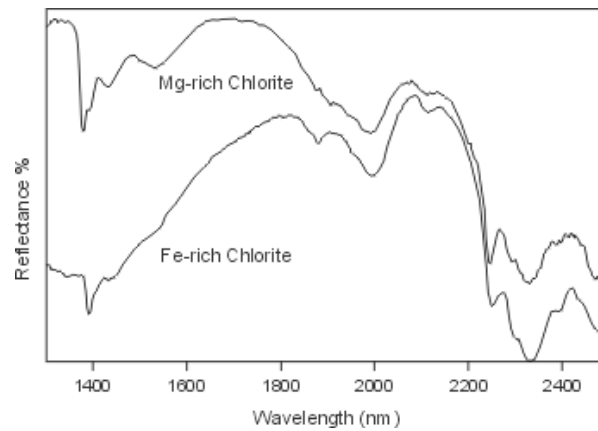
<http://www.petrascience.com/PIMA/pimaframe.htm>

DISCRIMINATION ENTRE LES MINERAUX :



CHIMIE DES MINERAUX :

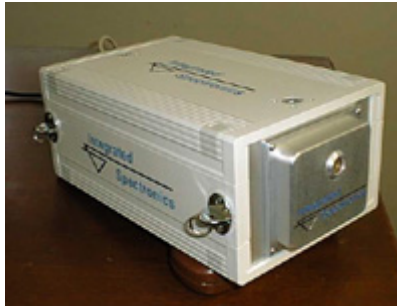




b) Portable infrared mineral analyser (PIMA)

FABRICANT: Spectral International inc.

<http://www.pimausa.com/pima2.html>



Fees

US \$3000
US \$2500/month
US \$2000/month

Requirements

1 month rental
1-3 months
4 months and longer

<http://www.ga.gov.au/pdf/Corp0054.pdf>

The PIMA is a spectrometer that measures the infrared (1300-2500-nm wavelength) radiation reflected from illuminated geological samples. Light interacting with the molecular bonds of a sample is absorbed at wavelengths that characterise the sample and causes a spectral response.

These characteristic absorption features can be used to identify minerals, particularly hydrous minerals commonly formed during hydrothermal alteration.

The PIMA spectra did not detect carbonate minerals, even though background-altered andesite contains significant ankerite/calcite. This apparent inconsistency results from the requirement for a high abundance of carbonate minerals before PIMA will detect them. The PIMA spectra do not indicate the presence of other hydrous minerals in the samples analysed.

<http://www.terraplus.ca/products/properties/index.html>

PIMA SP

FIELD PORTABLE INFRARED SPECTROMETER:

The PIMA SP field portable spectrometer was designed to allow the geologist to measure "laboratory" standard spectra of rocks and minerals in the field. The spectra are of sufficiently high resolution to reveal spectral detail of absorption bands that can be used beyond mineral identification. Examination of the spectra can reveal information on the degree of crystallinity and subtle mineralogical variations caused by, for example, elemental substitution in the mineral lattice.

Features:

- High spectral resolution in the SWIR.
- Measurement requires little or no sample preparation.
- Measurement is made in a contact mode.
- Uses internal light source and thus avoids interference from atmospheric water vapour.

- Palmtop Casio integrated for control and data storage.
- Operation also via Windows acquisition program.
- Operation by simple button push.
- Files automatically tagged with time and date and many other fields.
- Semi-automatic file naming option speeds up measurement.
- Spectra stored on 8MB internal memory.
- Retrieval of stored spectra to PC via RS-232 connection and Mobile Devices.
- Automatic wavelength calibration.
- Spectra recorded on uniform wavelength grid, no wavelength calibration files required.
- Radiometrically calibrated during each spectral scan.
- On screen status of battery voltage, temperature and the selected operational mode.
- Can be operated from vehicle cigarette lighter.

Specifications:

PIMA SP Console Dimensions with Palmtop attached:	29 x 21 x 15 cm - 3 kg.
Shipping Case for Pima:	49 x 40 x 20 cm - 13 kg (Case with PIMA + all accessories)
Wavelength Range:	1300 - 2500nm.
Spectral Resolution:	~ 7nm
Spectral Sampling Interval:	2nm
Signal To Noise Ratio (SNR)	3500:1 to 4500:1
32 Integration levels for Sample and Reference	
Measurements speeds:	from 10 seconds to around 5 minutes
Specialized Digital Signal Processing (DSP) producing high quality data	
1Cm ² PbS Detector with TE Cooler to provide 8 Degree C temperature stability	
Internal 10 Watt stable lamp source	
Wavelength calibrations	around 0.5 - 1.5nm RMS.
Built in wavelength calibration target.	
Built in Gold Reference target.	
Built in Memory calibration for Gold and Petri dishes.	
Built in 12Volt 2.5A/H battery.	

THE PIMA SP IS SUPPLIED WITH A COMPLETE KIT THAT INCLUDES:

- 110/240v power supply and battery charger.
- Battery packs (2).
- Battery belt.
- Carry strap.
- Manuals (hardware and software).
- Site License for PIMAVIEW Analysis Software.
- PC Acquisition software for Windows 95/98/NT.
- PalmTop Acquisition software.
- Water proof shipping case.
- Traveling bag.
- Petri dishes for use with pulps and soils.

PIMAVIEW 3.1

Advanced Visualisation and Analysis of Spectra for Windows 95/98/NT

PimaView Highlights:

- Multiple Spectrum Graphing.
- Stack 1000s of Spectra.
- Colour image of 1000s of Spectra.
- Mineral Identification with our Reference Library or use your own library.
- Many other statistical functions such as Correlation, Band Correlation, Search/Match...
- Other functions such as Hull quotients, smoothing, differentials etc...
- Import Data from any spectrometer with Automatic Interpolation.
- Import HyperSpectral data.
- Import ISPL specific data such as DSP,FOS,LIB and LOS files.
- Import / Export ASCII spectra via the clipboard.
- Batch Export all data as ASCII, ASCII Matrix, Binary Matrix and much more...
- Export all Analysis results to an Excel compatible format.
- Search Library files, FOS files for particular fields.
- Edit FOS header fields to add extra valuable information.
- Make libraries with simple Cut / Paste technology.
- Sort libraries by any header field.
- Provides 100% compatibility with PIMA II, PIMA SP, PIMA UpGrades and PIMA RAP infrared spectrometers.

