

LA TELEDETECTION APPLIQUEE A LA RECHERCHE MINIERE

Quelques résultats du programme de RD des Communautés Européennes

par L. VAN WAMBEKE (*)

RESUME. - Le programme de télédétection des Communautés a grandement contribué au développement de techniques avancées pour le traitement et l'interprétation des données de télédétection avec des résultats significatifs. Le but final est de fournir à l'industrie minière communautaire de nouveaux outils pour l'exploration minérale.

Les efforts de RD sont concentrés sur trois volets principaux :

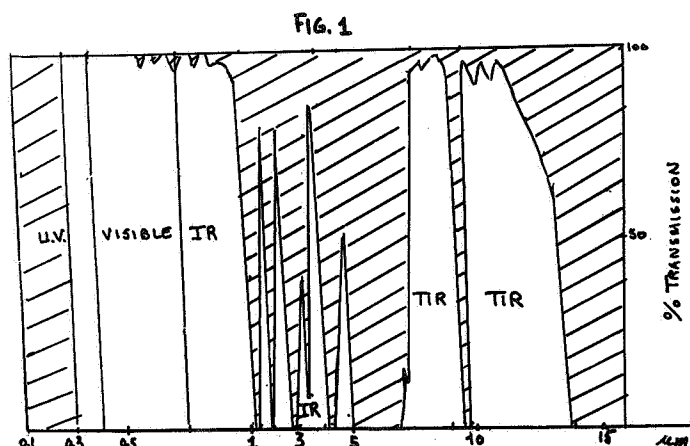
- L'amélioration du traitement et de l'interprétation des données structurales analysées en 3 étapes : levé au sol, photos aériennes et imagerie spatiale (Landsat, radar, etc...).
- Le développement de logiciels pour les données radiométriques de télédétection en vue d'identifier des zones d'altération ou des anomalies de végétation qui peuvent être liées à des minéralisations.
- Développement de logiciels pour les corrélations de données multiples (télédétection, géochimie, géophysique, etc...).

Dans le cadre du programme de télédétection des CE un grand nombre de cibles nouvelles pour la recherche minière ont été mises en évidence notamment en Irlande, en France et au Groenland. Des résultats seront exposés.

I. INTRODUCTION.

Avant d'aborder ce sujet, je voudrais rappeler quelques données fondamentales sur la télédétection aérospatiale. Dans le spectre électromagnétique, il existe deux fenêtres principales de transmission : la première située dans la région du visible et de l'infrarouge entre 300 et 13000 nm n'est pas continue car influencée par les composants de l'atmosphère (fig. 1) (surtout CO₂ et H₂O), la seconde située dans le domaine des micro-ondes (ondes millimétriques à centimétriques).

Le mode radiométrique dans la région du visible et de l'infrarouge proche après traitement des données peut mettre en évidence des altérations dues à



(*) Communautés Européennes - DG XII/G. 200 rue de la Loi, B-1049 Bruxelles (Belgique).

	SPACE PLATFORMS		SENSORS	SPECTRAL BANDS	RESOLUTION	SWATHWITH	REMARKS	
	+ Altitude			μm	m	km		
1st Generation	LANDSAT 1-2-3 920 Km		MSS	0.5-0.6 0.6-0.7 0.7-0.8 0.8-1.1	80	185		
	SEASAT 800 Km		SAR	1.3 GHz	20	100		
2d Generation	LANDSAT 4 - 5 700 Km		MSS	See before (0.45-0.52) (0.52-0.60) (0.63-0.69) (0.76-0.90) (1.55-1.75) (2.06-2.35) (10.4-12.6)	80 30 120	185		
	SPOT 1 832 Km		PUSHBROOM	(0.50-0.59) (0.61-0.68) (0.79-0.89)	20	2 x 60	to be launched in 1985	
	SPOT 2 + STEREO		Panchro	0.5-0.73	10			
	SPACE SHUTTLES SPAS-01 300 KM		SAR	SIR A SIR B	1.28 GHz 5.30 GHz	40 film 20 digital	50	
			MOMS-01		0.6 and 0.9	20	140	
			METRIC CAMERA		visible	20	188 x 188	
		LARGE FORMAT CAMERA		visible IR panchro	8-18	180 x 360		
SPAS-02 300 Km		MOMS 02		0.6;0.9;1.6; 2.2	20	140	to be launched	
		STEREO-MOMS		0.57-0.70	15 alt. 10 plani.	60	to be launched	
ERS 1 777 Km		SAR		5.30 GHz	30	80 to 100	to be launched in 1989	

Figure 2 - Principaux capteurs et plateformes spatiales pour les applications géologiques.

- I. MODE GEOMETRIQUE → Analyse structurale et interprétation (localisation de zones de dilatation)
 - Analyse sur le terrain et dans les mines existantes
 - Photographies aériennes
 - Données spatiales (linéaments, structures circulaires) {images radar et IRT}

2. MODE RADIOMETRIQUE → Localisation de zones d'altération hydrothermales ou autres
 - Altérations limonitiques (visibles, IR proche)
 - Altérations argilleuses, micacées etc. (IR court)
 - Anomalies dans végétation (analyse multitemporelle)

3. CORREALTION DE DONNES MULTIPLES → Localisation de zones potentielles pour minéralisation
 - utilisant les données disponibles (Télédétection (géologie (géochimie (géophysique (occurrence minérale

Figure 3 - Applications de la télédétection en exploration minérale.

la présence d'oxydes et d'hydroxydes de fer (rust zones) qui sont parfois associées à des minéralisations. Il peut aussi mettre en évidence des anomalies de réflectance dans la végétation (surtout vers 700 nm) qui peuvent être dues à la présence dans les sols de teneurs anormales en métaux (plus de 100 ppm Cu, Zn, Pb, Ni, Mo, etc...).

