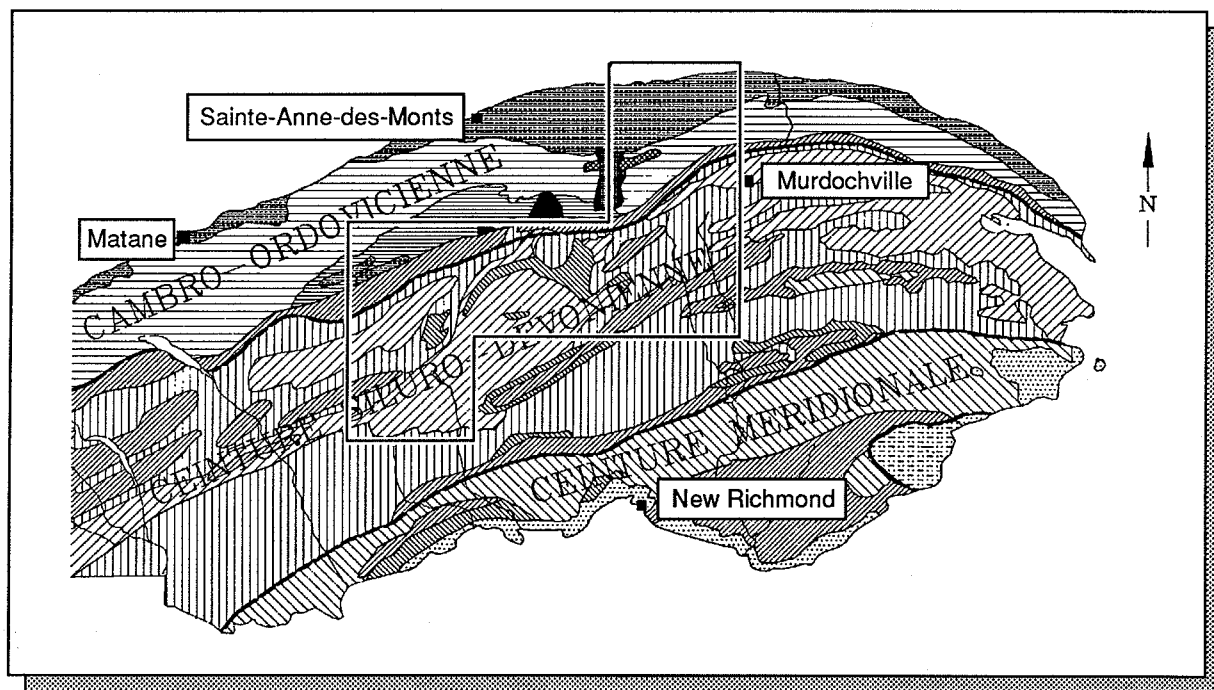


Commission géologique du Canada



Dossier Public 2202

Interprétation des cartes aéromagnétiques à haute
résolution (champ total et gradient vertical)
du centre-nord de la Gaspésie



1990

travail exécuté à contrat par:

Géophysique Sigma Inc.
Longueuil, Québec

This document was produced
by scanning the original publication.

Ce document a été produit par
numérisation de la publication originale.



Énergie, Mines et
Ressources Canada

Energy, Mines and
Resources Canada

Canada

Avant-propos

Cet ouvrage est une interprétation des cartes aéromagnétiques du champ total et du gradient vertical du centre-nord de la Gaspésie, lesquelles ont été publiées séparément par la Commission géologique du Canada en 1986 et en 1987. Le document a été conçu spécifiquement pour accompagner et servir de guide explicatif aux cartes aéromagnétiques, à l'intention d'une clientèle non-spécialisée en géophysique, mais avec suffisamment de détails pour être utile aux individus et aux sociétés engagés dans l'exploration minière de ce territoire.

Nous voulions un texte assez complet pour que le lecteur puisse y trouver toute l'information nécessaire pour bien comprendre les cartes aéromagnétiques dans le contexte géologique et métallogénique de la Gaspésie, sans devoir recourir à d'autres sources d'information. Ainsi, le volume débute avec un chapitre théorique sur le champ magnétique et sur les façons de le mesurer, y compris une description de l'appareillage utilisé en Gaspésie. Un second chapitre traite de la géologie régionale et de la géologie économique de la Gaspésie, avec l'emphase sur le territoire couvert par les cartes aéromagnétiques.

L'interprétation des données aéromagnétiques constitue le troisième et le principal chapitre. On a interprété en premier lieu le relief aéromagnétique régional et ensuite, carte par carte, on a examiné minutieusement toutes les "anomalies" reliées à des phénomènes géologiques connus et inconnus. Cette interprétation se voulait d'abord qualitative, mais dans bien des cas, on a effectué une modélisation quantitative lorsque les anomalies semblaient être causées par des corps à géométrie simple. On a choisi de représenter les résultats de cette interprétation au moyen de cartes annotées, préparées à partir de copies de portions des cartes publiées, sur lesquelles on a inscrit les éléments structuraux déduits. Même si cette façon de procéder possède certains désavantages du point de vue esthétique (e.g. la photoreproduction en noir et blanc des cartes couleur ne donne pas un produit de très haute qualité), nous croyons que c'est celle qui permet le mieux de faire le lien entre le texte et les cartes tout en conservant un coût de production abordable. Une carte synthèse au 1:125 000, qui situe toutes les figures, profils ainsi que les principaux éléments structuraux, est annexée au rapport.

Le dernier chapitre traite des mesures TBF (mesures électromagnétiques à très basses fréquences) qui sont inscrites à l'endos des cartes au 1:50 000. Ces données, qui sont recueillies de façon routinière pour à peu près tous les levés aéromagnétiques effectués à

contrat pour le compte de la Commission géologique, sont d'une utilité réduite en Gaspésie en partie à cause de la topographie fort accidentée du territoire.

Finalement, nous avisons les usagers que ce document est un manuscrit brut qui n'a été soumis à aucune révision technique à la Commission géologique. Nous nous proposons de publier à une date ultérieure, une version finale corrigée et éditée en bonne et due forme.

Ce document ainsi que les cartes aéromagnétiques auxquelles il se réfère, ont été obtenues dans le cadre du volet minier du Plan de développement de l'est du Québec, 1983 - 1989.

Yvon Maurice
Coordinateur géoscientifique
Plan de développement de l'est du Québec

TABLE DES MATIERES

<u>PREFACE</u>	1
<u>1. LE CHAMP MAGNETIQUE ET SA MESURE</u>	6
1.1. DEFINITION DU CHAMP MAGNETIQUE.	7
1.2. INTERACTION ENTRE LE CHAMP MAGNETIQUE ET LA MATIERE.	11
1.2.1. Diamagnétisme	12
1.2.2. Paramagnétisme	12
1.2.3. Ferromagnétisme	14
1.3. LA TERRE EST UN AIMANT.	15
1.4. COMPORTEMENT DES MINERAUX EN PRESENCE DU CHAMP MAGNETIQUE TERRESTRE.	19
1.5. INSTRUMENTATION D'HIER ET D'AUJOURD'HUI.	22
1.5.1. Balance à torsion de Schmith.	22
1.5.2. Magnétomètre à sursaturation (fluxgate).	24
1.5.3. Magnétomètre à précession nucléaire (à protons).	25
1.5.4. Magnétomètre à pompage optique (vapeur de césium ou rubidium).	26
1.5.5. Magnétomètre à supraconducteur SQUID.	27
1.5.6. Gradiomètre.	27
1.6. PROCEDURE UTILISE LORS DES LEVES.	29
1.6.1. Levé terrestre.	29
1.6.2. Levé aérien.	30
1.7. MESURE AEROMAGNETIQUE EN GASPESIE	32
1.8. BIBLIOGRAPHIE	33
<u>2. GEOLOGIE DU CENTRE NORD DE LA GASPESIE</u>	34
2.1. PHYSIOGRAPHIE	34
2.2. GEOLOGIE APPALACHIENNE	36
2.3. GEOLOGIE DE LA GASPESIE	38
2.3.1. Structure	38

2.3.2. Lithologie	40
2.3.2.1. Ceinture cambro-ordovicienne	40
2.3.2.2. Ceinture siluro-dévonienne	43
2.3.2.3. Massif des monts McGerrigle	45
2.4. MINERALISATION	47
2.4.1. Minéralisations associées aux intrusifs granitiques: . .	47
2.4.2. Minéralisations associées aux roches ultrabasiques: . .	50
2.4.3. Minéralisations associées à des volcaniques :	51
2.4.4. Minéralisations associées à la faille du Grand Pabos: .	51
2.4.5. Minéralisations associées aux dépôts alluvionnaires: . .	52
2.4.6. Minéralisations industrielles:	53
2.5. POTENTIEL MINIER REGIONAL	54
2.6. BIBLIOGRAPHIE	56
 3. <u>INTERPRETATION DU LEVE AEROMAGNETIQUE</u>	 64
3.1. METHODES D'INTERPRETATION	65
3.1.1. Méthode qualitative	65
3.1.2. Méthode quantitative manuelle	67
3.1.3. Méthode quantitative informatisée	68
3.1.3.1. Traitement numérique	68
3.1.3.2. Calcul automatique des profondeurs sur des profils aéromagnétiques	71
3.1.3.3. Modélisation	71
3.2. INTERPRETATION REGIONALE	73
3.2.1. Bande de volcaniques des Chic-Chocs	76
3.2.2. Intrusif des monts McGerrigle	77
3.2.3. Alignements magnétiques dans les Groupes de Gaspé . .	78
3.2.4. Sources profondes	79
3.2.4.1. Carte 22H/4	79
3.2.4.2. Cartes 22A/12,13	83
3.2.4.3. Carte 22B/9	83
3.2.4.4. Carte 22B/10	83
3.2.4.5. Carte 22B/7	83

3.2.5. Faille des Chic-Chocs	86
3.3. INTERPRETATION DETAILLEE	87
3.3.1. Lentilles de basalte	87
3.3.2. Batholite des monts McGerrigle	90
3.3.3. Intrusifs Satellites	96
3.3.4. Dôme de Lemieux	102
3.3.5. Région de Murdochville	107
3.3.6. Région du mont Brown	113
3.3.7. Gisement de Sullipek	113
3.3.8. Mont Lyall	118
3.3.9. Massifs ultrabasiques	118
3.3.10. Fractures transversales au sud de la faille Chic-chocs	125
3.3.11. Dykes mafiques	125
3.3.12. Failles de gravité	135
3.3.13. Anomalie circulaire	135
3.3.14. Sédiments magnétiques	135
3.4. BIBLIOGRAPHIE	141
4. MESURES ELECTROMAGNETIQUES TBF.	142
4.1. THEORIE.	143
4.2. METHODES DE MESURES TBF.	146
4.2.1. Choix des émetteurs	146
4.2.2. Mesures au sol.	146
4.2.3. Mesures à partir d'une plate-forme aéroportée.	149
4.2.4. Méthode de traitement et d'interprétation	149
4.3. SOURCE D'ERREUR DANS LES MESURES AEROPORTES	152
4.3.1. Variations du champ primaire	152
4.3.2. Variation dans l'altitude et la topographie	153
4.4. EVALUATION DE LA METHODE SUR LA REGION ETUDIEE.	154
4.5. CONCLUSIONS.	157
4.6. BIBLIOGRAPHIE	158

<u>ANNEXE A: METHODES SIMPLES D'INTERPRETATION MAGNETIQUE</u>	160
<u>ANNEXE B: MODELES MAGNETIQUES</u>	168
<u>ANNEXE C: PROFILS REGIONAUX</u>	170
<u>ANNEXE D: CARTE D'INTERPRETATION</u>	171

PREFACE

L'étude des cartes magnétiques et plus précisément des cartes aéromagnétiques est une étape importante lors de la partie préliminaire d'une campagne d'exploration minière. Elles permettent bien sûr de découvrir la présence de minéraux magnétiques qui peuvent être associés à l'occasion à d'autres minéraux ayant une importance économique mais elles sont surtout utilisées comme outils de cartographie géologique et pour l'étude structurale. De ce fait, des agences gouvernementales dans plusieurs pays procèdent à des levés aéromagnétiques sur de vastes territoires et publient les résultats sous forme de cartes afin de venir en aide aux prospecteurs.

Les cartes aéromagnétiques du secteur centre nord de la Gaspésie ont été produites à partir de 2 levés distincts effectués par Les relevés géophysiques à l'hiver 1985 et Sanders Geophysics Ltd à l'été 1985. La région qui a été couverte par l'ensemble des 2 levés a une superficie totale d'environ 5 700 km². Cette région a été choisie parce qu'elle est considérée comme particulièrement favorable aux minéralisations et qu'elle a démontré sur de précédents levés à plus grande échelle de très forts reliefs magnétiques.

Quatre séries de cartes ont été produites et elles sont toutes disponibles depuis mai 1987 à la commission géologique du Canada. Ces séries de cartes sont celles du champ total et celles du gradient vertical en couleur à l'échelle 1:50,000 ainsi que celles du champ total et celles du gradient vertical à l'échelle 1:20,000 (monochrome). La couverture et l'identification de chacune des cartes sont montrées à la figure P.1 pour les cartes au 1:20,000 et à la figure P.2 pour les cartes au 1:50,000.

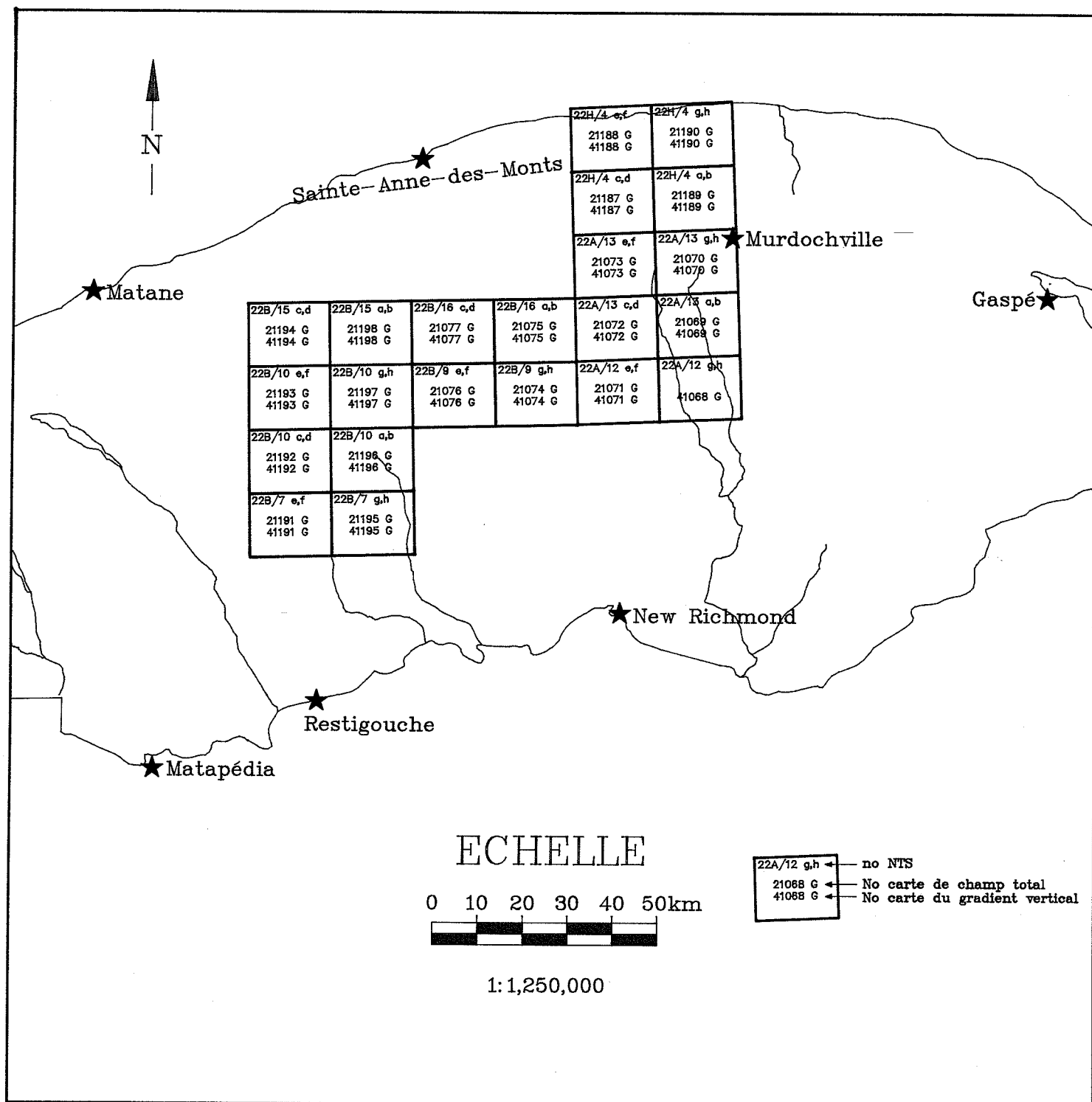


Figure P.1. Localisation des cartes aéromagnétiques à l'échelle 1:20,000.

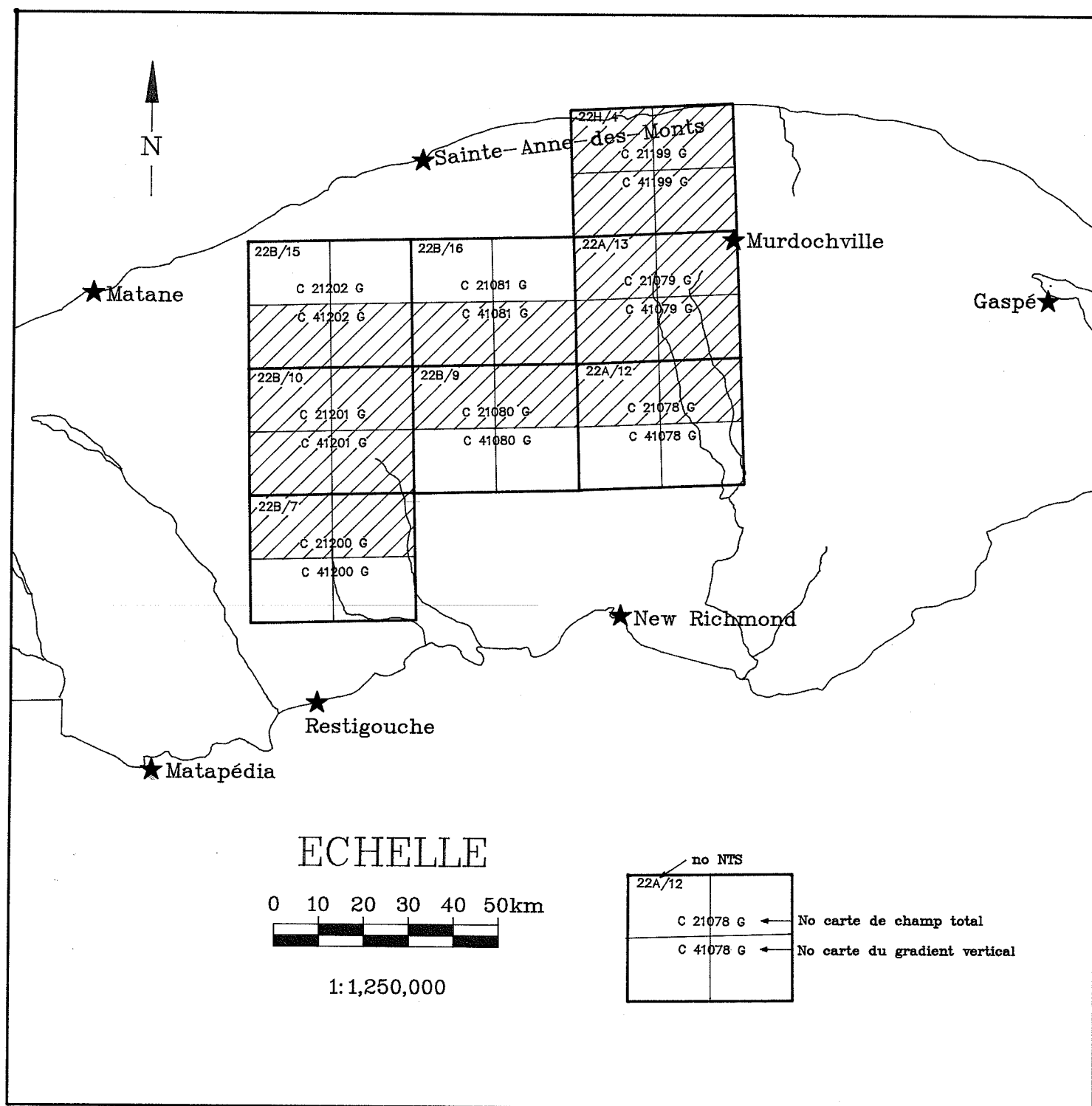


Figure P.2. Localisation des cartes aéromagnétiques à l'échelle 1:50,000.

Certaines différences sont à noter quant à la présentation des résultats sur cartes couleurs (1:50,000) par les deux compagnies qui ont exécuté les levés. D'abord les codes de couleurs utilisés pour le champ total n'est pas le même de sorte qu'à la jonction entre les cartes il y a une perte d'information dû à la non-continuité des plages colorées. Aussi une des compagnies, Les Relevés Géophysique, qui était responsable de la partie centrale du levé a utilisé comme fond des cartes sur lesquelles la topographie n'est pas présente ceci est regrettable. De même façon général il y a un léger décalage entre le niveau de base du champ total ainsi que sur l'ajustement du zéro sur le gradient. Ceci produit une légère discontinuité lorsqu'on passe d'une carte produite par un contracteur vers une carte produite par l'autre contracteur. Cette discontinuité est cependant sans grande importance.