C) TerraSpec

http://www.asdi.com/products_MiningApps.asp

FABRICANT: Analytical Spectral Devices, Inc. (ASD)
www.asdi.com



ASD's field portable spectrometers are widely used for geologic remote sensing applications. Geologists have recognized that the same methods of reflectance spectroscopy have far reaching applications beyond remote sensing, especially in mineral exploration, core logging, alteration zone delineation, and lithology mapping. ASD's TerraSpec® spectrometer is optimized for these applications.

TerraSpec® is the ideal tool for **mapping of alteration mineralogy**. Most alteration minerals associated with economic deposits have unique and identifiable spectral signatures. The measured spectral signature of a sample is determined by the minerals present, their relative abundances, their crystallinity and their compositional variation. In many cases it is possible to both identify the mineral phases present in a sample as well as the thermal environment of its formation.

Unlike other instruments, TerraSpec® is available with full wavelength coverage, opening the door to many new applications, including assessment of acid mine drainage and mine reclamation. TerraSpec® is available with a wide range of sampling accessories making it suitable for measurements of rocks, minerals, tailings, soils, drill core, cuttings and pulps.

TerraSpec® is a high speed spectrometer, allowing for collection of 1-200 spectra per hour. This makes TerraSpec® a great tool for core and chip tray logging. In the case of drill cuttings, the use of ASD's Contact Probe allows measurement directly in the chip tray, eliminating the tedious and error prone process of transferring the chips to a separate sample container for analysis. The ultra-rugged portability of TerraSpec® makes in-place measurement of geologic transects and outcrop mapping a breeze.

Everyday, new and exciting applications for spectrometry are being explored. ASD is well known for its expertise and novel thinking in providing practical real-time solutions. At the core of each ASD instrument is the modular Goetz Spectrometer. This combined with the ability to interface with many different probes and sampling accessories, allows for maximum flexibility and customization to your specific application need. With ASD technology, one spectrometer and a few accessories are all you need for a world of unique applications!

TerraSpec® is a compact and field portable precision instrument with a full spectral range (350-2500 nm), a 6 to 7nm spectral resolution, and rapid data collection (1/10 th of a second per spectrum). Including ASD's fiber optic mineral probe, the TerraSpec® system is lightweight, ultra-rugged, and affordable.

SPECIFICATIONS:

- Spectral Range 350 - 2500 nm
- Spectral Resolution 3 nm @ 700 nm
- 6 nm @ 1400 nm
- 7 nm @ 2150 nm
- Scanning Time 100 milliseconds
- Detectors One 512 element Si photodiode array 350 - 1000 nm
- Two separate, TE cooled, graded index InGaAs photodiodes 1000 - 2500 nm

- Input Detachable SMA 905 style 1.5 m fiber optic cable
- Weight 12.5 lbs or 5.66 kg
- Size 5" x 14.5" x 11.5" (H x W x D) or 12.7 cm x 36.83 cm x 29.21 cm
- Notebook Computer Sold separately — recommended: Panasonic Toughbook

5. Analyse spectrale automatisée

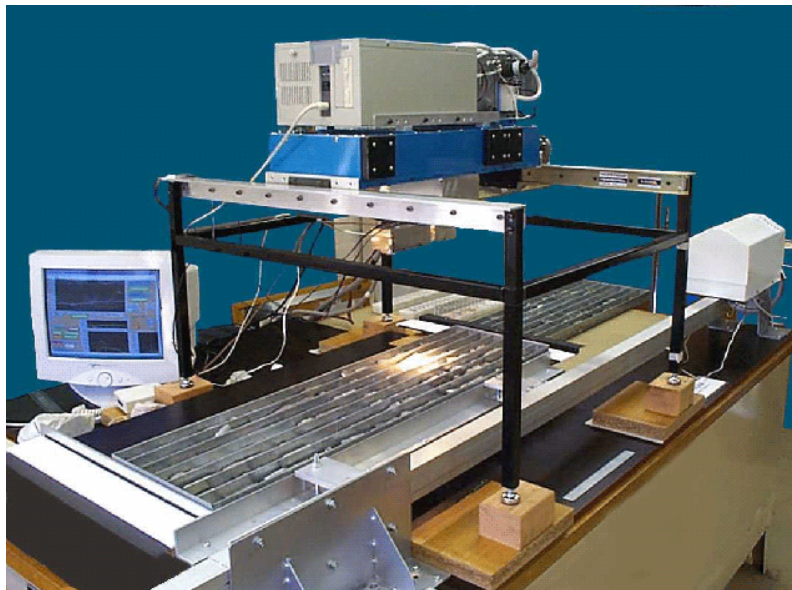
a) HyLogger

- **But:** cartographie de zones d'altération (e.g. IOCG); identification des minéraux. Avantage : automatisé, objectif, mesures répétables.
- Encore en développement. Support de Western Mining Corp., Goldfields, etc. Pas commercialisé pour l'instant. (projet original commandité par Anglo American, AngloGold, BHP Billiton, Phelps Dodge Australasia, Western Mining, ...)
- Fabriqué par le Mineral mapping technologies Group, CSIRO

<http://www.syd.dem.csiro.au/research/MMTG/P685%20Core%20Logging/P685.htm#instrument>

During recent years, many companies have indicated a desire to undertake mineralogical logging of thousands of metres of drill hole material. Currently, only point measurements using a PIMA or ASD spectrometer on core are practical. Continuous logging of long core sections and thousands of chip samples is not yet feasible. This project seeks to remedy that situation.