La région de l'IR à courte longueur d'onde entre 1.400 nm et 2.900 nm après traitement des données, peut mettre en évidence d'autres types d'altération associées à la présence de groupes (OH) dans la structure de certains minéraux (argillisation en relation avec altération hydrothermale, minerais de bauxite, altération micacée ou chloritique, etc...).

La région de l'IR thermique (IRT) qui fournit généralement de meilleurs résultats par observations nocturnes, mesure de faibles différences de température (0.1 à 0.2 °C). Ce domaine peut être utilisé pour localiser des linéaments et failles, des gradients géothermiques et pour la cartographie géologique. Actuellement, les capteurs montés sur satellites n'ont pas une résolution suffisante (HCMM 600 m) et les observations aériennes sont préférables dans l'IRT. La région IRT entre 8.000 et 12.000 nm permet une classification des roches sur la base de leur teneur en silice. Les lasers CO₂ montés sur avion permettent de telles mesures.

Dans la région des micro-ondes, le capteur le plus intéressant pour les observations géologiques est le radar. C'est un système actif capable d'opérer nuit et jour, indépendamment des conditions atmosphériques. Trois modes de polarisation peuvent être utilisés mais leurs possibilités en géologie doivent encore être évaluées. Outre la cartographie de régions difficilement accessibles, il donne des informations structurales et morphologiques et permet parfois de différencier des formations géologiques sur la base de la rugosité du terrain. C'est aussi un capteur idéal pour évaluer l'étendue de certains désastres. Un autre avantage du radar monté sur satellite ou avion est sa haute résolution.

Les principaux capteurs utilisés ou en voie de l'être, pour les observations géologiques en particulier au moyen de plateformes spatiales sont indiqués à la figure 2. En dehors des capteurs micro-ondes (SAR - SIR A et B), les capteurs de la seconde génération (post 1982) montés sur satellites ou expérimentés sur la navette spatiale sont caractérisés par une haute résolution comparativement aux images Landsat de la première génération tout en couvrant une vaste surface d'observation. Ces nouveaux capteurs parfois caractérisés par une extension du domaine spectral (cas du Thematic Mapper) permettent d'effectuer des observations nettement plus détaillées en recherche minière et plus généralement en géologie.

La figure 3 donne une idée générale des différentes étapes qui sont utilisées en télédétection pour l'exploration minière. Dans certains cas (par

exemple l'Irlande), le mode radiométrique n'est utilisé que pour mettre en évidence des structures géologiques. Le traitement de données multiples constitue l'étape finale la plus difficile pour l'évaluation de zones potentielles à minéralisation possible. Un effort important est fait dans ce domaine par la Communauté Européenne dont le but final est de fournir à l'industrie minière un nouvel outil pour l'exploration y compris les gisements cachés.

Le programme de RD de la Communauté Européenne dans le domaine des applications de la télédétection à l'exploration minière a eu des impacts positifs :

- promotion d'une utilisation plus large des techniques de télédétection en exploration minière et d'une collaboration multinationale accrue;
- formation de groupes multidisciplinaires de télédétection (géologues, informaticiens, statisticiens, etc...) qui ont conduit à une amélioration accrue du traitement et de l'interprétation des données de télédétection et des procédés de corrélations de données multiples;
- engagement accru de sociétés minières ou d'organismes d'exploration dans notre programme de télédétection;
- échange d'expérience par la création d'un groupe de contact de télédétection et l'organisation de séminaires;
- participation de géologues dans le traitement et l'interprétation des données de télédétection afin de combler les lacunes existantes dans plusieurs pays membres.

La Commission a contribué depuis 1979 pour environ 2,3 MECU à la RD dans le domaine de la télédétection appliquée à la recherche minière, avec des résultats significatifs. Deux cas seront pris en considération ici, en plus du traitement de données multiples.

II. QUELQUES RESULTATS DU PROGRAMME COMMUNAUTAIRE.

Je ne prendrai ici que deux cas :

1. LE CAS DE L'IRLANDE.

Les gisements de Zn-Pb-(Cu) de la région centrale d'Irlande sont parmi les plus importants d'Europe et surtout de nature stratiforme. Ils sont localisés dans les calcaires du Carbonifère inférieur. Sur les quatre minéralisations les plus importantes seule la mine de Navan, est en production, les autres : Tynagh, Silvermines, Gortdrum étant épuisées. Ces minéralisations situées au voisinage de la surface ou même affleurantes ont été découvertes par des méthodes classiques de prospection.