A l'endos des cartes au 1:50 000 on retrouve les résultats d'un levé EM-TBF qui a été fait en même temps que le levé aéromagnétique. Les résultats de levé TBF sont présentés sous forme de profil avec impression inverse de sorte qu'ils puissent être consultés au moyen d'une table lumineuse.

Ce texte est un complément à la publication des cartes aéromagnétiques pour la région du centre-nord de la Gaspésie. Il a été produit dans le but de guider les personnes qui en ont fait l'acquisition. Nous avons voulu garder le contenu du texte à un niveau facilement accessible aussi bien pour le géologue que pour toutes autres personnes pouvant être intéressé par l'exploration minière. De ce fait, et aussi à cause de la vaste étendue du sujet, nous avons dû, à regret, passer rapidement sur certains aspect théoriques ou techniques. Cependant, nous fournissons à la fin de chaque sections des références qui pourront guider les esprits plus curieux qui voudraient approfondir certains sujets.

Il sera divisé en quatre grandes parties. La première partie traitera brièvement de la théorie du magnétisme et des mesures du champ magnétique. La seconde partie décrira la géologie du secteur étudié. Suivra l'interpré-

tation aéromagnétique proprement dite. Puis nous présenterons les mesures électromagnétiques TBF, puisque de telles mesures ont été prises lors de la campagne de levé et que les résultats de cette mesure sont présentés à l'endos des cartes au 1:50,000.

1. LE CHAMP MAGNETIQUE ET SA MESURE

L'existence du champ magnétique terrestre et les propriétés de la boussole comme aide à la navigation était connue des chinois au 14^e siècle. Dans notre civilisation occidentale, l'étude du champ magnétique de la Terre remonte aux travaux de Sir William Gilbert (1540-1603). Il publia un recueil sous le titre de **De Magnete** dans lequel il fait remarquer que la Terre, de point de vue de son champ magnétique, se comporte comme un aimant naturel ayant la forme d'une sphère.

Depuis ce temps, la vision du champ magnétique de la Terre s'est raffinée. On sait, entre autre, que le champ magnétique de la Terre est modifié localement et de façon appréciable par la présence de certain minéraux qui sont dits magnétiques. Cette caractéristique fait de la mesure du champ magnétique de la Terre et de ces variations locales une technique fort utile pour la prospection minière et pétrolière.

1.1. DEFINITION DU CHAMP MAGNETIQUE.

Le champ magnétique est une entité un peu difficile à concevoir. Dans la plupart des livres de géophysique, on le définit de la façon suivante: le champ magnétique est la force que subirait une unité de charge magnétique placée en un point de l'espace.

Cette définition est tout à fait analogue aux définitions de deux autres grand champs de forces bien connus: les champs électriques et de gravité. La charge magnétique remplaçant la charge électrique dans le cas du champ électrique ou la masse dans le cas du champ de gravité.

Il y a cependant un problème à définir le champ magnétique de cette façon: l'existence de la charge magnétique (aussi appelé monopôle magnétique) n'a jamais été démontrée. Dans la réalité, les éléments magnétiques sont toujours observés sous la forme de dipôles. Ces dipôles peuvent être représentés sous deux formes: soit par deux monopôles (pôles) de signe contraires séparés d'une distance a , soit par une boucle de diamètre a dans laquelle circule un courant électrique i . On associera alors au dipôle magnétique ainsi défini un moment magnétique m qui est la grandeur physique vectorielle qui caractérise complètement le dipôle. (figure 1.1).

A partir de cette définition du dipôle magnétique, on peut donner une meilleure définition du champ magnétique. Le champ magnétique est un champ de couple (force de torsion) qui est défini en tout point de l'espace entourant une source magnétique. Il est défini comme le couple que subirait un dipôle ayant un moment magnétique de grandeur unitaire placé dans ce champ. Le champ magnétique étant une grandeur vectorielle il aura donc une magnitude qui est proportionnelle à la valeur du couple mesuré et une direction qui est celle à laquelle tendra à s'enligner le dipôle magnétique qui sert à la

mesure. En utilisant un langage plus mathématique, on aura:

$$T = m \times H$$

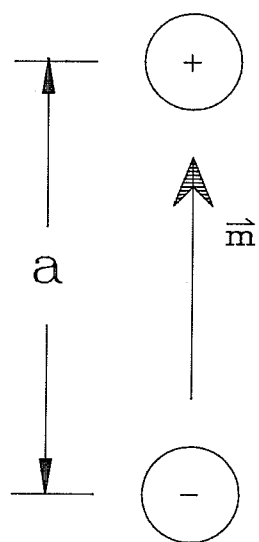
où: T est le couple,
 m est le vecteur représentant le moment magnétique,
 H est le champ magnétique.

De façon graphique, on représente souvent un champ magnétique par une famille de lignes dont la densité est proportionnelle à l'intensité du champ et dont la tangente en un point représente la direction du champ. Une telle représentation est montrée à la figure 1.2. Cette figure montre la représentation du champ magnétique dû à une barre aimantée.

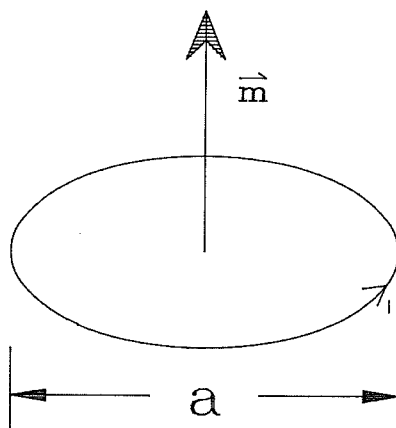
De très nombreuses unités sont utilisées pour quantifier le champ magnétique. Parmi celles-ci notons:

- Le Tesla (utilisé dans le système MKS)
- Le Gauss (utilisé dans le système CGS)
- L'Oersted (équivalent du Gauss)
- L'Ampère-tour/mètre (utilisé en génie électrique)
- Le Gamma (utilisé par les géophysiciens)

Nous utiliserons toujours le Gamma, qui est une unité pratique en géophysique, que l'on notera γ . Un Gamma (γ) vaut 10^{-5} Gauss ou un nanotesla.



a) Deux monopôles magnétiques.



b) Boucle de courant.

Figure 1.1. Dipôles magnétiques.

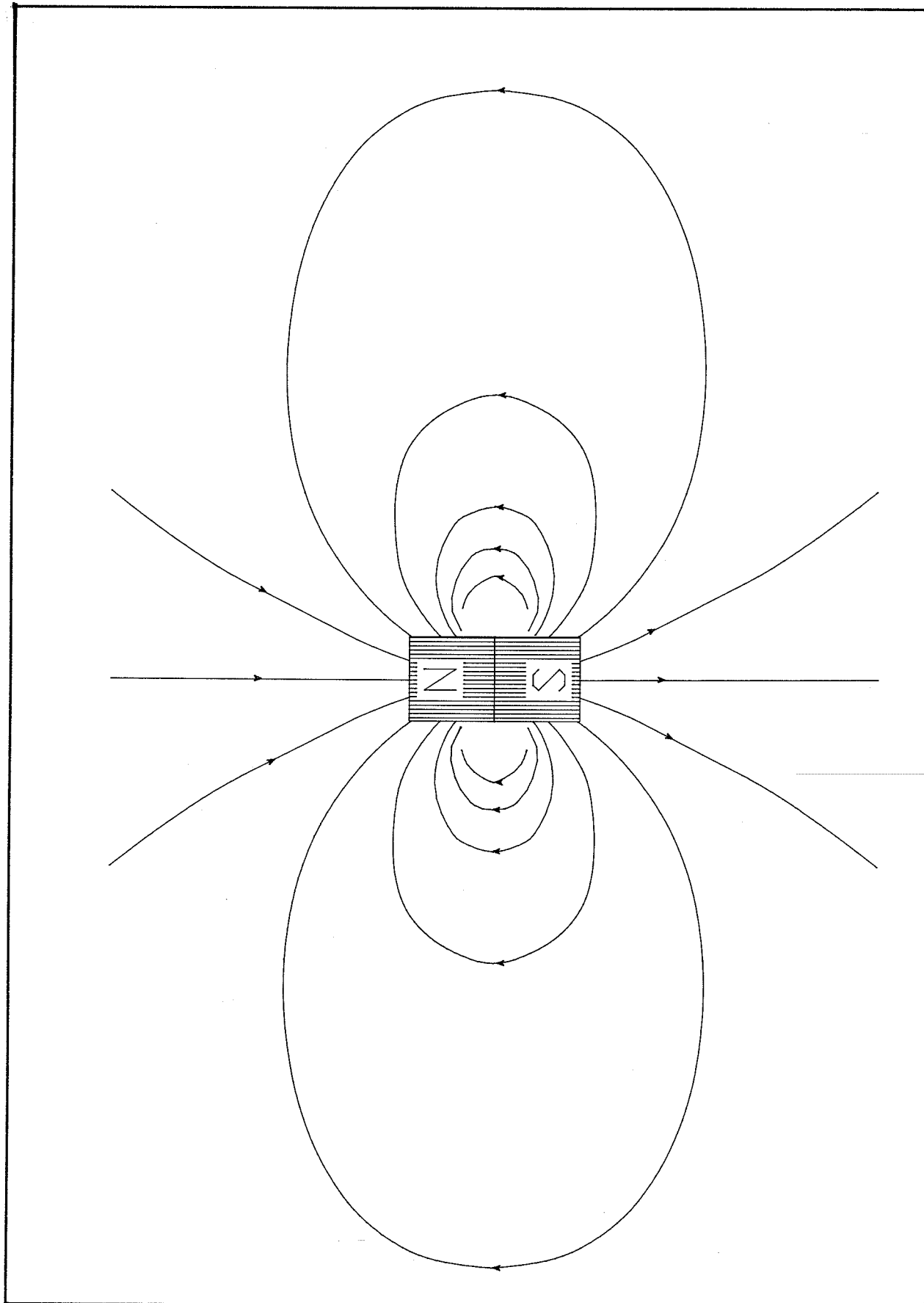


Figure 1.2. Représentation du champ magnétique produit par une barre aimantée.

1.2. INTERACTION ENTRE LE CHAMP MAGNETIQUE ET LA MATIERE.

Lorsque l'on place de la matière dans un champ magnétique, celle-ci interagit avec le champ de telle sorte qu'elle acquiert un moment magnétique; c'est à dire qu'elle deviendra elle même, par un phénomène d'induction, un aimant produisant son propre champ magnétique. Pour quantifier le degré d'interaction entre la matière et le champ, la quantité I qui est appelé magnétisation est introduite. Cette quantité est définie par le rapport entre le moment magnétique total induit et le volume du corps qui a été magnétisé. On obtient alors une densité de moment induit qui est justement la magnétisation.

$$I = M / V$$

où: I est la magnétisation
 M est le moment magnétique induit
 V est le volume.

On pourra aussi définir la susceptibilité magnétique d'un corps " k " en établissant la relation suivante:

$$k = I / H$$

où: k est la susceptibilité magnétique
 I est la grandeur de magnétisation
 H est la grandeur du champ magnétique inducteur.

Cette relation simple suppose que la magnétisation à lieu dans la même direction que celle du champ magnétique. Ceci n'est pas toujours le cas, cependant nous garderons cette relation simplifiée.

Une susceptibilité magnétique élevée signifie donc que la matière en question interagit fortement avec le champ magnétique.

La magnétisation dépendra aussi, dans certains cas, de l'historique de la magnétisation du corps puisque certains matériaux peuvent garder une magnétisation après que le champ inducteur ait été enlevé. C'est ce qui est appelé la rémanence magnétique.

La matière peut être classée selon sa susceptibilité en trois grands groupes: les diamagnétiques, les paramagnétiques et les ferromagnétiques. Nous allons décrire brièvement chacun de ces groupes.

1.2.1. Diamagnétisme

Un corps est dit diamagnétique lorsque sa susceptibilité est négative. Fondamentalement, tous les corps sont diamagnétiques. Cet effet est relativement faible puisque les valeurs de la susceptibilité pour de telles substances se situent autour de -1.0×10^{-6} ému. Dans ce cas la magnétisation sera dans le sens opposé au champ qui l'a produit.

Quelques exemples de matériaux diamagnétiques ainsi que les valeurs de susceptibilité qui leur sont assignés sont présentés au tableau 1.1.

1.2.2. Paramagnétisme

Lorsqu'une substance n'est pas diamagnétique elle est automatiquement paramagnétique. Dans ce cas, la susceptibilité devient positive mais se situe aussi aux alentours de 1.0×10^{-6} ému. Quelques exemples de ces matériaux sont présentés au tableau 1.2.

MATERIAUX	SUSCEPTIBILITE
Graphite	-8.0×10^{-6}
Quartz	-1.0×10^{-6}
Eau	-1.5×10^{-6}
Cuivre	-1.0×10^{-6}
Souffre	-1.0×10^{-6}

Tableau 1.1. Matériaux diamagnétiques.

MATERIAUX	SUSCEPTIBILITE
Aluminium	1.5×10^{-6}
Sodium	1.5×10^{-6}
NiSO ₄	60×10^{-6}

Tableau 1.2. Matériaux paramagnétiques.

1.2.3. Ferromagnétisme

Certains matériaux présentent un effet de type paramagnétique très prononcé. Cet effet peut être un million de fois plus fort que l'effet paramagnétique normal. Ces matériaux font partie du groupe des ferromagnétiques. Le groupe des ferromagnétiques est très important parce que c'est ce groupe qui montre les comportements magnétiques les plus visibles. Par exemple, les aimants naturels et toutes les substances qui y sont attirées sont des ferromagnétiques. Dans le domaines qui nous intéresse plus particulièrement, notons que les anomalies du champ magnétique qui sont mesurées en prospection minière sont aussi produites par des ferromagnétiques, surtout la magnétite et la pyrrotine.

Une des caractéristiques des matériaux ferromagnétiques est de perdre cette propriété lorsqu'ils sont chauffés, à ce moment le matériel devient brusquement paramagnétique. La température à laquelle s'effectue cette transition est appelée point de Curie et se situe au environ de 700°C pour la plupart des matériaux communs.

1.3. LA TERRE EST UN AIMANT.

Notre planète se comporte, à peu de chose près, comme si un dipôle magnétique était situé en son centre. Ce dipôle est orienté avec un angle de 11 degrés entre la direction de son axe et celui de l'axe de rotation de la Terre. La figure 1.3 présente un schéma décrivant cette situation. Cette image n'est cependant pas tout à fait conforme à la réalité puisque les pôles ne sont pas tout à fait à l'opposé l'un de l'autre. De plus la forme du champ n'est pas exactement celle d'un dipôle. On dira alors que le champ magnétique terrestre possède des composantes multipolaires (quadrupôle, octupôle etc). Pour une plus grande simplicité nous garderons l'image simplifiée d'un dipôle.

En chaque point de l'espace entourant la Terre, nous pouvons associer une valeur du champ magnétique terrestre due à ce dipôle. On peut décrire complètement le champ en un point en donnant sa grandeur en gammas et sa direction. La direction est généralement définie par deux angles: la déclinaison et l'inclinaison (figure 1.4). La déclinaison qui est notée D est l'angle que fait la composante horizontale du champ magnétique par rapport au nord géographique, tandis que l'inclinaison, notée I est l'angle entre la direction du champ magnétique et la surface du sol. l'inclinaison est positive lorsque le champ pénètre le sol (hémisphère nord) et elle est négative lorsque le champ sort du sol (hémisphère sud).

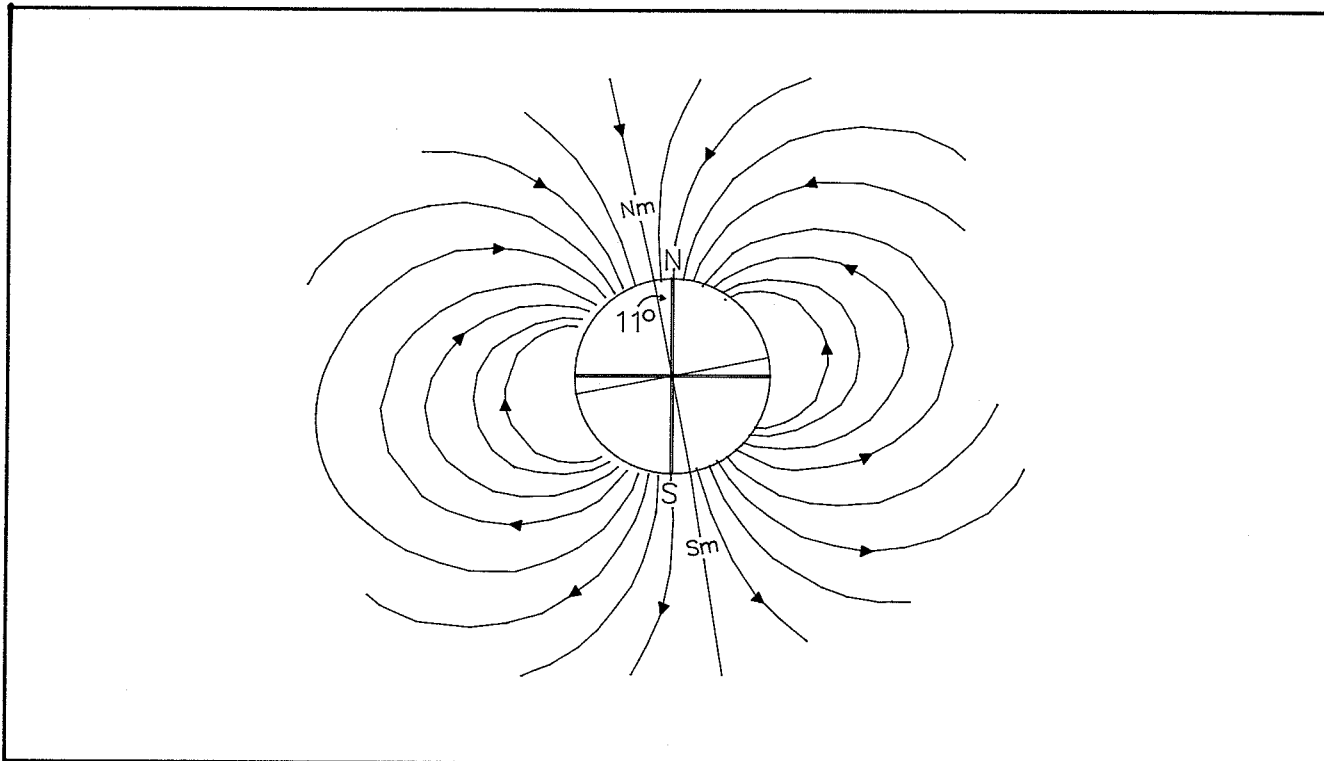


Figure 1.3. Orientation du champ magnétique de la Terre.

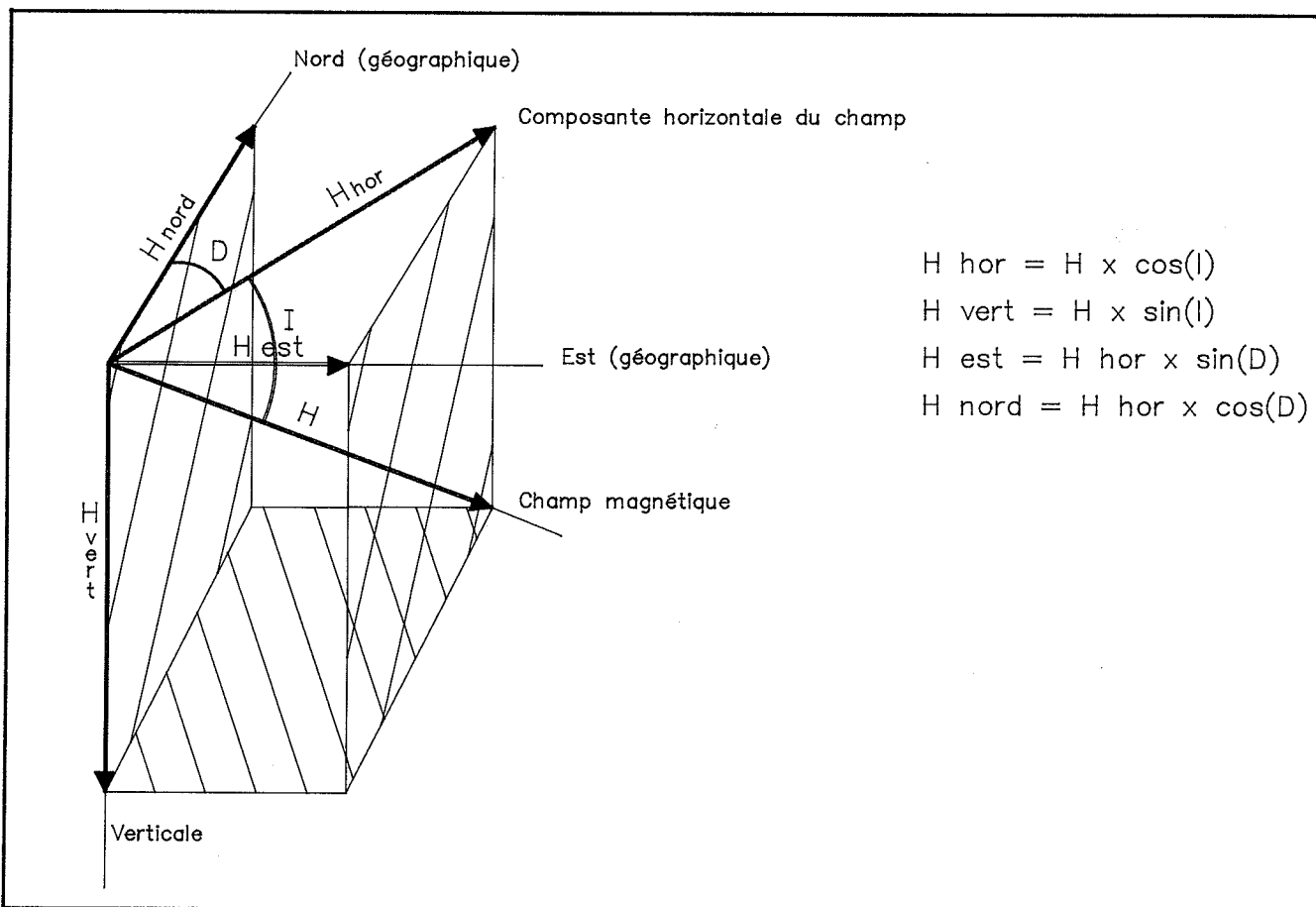


Figure 1.4. Décomposition du champ magnétique.