Many mines have core farms containing 50, to more than 100km of diamond drill core. Several world-class mines have well over a thousand kilometres of core. State Core Libraries also contain thousands of kilometres of core. For many drill holes, only the mineralised interval has ever been studied in detail, so that much of the core represents an asset, which has not been fully utilised.



<http://leme.anu.edu.au/Pubs/Monographs/regolith2005/Mauger.pdf>

Touted as objective core logging the core scanning version of **HyLogger** has 189 channels from 412 to 2512 nm and scans diamond core trays at 1 cm spatial resolution for the spectra while acquiring an RGB image at 0.1 mm image resolution at the rate of 60 m per hour or 90,000 readings per day. Automated

techniques are capable of digitally masking out rubbish in the core trays and software provides automated mineral interpretation of the spectra. Beyond the library incorporated in the software, the spectra offer the opportunity to subdivide the core by their spectral response, objectively identifying clear boundaries between distinct units and potentially allowing for more accurate correlations between holes.

http://www.doir.wa.gov.au/documents/gswa/gsdFld36_2005.pdf

The **Hylogger**, a high-tech device developed by Dr Jon Huntington and his CSIRO team in Sydney, uses a visible to short-wave, infrared spectrometer and high-resolution digital camera capable of scanning up to 700 m of drill core per day. The spectrometer has a narrow focus that scans down the core while it remains in standard core trays as the trays are moved backwards and forwards on a robotic stage. This produces a continuous stream of reflectance spectra at 10-mm intervals as it traverses each section of core. The information is processed by sophisticated software that can then be analysed for specific minerals giving important clues to ore-forming processes.

This new approach to core logging brings more objectivity, consistency and repeatability of interpretation to the logging of core. The Hylogger can continuously scan trays of core at high speed, collecting the data in a digital format that can be disseminated on the internet, thus greatly increasing the cost benefit/value from expensive drilling. The Hylogger concept goes a long way towards ensuring core libraries of the future will provide a more-integrated approach to the packaging and delivery of information.

<http://www.pir.sa.gov.au/pages/minerals/remote/hylogger.htm:sectID=2392&tempID=1>

5.1 HyLogger™

5.1.1 Introduction:

- The HyLogger core scanner is a new, rapid spectroscopic core and chip logging and imaging system developed by CSIRO's Mineral Mapping Technologies Group.
- PIRSA successfully trialled the HyLogger technology in May 2002 and since then, has worked with Geoscience Australia (GA) and the Cooperative Research Centre for Landscape
- Environments and Mineral Exploration (CRC-LEME) to scan core held in the PIRSA Drill Core Storage Facility.
- In 2003, a three-month campaign logged over 50,000 metres of core and in 2004-2005 another 25,000 metres were completed.

5.1.2 The Technology:

The new system uses automated core tray handling, continuous visible and infrared spectroscopy, and digital imaging, to characterise and identify dominant mineral species on core, chips and pulps, at spatial resolutions of ~1 cm (spectral data) and ~0.1 mm (image data).

The system can log up to 1000 metres of core per day and several thousand metres of drill chips. Mineralogy is pre-interpreted using specialised identification software trained on a selected suite of minerals showing characteristic absorption features within the measured spectral range.

5.1.2.1 Image Examples:

Further examples of the spectral data that the HyLogger system captures can be found [here](#).

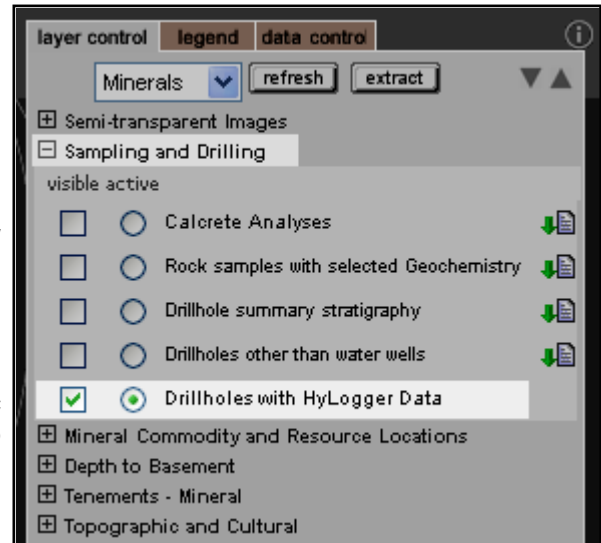
5.1.2.2 Hylogger on SARIG:

Hylogger drillhole data is now available via [SARIG](#) - the South Australian Resources Information Geoserver.

Customers now have the ability to view and interrogate a specific HyLogger data layer allowing them to view complete core details of each hole.

In Addition, SARIG also offers .pdf core scan results for selected drillholes (some [examples](#)). These scan results can be saved directly to your computer for future reference and as more image files are compiled, they will be added to the layer.

As the diagram to the right indicates, the HyLogger data layer is located in the **Map Data** area of SARIG, under the **Sampling and Drilling** heading in the **Layer Control** panel. Red points indicate drillholes where image files are available where as images for the grey points are currently unavailable.



5.1.2.3 Case Study - Emmie Bluff:

At the Emmie Bluff iron oxide copper-gold prospect, 470 km NW of Adelaide and 80 km SSE of the Olympic Dam Cu-U-Au deposit, the spectral mapping system was able to characterise a number of alteration zones enveloping the deeper, sub-economic Cu-Au mineralisation in basement. These consist of distal white mica phases showing decreasing aluminium content towards mineralisation, a zone of increased iron oxide content in the hanging wall to mineralisation, and a zone proximal and coincident to Cu-Au mineralisation that is enriched in chlorite with variable Mg / Fe chemistry. (*Note: the upper mineralisation in Tapley Hill Formation was not scanned*).