Une grande partie de la région centrale d'Irlande est couverte par d'importants dépôts glaciaires et postglaciaires

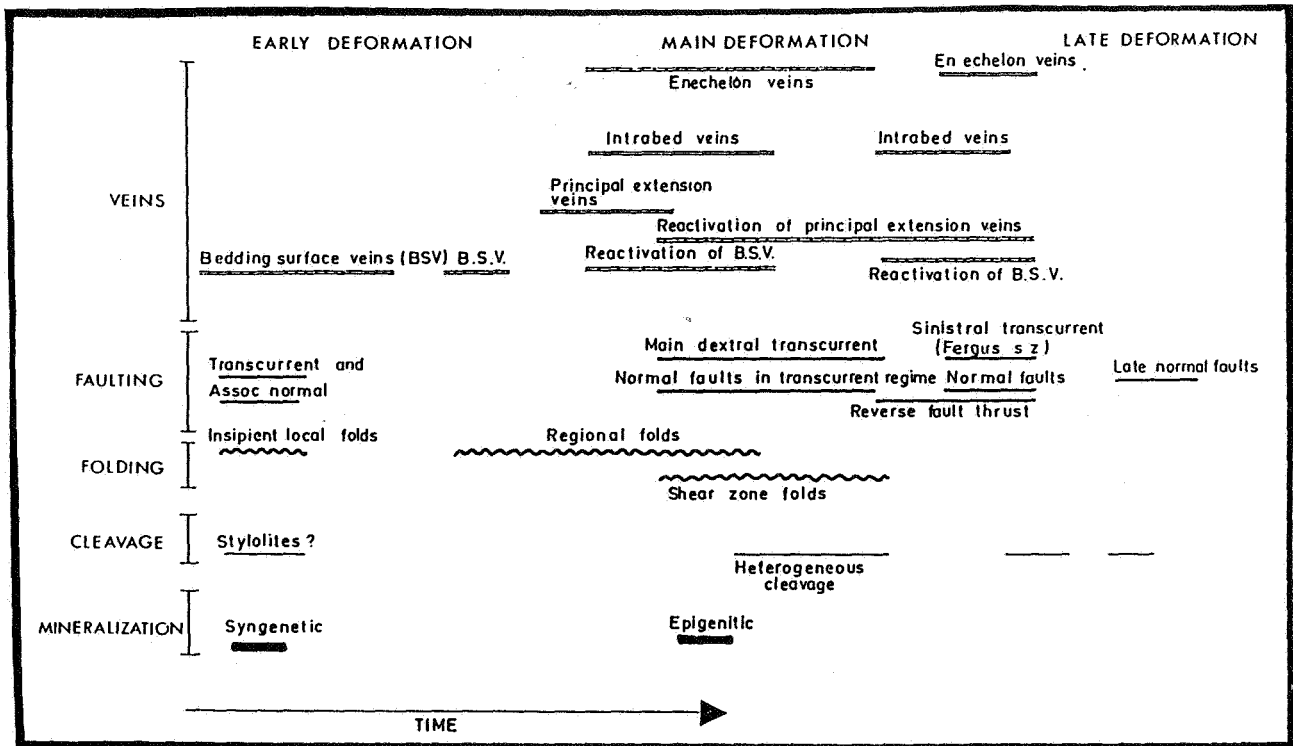


Figure 3-4 - Vein Chronology and Relationship to other structures.

ce qui rend la prospection de nouveaux gisements très difficile et onéreuse. Les perspectives de nouvelles découvertes sont bonnes.

Les gisements et indices de types stratiforme connus sont tous localisés dans des zones de dilatation (extension) le long de failles majeures qui lorsqu'elles recoupent le Carbonifère inférieur sont susceptibles d'être minéralisées et constituent donc des cibles pour l'exploration. Néanmoins la formation de minéralisation nécessite aussi la présence à l'époque Carbonifère de fluides minéralisants en provenance du socle Calédonien. La figure 3-4 donne la chronologie des déformations et les types de minéralisation mises en place à cette époque.

A cause de la rareté de données structurales détaillées (couverture quaternaire) concernant les roches du Carbonifère de l'Irlande Centrale, un programme de télédétection utilisant surtout les images Landsat et localement des images Seasat et des photos aériennes, a été mis sur pied par le Trinity College de Dublin en association avec d'autres universités irlandaises dans le cadre du programme communautaire afin de réaliser une étude structurale de la région et de localiser des cibles pour l'exploration. En outre, un programme de corrélation par ordinateur a été développé intégrant des données structurales et les données géologiques, géophysiques et géochimiques existantes afin d'améliorer la méthodologie de la recherche. La méthodologie développée constitue une première étape, la plus importante, en exploration car elle peut mettre en évidence des cibles de surface réduite. Cette étape préliminaire peut être complétée à un stade ultérieur directement par sondages et/ou par des mesures

géophysiques ou géochimiques, ces dernières notamment à partir de carottes de sondages (par ex. géochimie en roches) pour confirmer l'existence ou la proximité de minéralisations.

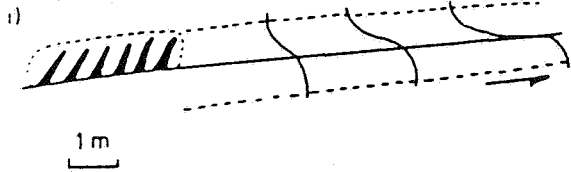
L'étude structurale a été réalisée en trois étapes par des observations détaillées sur le terrain et notamment en mines, par traitement et interprétation des photos aériennes et des images satellites.

En dépit de la rareté des affleurements une étude structurale détaillée sur le terrain et surtout dans les mines a constitué une étape importante de ce projet CE pour mieux comprendre les relations entre minéralisations et structures. Les données structurales telles que zones de cisaillement, failles, décrochement et la direction de leurs mouvements, les joints, clivages, plis et filons, etc. sont analysés en détail et reportés sur carte. Elles servent de base pour l'interprétation ultérieure des données aériennes et spatiales.