On peut évidemment décomposer le champ magnétique selon ses composantes horizontale et verticale en utilisant les relations suivantes:

$$H_{\text{hor}} = H \times \cos(I)$$

$$H_{\text{ver}} = H \times \sin(I)$$

où: H_{hor} est la composante horizontale
 H_{ver} est la composante verticale
 I est l'inclinaison.

La valeur maximale du champ magnétique à la surface de la Terre, excluant les variations locales qui peuvent être importantes, est de 62,000 gammas et se retrouve au pôle sud et au pôle nord magnétiques. A ces endroits le champ pénètre verticalement au nord ($I=90^\circ$) et sort verticalement au sud ($I=-90^\circ$). A l'équateur magnétique, on aura un minimum du champ avec une valeur approchant 31,000 gammas et une inclinaison de 0 degrés.

La source du champ magnétique terrestre n'est pas encore expliquée parfaitement. Cependant, nous savons qu'elle est en grande partie d'origine interne. La théorie la plus plausible repose sur un effet de dynamo auto-entretenu dans les fluides conducteurs (Fe-Ni) formant la partie externe du noyau terrestre. Une petite partie du champ, moins de 1%, est d'origine externe. Elle est causée par des courants électriques circulant dans la partie ionisée de l'atmosphère.

Le champ magnétique terrestre n'est pas constant. Ses variations temporelles sont de deux types: les variations rapides et les variations séculaires. Ces deux types de variations sont étroitement liés aux sources du champ magnétiques. Les variations rapides sont liées aux sources extérieures tandis que les variations séculaires sont elles liées à la source interne.

Les variations les plus facilement observables sont les variations rapides qui proviennent des changements dans la distribution des courants électriques dans l'ionosphère. Parmi ces variations notons:

- Les variations occasionnées par l'activité solaire. Elles sont liées au cycle des taches solaires (période de 11 ans).
- Les variations diurnes solaires ayant une période de 24 heures.
- Les variations diurnes lunaires avec une période de 25 heures.
- Les orages magnétiques qui sont associées aux aurores boréales et qui ont des périodes de quelques minutes et des amplitudes pouvant dépasser 1000 gammas. Lors des violents orages magnétiques, il peut être très difficile de procéder à un levé magnétique.

Quant aux variations séculaires, elles sont plus difficilement observables à cause de leur très grande période. Il a été démontré que les pôles ne sont pas fixes, il y a même certaines évidences géologiques qui nous montrent qu'il y a eu à plusieurs occasion inversion complète des pôles. Ces variations ont des périodes allant du millénaire des millions d'années et sont probablement causées par un réarrangement des courants de convection à l'intérieur de la Terre.

1.4. COMPORTEMENT DES MINÉRAUX EN PRESENCE DU CHAMP MAGNETIQUE TERRESTRE.

La susceptibilité magnétique des roches est dûes en grande partie à son contenu en minéraux ferromagnétiques, voir tableau 1.3. Ces minéraux magnétiques sont principalement la magnétite et, dans une proportion moindre, l'ilménite et la pyrrhotine. Le tableau 1.4 donne une liste de la plage de susceptibilité magnétique rencontrée dans certains types de roches. On peut remarquer la grande variation à l'intérieur du même type de roche. Cette variation peut aussi être rencontrée à l'intérieur de la même formation. Elle est due à des concentration plus ou moins grande de magnétite.

Au tableau 1.4, on peut aussi remarquer une croissance de la susceptibilité magnétique lorsqu'on passe des roches sédimentaires aux roches métamorphiques, puis aux roches ignées acides et finalement aux roches ignées basiques.

Certaines roches ont une magnétisation non-nulle, même en l'absence de champ magnétique externe (par exemple: les aimants naturels). Ceci s'appelle la rémanence magnétique. En général la magnétisation totale d'une roche sera l'addition de la magnétisation rémanente et de la magnétisation induite (la magnétisation induite est celle due à la susceptibilité). La rémanence est une propriété des corps ferromagnétiques qui, lorsque plongés dans un champ magnétique, acquièrent une magnétisation qu'ils conservent en partie lorsque le champ est enlevé. Il y a plusieurs types de rémanence selon leur mode d'acquisition. On entendra alors parler de thermorémanence, de rémanence détritique, de rémanence visqueuse ou de rémanence isothermique.

L'interaction des différents minéraux magnétiques avec le champ ambiant aura pour conséquence de modifier localement le champ magnétique terrestre. Inversement l'étude des variations locales du champ magnétique permettra de localiser les minéraux qui sont magnétiques.

TYPE DE MINERAIS	SUSCEPTIBILITE MAGNETIQUE (k en emu)			
	Plage normale		Moyenne	
Graphite			-8	$\times 10^{-6}$
Quartz			-1	$\times 10^{-6}$
Sel			-1	$\times 10^{-6}$
Anhydrite, Gypse			-1	$\times 10^{-6}$
Calcite	-0.6--1	$\times 10^{-6}$		
Charbon			2	$\times 10^{-6}$
Argile	0-4000	$\times 10^{-6}$	20	$\times 10^{-6}$
Chalcopryrite			32	$\times 10^{-6}$
Sphalérite			60	$\times 10^{-6}$
Caassitérite			90	$\times 10^{-6}$
Sidérite	100-310	$\times 10^{-6}$		
Pyrite	4-420	$\times 10^{-6}$	130	$\times 10^{-6}$
Limonite			220	$\times 10^{-6}$
Arsénopyrite			240	$\times 10^{-6}$
Hématite	40-3000	$\times 10^{-6}$	550	$\times 10^{-6}$
Chromite	240-9400	$\times 10^{-6}$	600	$\times 10^{-6}$
Franklinite			36000	$\times 10^{-6}$
Pyrrotine	1-5000	$\times 10^{-4}$	1250	$\times 10^{-4}$
Ilménite	250-3000	$\times 10^{-4}$	1500	$\times 10^{-4}$
Magnétite	1000-16000	$\times 10^{-4}$	50000	$\times 10^{-4}$

Tableau 1.4. Susceptibilité magnétique de divers minéraux.

TYPE DE ROCHE	SUSCEPTIBILITE MAGNETIQUE (k en emu)			
	Plage normale		Moyenne	
Roches sédimentaires				
Dolomies	0-75	X 10 ⁻⁶	10	X 10 ⁻⁶
Calcaires	2-280	X 10 ⁻⁶	25	X 10 ⁻⁶
Grès	0-1660	X 10 ⁻⁶	30	X 10 ⁻⁶
Shales	5-1480	X 10 ⁻⁶	50	X 10 ⁻⁶
Moyenne des roches sédimentaires	0-4000	X 10 ⁻⁶	75	X 10 ⁻⁶
Roches métamorphiques				
Amphibolite			60	X 10 ⁻⁶
Schiste	25-240	X 10 ⁻⁶	120	X 10 ⁻⁶
Phyllite			130	X 10 ⁻⁶
Gneiss	10-2000	X 10 ⁻⁶		
Quartzite			350	X 10 ⁻⁶
Serpentine	250-1400	X 10 ⁻⁶		
Ardoise	0-3000	X 10 ⁻⁶	500	X 10 ⁻⁶
Moyenne des roches métamorphiques	0-5800	X 10 ⁻⁶	350	X 10 ⁻⁶
Roches ignées				
Granite	0-4000	X 10 ⁻⁶	200	X 10 ⁻⁶
Rhyolite	20-3000	X 10 ⁻⁶		
Dolérite	100-3000	X 10 ⁻⁶	1400	X 10 ⁻⁶
Syénite	2700-3600	X 10 ⁻⁶		
Olivine-diabase			2000	X 10 ⁻⁶
Diabase	80-13000	X 10 ⁻⁶	4500	X 10 ⁻⁶
Porphyre	20-16700	X 10 ⁻⁶	5000	X 10 ⁻⁶
Gabbro	80-7200	X 10 ⁻⁶	6000	X 10 ⁻⁶
Basalte	20-14500	X 10 ⁻⁶	6000	X 10 ⁻⁶
Diorite	50-10000	X 10 ⁻⁶	7000	X 10 ⁻⁶
Pyroxénite			10500	X 10 ⁻⁶
Péridotite	7600-15600	X 10 ⁻⁶	13000	X 10 ⁻⁶
Andésite			13500	X 10 ⁻⁶
Moyenne des roches ignées acide	3-6530	X 10 ⁻⁶	650	X 10 ⁻⁶
Moyenne des roches ignées basiques	44-9710	X 10 ⁻⁶	2600	X 10 ⁻⁶

Tableau 1.5. Susceptibilité magnétique de diverses roches.

1.5. INSTRUMENTATION D'HIER ET D'AUJOURD'HUI.

Plusieurs types d'instruments ont été utilisés pour mesurer les différentes composantes du champ magnétique. Une simple boussole a probablement été le premier instrument de mesure du champ magnétique (elle permet la mesure de la déclinaison du champ). Dans bien des cas, celle-ci est amplement sensible pour découvrir des gisements de minéraux magnétiques, un gisement de fer par exemple. Cependant on utilise maintenant des instruments plus sophistiqués et beaucoup plus sensibles pour la prospection minière, afin de permettre la détection de contrastes de susceptibilité beaucoup plus faibles mais géologiquement significatifs. Nous en décrirons quelques types par ordre d'apparition chronologique.

1.5.1. Balance à torsion de Schmith.

Ce magnétomètre qui est une modification de la boussole, est un très bel instrument de précision mécanique et optique. Il permet de mesurer les composantes horizontales ou verticales du champ magnétique selon des variantes dans sa construction. Il donne une lecture relative et sa sensibilité se situe aux environs de 10 gammas, ce qui est suffisant pour un levé terrestre dans la plupart des cas. Ses principaux inconvénients résident dans le fait qu'il doit être manipulé avec soin et qu'il doit être placé sur un trépied et mis au niveau avant chaque mesure. Ces manipulations demandent trop de temps selon les critères de productivité actuels. Pour ces mêmes raisons la balance à torsion ne peut être employée lors d'un levé aérien ou marin.

Son principe de fonctionnement est relativement simple. Il est illustré à la figure 1.5. L'aiguille aimantée possède un axe de rotation horizontal pour la mesure du champ vertical. Deux masses M et m sont placées à des distances l et d de l'axe. On constate qu'un tel système placé dans le champ

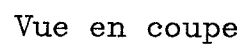
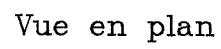


Figure 1.5. Schéma d'une balance à torsion.

magnétique terrestre sera en équilibre lorsque l'angle theta () satisfera à la condition:

$$H_{\text{ver}} = \frac{M g h}{2 \frac{m_0}{I}} + \frac{m g d}{2 \frac{m_0}{I}} + H_{\text{hor}}$$

Cet angle est lu au moyen d'un système d'amplification optique.

Pour mesurer le champ horizontale, une version avec un axe vertical a été construit.

1.5.2. Magnétomètre à sursaturation (fluxgate).

Les magnétomètres à sursaturation ont été développés durant la seconde guerre mondiale pour la détection aérienne des sous-marins. C'est donc un magnétomètre tout désigné pour un levé aérien. Leur sensibilité dans les modèles utilisés pour les levés aérien est de l'ordre de 1 gamma, ce qui est adéquat pour ce type de levé à moins que l'on désire monter les détecteurs en dispositif de gradiomètre.

Pour les levés terrestres, ces détecteurs ont l'avantage d'être rapides, légers et relativement peu dispendieux. Au sol, ils doivent être mis de niveau avant chaque lecture, mais la précision demandée quant au nivellement n'est pas très grande de sorte que l'instrument peut être porté en bandouillère.

Règle générale, ces détecteurs servent à mesurer la composante verticale du champ, bien qu'ils puissent être utilisés pour mesurer dans n'importe quelle directions.

1.5.3. Magnétomètre à précession nucléaire (à protons).

Ce type de magnétomètre, qui est de nos jours le plus utilisé pour les levés terrestres, a été développé au milieu des années 1950. Son fonctionnement se base sur le principe de la résonance magnétique nucléaire du proton.

Le proton possède un moment dipolaire naturel qui a tendance à s'enligner avec le champ magnétique ambiant, tout comme l'aiguille d'une boussole s'oriente avec le champ magnétique de la Terre. Un liquide riche en proton, habituellement du benzène, est placé dans un récipient entouré d'une bobine électrique dans laquelle peut circuler un courant électrique. Lorsque le courant circule il y a production d'un champ magnétique parallèle à l'axe de la bobine. Ce champ oriente les dipôles des protons dans la direction du champ ainsi produit. Maintenant si le champ est enlevé, les dipôles auront tendance à se réorienter selon le champ ambiant. Lors de la transition entre l'enlignement selon l'axe de la bobine vers la direction du champ ambiant, les protons émettront un champ électromagnétique dont la fréquence sera donné par la relation:

$$F = \frac{G_p \times H}{2 \pi}$$

où: G_p est une constante universelle appelée constante gyromagnétique du proton.

Le champ électromagnétique ainsi émis peut être détecté par une bobine. De cette façon la mesure du champ magnétique se résume à la mesure d'une fréquence. La fréquence qui sera mesuré est situé aux alentours de 2000 hz.

Ce magnétomètre ne permet que la mesure de la valeur de la magnitude du champ magnétique, aussi appelé le champ total. La sensibilité peut-être d'environ 0.1 gamma et la durée d'un cycle de mesure est de 1 à 3 secondes

ce qui peut devenir un handicap sérieux lors d'une mesure aérienne. Présentement, tous les nouveaux modèles pour levés terrestre sont couplés à des micro-processeur et des mémoires interne permettant une très grande flexibilité d'opération.

En levés aéroportés, on utilise parfois une variation de ce magnétomètre qui est alors appelé magnétomètre à effet Overhauser. Dans ce type de magnétomètre à précession, le champ de polarisation est un champ alternatif permanent. On obtient une meilleure sensibilité (.005 gamma). Et une plus grande vitesse d'opération. De plus, les fréquences mesurées sont plus élevées, ce qui nous éloigne de la bande de fréquence utilisée par d'autres appareils (EM) qui peuvent causer des problèmes de bruit.

Dans le cas du magnétomètre à précession, la précision quant à la valeur absolue du champ magnétique est limité par la connaissance de la valeur de la constante gyromagnétique du proton. Cette limite nous amène à une précision absolue de l'ordre de 1 gamma.

1.5.4. Magnétomètre à pompage optique (vapeur de césium ou rubidium).

Ce type d'instrument est apparu vers la fin des années 1960 et utilise le principe du pompage optique. Cette technologie est la même que celle utilisée pour les lasers et les masers. La sensibilité que l'on peut obtenir avec un tel instrument est de l'ordre de .005 gamma avec environ 10 lectures par secondes, ce qui en fait un instrument très bien adapté pour les levés aéroportés.

Ce type d'instrument est peu utilisé au sol pour les levés moindres, probablement parce qu'il n'apporte pas d'avantages sur les instrument qui existe déjà. Ses principales applications au sol sont militaires, comme par exemple le déminage.

1.5.5. Magnétomètre à supraconducteur SQUID.

Le SQUID (Superconducting QUantum Interference Device) est un capteur de champ magnétique de très grande sensibilité (0.00001 gamma). Il est présentement utilisé en géophysique, mais seulement lors des levés magnétotelluriques. Son principal désavantage est qu'il doit être maintenu dans l'hélium liquide à -269 degrés celsius. Cependant il pourrait y avoir un intérêt grandissant pour ce type de détecteurs compte tenu des récentes découvertes dans le domaine des supraconducteurs. Récemment, on a obtenu des supraconducteurs à des températures beaucoup plus élevés (-170 degrés celsius) et il est même question de supraconducteurs qui pourraient exister à des températures approchant 100 degrés celsius.

1.5.6. Gradiomètre.

Un gradiomètre est construit à partir de 2 magnétomètres tenus à une distance fixe l'un de l'autre. Le gradient magnétique, selon l'axe joignant les deux capteurs magnétique, est la différence entre les deux lectures divisé par la distance les séparant.

Il y a plusieurs avantages à mesurer le gradient. La mesure du gradient n'est pas affectée par les variations diurne. De plus, ce qui est un atout lors des levés miniers, la mesure du gradient tend à favoriser les cibles situées près de la surface par rapport aux effets régionaux provenant des plus grandes profondeurs. Elle permet aussi une augmentation du pouvoir de séparation.

Le manque de sensibilité des capteurs magnétique a longtemps limité l'utilisation des mesures de gradiométrie. Le gradiomètre aéroporté demande une sensibilité plus grande que 0.01 gamma. On peut construire de très bon gradiomètres en se servant en se servant des magnétomètres à pompage optique

ou encore les magnétomètres à effet Overhauser. Dans le futur, il est probable que l'emploi du SQUID permettra d'obtenir des gradiomètres qui pourront prendre des mesures selon les 3 axes, tout en ayant des dimensions comparable au magnétomètre d'aujourd'hui.

1.6. PROCEDURE UTILISE LORS DES LEVES.

Les levés magnétiques peuvent être exécutés aussi bien sur terre, dans les airs qu'en mer. Dans chacun des cas, on utilisera une technique de mesure un peu différente ainsi que des appareils possédant des caractéristiques adaptées au type de levé.

De même, les techniques de mesure seront un peu différentes selon que le levé vise la prospection minière ou la prospection pétrolière. En prospection pétrolière, les cibles sont profondes et les surfaces couvertes très grandes, tandis qu'en prospection minière les cibles sont souvent proches de la surface et de plus faibles dimension avec des aires de levé réduites. Ces différences dans les types de cibles amènent des différences dans les techniques de prise de mesure. Dans ce texte, nous nous limiterons à la description des techniques destinées à la prospection minière.

1.6.1. Levé terrestre.

En général, lors des travaux au sol, on prend des mesures du champ magnétique sur des lignes parallèles distancées de 100 mètres et implantées dans une direction perpendiculaire à la direction des formations. Les stations de mesures sont généralement distancées de 25 mètres ou 12.5 mètres. Lorsque l'opérateur détecte une anomalie, il peut alors prendre des mesures à des distances plus rapprochées en coupant la distance entre les stations par un facteur de 2 ou 4.

Le problème de la variation diurne du champ magnétique peut être corrigé de deux façons. On peut, par mesures redondantes sur des stations de rattachement, corriger les variations diurnes en supposant une variation linéaire entre deux mesures à la station de rattachement. Ceci, si l'intervalle entre les mesures est plus petit que deux heures environ. On peut aussi utiliser une station de base à proximité du levé qui enregistrera les va-

riations diurne du champ magnétique et qui permettra de faire les corrections voulues.

1.6.2. Levé aérien.

Un des principaux problèmes rencontré lors des levés aérien est celui du positionnement de la mesure. Plusieurs techniques sont utilisées. La plus simple consiste à photographier le sol avec une camera qui peut être synchronisée avec le magnétomètre. On obtiendra un résultat équivalent avec un enregistreur vidéo. Ce type de positionnement est efficace lorsque la topographie ou les accident de terrain permettent une reconnaissance des lieux. Cependant, au-dessus d'un terrain sans accidents, par exemples la mer, un désert ou une forêt, cette technique perd de son efficacité. Dans ce cas, on doit avoir recours à des systèmes de positionnement électroniques tel les systèmes micro-ondes, les radars à effet Doppler, ou les systèmes de navigation inertiels. Tous ces systèmes sont toutefois dispendieux. L'altitude de vol doit aussi être continuellement enregistrée et corrigée, s'il y a lieu à l'aide d'un altimètre radar.

Certains problèmes peuvent survenir avec l'utilisation d'un magnétomètre à bord d'un aéronef. Ces problèmes sont causés par la présence de champ magnétique induits à l'intérieur de l'aéronef. Ces champs seront induit soit par la présence de courant électriques ou par la présence de pièce contenant des ferromagnétiques. Une solution pour remédier à ces problèmes consiste à trainer le capteur du magnétomètre à l'extérieur de l'appareil au bout d'un câble. Le capteur sera alors placé dans une enveloppe protectrice ayant une forme aérodynamique qui lui donnera une bonne stabilité en vol. Une deuxième solution consiste à placer le capteur à l'intérieur de l'aéronef en ajoutant un champ de compensation. Cette technique est compliquée et est utilisée lorsque d'autre mesures sont prises simultanément et qu'elles empêchent de trainer le capteur du magnétomètre à l'extérieur.