The speed and objectivity offered by such a system, combined with assay data and visual log descriptions, provide tremendous scope to increase the returned value on expensive drilling programs. Early mapping of alteration zones, some often larger than previously detected, may provide more targeted and hence more cost effective drilling programs, as well as providing an early indication of geotechnical and/or metallurgical issues in an ore system**.

** Adapted from : - Huntington, J. et al., 2004. Automated mineralogical logging of core from the Emmie Bluff, iron oxide copper-gold prospect, South Australia. PACRIM 2004 Congress, Adelaide, SA, 19-22 September 2004, p 223-230, AusIMM Pub Series No 5/2004.

5.1.2.4 *Further Information and Reading:*

For further information on the HyLogger program, please contact:

[Dr Alan J Mauger](#) (PIRSA)
Telephone: (08) 8463 3062

[Mr John L Keeling](#) (PIRSA)
Telephone: (08) 8463 33135

Keeling, J., Mauger, A., Huntington, J., 2004. [Spectral core logger update - preliminary results from the Barns gold prospect](#). MESA Journal 33, pp 32 - 36. (.pdf file ~ 2Mb)

AUTOMATED MINERALOGICAL LOGGING OF DRILL CORES, CHIPS & PULPS. CSIRO POSTER:



Spectrometer subsystem

Telescope

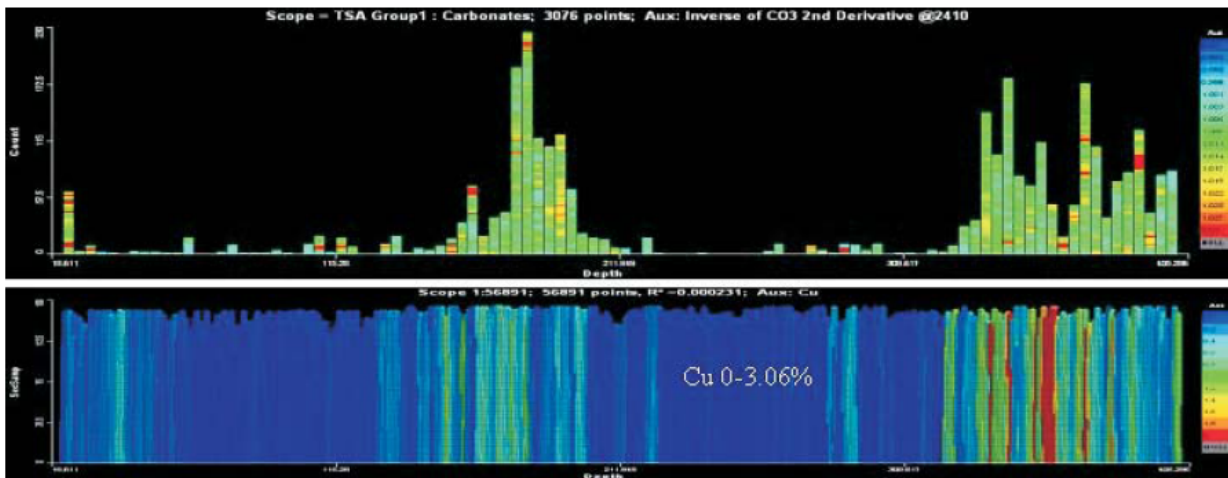
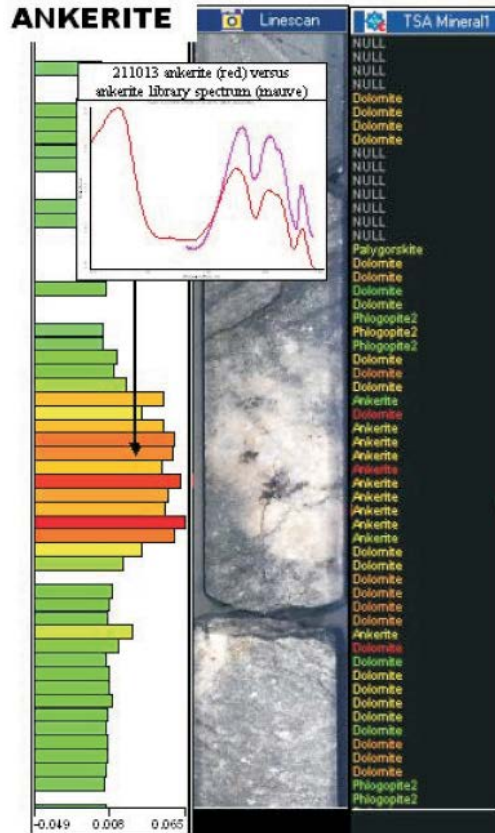
Core tray

Calibration transfer standards

Automatic X-Y transport subsystem

Control computer subsystem

The Spectral Geologist (TSG) log screen views provide visual links between the interpreted mineralogy and digital core photography.



TSG screen view illustrating the close spatial association between silica dolomite zones and copper assays.

Upper plot shows the number of samples identified as containing dolomite, per 3 m interval, coloured by the intensity of the carbonate development. This analysis draws on 44,300 spectral measurements over this 405 m hole. Lower plot depicts a virtual core tray plot of copper assays (rainbow colours) per core tray section from the hole's collar at lower left, to the end of hole at the upper right. Each thin vertical coloured line covers one core tray section.

6. FLUORESCENCE X

a) Analyseur XRF portable : Niton

<http://www.niton.com/index2.asp>

Geochemical exploration, survey & ore-body assessment:

The NITON XLi/XLp/XLt 500 Series portable XRF analyzer provides a highly reliable and accurate method for assaying mineral deposits in the field. Measurements can be taken in situ, i.e. directly on the ground, on a rock face or a drill core. Samples can also be prepared by grinding and sieving prior to analysis. Sample preparation prior to measurement offers the advantage of providing homogeneity, which in turn, ensures reproducibility. For a prospector, what could be better than being able to carry your analyzer around with you on surveys and site assessments? The instruments are truly field-portable and can be carried on your waist in a specially designed pocket holster. To perform rapid, on the spot screening for qualitative elemental identification and field assessments, simply point and shoot. Results are displayed in seconds.