Les figures 3-19 donnent les types de zones de dilatation qui peuvent être favorables à des minéralisations. La mine de Silvermines par exemple est située dans la terminaison d'une zone de décrochement (fig. 3-25). La mine de Navan est située dans une zone d'extension au point de flexion d'un décrochement dextral qui passe de la direction NE à EW. Les minéralisations filoniennes (épigénétiques) dans la région de Ballyvergin (W. Midlands) sont localisées dans une zone d'extension située entre deux zones de cisaillement, l'une sinistrale dénommée Fergus, l'autre dextrale dénommée Quin.

EXAMPLES OF DILATION ZONES

A. TERMINATION DILATION ZONES

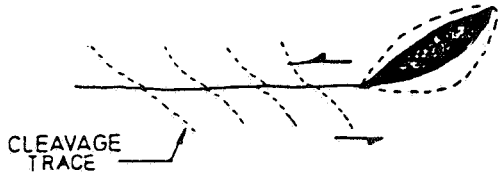


Asymmetric development of dilation zone on single terminating shear fracture (transcurrent fault) with ductile/brittle deformation (Namurian sst.)
WEST MIDLANDS



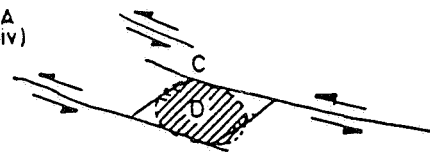
Curved fault termination with development of tensional dilation zone (Namurian sst.)
WEST MIDLANDS
(eg: Silvermines with opposite sense of shear)

A iii)



Single vein generation at termination of ductile shear zone in granite (p. 100: D. Hutton) Donegal.

A iv)

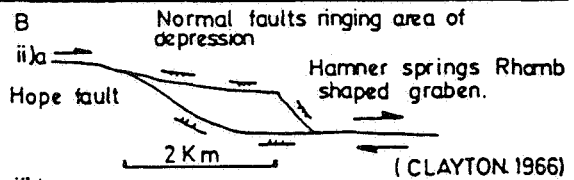


En echelon system of faults with dilation and compression zones between overlapping individual faults (Moore, 1979)
SAUDI ARABIA

B. INTRA FAULT DILATION ZONES



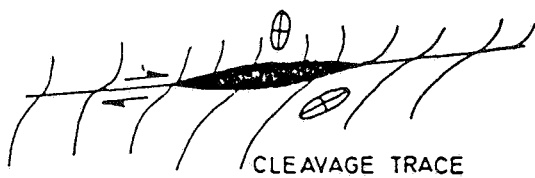
Many single shear fractures periodic extensional zones develop, Main shear fracture offset or curves on a large scale



(CLAYTON 1966)
ii) b) Graben Dasht-e - Bayes (Iran) (TCLAHENKO + AMBRAYSEYS 1970) (see also; SHARP 1975)

Larger graben structures developed on bends of major transcurrent faults

B iii)



Example in main Donegal granite (D. HUTTON) (approximate strain ellipse indicated)

C. INTERSECTION OF STRUCTURES

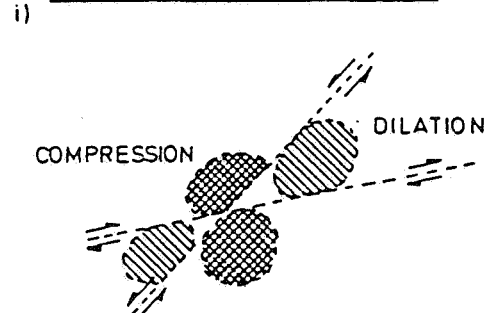


Figure 3-19 - Examples of Dilation Zones.