L'espacement entre les lignes de vol et l'altitude de vol sera dicté par les facteurs tel la profondeur des cibles visées, leur grosseur, le but du levé (reconnaissance ou détail), ainsi que le budget disponible.

Le levé aéromagnétique est utilisé comme outil de reconnaissance lors de la prospection pour le pétrole, afin de déterminer la profondeur du socle rocheux sous les formations sédimentaires. Il est utilisé pour l'exploration préliminaire en recherche minière, ceci dans le but de délimiter les différentes formations qui pourraient être associées à des gîtes miniers. Dans certains cas, il peut aussi être utiliser directement pour trouver certains gîtes de fer ou de titane.

1.7. MESURE AEROMAGNETIQUE EN GASPE-SIE

Tel qu'il a été mentionné au début du texte, le levé aéromagnétique a été séparé en deux parties qui ont été octroyées à deux compagnies différentes. Nous allons ici donner les paramètres et techniques d'acquisition et de traitement utilisés par chacune d'elles.

Vue la topographie très accidentée du territoire à couvrir et la faible altitude de vol. Les lignes ont été survolées au moyen d'un hélicoptère. Celles-ci avaient une direction nord-sud avec un espacement de 300 mètres et avec une élévation constante de 150 mètres au-dessus du sol. Des lignes de contrôle ont aussi été faites avec une direction est-ouest et un espacement de 10 kilomètres entre les lignes.

La compagnie Relevé géophysique inc. a utilisée 2 magnétomètres à vapeur de césium de marque Scintrex (modèle V200) attachés à un câble à 30 mètres au-dessous de l'hélicoptère, l'espacement entre les deux magnétomètres était de 2 mètres. De plus un récepteur EM-TBF de Totem 2A de Herz Industrie était aussi attaché sur le même câble à 20 mètres sous l'hélicoptère. Tous les signaux ont été enregistrés sous forme numérique et analogique par des instruments sous le contrôle d'un système d'acquisition situé dans l'hélicoptère. Au sol une station de base enregistrerait les variations diurnes du champ magnétique de même que celle des émetteurs TBF de Cutler et Annapolis qui ont été utilisés lors du levé TBF.

La navigation et le positionnement de l'hélicoptère ont été fait à l'aide de photo aérienne et d'un système d'enregistrement vidéo synchronisé avec le système d'acquisition. Un altimètre radar a aussi été utilisé pour permettre un vol à altitude constante par rapport au sol.

La compagnie Sanders Geophysics Ltd. a utilisé deux de leurs magnétomètres à effet Overhaussers séparés d'une distance verticale de 3 m et leur système TBF (VLF-EMII). La navigation et le positionnement horizontal dans leur

cas ont été fait à l'aide d'un système inertiel de marque Litton LTN-31 avec une caméra 16 mm.

Plus de détail sur les procédures des levés peuvent être obtenus en consultant les rapports d'opérations qui ont été remis par les contracteurs à la Commission Géologique du Canada suite à l'achèvement des travaux.

1.8. BIBLIOGRAPHIE

On peut trouver amplement de lecture sur la théorie magnétique et les techniques de mesure du champ magnétique appliqué à la géophysique dans la plupart des livres de géophysique appliqué; citons par exemple:

Applied Geophysics, W.M. Telford, L.P. Geldart, R.E. Sheriff et D.A. Keys, Cambridge University Press. 1978

La géophysique et les propriétés physiques des roches, M.K. Séguin, Les Presses de l'Université Laval. 1971

Pour la théorie fondamentale du magnétisme et pour la description des interactions entre le champ et la matière ces livres sont souvent un peu déficients ou même erronés. Les seules références fiables sont alors des livres de physique pure. Parmi ceux-ci citons:

Le cours de physique de Feynmann. Tome 2 Electromagnétisme 2^e partie, Addison - Wesley Publishing company (édition bilingue): Ce livre présente quelques chapitres abordables sur l'interaction entre le champ magnétique et la matière.

2. GEOLOGIE DU CENTRE NORD DE LA GASPESIE

2.1. PHYSIOGRAPHIE

Le territoire couvert par le présent rapport se situe dans la partie centre nord de la péninsule gaspésienne. Il est compris entre les latitudes $48^{\circ} 15'$ et $49^{\circ} 15'$ et les longitudes $67^{\circ} 00'$ et $65^{\circ} 30'$. Et sa superficie est d'environ 6000 km^2 . La population se concentre sur les côtes de la Péninsule. Plusieurs routes, originant des villages côtiers, permettent un accès à l'intérieur des terres. Au nord, se trouvent les villes de Cap Chat, Ste-Anne-des-Monts, Marsoui, et au sud, les villes de Restigouche, d'Escuminac, de Nouvelle et de New Richmond. Les principales routes desservant la région sont: la route provinciale 132 qui longe la côte, la route 198 qui relie Anse-Pleureuse à Murdochville, la route de ceinture des monts McGerrigle et enfin la route transgaspésienne qui relie Ste-Anne-des-Monts et New Richmond. Quelques chemins forestiers se ramifient sur le centre-nord de la Gaspésie, mais un âge avancé de l'exploitation rendra difficile l'accès.

La région peut être divisée en quatre zones topographiques, allant du nord au sud. D'abord une série de plateaux secondaires (450m), augmentant rapidement d'altitude pour atteindre le plateau des Chic-Chocs (900m), comprenant quelques hauts sommets dont le mont Albert (1083m). Puis nous passons au plateau des monts McGerrigle et son point culminant le Mont Jacques Cartier (1277m). Enfin une série de plateaux (450m) nous font passer graduellement au niveau de la mer dans la Baie des Chaleurs. Les hauts plateaux sont fortement incisés de vallées orientées nord-sud.

La Gaspésie, en raison de sa latitude et de l'altitude de plusieurs sommets, réunit les flores arctiques, boréales et tempérées. Toutefois, la couverture forestière dominante est de type conifère (sapin baumier, épinettes noire et blanche), laquelle est absente sur les hauts sommets alors qu'elle se fait très dense sur les plateaux secondaires.

Le réseau hydrographique se divise en deux bassins principaux avec, comme ligne de partage des eaux, une crête longeant les monts Chic-Chocs. Au nord, les rivières Cap Chat, Ste-Anne, Marsoui et Madeleine drainent les eaux vers le Golfe du Saint-Laurent alors qu'au sud, les rivières Nouvelle, Cascapédia et Bonaventure canalisent les eaux vers la Baie des Chaleurs. Les lacs dans la région sont nombreux, de petite dimension et se concentrent dans la partie montagneuse; ceci nous montrant bien l'influence glaciaire antérieure.

Le climat est de type toundra sur les hauts sommets: soit une température moyenne annuelle de -4° C et une forte accumulation de neige durant l'année. Sur les plateaux secondaires, en direction des côtes, le climat est plutôt de type tempéré humide.

Le recouvrement du sol reflète bien l'importance du climat. Sur les hauts sommets on retrouve des champs de blocs ou Felsenmeer dû à la gélifraction, alors que dans les vallées les colluvions, les sédiments fluviaux et organiques abondent. Malgré la faible épaisseur de mort-terrain, on le retrouve systématiquement sur l'ensemble du territoire, d'où la faible quantité d'affleurement observable. Ce dernier point démontre bien le rôle que doit jouer la géophysique dans l'interprétation de la géologie en Gaspésie.

2.2. GEOLOGIE APPALACHIENNE

Prenant origine dans les états américains de la côte est (Alabama), la province tectonique des Appalaches s'étend sur plus de 3 000 km, passant par les Cantons de l'Est, la Gaspésie, se poursuivant dans la province géographique de Terre-Neuve, pour finalement se terminer dans les Calédonides Britanniques. (figure 2.1)

On attribue aux Appalaches cinq grandes divisions (Williams, 1979) basées sur des variations stratigraphiques et structurales. En partant du nord-ouest vers le sud-est, apparaissent les zones de Humber et de Dunnage qui sont présentes en Gaspésie. Plus au sud-est apparaissent les zones de Gander, d'Avalon et de Méguma que l'on retrouve au Nouveau-Brunswick et en Nouvelle-Ecosse. Des failles importantes servent de frontière entre elles. La zone de Humber correspond à la création et à la destruction de l'ancienne bordure continentale de l'océan Iapetus. La zone de Dunnage représente les vestiges du domaine océanique.

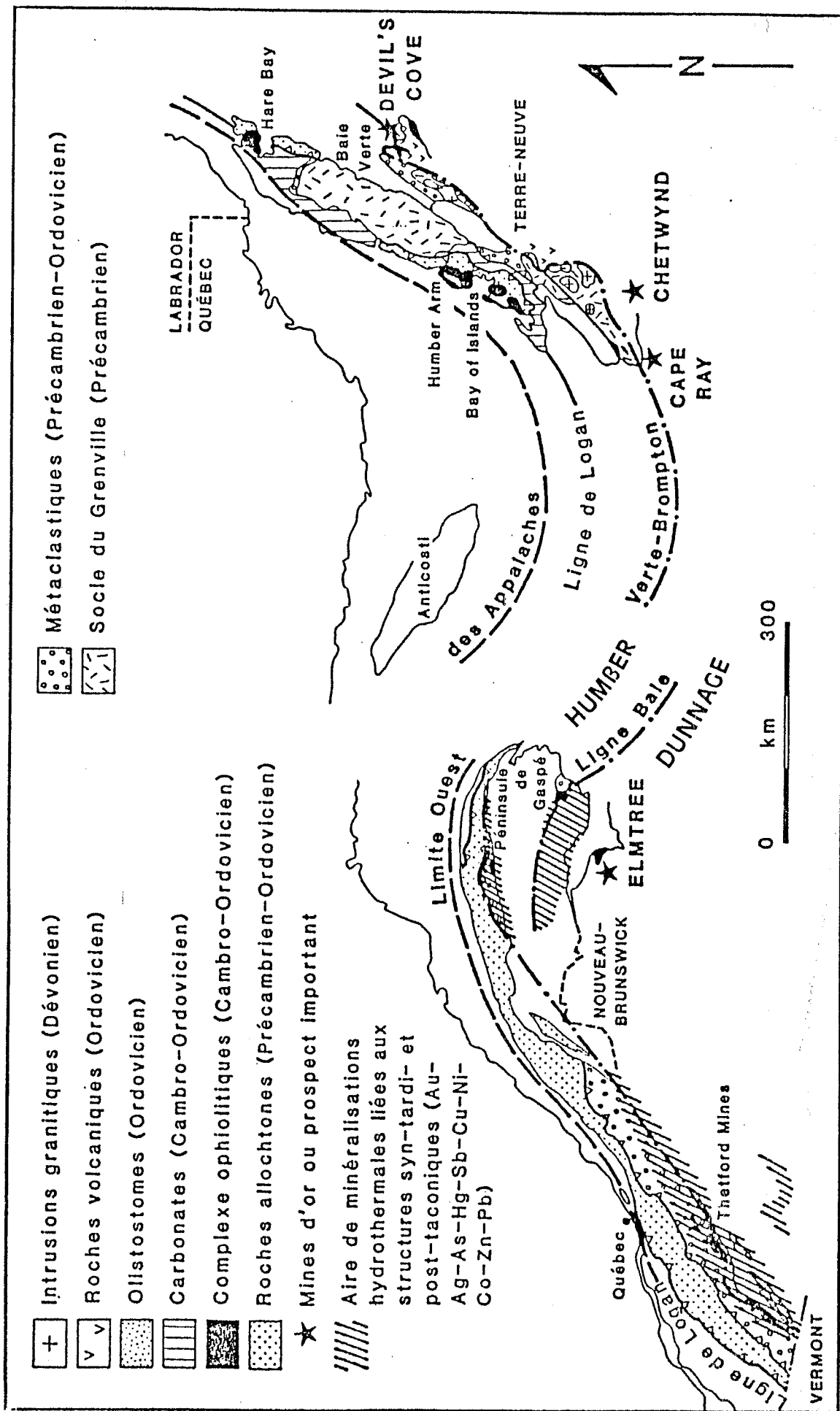


Figure 2.1. Géologie Appalachienne (modifié de Gauthier et al., 1987).

2.3. GEOLOGIE DE LA GASPESIE

2.3.1. Structure

La péninsule gaspésienne a été affectée par trois cycles orogéniques importants (figure 2.2). Le premier est le taconien, durant l'Ordovicien, le second est l'acadien, pendant le Dévonien et le dernier est l'alléghanien, qui eut lieu au Permien-Carbonifère (Malo, 1987).

Trois ceintures principales définissent la tectonostratigraphie de la Gaspésie: La ceinture septentrionale d'âge cambro-ordovicien constituée de la zone de nappe du Saint-Laurent à laquelle est associée la boutonnière de Macquereau Mictaw située à l'extrême sud-est de la péninsule gaspésienne (orogénèse taconienne); la ceinture centrale composée du synclinorium de Gaspé, Connecticut valley et de l'anticlinorium d'Aroostouk Percé d'âge siluro-dévonien. (orogénèse acadienne et enfin la ceinture méridionale définie par le synclinorium de la Baie des Chaleur, d'âge permo-carbonifère (orogénèse alléghanienne).

Les deux premières ceintures sont séparées par une discordance majeure accentuée par la faille des Chics-Chocs (ligne Baie-Verte Brompton), alors que les ceintures centrales et méridionales sont séparées par une autre discordance d'envergure. De grandes failles majeures, telles les failles de Restigouche, de Grand Pabos et de la Grande Rivière, caractérisent la partie sud de la ceinture centrale.

La ceinture cambro-ordovicienne au nord est la plus complexe ayant été affectée par les orogénèses taconienne et acadienne, la ceinture centrale siluro-dévonienne formée lors de l'orogénèse acadienne présente surtout des plis de grandes amplitudes, alors que la ceinture méridionale permo-carbonifère se présente en une structure simple homoclinale.

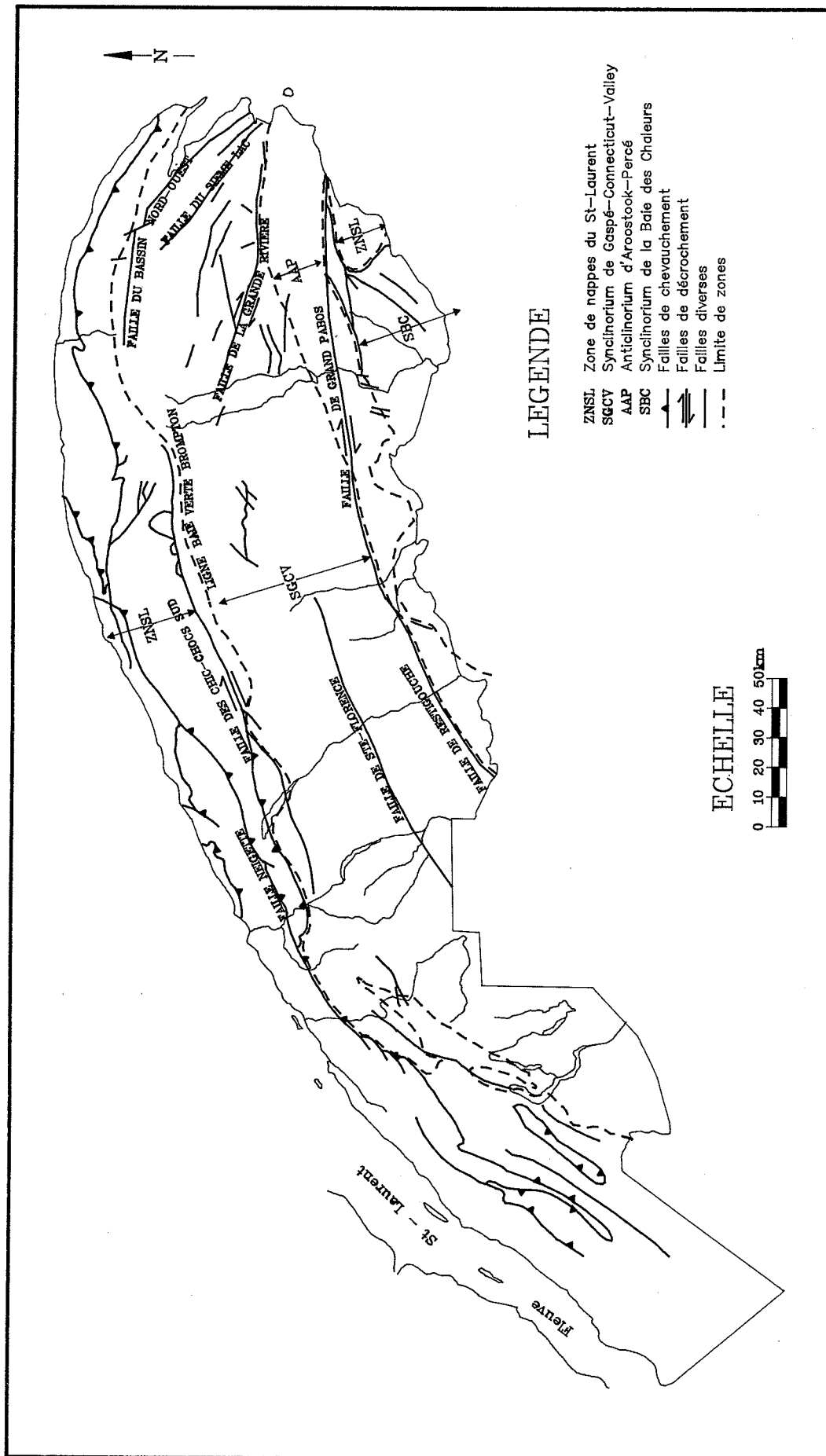


Figure 2.2. Carte structurale de la Gaspésie.

2.3.2. Lithologie

2.3.2.1. Ceinture cambro-ordovicienne

Les roches cambro-ordoviciennes, regroupées sous l'appellation "Super Groupe de Québec" occupent la partie nord de la péninsule gaspésienne et sont séparées des unités plus jeunes au sud par la faille des Chics-Chocs (figure 2.3). Font partie de cette ceinture: des roches métasédimentaires indifférenciées, un mélange de métasédiments et métavolcaniques connu sous le nom de Groupe de Chic-Chocs, et le complexe de roches ultrabasiques des monts Albert, du Sud et Paul.

Roches métasédimentaires (22H4)

Les unités appartenant aux roches cambro-ordoviciennes au nord du Groupe de Chic-Chocs contiennent en majorité des sédiments et en quelques endroits des laves interdigitées. La formation de plusieurs nappes de charriage et de gravité ainsi que d'écailles de chevauchement ont rendu l'identification d'une stratigraphie difficile. Même que pour certains auteurs ces roches se confondent parfois avec les lithologies appartenant au Groupe de Chics-Chocs. Les sédiments rencontrés sont de l'orthoquartzite, du métagrauwacke, du calcaire, de l'argilite et du grès. Les laves sont des basaltes essentiellement massifs et amygdalaires, donc des coulées en milieu sub-aérien accompagnées de quelques unités de tufs. Il faut noter ici que la présence des intrusifs des monts McGerrigle qui viennent recouper les sédiments aura causé un métamorphisme de contact transformant ceux-ci en cornéennes.

Groupe de Chic-Chocs (22A13 NW; 22B15 NW,NE; 22B16 NW,NE)

Le Groupe de Chic-Chocs est métamorphisé au faciès des schistes verts. Le métamorphisme et les déformations sont plus intenses en passant du nord

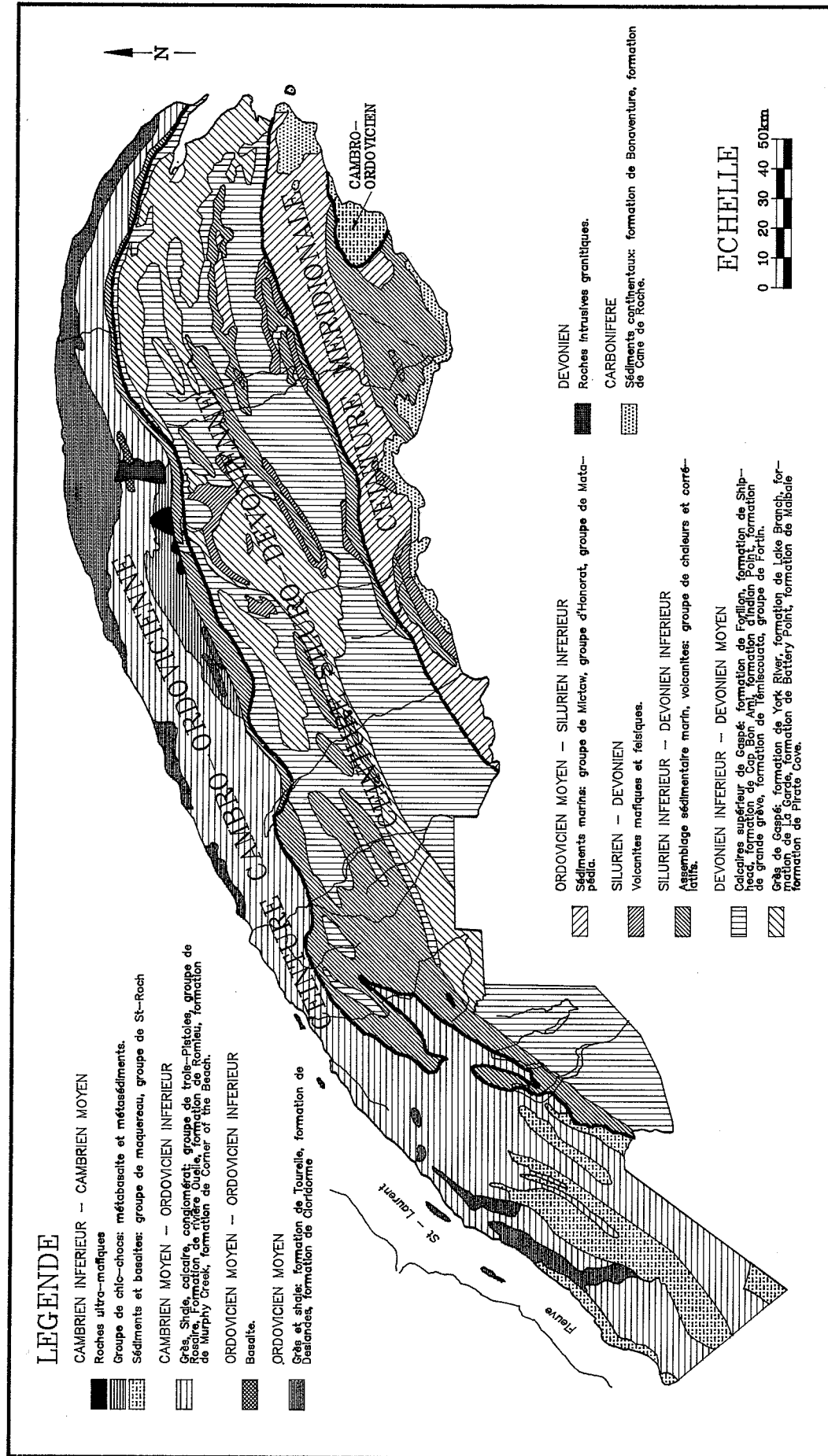


Figure 2.3. Carte lithologique de la Gaspésie

vers le sud donc en s'approchant de la faille des Chic-Chocs. Les roches dominantes sont des métasédiments et des laves. Les sédiments sont formés de mudstone rouge, de siltite, de schiste, de méta-arkose. Les laves sont constituées essentiellement de basaltes passant de coussinés à massifs et souvent accompagnés de tufs. On remarque également une interdigitation entre les laves et les sédiments. Plusieurs dykes de diabase et des intrusions felsiques recoupent le Groupe de Chic-Chocs. Ce sont des intrusions tardives.