XLi / XLp/ XLt 500 Features & Performance:

RUGGED & HIGHLY PORTABLE:

- Single piece unit, weighing only 1.7 lbs for XLi, and 3.0 lbs for XLp / XLt.
- Can be carried in waist belt holder
- Quick-swappable batteries allow 6-12 hours continued use with minimal power-down time.
- High-strength, injection molded plastic housing withstands harsh mining environments

VERSATILE & EASY TO USE:

- Simple point and shoot operation
- Fully integrated touch-screen display with advanced user interface
- For many explorations, no user calibrations required
- Add new features and upgrade software in the field

FAST & POWERFUL:

- Results in as little as one second
- Virtual keyboard plus integrated barcode scan engine for the fastest and most versatile data entry.

- A full suite of isotope options provide optimum excitation sources
- Includes the Infiniton™ that never requires resourcing
- Full PC interface downloads data and generates reports with included
- NITON Data Transfer (NDT) software
- XLt features a miniaturized x-ray tube for efficient excitation of a broad range of elements while minimizing the regulatory requirements most countries place on isotope--based instruments

XLi / XLP / XLt 500 SPECIFICATIONS :

Principle of Operation	Non-destructive chemical analysis via simultaneous detection and quantification of fluorescent x-rays of multiple elements in test sample. X-ray fluorescence (XRF) induced by one or more sealed radioisotope sources.
Radioisotope source(s)	One or more of the following: ¹⁰⁹ Cd Maximum: 40 mCi (1850 MBq) Half-life: 1.27 years ⁵⁵ Fe Maximum: 20 mCi (1480 MBq) Half-life: 2.73 years ²⁴¹ Am Maximum: 30 mCi (1110 MBq) Half-life: 432.2 years
Radiation Safety Features	Password protected shutter operation (4) shutter-open indicator LED's Automatic shutter close and lock mechanism - activates in event of battery or power failure Sample proximity sensor (activation optional in U.S.)
Radiation exposure	Two-handed safety interlock (activation optional in U.S.) With safety shutter(s) open while testing samples: exposure to user's hand <.05 mR/hr (<Sv/hr).µ0.5
Electronics	Hitachi SH4 CPU, ASICS high-speed DSP, 4096 channel MCA
X-ray Detector	High-performance, thermo-electrically cooled, solid state detector system.
Calibration	Instrument self-calibrates at start-up and as determined by user.
Measurement times	Variable, user-definable.
Display	Back-lit ¼ VGA touch-screen LCD, visible in all conditions.
Audible/LED signals	User-definable. Set beep/change flash rate at pre-set time interval, upon completion of test and upon achieving desired precision or LOD.
Internal data storage	3000 readings with x-ray spectra. Sort and display stored readings at any time.
Downloading	Transfer data to PC via RS-232 port or optional wireless Bluetooth™ connection. Easily export data to PC spreadsheet packages and incorporate report into word processing software.
Remote operation	Full remote control capability via PC software and standard accessory cable connector.

Data entry	Via standard touch-screen, barcode scanner and/or via PC using RS-232 port and standard accessory cable.
Security	Password protected instrument set-up and operation with multiple user-definable security levels.
Carrying case	Unbreakable, cadmium-free, lead-free plastic waterproof case with combination lock
License	Distributed under State of Massachusetts Specific License 53-0388. Contact NITON, your local representative or local radiation authority for information about specific regulations and requirements in your area.
Training	USA only: Call 800-875-1578 for schedule of no-cost radiation safety and instrument training in your area. Additional on-site operational training provided at no charge upon instrument delivery.
Warranty	Outside USA: Please contact your local NITON representative for training information. Minimum 12-month limited warranty, parts and labor. Additional warranties and optional extended warranties and service contracts vary by country. Please contact NITON or your local NITON representative for details.
Dimensions	11.5" x 3.5" x 3.0" (29.2 cm x 8.9 cm x 7.6 cm)
Housing	High-strength, dust proof/splash proof injection-molded plastic housing
Operating conditions	Temperature range 20 ⁰ to 122 ⁰ F (-7 ⁰ to 50 ⁰ C ⁰)
Batteries	Two rechargeable 4 to 6 hour lithium-ion battery packs with hot-swapping capability for uninterrupted instrument operation. Internal lithium backup battery. AC battery charger included. Battery pack recharge time <2 hours.
Standard accessories	Locking carrying case Shielded belt holster Spare lithium ion battery pack 110/220 VAC battery charger PC connection data cable NITON Data Transfer (NDT©) PC Software Safety Lanyard Test Stand w/ integrated shielding for operator safety
Optional accessories	Complete sample collection and preparation accessories HotfootT heat shield with one-foot extension pole facilitates testing of samples up to 800 ⁰ F (427 ⁰ C ⁰), telescoping extension pole.

b) XRF Core Logger

http://www.kochi-u.ac.jp/marine-core/WWWCMCR_E/Instruments_E/Instruments_Pages/Instruments_MSCL_CTE.html

- Center for Advanced Marine Core Research, Japan (core repository for the IODP)
- The XRF core logger can quickly reveal the approximate elemental distribution in the sediments.
- WORKS ON HALF SEDIMENT CORES



7. NUMERISEUR OPTIQUE DE CAROTTES

Core scan

Fonction : acquisition d'images digitales de la carotte de forage, sur 360 degrés.

Avantage : préserve une information permanente sur l'ensemble de la carotte, même si elle est fendue pour analyse chimique ou éventuellement perdue/détruite.