TERMINATION DILATION ZONE

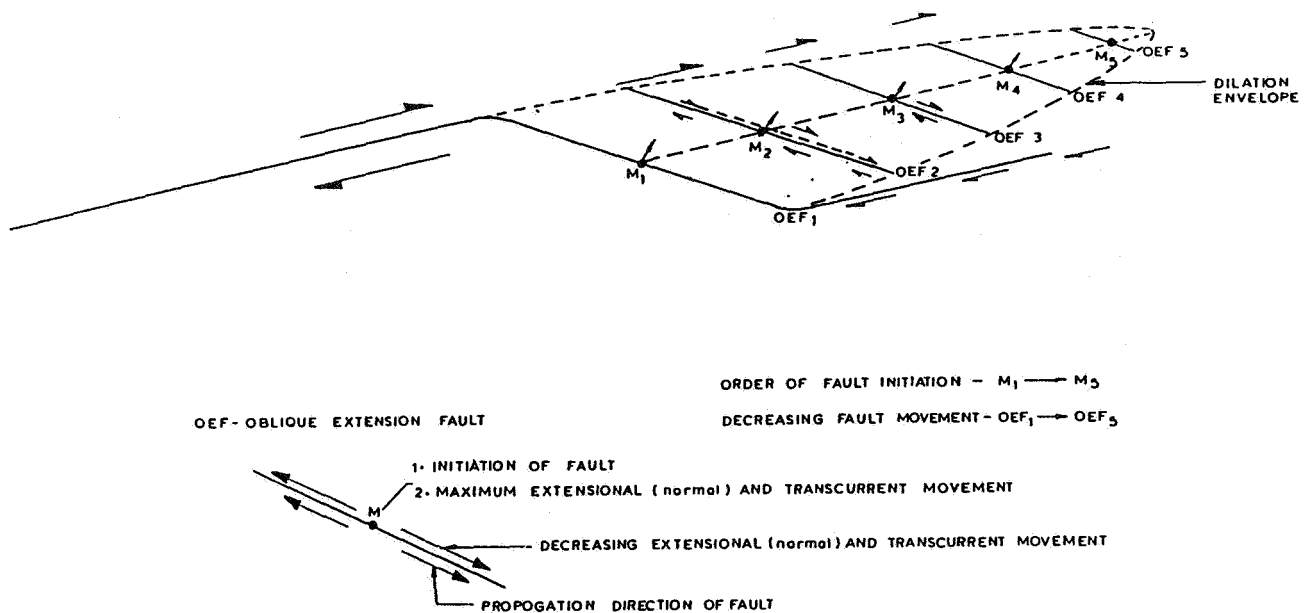


Figure 3-25 - Termination Dilation Zone.

L'analyse structurale a été complétée par l'examen d'un certain nombre de photos aériennes au 1/30 000. Les images Landsat brutes ne fournissent qu'un nombre limité d'informations structurales et l'application du filtrage directionnel s'est avéré une technique très utile pour la cartographie des linéaments. Elle tend actuellement à l'automatisation.

Le traitement, l'analyse et l'interprétation des données structurales aériennes et spatiales nécessitent la manipulation d'une série de données directionnelles qui sont programmées et traitées en micro-ordinateurs et stockées. Un élément de grille d'observation prédéterminé est établi. Les diagrammes de rose donnent surtout une représentation visuelle des données mais leur utilisation est assez limitée pour des besoins statistiques.

Les paramètres suivants sont considérés :

- La fréquence et la densité des linéaments dans un élément de grille (par ex. 1 km²) pour l'établissement de cartes de dominance (par ex. 10° entre 0° N et 180° S). La fréquence est pondérée en fonction de la longueur des linéaments dans un élément de grille. Les grilles à faible densité de linéaments correspondent à des blocs sans intérêt pour l'exploration en Irlande.
- Filtrage et codage couleur. Cette opération comprend la séparation des linéaments sur la base de leur orientation et un codage couleur est appliqué. Cette méthode réalisée en micro-ordinateur fournit un moyen simple et effectif pour

estimer les changements de densité et d'orientation (rotation) des linéaments. Avec le système VICOM de traitement d'images utilisé, une scène Landsat (80 Km x 80 Km) peut être représentée sur écran.

- L'entropie relative est une mesure de la distribution directionnelle des linéaments dans un ou plusieurs éléments. Elle est exprimée en pourcentage, la valeur 0 % signifiant une seule direction et la valeur 100 % une distribution tous azimuts. Un changement dans cette distribution peut être en relation avec le développement de réseaux de fractures associées à des failles.
- une autre mesure est l'index d'atypicité réalisée au moyen d'un histogramme.

Ces paramètres sont appliqués tant aux données structurales spatiales qu'aériennes qui sont générées en ordinateur après élimination de faux effets non structural (route, limite de parcelles, etc...). Les données structurales de terrain servent de base pour l'interprétation des données de télédétection aérospatiale et en général une bonne corrélation existe entre l'ensemble des données.

Les images Landsat en particulier constituent, après filtrage directionnel, une méthode rapide et relativement peu onéreuse pour l'analyse structurale régionale mais l'interprétation doit être accompagnée par des levés structuraux de terrain. Ceux-ci permettent de déterminer le type de structure et la direction des mouvements à une échelle régionale. Dans le cas de l'Irlande Centrale, la méthodologie utilisée a permis la localisation d'une série de nouvelles zones de