Complexe ultrabasique des monts Albert, du sud et Paul
(22B15 NW,NE; 22B16 NW,NE)

Le complexe du mont Albert se divise en trois massifs distincts soit le mont Albert, le mont du Sud et le mont Paul (Beaudin,1980). Les types de roches dominants sont la harzburgite, la dunite et des veines d'orthopyroxénite. Les minéraux sont donc essentiellement l'olivine, l'orthopyroxène, le clinopyroxène et la chromite. La majeure partie du complexe est composée de péridotite serpentinisée (harzburgite) alors que la butte du mont Olivine contient des péridotites fraîches. Un rubanement primaire, sans texture de cumulat s'accompagne d'une texture tectonique (auréole dynamothermique) qui lui est parallèle.

La mise en place est reliée au phénomène d'obduction. C'est à dire que nous avons la formation de croûte océanique et d'un bassin de sédimentation. Lors de l'orogénèse taconienne il y aura destruction en majeure partie de la croûte océanique sauf quelques copeaux d'ultrabasiqes qui auront été charriés (obduction) sur les roches du Groupe de Chic-Chocs, suivie de la mise en place de diverses nappes de charriage et de gravité. L'auréole dynamothermique se serait formée lors de cette obduction. Lorsque située à proximité d'une zone de cisaillement importante la roche ultramafique pourra être altérée au point d'être transformée en dolomie; la présence de chromite à l'intérieur confirme son origine ultramafique.

Ce phénomène est observé près du ruisseau du Dix-septième mille (22B16 NE), à proximité de la faille des Chic-Chocs.

2.3.2.2. Ceinture siluro-dévonienne (22A13 NW,NE; 22A12; 22B16 SW,SE; 22B9; 22B15 SW,SE; 22B10; 22B7)

Cette ceinture est constituée en majeure partie de roches sédimentaires accompagnées en quelques endroits de laves mafiques et felsiques et recoupées par d'importantes intrusions felsiques. Les volcaniques felsiques sont représentées par les monts Lyall, Tuzo et Squaw Cap (Doyon et Valiquette, 1986) alors que les intrusifs sont identifiés en particulier par les massifs granitiques des monts McGerrigle, mont Chauve, mont Hog's Back et mont Vallières-de-Saint-Réal. On retrouve également plusieurs filons-couches de felsite, des dykes felsiques et mafiques.

Roches sédimentaires

Le tableau stratigraphique (figure 2.4) nous présente les différentes unités lithologiques rencontrées sur le terrain dans le centre-nord de la Gaspésie. Selon que l'on se déplace vers l'est ou vers l'ouest de notre secteur, la nomenclature pourra changer; des équivalents latéraux (changement de faciès) porteront un autre nom.

On peut diviser l'ensemble en trois grandes unités de la base au sommet: le Groupe de Chaleurs, les Calcaires Supérieurs de Gaspé et les Grès de Gaspé. Les roches siluro-dévoniennes n'ont subi qu'une phase de déformation lors de l'orogénie acadienne; un seul clivage est observé et tous les indices de polarité sédimentaire montrent des strates en position normale. Les plis sont en général ouverts, légèrement déjetés vers le nord et orientés NE-SW. Plusieurs failles viennent recouper et déplacer les différentes unités. Des systèmes de failles N-S (normales) ont été identifiés par les différents auteurs ayant travaillé dans la région, nous en ferons mention

DEVONIEN Inférieur et moyen		ROCHES INTRUSIVES		Porphyre granitique rose; filon-couches de felsite de type alpha- nitique beige à rose, ou de type sphérolitique, fluidale ou rubanée, vert pâle; dyke de roches felsiques porphyritiques rose et gris clair; dykes de roches mafiques gris foncé verdâtre.	
DEVONIEN	EMSIEN	GRES DE GASPE		Grès argileux et mudstone vert foncé, en alternance avec des cal- caires siliceux dans la partie inférieure; roches volcaniques basiques.	
	SYEGE- NIEN	CALCAIRES SUPERIEUR DE GASPE		Calcaire argileux, calcaire siliceux, mudstone et siltstone calca- reux, gris foncé à noir; cornéenne pélitique noire localement; volca- noclastite mafique et basalte.	
	GEDINNEN	GROUPE DE CHALEURS	INDIAN POINT (450 à 650 m)	Formation de St-Léon: Siltstone et grès très fin laminés, légèrement calcaireux, dolomitique par endroits, gris clair verdâtre; quelques ni- veaux de calcaire rubané dans la partie médiane; mudstone rouge et vert près du sommet; filons-couches felsiques.	
SILURIEN	ST-LEON		Formation d'Indian Point: Siltstone et grès très fin laminés, légèrè- ment calcaireux, dolomitique par endroits, gris clair verdâtre; calcai- re rubané et siltstone calcaireux gris foncé à la base; mudstone rou- ge et vert près du sommet.		
	WEST POINT (35 à 235 m)		Formation de West-Point: Calcaire "récifal" blanc à crinoïdes et stro- matopores; conglomérat calcaire de type récifal, calcaire rubané et siltstone laminaire.		
	discordance ludlovienne		(discordance ludlovienne)		
	GASCONS (\leq 175 m)		Formation de Gascons: Siltstone et grès très fin, gris verdâtre.		
	SAYABEC (70 à 140 m)		Formation de Sayabec: Dolomie beige; calcaire algaire gris moyen; calcaire nodulaire gris foncé; grès quartzeux très calcaireux ou dolo- mitique, gris très clair; calcarénite à crinoïdes et stromatopores, blanche à gris très clair.		
	VAL-BRILLANT (40 à 80 m)		Formation de Val-Brillant: Grès quartzeux blanc.		
AWANTJISH (\pm 35 m)	SOURCES (?)		Formation d'Awantjish: Shale calcaireux à non calcaireux, gris et vert, riche en brachiopodes; rares lits de calcirutite à crinoïdes. Formation des Sources: Calcilutite gris foncé, à interlits de shale, riche en brachiopodes.		
(Discordance "ordovicienne")					
CAMBRO- ORDOVICIEN		SUPERGROUPE DE QUEBEC			

Figure 2.4. Tableau stratigraphique.

dans l'interprétation géophysique détaillée. Un autre système E-W (failles de décrochement) est également présent.

Au point de vue sédimentation, différents milieux de déposition ont caractériser les couches sédimentaires. La succession paléogéographique du siluro-dévonien débute par une sédimentation terrigène d'eau peu profonde associée au sommet du Groupe de Chaleurs, soit les formations de West Point et d'Indian Point. Elles sont interprétées comme un complexe récifal (Bourque, 1975) enseveli par une sédimentation de plate-forme siliciclastique d'eau peu profonde (Amyot, 1985). La séquence se poursuit avec la sédimentation calcaire d'eau profonde des Calcaires Supérieurs de Gaspé, laquelle est recouverte des sédiments intercotidaux et continentaux représentés par les Grès de Gaspé (Lespérance, 1980; Sikander, 1978). On peut donc parler d'une sédimentation cyclique terrigène-carbonatée-terrigenne (Amyot, 1986).

Ce sont donc les formations calcaireuses qui présentent le plus d'intérêt du point de vue économique étant donné la porosité des calcaires et la réaction favorable aux dépôts minéralisés lorsqu'il y a métasomatisme. On parle des formations de Sayabec, de West Point, de Shiphead, d'Indian Cove et de York Lake.

2.3.2.3. Massif des monts McGerrigle (22A13 NW; 22H4 SW)

Ce massif d'une superficie de 130 km², est constitué de roches intrusives variées et hybrides d'âge Dévonien supérieur (De Römer, 1977). Il recoupe les roches cambro-ordoviciennes. Une importante auréole de métamorphisme de contact s'est formée et affecte les lithologies plus anciennes tout autour du massif sur une largeur d'environ 1,5 à 3km.

Les roches sédimentaires terrigènes comme les argilites se seront transformées

en cornéennes à son contact alors que les roches calcareuses auront formé des skarns dans certains cas minéralisés (mines Candego et Madeleine).

Le massif peut être divisé en deux séries (Whalen, 1987): la série granitique au sud et la série hybride au nord du massif.

La série hybride est formée d'un mélange complexe de composition variée dont le gabbro, basalte (enclaves), diorite, diorite quartzifère, granodiorite, monzodiorite, syénite et granite.

La série granitique au sud est de composition relativement homogène et la subdivision en différentes phases est faite selon la minéralogie des feldspaths et la texture. On passe de syénite quartzifère à du granite.

De nombreux dykes mafiques et felsiques viennent recouper les différentes intrusions. Le diabase forme la majorité des premiers alors que des porphyres quartzo-feldspathiques constituent les seconds.

L'intérêt majeur de l'ensemble du massif est qu'il aura contribué à concentrer de la minéralisation sous forme de skarns et possiblement de porphyres cuprifères.

2.4. MINERALISATION

Caractériser les gisements selon leur génèse, peut parfois orienter les recherches vers des types bien précis de minéralisation, et ainsi nous faire passer à côté de gisements insoupçonnés dans une région. Toutefois il demeure que des environnements géologiques prédominent pour certaines minéralisations comme c'est le cas en Gaspésie. La péninsule gaspésienne recèle plusieurs de ces types de gisements (figure 2.5); nous verrons les plus importants. Il faut mentionner qu'un gisement, malgré son association avec un événement dominant, est souvent le résultat d'une combinaison de mécanismes différents; failles, intrusifs, veines.

2.4.1. Minéralisations associées aux intrusifs granitiques:

Porphyre cuprifère: il s'agit, comme c'est le cas des mines Gaspé, d'un intrusif de composition felsique qui s'introduit au travers de roches sédimentaires. Un réseau de stockwerks ou de filonnets minéralisés se développera au sein de l'intrusif, lequel réseau sera accompagné d'une intense altération à l'intérieur et à l'extérieur du pluton. Au coeur de l'intrusif on pourra retrouver une altération siliceuse alors qu'en s'éloignant on observera des zones dites potassique, phyllique, argillique et propylitique, toutes avec leurs minéraux caractéristiques.

Skarn: un intrusif felsique est toujours présent mais cette fois c'est la réaction entre les fluides hydrothermaux minéralisés et la roche hôte alcaline (calcaire) rendue poreuse qui causera la précipitation des minéraux économiques. Le passage des fluides se fera le long des contacts des plans lithologiques et par remplissage des espaces créés par des fracturations.

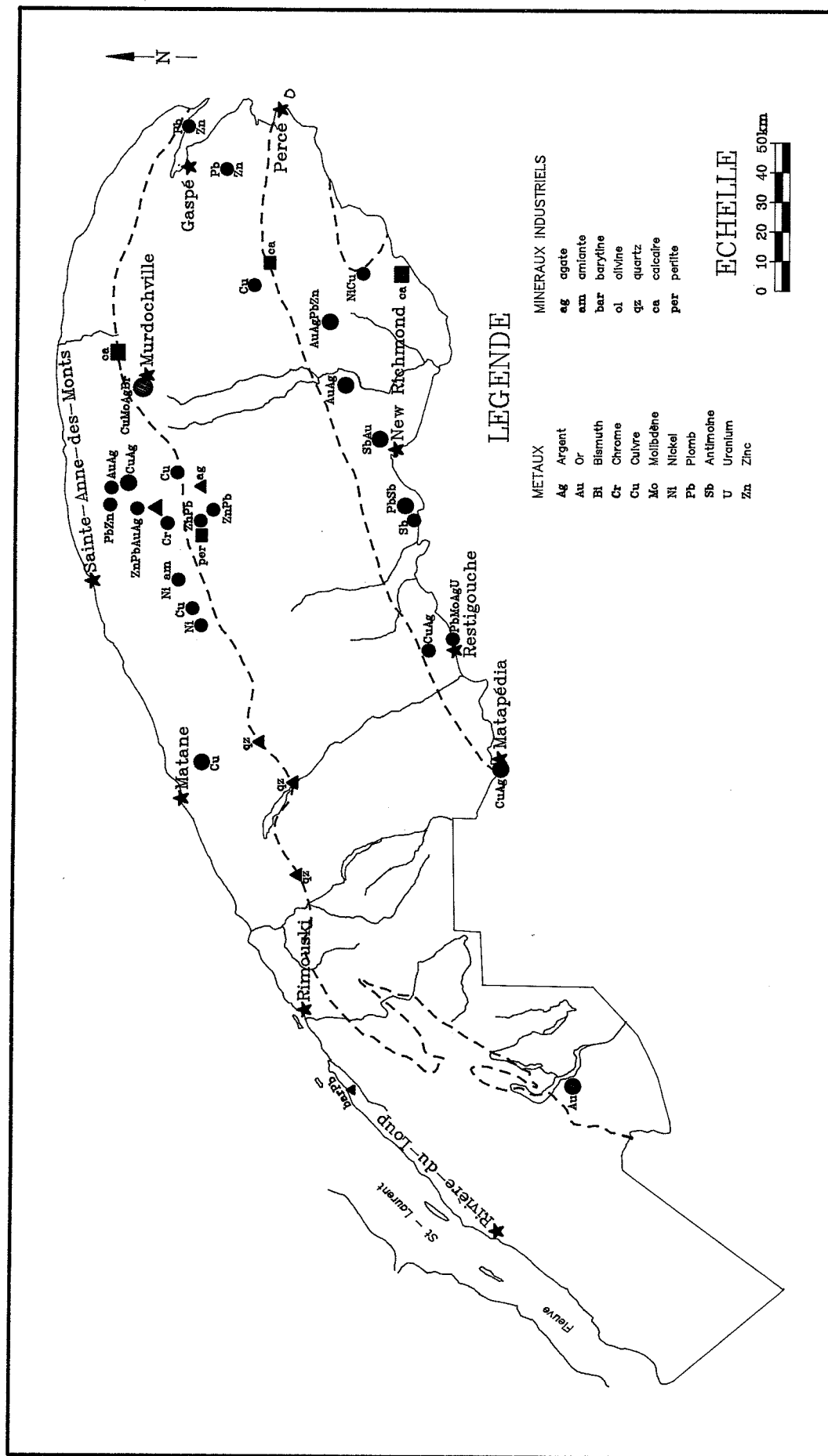


Figure 2.5. Carte de minéralisation de la Gaspésie

Cas type: mines Gaspé dans la ville de Murdochville.

Les mines Gaspé sont constituées de deux gisements principaux soit le mont Copper (porphyre de cuivre) et le mont de l'Aiguille (skarn).

L'exploitation de ces gisements a débuté en 1955 et a produit jusqu'à maintenant (1987) 133,752,000 tonnes d'une teneur moyenne de 0,6524 % cuivre. Les réserves (1987) sont estimées à environ 29,64 Mt à une teneur moyenne de 0,9855 % cuivre. Le gîte de porphyre cuprifère (mont Copper) s'est développé en filonnets et sous forme disséminée et il contient de la pyrite, chalcoppyrite et molybdénite. Les teneurs en cuivre et en molybdène sont considérées comme faibles, soit 0,4 % et 0,02 % respectivement, mais celles-ci sont compensées par un fort tonnage. Le gîte de skarn (mont de l'Aiguille) est constitué de pyrite, et de pyrrhotine avec absence de molybdénite. La minéralisation prend l'allure stratiforme puisqu'elle s'est développée le long des bancs de calcaire rendus poreux par l'altération. Les formations de Cap Bon-Ami et de Grande-Grève sont les roches hôtes des deux gisements.

Cas type: gîte Sullipek (22B16 SE).

Le gîte de Sullipek est situé dans le canton de Lesseps, au sud des monts McGerrigle. Ce gîte cuprifère est localisé dans la Formation de West Point. Il s'agit d'un skarn minéralisé en Cu, Zn, Mo et Ag et associé à des intrusions de porphyre dacitique. Les réserves sont estimées à environ 5,5 Mt à 0,88% Cu. Les amas minéralisés sont en général au contact des porphyres dacitiques avec le calcaire. Le contrôle structural semble avoir joué un rôle important car la majorité des corps minéralisés sont parallèles à un système de failles (faille de Sullipek :Valiquette, 1984). Ce système serait possiblement un réseau de failles subsidiaires à la faille principale des Chic-Chocs. Cinq épisodes de magmatisme ont été reconnus (Wares, 1982): diabase, porphyre quartzo-monzonitique, porphyre tonalitique, granodiorite et porphyre rhyolitique.

Cas type: mine Candego (22B16 NE)

Ce gisement situé à 15 km au sud de Marsoui a été découvert en 1916. Son exploitation a débuté en 1948 pour se terminer en 1954. La production totale fut de 68,497 tonnes à 6,55 % Pb, 4,28 % Zn, 178g/t Ag et 0,5g/t Au. A la fermeture les réserves étaient évaluées à 4,548 tonnes. La minéralisation est constituée de galène argentifère et de pyrite. Le gîte correspond (Lachance, 1977) à un ensemble de filons de quartz-carbonate plombo-zincifère situés le long ou à proximité d'une zone de cisaillement schisteuse (séricite-chlorite-hydrocarbures). Cinq filons ont été exploités au cours des années. La faille Candego située à proximité semble avoir créée le système de canalisation pour les solutions hydrothermales. Ces dernières proviendraient de la mise en place des plutons des monts McGerrigle situés à l'est.

Cas type: mine Madeleine (22B16 NE)

Cette ancienne mine a été découverte en 1964 et fut en production de juin 1969 à juin 1982. Au total, 7,377,387 tonnes à 1,08% Cu ont été extraites. Elle est située au sommet du Petit mont Sainte-Anne dans le canton de Boisbuisson (Lachance, 1977; Duquette, 1987). La minéralisation principale est la chalcoppyrite, la pyrite et la bornite lesquels sont associés à des minéraux supergènes tels que la digénite, la covellite (argentifère) et de la malachite et azurite. Pyrrhotine et sphalérite accompagnent ces minéraux de cuivre. Il s'agirait d'un gîte filonien relié directement à la mise en place des plutons des monts McGerrigle. Le contexte géologique consiste en des sédiments de type métagrauwackes et cornéennes pélititiques au contact d'un granite et d'une granodiorite-monzonite. La minéralisation étant située à l'intérieur des deux types de sédiments. Certains croient que la minéralisation originerait des intrusifs alors que d'autres croient à un lessivage des laves environnantes par les fluides hydrothermaux lors de la mise en place des plutons. La combinaison des deux est sans doute acceptable.

Cas type: Dôme de Lemieux (ancienne mine Federal) (22B9)

Nous mentionnons ce cas avec ceux associés aux intrusifs felsiques parce que, comme il sera proposé dans la partie interprétation des anomalies, nous croyons à la possibilité d'un pluton en profondeur. Toutefois il faut mentionner que l'ancienne mine Federal, qui est associée au dôme, est constituée de veines de quartz-carbonate minéralisées en Zn, Pb et Cu (Stevens, 1983; Rouillard, 1983). Depuis la découverte en 1912, 200,000 tonnes de minerai ont été produites à 6% Zn-Pb. La forme du dôme serait le produit de deux phases de déformation sur les roches sédimentaires accompagnées d'intrusifs gabbroïques et de porphyres rhyolitiques. Ces derniers se seraient introduits à la faveur de la fracturation causée par les déformations tectoniques. La Formation Cap Bon Ami cartographiée aux alentours, et supposée se trouver sous le dôme en profondeur, serait la meilleure source pour une minéralisation de type skarnifère comme on en retrouve à Murdochville. La présence de nombreuses failles et fracturation pourraient servir de canalisation aux fluides minéralisés.