A partir de ces images, on peut mesurer la distribution granulométrique, les fractures avec leur orientation (calcul du RQD et autres paramètres géotechniques), etc.

(200 000 \$)

[HTTP://WWW.TERRAPLUS.CA/PRODUCTS/PROPERTIES/INDEX.HTML](http://www.terraplus.ca/products/properties/index.html)

a) **CoreScan® II (Embedded PC and stand-alone-scanner)**



INTRODUCTION:

Digital core imaging is a new method of acquiring data from drill cores in addition to conventional (geological and geotechnical) core logging and geophysical borehole logging. However, this method has also some important advantages:

- On-line Core Imaging Global Accessibility
- Highly Accurate for Reservoir Analysis (up to 1000 dpi) and
- Quantitative Fracture Analysis

Using a comprehensive suite of software, additional evaluations can be carried out with regard e.g. to lithofacies characterisation, paleotransport analysis and acquisition of geotechnical parameters. Core images on different scales in the range of mm and smaller allow to describe the lithological and physical properties of the rock. The use of this digital imaging system has proven to be accurate, quick, and, hence economical.

Reservoir analysis based on digital images requires a high resolution of images for the understanding of depositional environments and facies within a reservoir. The orientation of various bedding features is an added input, which complements the vertical facies variations.

However, cores are seldom oriented when they are taken. In many cases transportation to core laboratories and storage in core-houses could be avoided because all the core images acquisition work can be done at the drilling site. This new CoreScan® II is based on a high resolution (up to 40 pixel/mm) digital acquisition system and provides a new portable stand-alone-system for Core Analysts with numerous different functions as indicated on these pages.

FUNCTIONS:

- Digital acquisition and storage of full circumference cores (360°) and slabbed cores in 24 bit true color Core-Log
- Integration to geological profile by continuous composition of cores with respect to their orientations and depths
- Depth-Matching with respect to evaluated core gaps
- Evaluation of the geological structures with a pickup routine (Bedding, Joints, Faults, Vains ...)
- Derivation of true depth, strike and dip of structures
- Calibration and North-Orientation of the acquired structures in connection with geophysical logs
- Grain size distribution and analysis Derivation of geomechanical parameters for ground constructions (RQD, FD, FS)

APPLICATIONS:

- Exploration drillings for oil, gas, coal and industrial mineral deposits
- Sedimentological investigations
- Scientific Deep Drilling Projects
- Site investigation for geothermal energy projects and final disposal of radioactive wastes
- Site investigation for geotechnical applications such as traffic traces
- Calibration of geophysical borehole measurements with cores
- Geological investigation of underground storage facilities for oil and gas

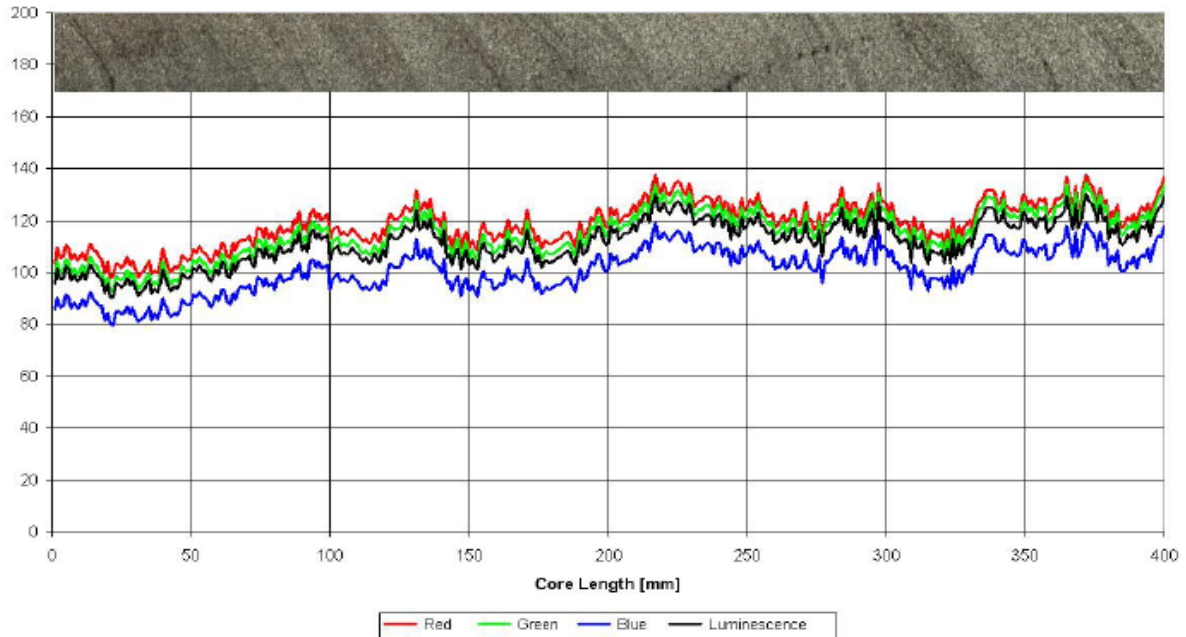
SOFTWARES: DigiCore

DigiCoreTM is a software system for digital acquisition and storage of drilling cores. This software is necessary for grabbing core images from the CoreScan[®] Colour. In DigiCoreTM you have also the possibility to apply first corrections to the cores before storage, i.e. rotating the cores according to a general orientation.