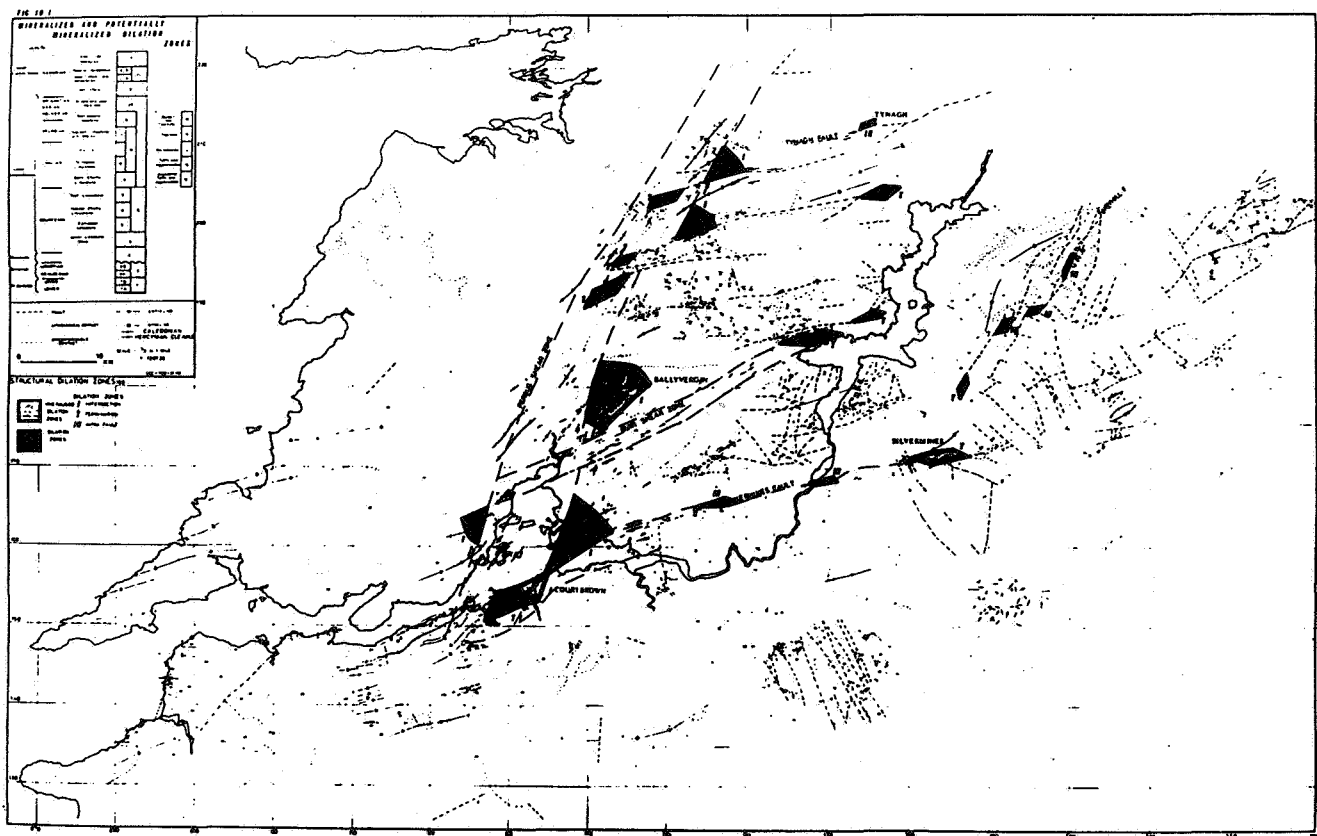


Figure 10-1 - Mineralized and Potentially Mineralised Areas.

cisaillement et de cibles possibles pour l'exploration basée sur des modèles structuraux dérivés des levés au sol.

Afin d'affiner la méthodologie d'exploration, les données de télédétection ont été intégrées avec un ensemble d'autres données qui ont été préalablement digitalisées. Pour ce faire, une série de programmes en ordinateur ont été développés pour traiter d'abord statistiquement et individuellement les données digitalisées. Dans le cas de l'Irlande, les données suivantes ont été prises en considération : géochimie des sédiments alluvionnaires et des sols (couverture partielle), données de gravité et aéromagnétiques, données structurales au sol et de télédétection. Ensuite un programme de corrélation multivariable a été mis sur pied qui tient compte des connaissances géologiques. L'intégration des données a été effectuée dans trois directions :

- corrélation visuelle des données avec le système de traitement d'images Vicom;
- box classification et analyse de composants principaux;
- analyse discriminante permettant de distinguer les sites non minéralisés et minéralisés (grille 1 Km²).

L'analyse discriminante a montré notamment que les données structurales à elles seules étaient capables de distinguer les sites non minéralisés et minéralisés mais les données géophysiques apportent notamment des informations intéressantes. Ce projet a également montré que les minéralisations en bordure d'anomalies de gravité négatives dans des zones où le gradient est maximum. Ces anomalies

négatives devraient correspondre à des intrusions granitiques profondes.

Au moins une vingtaine de cibles nouvelles ont été repérées en Irlande Centrale. Une de ces cibles a fait l'objet d'un sondage à Longford qui a recoupé la minéralisation. Les autres attendent confirmation. La figure 10-1 donne les localisations de cibles nouvelles dans le centre ouest des Midlands de l'Irlande. Actuellement le centre-nord de la même région est en cours d'investigation et plusieurs cibles ont été déjà repérées.

Le traitement de multivariabiles sera traité ultérieurement.

2. LE CAS DU GROENLAND.

Dans le cas du Groenland, la situation pour les observations en télédétection est différente de l'Irlande. Généralement les roches affleurent mais le pays est d'un accès difficile pour les observations de terrain qui dépendent généralement de la disponibilité en hélicoptères. Les projets de la Communauté en télédétection appliquée à l'exploration minière ont concerné la région Centre Est et Sud du Groenland et ont donné des résultats positifs. L'Université Technique du Danemark et le Service Géologique du Groenland ont surtout concentré leurs efforts sur la détection d'anomalies de couleur associées à l'altération hydrothermale ou superficielle à partir des images Landsat 1-3. Les données structurales doivent encore être analysées en détail après levés et interprétation au sol.

Pour la mise en évidence d'anomalies de couleur les données MSS des images Landsat ont été utilisées. Le

traitement des données est basé d'une part sur les rapports entre canaux (canaux 4/5 - 6/7 - 5/7) et sur une analyse factorielle. Ces deux types d'information combinés permettent de mettre en évidence des zones d'altération limonitique (rust zones) sur une image composite couleur qui est de préférence à une échelle analogue à celle de la carte géologique. Un levé au sol ainsi que des analyses de ces zones sont nécessaires pour définir leur intérêt éventuel en exploration minière. Un grand nombre d'anomalies couleur ont été repérées au Groenland : une centaine au moyen d'images Landsat pour une surface de 80.000 Km², environ 300 au moyen de télédétection aérienne sur une surface de 1.300 Km² (différence de résolution 80 m pour Landsat et 10 m en moyenne pour le levé aérien).