2.4.2. Minéralisations associées aux roches ultrabasiques:

Nous retrouvons trois types de minéralisation dans cet environnement. Le premier est constitué de nickel et chrome que l'on retrouve sous une forme de litage magmatique ou plus souvent podiforme. A l'origine, lors de la formation de la chambre magmatique, il se produira une ségrégation, dû à la gravité, des minéraux riches en chrome et en nickel. L'environnement géologique dans lequel se produit le processus, soit la formation d'un fond océanique instable, la création de poches minéralisées est plus fréquemment observée. Le second type est une minéralisation riche en olivine fraîche que l'on peut classer comme minerai industriel. La roche originale est une harzburgite qui a subi très peu d'altération après le processus de refroidissement du magma. Un troisième type peut présenter certaines valeurs aurifères. Il se forme à partir de la roche ultrabasique qui subira une forte altération en carbonate et en silice dont le produit sera une listwae-

nite souvent accompagnée de mariposite ou fuschite. Par la suite, en réponse à des forces tectoniques, des veines de quartz pourront se développer pour piéger la minéralisation aurifère. Un autre type de minéralisation, soit de l'amiante, peut également se développer: les conditions de pression et de température requises pour former un tel gisement ne semblent pas avoir été obtenues en Gaspésie.

Cas type: gîte d'Olivine

Ce gîte fut découvert en 1966 par forage et est situé près du mont Olivine à quatre kilomètres au sud du Gîte du parc de la Gaspésie. La roche hôte, une harzburgite, appartient au complexe du mont Albert. Le tonnage est estimé à environ 75 Mt d'olivine fraîche. Son exploitation n'a pu être entreprise entre autres parce qu'il est situé à l'intérieur des limites du parc de la Gaspésie.

2.4.3. Minéralisations associées à des volcaniques :

Plusieurs petits indices minéralisés en pyrite et en chalcopryrite ont été observés entre autres dans les volcanites appartenant au Groupe des Chic-Chocs. Il s'agit surtout de minéralisation disséminée dans la roche hôte sans concentration importante (Beaudin, 1980; Wilson, 1985). Toutefois, la proximité de zones de cisaillements importantes pouvant également développer des veines de quartz, permettront de reconcentrer le minerai disséminé pour en faire des indices intéressants.

2.4.4. Minéralisations associées à la faille du Grand Pabos:

Cette faille majeure s'étend de la baie du Petit Pabos à l'est jusqu'à la rivière Nouvelle à l'ouest, se confondant alors avec la faille de Restigouche. Elle est une faille de décrochement dextre de type wrench fault (Malo,

1987). De part et d'autre de la faille des indices aurifères ont été identifiés.

Cas type: filon Baker

Dans le canton de Weir près du lac Arseneault des filons de quartz-carbonate aurifères ont déjà été identifiés. Le filon Baker par exemple situé à moins de 60 m de profondeur contient quelque 40,000 t à 15,42g/t Au, 197g/t Ag, 6,6% Pb et 3,5% Zn (Duquette, 1987).

Plusieurs veines de quartz développées à l'intérieur du Groupe de Fortin, dans la région de Restigouche (Lachance, 1979; Bergeron et al., 1986; Simard, 1986) sont également reconnues comme légèrement porteuses d'or.

2.4.5. Minéralisations associées aux dépôts alluvionnaires:

Ce type de minéralisation se développe essentiellement dans des ruisseaux anciens ou récents où le processus consiste en une désagrégation de la roche en place puis transport et concentration de l'or par gravité à l'intérieur des dépôts alluvionnaires. Les seuls indices de ce type retrouvés en Gaspésie jusqu'à maintenant sont localisés à l'ouest de Restigouche.

Cas type: rivières Assemetquagan et Kempt nord

Ces deux rivières ont été étudiées pour leur contenu en indice aurifère (Girard, 1985; Maurice, 1986; Bergeron et al., 1986). Il est généralement reconnu que l'origine de l'or serait les veines de quartz localisées dans le Groupe de Fortin situées à proximité des dépôts. Aucun travail vraiment détaillé n'a toutefois été effectué par une compagnie minière pour bien évaluer tout le potentiel de ce type de gisement.

2.4.6. Minéralisations industrielles:

Ce type de minéralisation est formée en général de la roche en place pratiquement non altérée et monominéralisée. Le minerai peut donc être utilisé sans transformation métallurgique complexe et onéreuse. Le gisement du mont Olivine relié au complexe ultrabasique du mont Albert pourrait entrer dans cette catégorie.

Cas type: uniuartz

Ce gisement est constitué essentiellement de silice et correspond à un lambeau de grès quartzeux localisé dans le canton de Langis à une trentaine de kilomètres de Matane. Jusqu'à maintenant 25 Mt de silice ont été délimitées dont 6 Mt seraient de qualité exceptionnelle (Duquette, 1987).

2.5. POTENTIEL MINIER REGIONAL

Plusieurs travaux d'exploration ont permis de répertorier des indices dans les différents secteurs de la péninsule gaspésienne. Mentionnons les travaux de Dugas et al. (1969), qui tentaient la réalisation de la métallogénie de la Gaspésie; Sikander (1975) mentionne le potentiel en hydrocarbures du synclinal des monts Berry; Gosselin et Simard (1983) touchent la région de Nouvelle; Girard (1984) aura étudié les indices d'or alluvionnaire des rivières Assemetquagan et Kempt; Savard (1985) faisait l'inventaire des indices minéralisés du sud de la Gaspésie; Morin (1985) traite du secteur de St-André de Restigouche; Maurice (1986) traite de la distribution et de l'origine de l'or alluvionnaire dans le sud-ouest de la Gaspésie; Bergeron et al. (1986) ont étudié le Groupe de Fortin et les veines de quartz aurifère; Valiquette (1986) fait l'inventaire du potentiel minier des régions du Lac Ste-Anne-Rivière Cascapédia-Lac Madeleine-Lac Adam.

Le potentiel minier de la Gaspésie est sans aucun doute intéressant. La ceinture cambro-ordovicienne possède beaucoup d'éléments qui permettent d'orienter les cibles. Les volcaniques associées tant au Groupe de Québec qu'à celui des Chic-Chocs ont démontré la présence de sulfures disséminés et des veines de quartz minéralisées en cuivre. La recherche de structures telles les zones de failles recoupant à la fois les laves et aussi les sédiments représentent de bonnes cibles. Les levés aéromagnétiques font ressortir les laves par rapport aux sédiments et une anomalie discontinue pourra représenter une faille.

Les différentes unités sédimentaires calcaireuses appartenant aux roches siluro-dévonienne, lorsque recoupées par un intrusif felsique, représentent des points d'intérêts majeurs pour de la minéralisation de type porphyre cuprifère et skarn.

Tout autour des intrusifs des monts McGerrigle, les roches sédimentaires tronquées par les plutons sont encore ici des cibles de choix.

La faille des Chic-Chocs séparant les roches cambro-ordoviciennes, constitue une zone de cisaillement très importante du point de vue minéralisation. Ces grandes cassures régionales développent fréquemment des réseaux de failles subsidiaires qui peuvent piéger du minerai. Il faudra donc analyser très sérieusement, tout au long de cette faille majeure, toute anomalie.

Cette faille aura pour effet également lorsqu'elle recoupe les unités ultrabasiques (comme le complexe du Mont Albert) de faciliter l'introduction de solutions hydrothermales qui altéreront les roches intensément. Un développement de fractures subséquemment à l'altération pourra alors reconcentrer le minerai.

Toute unité sédimentaire ou intrusive très compétente peut être une source à investiguer. Lorsqu'apparaissent des déformations ces unités auront tendance à se fracturer et laisser place à la formation de veines de quartz. Les grès de Gaspé par exemple constitue une telle unité. Egalement des filons-couches gabbroïques tels qu'on en rencontre dans les roches siluro-dévonniennes sont des roches compétentes.

2.6. BIBLIOGRAPHIE

Notions de géologie, Bruno Landry et Michel Mercier, 1986, Editeur Modulo:
Ce texte général sur la géologie a été fait par des géologues québécois.
Les exemples sont donc appropriés et un chapitre est consacré à la géologie
du Québec avec en particulier une section sur les appalaches.

Economic geology, publié par The Economic Geology Publishing Company:
Recueil de texte de base sur la géologie économique.

Plusieurs articles ont été publiés sur la géologie de la Gaspésie parmi
ceux-ci notons particulièrement la série qui suit qui a été consultée pour
le présent texte.

A Lithologic-Tectonic Framework for the Metallogenic Provinces of California.
J.P. Albers, 1981. Econ. Geol., vol. 76, pp. 765-790.

Région de Bonnacamp, Gaspésie, G. Amyot, 1983. . M.E.R.Q., ET 85-07.

Lithostratigraphie de Sous-Surface de l'Est de la Gaspésie, G. Amyot, 1984.
M.E.R.Q., ET 83-11, 80 p.

Carte Minérale des Appalaches du Québec. L. Avramtchev, A. Vallières, B.
Skidmore, S. Biron, et P. St-Julien, 1984. M.E.R.Q., MB 85-24.

Région du Mont Albert et du Lac Cascapédia. J. Beaudin, 1980. M.E.R.Q.,
DP 705, 84 p.

Les Suites Magmatiques du Paléozoïque Inférieur en Gaspésie. J.H. Bédard,
1986. M.E.R.Q., ET 84-09, 112 p.

Faïlles du Bassin du Nord-Ouest et du Troisième Lac, Est de la Gaspésie. J.
Béland, 1980. M.E.R.Q., DP 740, 24 p.

- Roches Volcaniques Dévoniennes de la Bande de Restigouche (Comté Bonaventure), J. Bélanger, 1982. . M.E.R.Q., DP 939, 13 p.
- Analyse Structurale du siluro-dévonien du Centre de la Gaspésie et du Carbonifère du Sud et de l'Est de la Gaspésie. D. Bernard, et P. St-Julien, 1986. M.E.R.Q., MB 86-36, 38 p.
- Potentiel Aurifère des Veines de Quartz du Groupe de Fortin dans la Région de la Rivière Assemetquagan-Gaspésie. M. Bergeron, N. Tassé, et G. Beaudoin, 1986. M.E.R.Q., MB 86-60, 66 p.
- Géologie de la Région des Méchins (Comté de Matane). S. Biron, 1974. M.E.-R.Q., DP 299, 14 p.
- Stratigraphie du Silurien et du Dévonien Basal du Sud de la Gaspésie. P.A. Bourque, et G. Lachambre, 1980. M.E.R.Q., ES 30, 123 p.
- Stratigraphie du Silurien et du Dévonien Basal de la Gaspésie. P.A. Bourque, et C. Gosselin, 1986. M.E.R.Q., MB 86-34, 55 p.
- Synthèse Stratigraphique et Paléogéographique du Bassin Silurien de Gaspésie - Matapédia - Témiscouata. P.A. Bourque, C. Gosselin, C. Lavoie, D. Bernard, P. St-Julien, et M. Rocheleau, 1986. M.E.R.Q., MB 86-01, 47 p.
- Géologie de la Région de la Rivière Darmouth - Gaspésie. D. Brisebois, 1986. M.E.R.Q., MB 86-49, 9 p.
- Le Quart Nord-Ouest du Canton de Holland, Comté de Gaspé-Nord. J.J. Brummer, 1966. M.E.R.Q., RG 125, 108 p.
- Géologie du Quaternaire et Dispersion Glaciaire en Gaspésie, Région de Mont Louis - Rivière Madeleine. L. Chauvin, 1984. M.E.R.Q., ET 83-19, 33 p.

- L'Arsenic dans les Sédiments de Ruisseau du Secteur Oriental de la Faille du Grand Pabos, Gaspésie. J. Choinière, 1985. M.E.R.Q., MB 85-21, 43 p.
- Synthèse de la Géochimie des Sédiments de Ruisseau de la Gaspésie. J. Choinière, 1985. M.E.R.Q., MM 84-01.
- Atlas Géochimique des Sédiments de Ruisseau dans la Région de Murdochville-Gaspé. J. Choinière, 1985. M.E.R.Q., DV 84-04, 256 p.
- Géologie du Quaternaire de la Région du Mont Alexandre, Gaspésie (Québec). M. Cloutier et P. Corbeil; dans Recherches en Cours, partie B, Commission Géologique du Canada, Etude 86-1B, p.869-873. 1986.
- Géologie des Groupes de Mictaw et de Macquereau, Région de Port-Daniel (Gaspésie). G. De Broucker, 1984. M.E.R.Q., MB 85-08, 56 p.
- Région des Monts McGerrigle. H.S. De Romer, 1977. M.E.R.Q., RG 174, 233 p.
- Excursion Géologique autour des Monts McGerrigle. G. Duquette, 1983. M.E.-R.Q., DV 83-06, 16 p.
- Géologie et Forages Stratigraphiques, Mont-Vallière-de-Saint-Réal. G. Duquette, S. Lachance et R. Morin, R., 1984. M.E.R.Q., ET 83-10, 76 p.
- Synthèse Métallogénique de l'Estrie et de la Beauce. M. Gauthier, 1985. M.E.R.Q., MB 85-20, 186 p.
- Les Gîtes Métallifères du Complexe Ophiolitique de Thetford-Mines et du Complexe d'Iles en Arc d'Ascot - Weedon, M. Gauthier, 1987. ; livret-guide d'excursion, M.E.R.Q. éditeur, 73 p.

- Indices d'Or Alluvionnaires des Rivières Assematquagan et Kempt Nord, Gaspésie. A. Girard, 1985. M.E.R.Q., DP 84-35, 23 p.
- Felsites du Centre-Nord de la Gaspésie. P. Girard, 1985. M.E.R.Q., MB 84-15, 45 p.
- Evaluation du Potentiel Minéral de la Région de Nouvelle. C. Gosselin et M. Simard, 1983. M.E.R.Q., DP 83-13.
- Géologie de la Région de Maria, Gaspésie. C. Gosselin, 1985. M.E.R.Q., MB 85-01, 17 p.
- Processus et Paléo-Environnements du Quaternaire dans la Péninsule Gaspésienne au Bas St-Laurent. J.T. Gray et al., 1987. XII^e Congrès de l'INQUA excursion C-4, 85 p.
- Formation de Sayabec dans la Région de la Rédemption - Sayabec - Val-Brillant (Comté de Matapédia). Y. Héroux, 1971. M.E.R.Q., DP 045, 13 p.
- The Dover-Hermitage Bay fault: Boundary between the Gander and Avalon Zones, Eastern Newfoundland. M.J. Kennedy, R.F. Blackwood, S.P. Colman-Sadd, C.F. O'Driscoll and W.L. Dickson, 1982. G.S.C., Special Paper 24, pp. 231-249.
- The Minas Geofracture. J.D. Keppie, 1982. G.S.C., Special Paper 24, pp. 263-280.
- Analyse Structurale du siluro-dévonien dans la Vallée de la Matapédia. D. Kirkwood et P. St-Julien, 1987. M.E.R.Q., MB 87-33, 17p.
- Géologie de la Région des Mines Madeleine et Candego (Comté de Gaspé-Nord). S. Lachance, 1972. M.E.R.Q., DP 117, 27 p.
- Géologie de St-André-de-Restigouche (Comté Bonaventure). S. Lachance, 1979. M.E.R.Q., DP 667, 21 p.

- Stratigraphie du Quaternaire du Québec: une Revue. P. Lasalle, 1985. M.E.-R.Q., MB 85-11, 74 p.
- Stratigraphie, Pétrographie et Faciès du Niveau Sayabec - Laforce - La Vieille, Gaspésie et Vallée de la Matapédia. D. Lavoie et P.A. Bourque, 1986. M.E.R.Q., MB 86-35, 35 p.
- Cartes Géologiques Complémentaires pour les Régions de Sayabec et de Matane (Comtés de Matapédia et Matane). P. Liard, 1973. M.E.R.Q., DP 290.
- Interprétation des Données Aéromagnétiques de la Gaspésie. Lockwood Consultants Ltd., 1972. 102 p.
- L'Anticlinorium d'Aroostook - Percé au Nord de New-Richmond. M. Malo, 1986. M.E.R.Q., MB 86-33, 45 p.
- Région du Mont Logan, Comtés de Matane et de Gaspé-nord, C. Mattinson, 1964. . M.E.R.Q., RG 118, 102 p.
- Distribution and Origin of Alluvial Gold in Southwest Gaspésie, Y. Maurice, 1986. . Geological Survey of Canada; paper 86-1B, pp. 785-795.
- Geology and Mineralization of the Chetwynd Deposit, Southwestern Newfoundland, Canada. C.B. McKenzie, 1986. Proceedings of Gold' 86 Symposium, Toronto, pp.137-148.
- Atlas Géochimique des Sédiments de Ruisseau de la Partie Occidentale de la Région de la Baie des Chaleurs. M.E.R.Q., 1983. DV 82-02, 95 p.
- Aires d'Intérêt Géochimique Baie des Chaleurs - Lyster. M.E.R.Q., 1984. DV 84-09.

- Potentiel Minéral de la Région de St-André-de-Restigouche. R. Morin, 1985. M.E.R.Q., DV 84-12, 25 p.
- Région de Cuoq-Langis, Comtés de Matapédia et de Matane. N.C. Ollerenshaw, 1961. M.E.R.Q., RP 465, 16 p.
- Distribution de l'Or dans les Roches Hôtes, Boisbuisson, Gaspésie G. Perreault, 1984. M.E.R.Q., MB 84-26, 16 p.
- Relations between Precambrian and Lower Paleozoic Rocks of the Avalon Platform in New Brunswick, the Northern Appalachians and the British Isles. N. Rast, B.H. O'Brien, and R.J. Wardle, 1976. Tectonophysics, vol. 30, pp. 315-338.
- Région de Murdochville, Gaspésie. N. Rheault, 1983. M.E.R.Q., ET 85-06, 34 p.
- Géologie de la Région du Ruisseau Lesseps, Comté de Gaspé-Nord. J.L. Robert, 1967. M.E.R.Q., RP 562, 16 p.
- Stratigraphie des Calcaires Supérieurs de Gaspé entre Murdochville et le Ruisseau Lesseps. M. Rouillard, 1984. M.E.R.Q., DP 84-12 et DP 84-14.
- Les Calcaires Supérieurs de Gaspé (Dévonien Inférieur), Gaspésie. M. Rouillard, 1986. M.E.R.Q., MB 86-15, 94 p.
- Indices Minéralisés du Sud de la Gaspésie. M. Savard, 1985. M.E.R.Q., ET 83-08, 98 p.
- Geology and Hydrocarbon Potential of the Berry Mountain Syncline (Comtés de Matane, de Matapédia, de Gaspé-ouest et de Bonaventure). A.H. Sikander, 1975. M.E.R.Q., DP 376, 149 p.

- Région de Gastonguay-Mourier, Comtés de Gaspé-Nord, Gaspé-Sud et Bonaventure.
W.B. Skidmore, 1965. . M.E.R.Q., RG 105, 87 p.
- Synthèse Géologique du cambro-ordovicien de la Gaspésie. A. Slivitsky, G. Lachambre et P. St-Julien en préparation. M.E.R.Q.
- Métallogénie du Dôme de Lemieux. K. Stevens, 1983. M.E.R.Q., DP 83-28.
- Mineralized Environments, Metallogenesis and the Doucers Valley Fault Complex, Western White Bay: a philosophy for gold exploration in Newfoundland.
J. Tuach, 1987. Newfoundland Mineral Deposits Section, 25 p.
- Evaluation du Potentiel Minéral dans la Région de Lac Sainte-Anne - Rivière Cascapédia et Lac Madeleine - Lac Adam, Gaspésie. G. Valiquette, 1984. M.E.R.Q., MB 84-24, 75 p.
- Levés Préliminaires des Volcanites du Mont Lyall et Vérification des Sites Ponctuels - Région de Lac Ste-Anne - Rivière Cascapédia et Lac Madeleine-Lac Adam. G. Valiquette, 1986. M.E.R.Q., MB 85-61, 58 p.
- Tectonic Setting of the Tetagouche Group in Northern New Brunswick: implications for plate tectonic models of the Northern Appalachians. C.R. Van Staal, 1987. Can. Jour. of Sci., vol. 24, No 7, pp. 1329-1352.
- Synthèse Métallogénique du Gîte Sullipek et de ses Environs, Région de la Gaspésie. R. Wares, 1983. M.E.R.Q., DP 83-02.
- Roches Volcaniques cambro-ordovicienne de la Gaspésie. C. Wilson, 1985. M.E.R.Q., MB 85-23, 14 p.
- The Baie Verte - Brompton Line: early Pleozoic continent-ocean interface in the Canadian Appalachians. H. Williams and P. St-Julien, 1982. Geological Association of Canada, Special Paper 24, pp. 177-207.

Enfin de très nombreux travaux d'exploration ont été faits en Gaspésie. Les rapports concernant ces travaux sont disponible pour consultation au Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec. On fournit ici le nombre disponible touchant chacun des cantons faisant partie du territoire de notre étude. Ce nombre est souvent proportionnel à l'intérêt économique rattaché aux différents cantons.

Duchesnay	45	Taschereau	10	Boisbuisson	405
La Rivière	49	Holland	266	Bonnécamp	98
Deslandes	142	La Potardière	173	Cap Chat	21
Courcelette	58	Romieu	20	Dalibaire	9
Faribault	40	Lemieux	316	Lesseps	403
Walbanq	26	Deville	47	Baldwin	28
Richard	38	Joffre	50	Leclerq	16
Cuoq	20	Lagrange	8	Boutet	11
Dunière	13	Clarke	12	Gravier	5
Catalogne	8	La Vérandry	15	Fauvel	18
Vallée	9	Pilote	3	Clapperton	5
Marcil	9	Dufour	4	Lebret	1
Mourier	4				

3. INTERPRETATION DU LEVE AEROMAGNETIQUE

Les résultats du levé aéromagnétique présentent les données du champ total et de son gradient vertical dans deux séries de cartes, aux échelles 1:50,000 et 1:20,000.