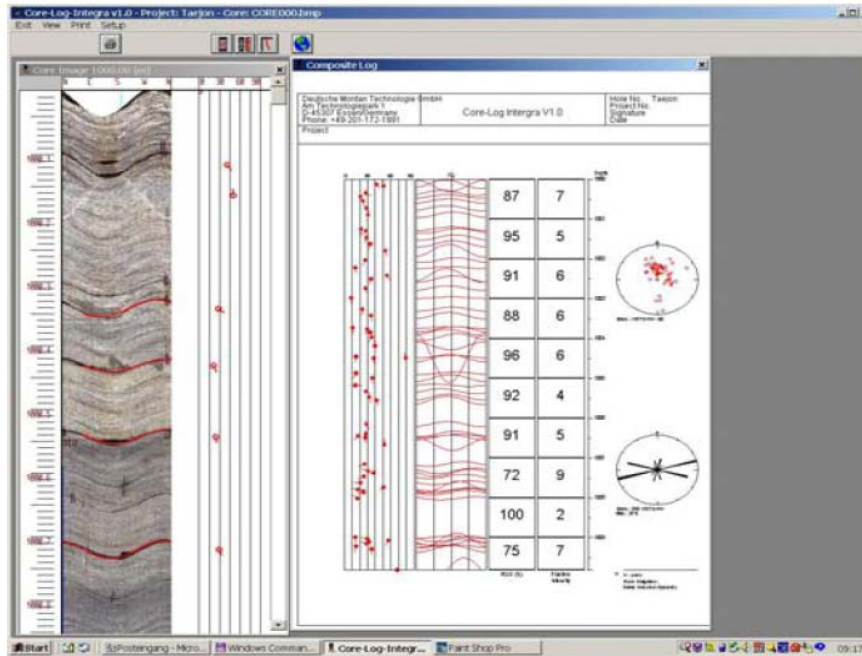
Full-Diameter-Core (360° circumferential core image) or slabbed cores and their reflectance can be obtained with the same system

Measurement of Reflectance
Well Boring 1, Core Depth: 0m - 0,4m



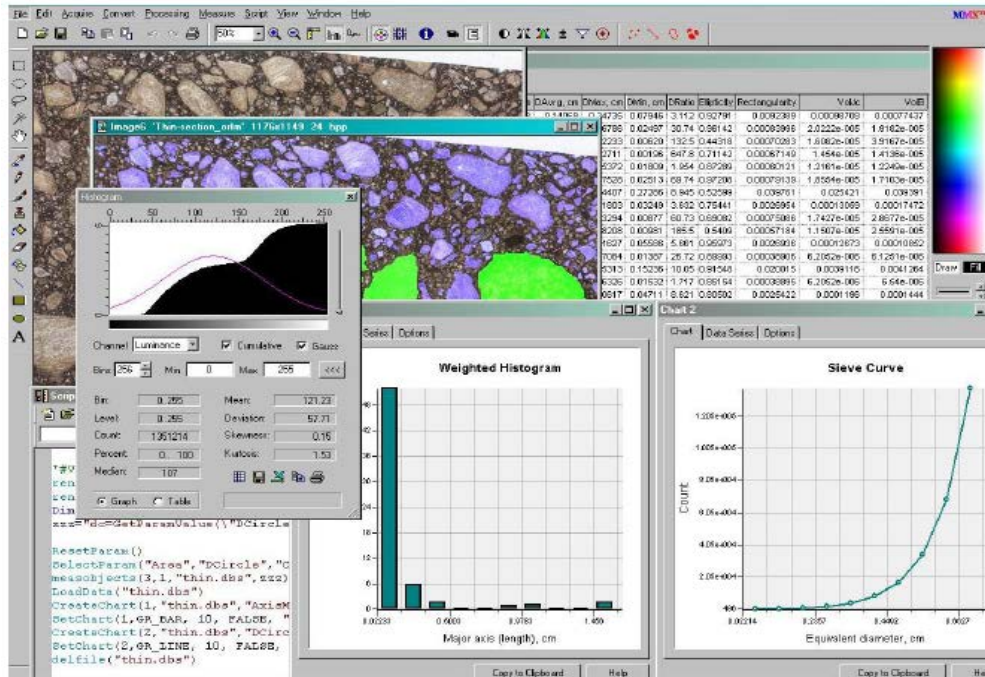
CoreLog-Integra & Fracture AnalysisTM

CoreLog-Integra & Fracture AnalysisTM is a software system for structural evaluation, analysis and presentation with different functions, such as continuous composition of cores with respect to their orientations and depths. Geological structures can be evaluated by pickup routines (Bedding, Joints, Faults ...) and all acquired structures can be calibrated and N-oriented in connection with geophysical logs. Geomechanical parameters, such as RQD, FD, FS can be derivated once the structures are evaluated. Core-Log Integration increases the understanding of depositional environments and vertical facies variations within a reservoir. This oriented various bedding features are an added input, which complements and ensure the Reservoir calculations and also for geomechanical constructions.



Core Image Analysis

C.I.ATM helps to evaluate and quantify properties of scanned cores. Beside the classical shape parameter like area, perimeter and axes C.I.A. can also compute anisotropic image properties. C.I.A. is an interactive program. Measuring with C.I.A. needs no programming.