Dans la région Centre-Est du Groenland, le site test pour la mise au point de la méthodologie a été une intrusion de porphyre à Mo d'âge Tertiaire. Plusieurs intrusions similaires ont été détectées dont la plus importante est celle de Kangerdlugssuag (minéralisation Mo-Py). Elles correspondent à plusieurs types de minéralisation (Zn/Pb par exemple à Claver Ø). L'étude structurale préliminaire réalisée à partir d'images Landsat a montré que les minéralisations de basse température de W à Ymers Ø sont très probablement liées à une intrusion granitique Calédonienne cachée qui apparaît très bien après traitement comme une structure circulaire. La région d'Ymers Ø constitue une cible pour la recherche de minéralisations de W-(Sb) à haute teneur (env. 2% de W métal) mais de tonnage assez faible (5 à 6000 Tm). Actuellement une étude par photos aériennes est en cours pour essayer de définir de nouvelles cibles cachées.

La méthodologie mise au point au Centre Est du Groenland a été appliquée avec succès au Sud du Groenland. Elle a amené la mise en évidence après traitement des données Landsat d'une vaste anomalie couleur dans la région de Motzfeldt à l'E de l'aéroport de Narsassuak. Dès 1982, les données de télédétection ont été utilisées pour la reconnaissance géologique de cette zone et pour guider les mesures hélicoptérées de spectrométrie gamma.

La minéralisation du complexe alcalin du Motzfeldt est d'un type nouveau et se présente sous forme de ring dyke ayant environ 20 Km de diamètre. L'étude de cette minéralisation est en cours dans le cadre d'un contrat communautaire. La minéralisation caractérisée par une hématitisation intense a été formée par métasomatose sodique affectant principalement des roches alcalines. Elle consiste en pyrochlores radioactifs riches en Ta et terres rares et en minéraux de zirconium dont la forme minéralogique est encore à préciser. Dans une phase hydrothermale ultérieure apparaissent la bastnaesite et la barytine.

Une série d'autres anomalies couleur ont été identifiées dans le Sud du Groenland mais doivent encore être examinées au sol.

Une étude des linéaments a été effectuée par filtrage dans la même région. Ces données ont été digitalisées et un traitement statistique a été réalisé sur la base de l'orientation et de la longueur. Les filons de pechblende au SE du massif d'Ilimaussag semblent bien liés spatialement et sans doute génétiquement à un linéament WNW-ESE. Ils constituent une phase tardive de minéralisation liée aux intrusions alcalines Gardar (1.300 ma). L'interprétation structurale requière des travaux de terrain. Les données géochimiques en provenance des alluvions pour 8 éléments présélectionnés ont été traitées en ordinateurs par krigage. Plusieurs anomalies uranifères ont été repérées dont une à Motzfeldt et aussi au SE du massif d'Ilimaussag (zones des filons de pechblende). Il y a également une bonne corrélation entre les données de la télédétection et les données géochimiques Nb, U, Zr dans le massif de Motzfeldt.

Pour le Groenland, la télédétection constitue la méthode la plus économique pour l'exploration bien que ne mettant pas en évidence que certains types de minéralisation. Il est un fait que les observations au moyen des satellites de la seconde génération (TM SPOT) vont encore apporter un ensemble de nouvelles données.

III. TRAITEMENT DE DONNEES MULTIPLES.

Les données généralement prises en considération sont :

- 1° les données Landsat
pixels 57 x 79 m
- 2° les données aéromagnétiques et de gravité
cartes de contour
- 3° les données géochimiques
généralement irrégulièrement espacées
- 4° les photographies aériennes;
- 5° les données de spectrométrie gamma;
- 6° les occurrences minérales et autres informations géologiques;
- 7° les données structurales dérivées de levé au sol, de Landsat et photos aériennes.

Ci-après, nous donnerons un aperçu du traitement des données réalisées à l'Université Technique du Danemark.

Les données 1 à 5 sont ramenées sous une forme identique.

Les données Landsat après correction géométrique sont rééchantillonnées à une dimension de pixel de 50 m x 50 m. La grille 50 m x 50 m est la grille de référence pour l'ensemble des données.

En ce qui concerne les données géophysiques et de spectrométrie gamma, les lignes de contour sont digitalisées et stockées dans un ordinateur. Une méthode d'interpolation est appliquée pour obtenir les valeurs dans une grille d'abord de 1 Km x 1 Km puis de 50 m x 50 m.

Pour les données géochimiques, tout d'abord la structure de corrélation est analysée par des méthodes géostatistiques et un semi-variogramme est déterminé. Par krigage, on estime les valeurs dans une grille de 1 Km x 1 Km puis de 50 m x 50 m.

Les linéaments sont digitalisés en longueur et direction puis stockés en ordinateur. La densité générale des linéaments et leur densité dans des directions spécifiques pour une grille de 5 Km x 5 Km sont déterminées en ordinateur. Cette grille correspond à la grille de référence 50 m x 50 m c'est-à-dire que l'on a une densité de linéament pour chaque pixel qui reste constante sur 5 Km x 5 Km.

Les occurrences minérales sont également stockées.