Les cartes au 1:50,000 incluent huit plans à codage de couleurs pour chacun des types de mesures, alors que les 22 coupures au 1:20,000 montrent des courbes de contours à intervalle de 2 gammas pour le champ total et .025 gammas/m pour le gradient vertical.

Afin de rendre ces cartes utiles, une interprétation en a été faite de façon à découvrir la structure géologique. Les cartes au 1:50,000 ont servi à l'interprétation régionale présentée dans la section 3.2, alors que les cartes au 1:20,000 ont été utilisées pour l'interprétation détaillée présentée dans la section 3.3.

Une carte d'interprétation composite, ainsi qu'une série de profils régionaux à l'échelle 1:125,000, sont annexées au présent document.

3.1. METHODES D'INTERPRETATION

Les nombreuses approches utilisées pour l'interprétation de données aéromagnétiques peuvent être classées en trois groupes principaux:

1. Méthode qualitative: par inspection des cartes.
2. Méthode quantitative manuelle: par techniques géométriques appliquées sur des profils.
3. Méthode quantitative informatisée: par traitement numérique et modélisation.

L'interprétation qualitative est d'abord effectuée en délimitant les zones correspondant à un type de roche commun et en identifiant les effets structuraux, tels les failles. Lorsqu'une anomalie est bien définie, la source peut alors être interprétée quantitativement quant à sa forme, sa position et sa magnétisation.

3.1.1. Méthode qualitative

A l'échelle régionale, les patrons magnétiques permettent de reconnaître la stratigraphie régionale et les structures majeures, alors que les variations s'étendant sur de grandes distances peuvent refléter des changements de composition du socle rocheux. Les grandes anomalies sont souvent reliées à des effets tectoniques tels des bassins, ou encore à des corps ignés de grande dimension situés à grandes profondeurs.

La première considération lors d'une étude qualitative de cartes aéromagnétiques est la forme des anomalies en fonction de la latitude magnétique. Dans la région qui nous occupe, l'inclinaison du champ magnétique est

75° N et la forme des anomalies est peu affectée par la direction du corps puisque le champ magnétique est principalement vertical (voir modèles 1, 2 et 3, annexe B). L'anomalie est toujours à prédominance positive (sauf s'il existe un magnétisme rémanent) et une faible contrepartie négative est généralement située au nord (sauf si le corps possède un pendage sub-horizontal vers le nord - cf. modèle 4, annexe B)

L'analyse des cartes aéromagnétiques débute par l'étude du patron magnétique. Celui-ci est contrôlé par l'alignement, la dimension, l'espacement et la continuité des anomalies. Des zones démontrant le même relief et le même patron magnétique, surtout lorsqu'elles sont dans le prolongement d'unités connues, peuvent être interprétées comme étant du même type de roche.

Le relief magnétique concerne l'amplitude et la forme des anomalies. L'amplitude d'une anomalie est fonction de la profondeur, du volume et de la susceptibilité de la source magnétique, alors que sa forme est fonction de la distribution spatiale du minerai magnétique, ainsi que du pendage. D'une façon générale, le pendage du corps se situe du côté de l'anomalie opposé à la plus forte pente sur le profil magnétique (voir modèles 4 et 5, annexe B). Le centre de la source magnétique sera situé sous le maximum positif, ou quelque peu vers le nord de celui-ci. Si la source est suffisamment large, ses contacts avec la roche encaissante se situeront approximativement sous les points d'inflexion de la courbe (voir modèles 6, 7, annexe B). Cette façon de positionner les contacts est particulièrement efficace sur des anomalies de gradient vertical.

Il peut toutefois s'avérer difficile de différencier entre les effets respectifs des différents paramètres magnétiques. Par exemple, la susceptibilité et la largeur d'un dyke sont indissociables, à moins de connaître à priori l'une des deux valeurs. Citons le cas d'une petite zone fortement magnétique en profondeur pouvant engendrer une anomalie similaire à celle d'un plus grand volume de roche moyennement magnétique, plus près de la surface.

A l'échelle locale, les anomalies de faible dimension et à forte intensité correspondent à des sources situées plus près de la surface. Les cartes du gradient vertical sont particulièrement propices à leur étude. Les mesures du gradient vertical permettent une grande résolution, puisque les anomalies du gradient vertical sont intrinsèquement moins étendues que celles du champ total (cf. anomalies du groupe Chic-Chocs, profil A, annexe C). Notons aussi que l'intensité d'une anomalie en champ total doit toujours être exprimée en fonction de l'intensité du champ ambiant, qui lui est généralement soustraite, et non en terme de la valeur maximale mesurée. Les valeurs du gradient vertical, pour leur part, sont utilisables telles qu'elles apparaissent sur les cartes de contours.

Un des avantages de la carte du champ total sur celle du gradient vertical est une vue plus complète, incorporant l'effet des sources profondes et des variations régionales.

3.1.2. Méthode quantitative manuelle

Après avoir complété l'étude qualitative, il est important d'obtenir des valeurs quantitatives des données magnétiques. Dans le cas d'exploration pétrolière, la profondeur du socle cristallin est généralement le seul paramètre requis; lors de levés miniers, les susceptibilités et les pendages sont aussi recherchés.

L'interprétation quantitative manuelle s'effectue toujours en supposant des sources de formes géométriques simples. Le dyke épais, infini en longueur et en profondeur, est souvent utilisé et une magnétisation uniforme est toujours présumée. Peu de méthodes permettent de considérer l'effet du magnétisme rémanent.

La profondeur d'un dyke est facilement calculable par techniques géométriques appliquées sur les flancs de l'anomalie. Trois de ces techniques sont décrites à l'annexe A. Des formules simples sont aussi présentées pour le calcul du pendage, de la susceptibilité et du pourcentage en volume de magnétite dans une roche. Cette dernière valeur peut être obtenue facilement, puisque la susceptibilité d'une roche est proportionnelle à son contenu en minéraux ferromagnétiques (le plus souvent de la magnétite).

D'autres méthodes manuelles ne seront pas décrites ici. Disons simplement qu'elles incluent la comparaison à des abaques de courbes ainsi que des techniques de séparation de l'anomalie en composantes symétrique et anti-symétrique utilisant des points caractéristiques. Ces deux méthodes peuvent être lentes et complexes. Elles sont de plus en plus remplacées par des techniques de modélisation sur micro-ordinateur.

3.1.3. Méthode quantitative informatisée

Les méthodes informatisées d'interprétation aéromagnétique peuvent être divisées en trois grandes catégories:

- traitement numérique
- interprétation automatique de profils
- modélisation à 2 ou 3 dimensions

3.1.3.1. Traitement numérique

Les techniques de traitement numérique sont effectuées de façon à faire ressortir divers types d'information. Sept exemples sont ici décrits:

- Réduction au pôle: permet de transformer les anomalies dipolaires (parties positive et négative) en un pic positif unique situé au dessus de la source magnétique (surtout utilisé aux latitudes inférieures à 70°).
- Gradient vertical: favorise les anomalies de surface au dépens des anomalies régionales et délimite plus exactement les unités magnétiques (maintenant remplacé par les levés gradiométriques qui sont beaucoup plus précis).
(dérivée première)
- Continuation vers le bas/haut: recalcule l'effet magnétique à un niveau différent; par exemple, l'effet magnétique au niveau du sol peut être calculé de façon à amplifier les anomalies subtiles du socle rocheux.
- Carte de susceptibilités magnétiques: produit une carte "pseudo-géologique" en conservant les effets régionaux et détaillés; le calcul de susceptibilité est effectué à partir d'une combinaison de réduction au pôle et de continuation vers le bas.
- Carte ombragée: simule l'effet d'une illumination latérale faisant ressortir les structures qui y sont perpendiculaires (figure 3.1).
- Séparation régionale/résiduelle: technique de filtrage qui amplifie des patrons magnétiques particuliers comme par exemple des anomalies circulaires grandes ou petites.
- Analyse du contenu en fréquence spatiale: permet de calculer les profondeurs du socle rocheux (utilisé en prospection pétrolière).



Figure 3.1. Exemple d'une carte ombragée du relief magnétique.

Ces procédés sont relativement dispendieux et ne sont qu'exceptionnellement utilisés. De plus, l'avènement récent de gradiomètres de grande sensibilité permet d'obtenir des cartes du gradient vertical qui sont beaucoup plus exactes que celles obtenues par traitement numérique des données du champ total.

3.1.3.2. Calcul automatique des profondeurs sur des profils aéromagnétiques

Les techniques mathématiques utilisées pour ce genre de calcul peuvent être relativement complexes et comprennent la déconvolution et l'auto-régression, ainsi que différentes techniques de comparaison de courbes. Les modèles considérés sont généralement le dyke incliné et le prisme ou le cylindre horizontal (2D).

L'ordinateur calcule la profondeur à partir d'un certain nombre de paramètres définissant la forme d'une anomalie et selon le modèle choisi. Les résultats sont utilisés pour déterminer la profondeur du socle ou la profondeur d'anomalies isolées.

3.1.3.3. Modélisation

Par solution directe

L'ordinateur est ici utilisé pour calculer l'effet magnétique d'une source présumée. L'utilisateur doit définir les paramètres magnétiques et géométriques du modèle, et comparer le profil calculé à celui obtenu sur le terrain. En changeant les paramètres du modèle lors d'essais successifs, une correspondance acceptable peut être obtenue entre les deux courbes. La rapidité de cette approche est fonction du micro-ordinateur utilisé, de l'interactivité du programme et de l'expérience de l'interpréteur.

Les programmes présentement disponibles offrent une grande latitude quant aux modèles utilisés, incluant des corps finis dans les trois dimensions.

Par solution inverse

La solution inverse implique la recherche des paramètres de la source à partir des données de terrain. L'utilisateur doit choisir le modèle géométrique, y assigner des valeurs initiales et fixer le nombre maximum d'itérations. Par itérations successives, l'ordinateur réussit à préciser la géométrie du corps ainsi que sa susceptibilité. Ce type de programme utilise un algorithme qui corrige les différents paramètres de façon à minimiser la valeur résiduelle entre l'anomalie calculée et la courbe de terrain. Les programmes interactifs permettent aussi à l'utilisateur de fixer un ou plusieurs des paramètres du modèle.

Comme dans le cas de la modélisation par solution directe, un micro-ordinateur peut facilement supporter ce genre de programme, si on s'en tient à comparer des profils et non des cartes de contours.

Les approches directe et inverse sont souvent intégrées dans un même logiciel.

3.2. INTERPRETATION REGIONALE

Le terme "interprétation régionale" doit ici être considéré dans le contexte d'une couverture aérienne ne traversant qu'une soixantaine des 140 km de largeur que possède la péninsule gaspésienne (figure 3.2). De plus, les grands alignements tectoniques sont difficilement observables à l'échelle 1:50,000. Mentionnons aussi que dans la région qui nous occupe, la grande profondeur à laquelle se trouve le socle précambrien limite l'interprétation aux couches sédimentaires et volcaniques susjacentes, et aux intrusifs les ayant pénétrées.

Puisque la région survolée a déjà fait l'objet d'études géologiques détaillées, la stratigraphie des formations ainsi que les principaux éléments structuraux présents dans l'aire de levé sont relativement bien connus, surtout dans la moitié nord est de la région. Conséquemment, au niveau régional, l'utilité du levé aéromagnétique est surtout limitée à l'étude des patrons magnétiques et à l'identification de sources magnétiques profondes. Au niveau local toutefois, les résultats du levé permettent de délimiter les filons-couches et dykes basiques non-affleurants, de localiser certaines auréoles associées aux intrusions granitiques, et, par l'étude de brisures dans les patrons magnétiques, de localiser des failles et autres fractures. Le but ultime du levé demeure l'identification de nouvelles cibles d'exploration.

Avant d'entreprendre la corrélation entre les cartes géologique et géophysique, rappelons que seules les roches possédant une certaine quantité de minéraux magnétiques (principalement la magnétite) produisent des anomalies magnétiques. Ces roches doivent de plus démontrer un contraste de susceptibilité suffisant avec les formations adjacentes. Dans la région survolée, il existe divers types de roches volcaniques et intrusives, susceptibles de contenir suffisamment de magnétite pour créer des anomalies détectables à

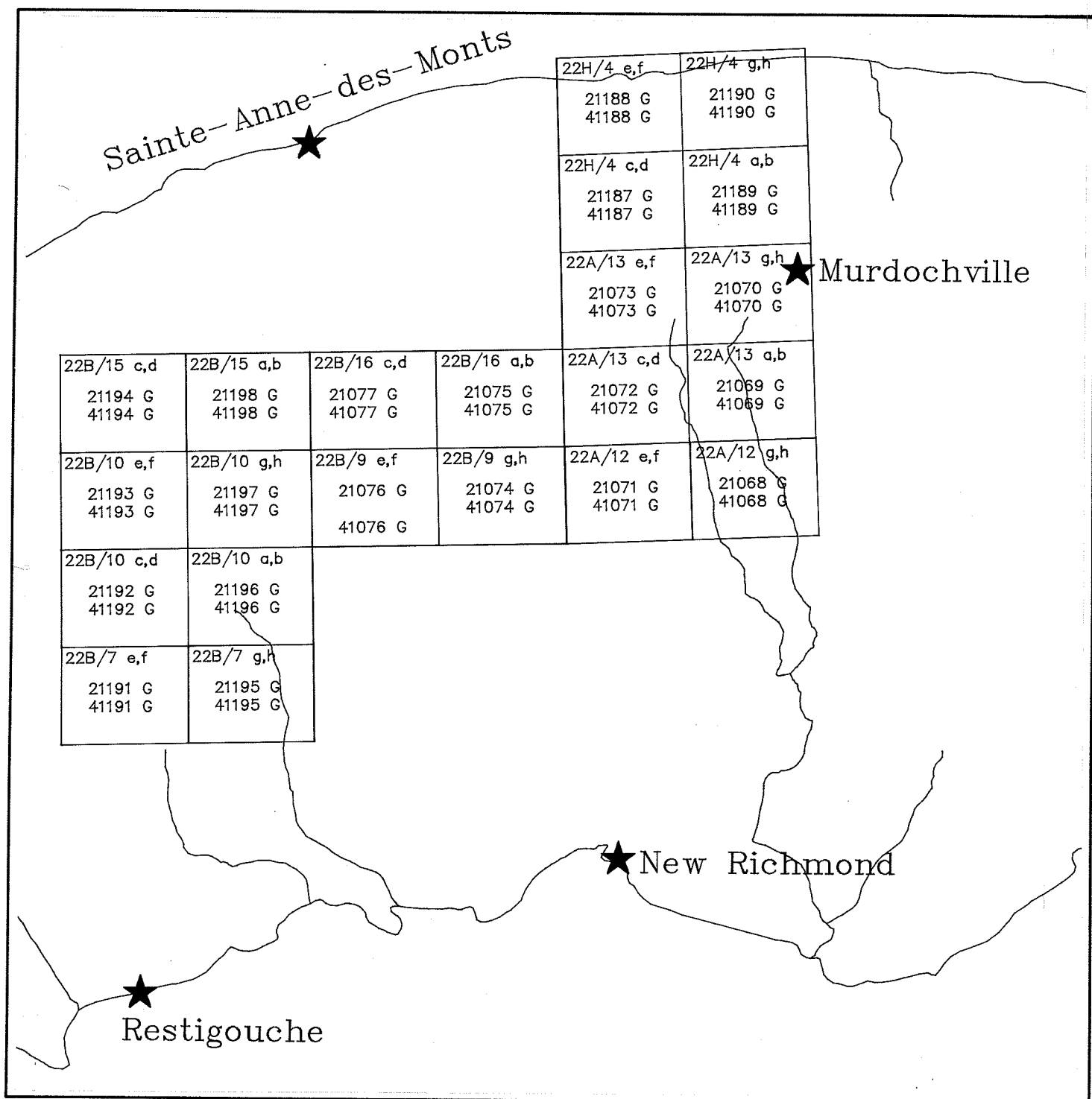


Figure 3.2. Région survolée.

partir d'un levé aérien. Par ordre chronologique d'emplacement, notons:

1. Des metabasaltes d'âge cambrien situés dans les roches métasédimentaires (grès et ardoise) du Groupe Chic-Chocs.
2. Des lentilles de basalte d'âge ordovicien telles qu'observées au nord-est du batholite McGerrigle.
3. Des intrusions ultramafiques serpentinisées d'âge cambro-ordovicien situées en bordure sud du Groupe Chic-Chocs.
4. Des intrusifs mafiques (dykes et filons-couches de diabase et de gabbro) d'âge siluro-dévonien situées dans les grès, calcaires et shales des groupes de Gaspé.
5. Des intrusifs acides à basiques d'âge dévonien dont le magnétisme peut être causé par une composition localement plus riche en diorite (différentiation magmatique) et par des zones d'altération en skarn ferrifère.

Bien que toutes ces formations rocheuses engendrent une variété d'anomalies géophysiques, il n'est pas possible, à priori, de distinguer ces anomalies selon les types de roches que nous venons d'identifier. Ceci résulte non seulement du fait que différentes roches peuvent avoir la même susceptibilité magnétique, mais aussi du fait que l'interprétation géophysique est rarement en mesure de déterminer de façon unique la valeur de la susceptibilité d'une source (cf. v. section 3.1.1, 5e par.). Pour pouvoir entreprendre une interprétation qualitative, une certaine connaissance de la géologie est donc nécessaire et une telle information peut être obtenue par l'étude préalable de la carte géologique régionale.

Corrélation géophysique-géologique

Une vue cursive de l'ensemble des huit cartes couleurs du gradient vertical (échelle 1:50,000) montre que la région se divise en zones à relief aéromagnétique élevé (accidenté) séparées par des zones à relief faible. Ces dernières sont surtout des formations d'origine sédimentaire qui ne contiennent peu ou pas de composantes ignées.

Nous identifierons dans les paragraphes qui suivent, les principales formations géologiques et éléments structuraux à partir de leur expression magnétique. Les résultats de cette interprétation qualitative sont présentés sur une carte à l'échelle 1:125,000, laquelle est annexée au présent document. L'interprétation régionale a principalement été effectuée à partir des cartes couleurs 1:50,000, auxquelles le lecteur devra se référer lors de la lecture des sections qui suivent.

Notons que la présente couverture aérienne a été effectuée par deux compagnies distinctes et que la mise en plan des données pour le champ total fut effectuée à partir de gammes de couleurs différentes. Conséquemment, les anomalies peuvent parfois sembler ne pas concorder à la jonction de cartes qui n'ont pas été compilées par le même contracteur.

3.2.1. Bande de volcaniques des Chic-Chocs (22B/10,15,16, 22H4)

Cette zone présente un relief magnétique élevé et un contraste très marqué sur les roches avoisinantes: les sédiments du Super-Groupe de Québec au nord et le groupe de Chaleurs au sud.

Les variations magnétiques observées dans le Groupe des Chic-Chocs résultent de la prédominance de metabasaltes (roches magnétiques) au sein de roches métasédimentaires. Sur la carte du gradient vertical 22B/15, les principales concentrations de metabasaltes sont identifiables par les zones rouges et

oranges. Pour leur part, les zones bleues-vertes correspondent aux contreparties négatives, intrinsèques à la plupart des anomalies positives observées dans nos régions (cf. section 3.1.1). Ainsi, les dépressions magnétiques n'indiquent pas que les roches métasédimentaires sont diamagnétiques (susceptibilité négative), mais plutôt que ces dernières sont peu ou pas magnétiques, permettant ainsi l'expression de la contrepartie négative des fortes anomalies positives. Sur la carte du champ total 22B/15, la bande bleue foncée située au contact nord du groupe des Chic-chocs illustre bien cet effet.

Notons aussi que dans les Chic-Chocs, le relief magnétique est intimement lié au relief topographique. Le remaniement intense causé par deux orogénies a réorienté dans toutes les directions une bonne partie des horizons magnétiques originaux et la forme courbée de plusieurs anomalies pourrait refléter des zones de plissements.

3.2.2. Intrusif des monts McGerrigle (22A/13, 22H/4)

Le batholite de McGerrigle est le principal intrusif de roches ignées de la Gaspésie. Il se retrouve au contact d'une zone de faille majeure (faille Chic-Chocs) séparant deux formations discordantes de roches sédimentaires.

Les cartes aéromagnétiques indiquent d'abord un patron et un relief qui suggèrent que le massif est le produit d'intrusions multiples. Nous avons identifié les plutons nord, centre et sud. Une faille N30W a aussi été interprétée et pourrait représenter la zone de faiblesse ayant permis l'apparition du complexe plutonique.

Sur la carte du gradient vertical, les parties nord et sud du batholite indiquent des patrons magnétiques très différents, suggérant des compositions différentes. Au nord, les anomalies sont aléatoirement distribuées et surtout causées par des enclaves mafiques. Le soulèvement du pluton nord a

clairement brisé la lentille de basalte cartographiée de part et d'autre, et les fortes anomalies négatives seraient causées en partie par un magnétisme rémanent. Au sud, le relief magnétique est moins intense et les anomalies sont caractérisées par des alignements circulaires.

La grande anomalie située à l'est de la partie méridionale du batholite présente un faible relief et correspondrait à une source profonde.