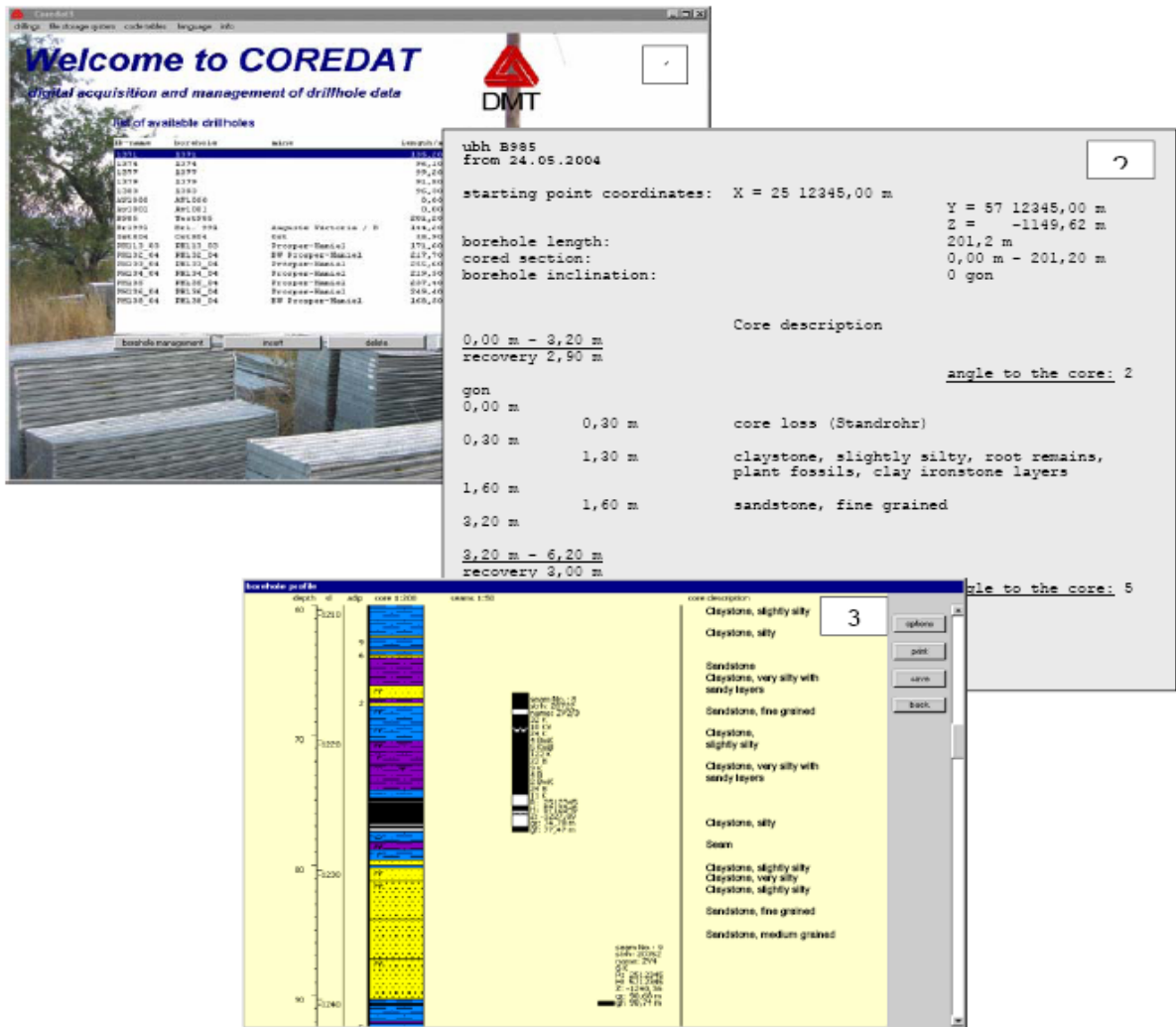


CoreDat 3 – Core Description & Database

CoreDat is a software application which serves as a database for drilling core data for a lithological and geotechnical core description. It offers the user a detailed platform to store and edit all drill core related information, like:

- header data at full length
- core runs and boxes
- lithological core description, allowing user defined modification and supplementation
- geotechnical core data (position and description of discontinuities, like joints, bedding planes etc.)
- Print-outs of the different information and export filters for other file formats

With this newest program version COREDAT offers the user a graphical profile of the borehole lithology, including the possibility to print out or to export the graphics (bmp) for further use with other applications, e.g. for reports, presentations , etc.



The screenshot displays the COREDAT software interface. The main window is titled "Welcome to COREDAT" and shows a list of available drillholes. A secondary window provides detailed information for borehole "ubh B985" from 24.05.2004, including starting point coordinates (X = 25 12345,00 m, Y = 57 12345,00 m, Z = -1149,62 m), borehole length (201,2 m), and inclination (0 gon). A core description table is shown below:

Depth (m)	Recovery (m)	Description
0,00 m - 3,20 m	recovery 2,90 m	Core description
0,00 m	0,00 m	gon
0,30 m	0,30 m	core loss (Standrohr)
1,60 m	1,60 m	claystone, slightly silty, root remains, plant fossils, clay ironstone layers
3,20 m	1,60 m	sandstone, fine grained
3,20 m - 6,20 m	recovery 3,00 m	

A graphical lithology profile is shown at the bottom, plotting depth (0 to 90 m) against core description. The profile shows alternating layers of claystone and sandstone. A detailed view of the lithology profile shows the following descriptions:

- Claystone, slightly silty
- Claystone, silty
- Sandstone
- Claystone, very silty with sandy layers
- Sandstone, fine grained
- Claystone, slightly silty
- Claystone, very silty with sandy layers
- Claystone, silty
- Seam
- Claystone, slightly silty
- Claystone, very silty
- Claystone, slightly silty
- Sandstone, fine grained
- Sandstone, medium grained

TECHNICAL SPECIFICATIONS

- CoreScan[®] II, (Length: 1.48 m, Depth: 0.54 m, Height: 1.05 m, Weight: 135 Kg)
- Electric power supply: 110 V - 230 V (60/50 Hz), current: 2A
- Core length: up to 1 m (full circumference and slabbed cores)
- Core diameter: up to 150 mm (unrolled core), up to 250 mm (slabbed)
- Resolution: up to 40 pixel/mm (up to 1000 dpi)
- Data Storage: on DVD-CD as "bmp", "tif", "jpg"
- High resolution Color Camera: 3x6000 Pixel, 24 true color, spectral response: 400 to 700 nm
- Intel Pentium 4 Processor, Operating system: Microsoft[®] Window 2000, XP-Perofessional[®]
- RAM 2 GB, 200 GB-Harddisk, and CD-Writer
- 128 MB Video card
- HORIZON 4 Image-Board
- Ethernet Net card (Remote station or Laptop)