Le traitement de données multiples peut s'effectuer de plusieurs façons. Nous donnerons deux exemples de mixage de données :

- 1° Par production d'images combinant les informations en provenance de plusieurs données de base. En général, on utilise la transformation Munsell ou transformation dite intensity-hue-saturation. Par exemple les valeurs uranium -- hue; données aéromagnétiques -- saturation -- Canal MSS7 -- intensité. Si plus de trois variables sont introduites, on procède par analyse statistique factorielle :

	(facteur 1	(I
variables 1 à K	(facteur 2	(H
	(facteur 3	(S

Par cette méthode, pratiquement toute l'information en provenance des k variables sera contenue dans l'image (I, H, S) résultante.

- 2° Un autre procédé dit analyse discriminante est basé sur une sélection de variables qui permet de distinguer entre zones minéralisées et non minéralisées utilisant une grille de 5 Km x 5 Km ou inférieure. Cette sélection se fait sur la base des minéralisations ou d'occurrences minérales connues.

A partir de ces variables, un traitement statistique est appliqué et chaque grille est classifiée. Ce procédé permet de localiser des zones potentiellement intéressantes qui doivent être interprétées sur le plan géologique puis examinées plus profondément sur le terrain par sondages ou autres méthodes géophysiques ou géochimiques.

IV. TENDANCES FUTURES DU PROGRAMME COMMUNAUTAIRE.

Il y a lieu de distinguer ici l'orientation nouvelle des projets communautaires de télédétection et l'amélioration de la méthodologie.

1. ORIENTATION FUTURE DES PROJETS CF DE TELEDETECTION.

Le but final des activités de la Commission en télédétection est de fournir à l'industrie minière un nouvel outil pour l'exploration y compris pour les opérations hors Communauté, en vue d'augmenter la compétitivité des sociétés minières communautaires à l'échelle mondiale.

Un premier séminaire européen sur la télédétection appliquée à l'exploration minérale a été organisé par la Commission en février 1985 avec des représentants de l'industrie minière. Celle-ci est en général peu au courant des possibilités offertes par cette technique relativement récente pour l'exploration et ne possède souvent pas les installations et les spécialistes nécessaires pour le traitement des données. En vue de remédier à cette lacune le programme de R & D en télédétection de la Commission a évolué vers une participation accrue de sociétés minières ou d'organismes d'exploration à plusieurs projets en cours. L'avantage d'une telle collaboration est double : le traitement des données de télédétection permet de délimiter des cibles de dimension réduite pour l'exploration et fournit de nouvelles données géologiques aux groupes de prospection avec apport d'une technique nouvelle. Les sociétés minières de leur côté, outre la fourniture de données disponibles géologiques, géophysiques ou géochimiques peuvent effectuer des sondages dans le but de vérifier la validité de la méthodologie. Une telle collaboration peut donc être très fructueuse surtout dans des régions présentant un potentiel minier. Dans le projet irlandais, plusieurs sociétés minières participent financièrement au programme et suivent les résultats obtenus en télédétection. Récemment, deux projets ont été mis sur pied en collaboration avec des travaux d'exploration. Il s'agit du projet Almadén en Espagne (Hg, Pb, Zn, Au) et du projet Rhodope dans le Nord de la Grèce (Pb, Zn, Cu, Au) où dans les deux cas la société Las Minas de Almadén et l'Institut de Géologie et d'Exploration Minière (IGME) participent activement au projet.

2. AMELIORATION DE LA METHODOLOGIE.

Le programme communautaire a eu un effet très positif : le know how acquis est arrivé pratiquement au niveau américain et est même supérieur en ce qui concerne la corrélation de données multiples, y compris de télédétection où des améliorations sont envisagées. Pour atteindre le stade opérationnel des efforts de R & D seront nécessaires dans plusieurs directions et spécialement pour le traitement de données en provenance des satellites de seconde génération (TM, SPOT, ERS 1 etc...) et pour l'évaluation des performances de nouveaux capteurs en particulier ceux d'origine européenne.

Il est aussi prévu d'améliorer la méthodologie pour la localisation de cibles nouvelles pour l'exploration et de mettre au point un système d'information multiple aisément manipulable pour les géologues chargés de l'exploration et ayant peu d'expérience en informatique.

REFERENCES.

- CONRADSEN, K., GUNULF, J. NILSSON, G. -
(Technical University of Denmark, Lyngby). The application of remote sensing in mineral exploration (Central East Greenland). Final report 1982/83.
- CONRADSEN, K., THYRSTED, T. -
(Technical University of Denmark, Lyngby). Application of remote sensing in uranium exploration in South Greenland. Final report 1984.
- CONRADSEN, K., THYRSTED, T. -
(Technical University of Denmark) The use of structural and spectral enhancement of remote sensing data in ore prospecting. In course.
- FAVARD, J. C., SCANVIC, Y. -
(Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale, Toulouse, France). Télédétection aéroportée dans le Centre Est du Groenland. Rapport final 1983.
- PHILLIPS, W. E. A. and others -
(Trinity College Dublin, Ireland) Correlation of geological, geochemical and geophysical data with satellite imagery, West Central Ireland. Final report 1983.
- PHILLIPS, W. E. A. -
(Trinity College Dublin, Ireland) Correlation of geological, geochemical and geophysical data with satellite imagery, North Central Ireland. In course.
- THYRSTED, T., FRIEDMAN, A. L. -
(Geological Survey of Greenland, Copenhagen). Airborne remote sensing in Central East Greenland. Final report 1983.

Communication présentée
le 3 avril 1985.