3.2.3. Alignements magnétiques dans les Groupes de Gaspé (22A/12,13 22B/7,9,10))

Dans la ceinture siluro-dévonienne, qui est principalement composée de grès et calcaires de Gaspé, plusieurs horizons magnétiques sont observés dans une direction NE-SW.

3.2.3.1. Anomalies linéaires (22A/12,13)

Sur les cartes 22A/12 et 13, plusieurs alignements magnétiques sont observés. Individuellement, ces anomalies s'étendent sur des dizaines de kilomètres et possèdent une largeur d'au plus 500 m. Selon la carte géologique, des filons-couches et des dykes de volcanites mafiques seraient la cause du magnétisme de ces horizons.

3.2.3.2. Alignements entre le Dôme de Lemieux et 22B/7 (22B/9,10)

Dans la moitié ouest de la carte 22B/9, la longue anomalie magnétique correspond à deux filons-couches parallèles. Ces unités auraient été courbées contemporanément aux couches sédimentaires encaissantes et les déformations observées au contact du Dôme de Lemieux indique que ce dernier est apparu ultérieurement. Sur la carte 22B/10, le prolongement de cette anomalie est très déformé (possiblement en relation avec une mise en place

en milieu instable) alors que sur la carte 22B/7 l'anomalie est très bien définie, bien que probablement déplacée par une faille orientée N60E.

3.2.3.3. Relief accidenté au sud-est du Dôme de Lemieux (22B/9)

A l'est de la carte 22B/9, les données du gradient vertical indiquent un relief magnétique élevé et un patron aléatoire. Des coulées basaltique et rhyolitique sont cartographiées à cet endroit mais la cause des déformations intenses demeure incertaine.

3.2.4. Sources profondes

La carte au 1:(1,000,000), présentée à la figure 3.3, indique, un ensemble d'anomalies magnétiques profondes situé au centre de la zone survolée. Ces anomalies se retrouvent au contact sud de la faille Chic-Chocs et représente possiblement un ensemble batholitique regroupant aussi bien les monts McGerrigle que le dôme de Lemieux. (cf. section 3.3.4)

3.2.4.1. Carte 22H/4

La carte du champ total 22H/4 indique deux anomalies magnétiques situées en profondeur. Le quart nord-est de la carte suggère une grande zone de roches magnétiques profondes, limitée au sud par le prolongement probable de la faille Chic-Chocs. La partie centre-ouest de la carte indique une zone semblable de moindre dimension. Un pluton de 10 km de diamètre situé à plus de 5000 m de profondeur et possédant 1% de magnétite a été simulé (figure 3.4 a,b). La composition de ce corps pourrait être similaire au complexe des monts McGerrigle.

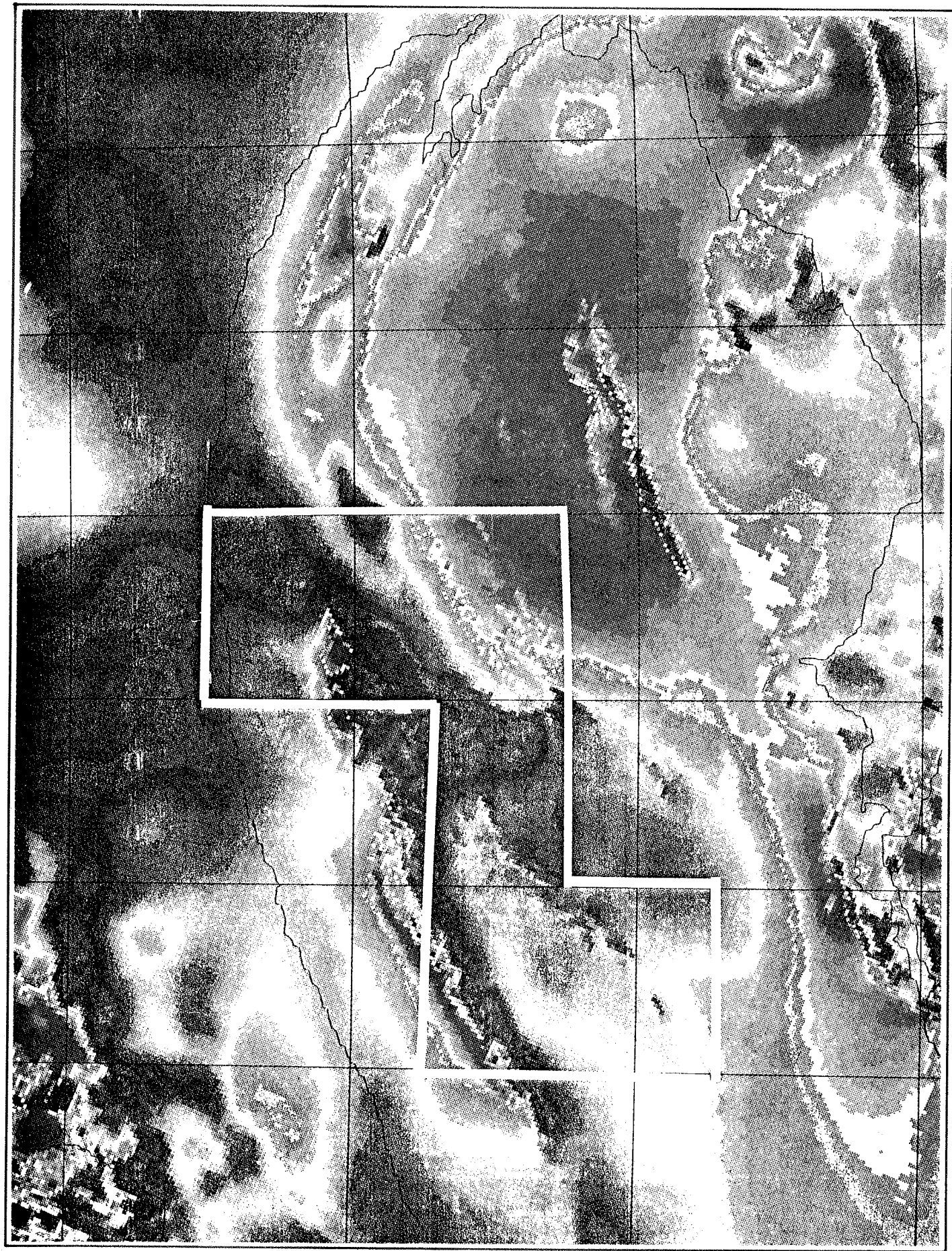


Figure 3.3. Carte aéromagnétique; échelle 1:1,000,000.

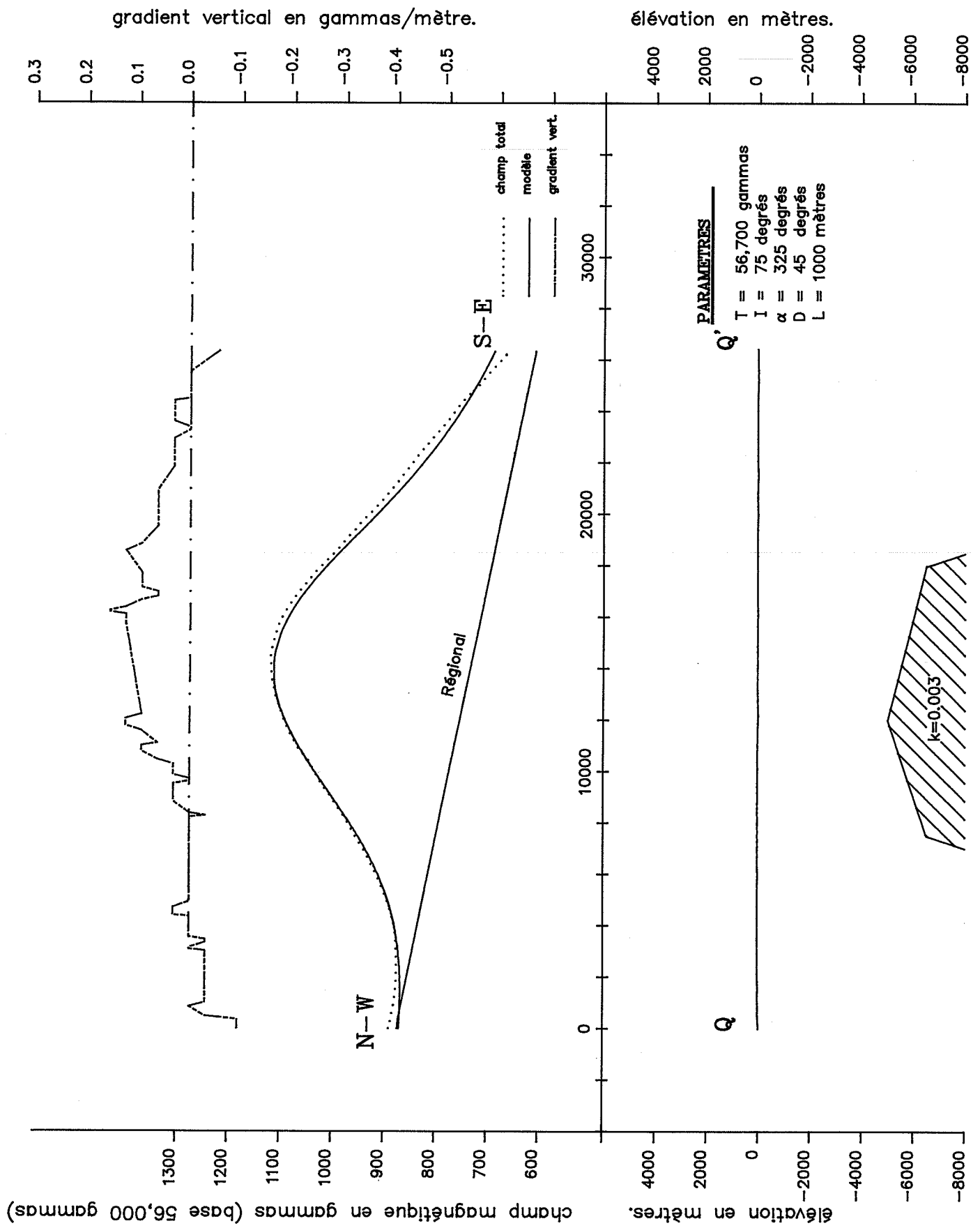


Figure 3.4b. Profil Q.

3.2.4.2. Cartes 22A/12,13

Les variations régionales observées sur plusieurs des cartes du champ total peuvent refléter des structures profondes dont les dimensions dépassent celles des cartes au 1:50000. Par exemple, sur les cartes 22A/13 et 12, allant du nord-ouest au sud-est, une décroissance graduelle du champ magnétique indique la présence d'un large bassin et un épaissement graduel des couches paléozoïques.

3.2.4.3. Carte 22B/9

Une autre source magnétique profonde est observée au coin nord-ouest de la carte 22B/9, adjacente aux filons-couches décrit en 3.2.3.2.

3.2.4.4. Carte 22B/10

Au centre de la carte du champ total 22/B10, une grande anomalie positive est observée. Un sill volcanique de 250 m d'épaisseur et contenant 5% de magnétite a été simulé (figure 3.5 a,b). Cependant, il n'est pas possible, géophysiquement, de distinguer entre les effets de la structure utilisée ici et de celle utilisée en 3.2.5.1. Ces modèles demeurent hypothétiques.

3.2.4.5. Carte 22B/7

A la limite sud de la carte 22/B7, l'anomalie négative correspondrait à une dépression associée au bassin de Gaspé situé plus au sud.(cf. figure 3.3)

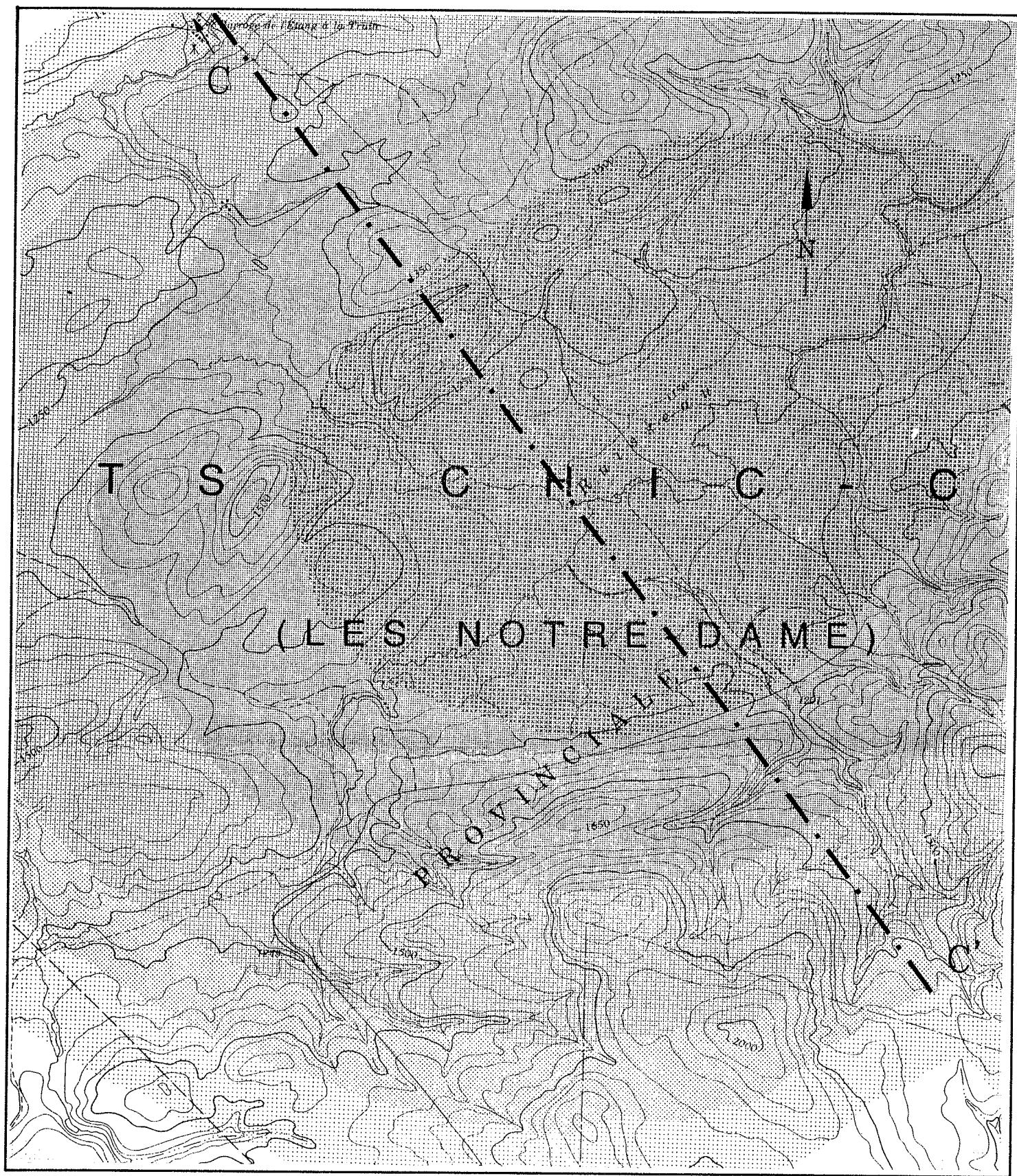


Figure 3.5a. Corps à grande profondeur; champ total (22B10g).
1:50,000

3.2.5. Faille des Chic-Chocs (22B10,15,16, 22A/13)

Au sud du Groupe Chic-Chocs, la faille Chic-Chocs sud sépare le Supergroupe de Québec au nord, de la ceinture siluro-dévonienne au sud. Dans la partie ouest de la zone survolée, la position de cette faille normale majeure est facilement localisable, bien que de façon indirecte, à partir de la différence marquée entre les reliefs magnétiques du groupe des Chic-chocs au nord et celui des formations sédimentaires au sud.

A l'est des monts McGerrigle, toutefois, la faille serait située au contact de deux formations strictement sédimentaires, rendant difficile son positionnement par magnétisme. La carte du gradient vertical 22H/4 indique cependant un faible contraste entre les valeurs au nord et au sud de la rivière Madeleine. Ce contraste est relativement difficile à observer sur un profil et une étude plus poussée serait nécessaire pour en confirmer la validité.

3.3. INTERPRETATION DETAILLEE

Dans la section précédente, l'étude des cartes au 1:50,000 nous a permis d'identifier les principales unités magnétiques présentes dans la zone du levé. A l'aide des cartes au 1:20,000, nous pouvons préciser cette étude, et aussi obtenir de nouvelles informations, qui n'étaient pas observables à l'échelle 1:50,000. Dans les pages qui suivent, plusieurs cas-types et cibles intéressantes sont discutés et une interprétation quantitative est effectuée lorsque jugée nécessaire et lorsque les profils s'y prêtent (i.e. lorsque les anomalies sont bien définies et semblent dues à des corps de géométrie simple).

Les résultats de l'interprétation détaillée ont été intégrés à ceux de l'interprétation régionale, et sont donc présentés sur la même carte composite à l'échelle 1:125,000. Plusieurs figures à l'échelle 1:50,000 sont toutefois insérées dans le texte afin de faciliter la localisation des anomalies discutées.

3.3.1. Lentilles de basalte (22H/4a,c)

La bande de metabasalte située au nord-est du massif McGerrigle (figure 3.6a) démontre un magnétisme intense, et l'intensité anormale de la partie négative de l'anomalie suggère la présence de magnétisme rémanent.(cf. section 1.4)

Cette formation est relativement uniforme et suggère une arrivée tardive n'ayant pas été influencée par les déformations orogéniques. Deux séries de fractures parallèles ont été interprétées dans cette bande de basalte à partir des cartes au 1:20,000 (22H/4c).

Le profil O (figure 3.6b) a été tracé au dessus de la branche nord de cette formation. Dû à l'effet du magnétisme rémanent (démontré par l'amplitude

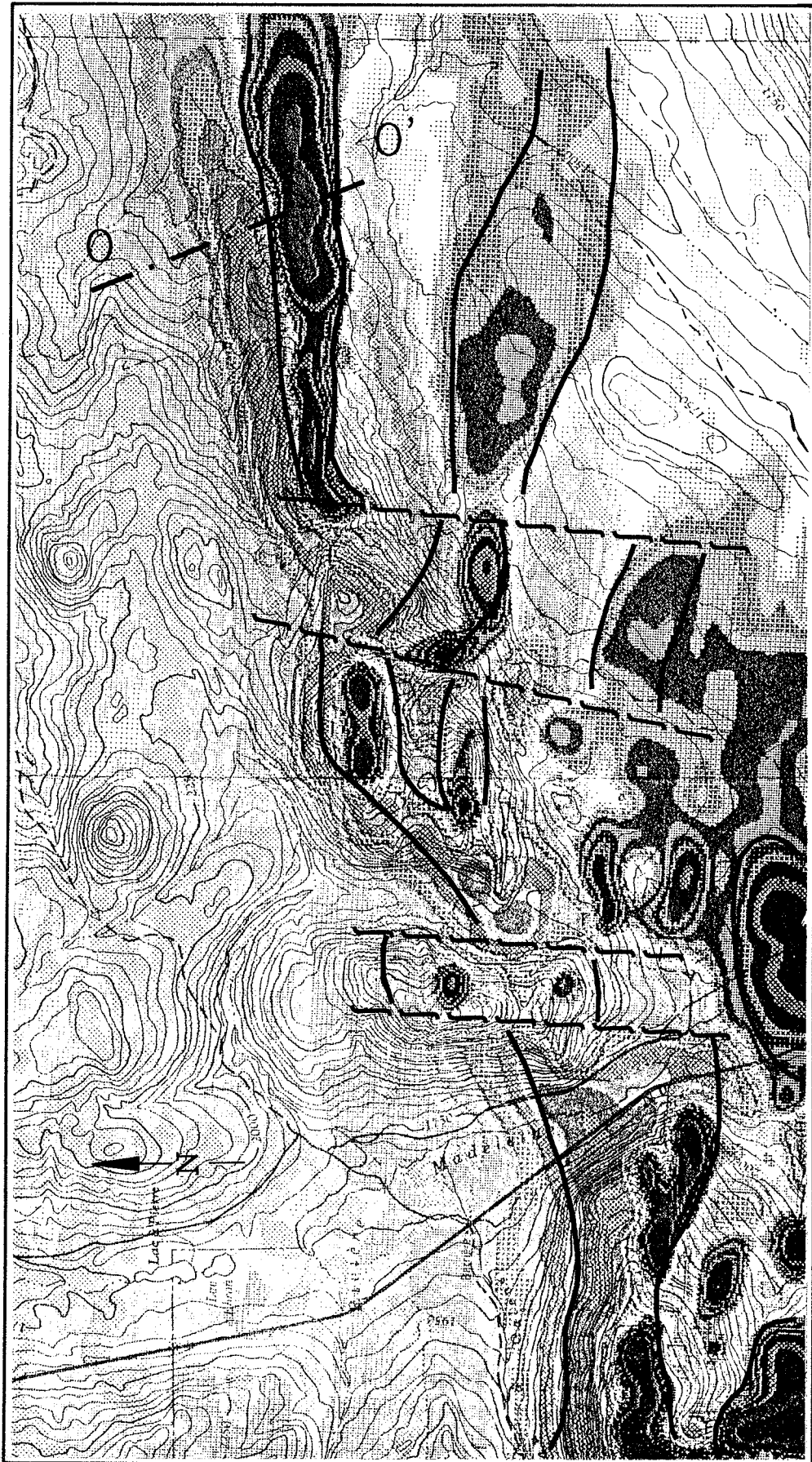


Figure 3.6a. Lentilles de basalte massif; gradient vertical (22H4c).
1: 50,000

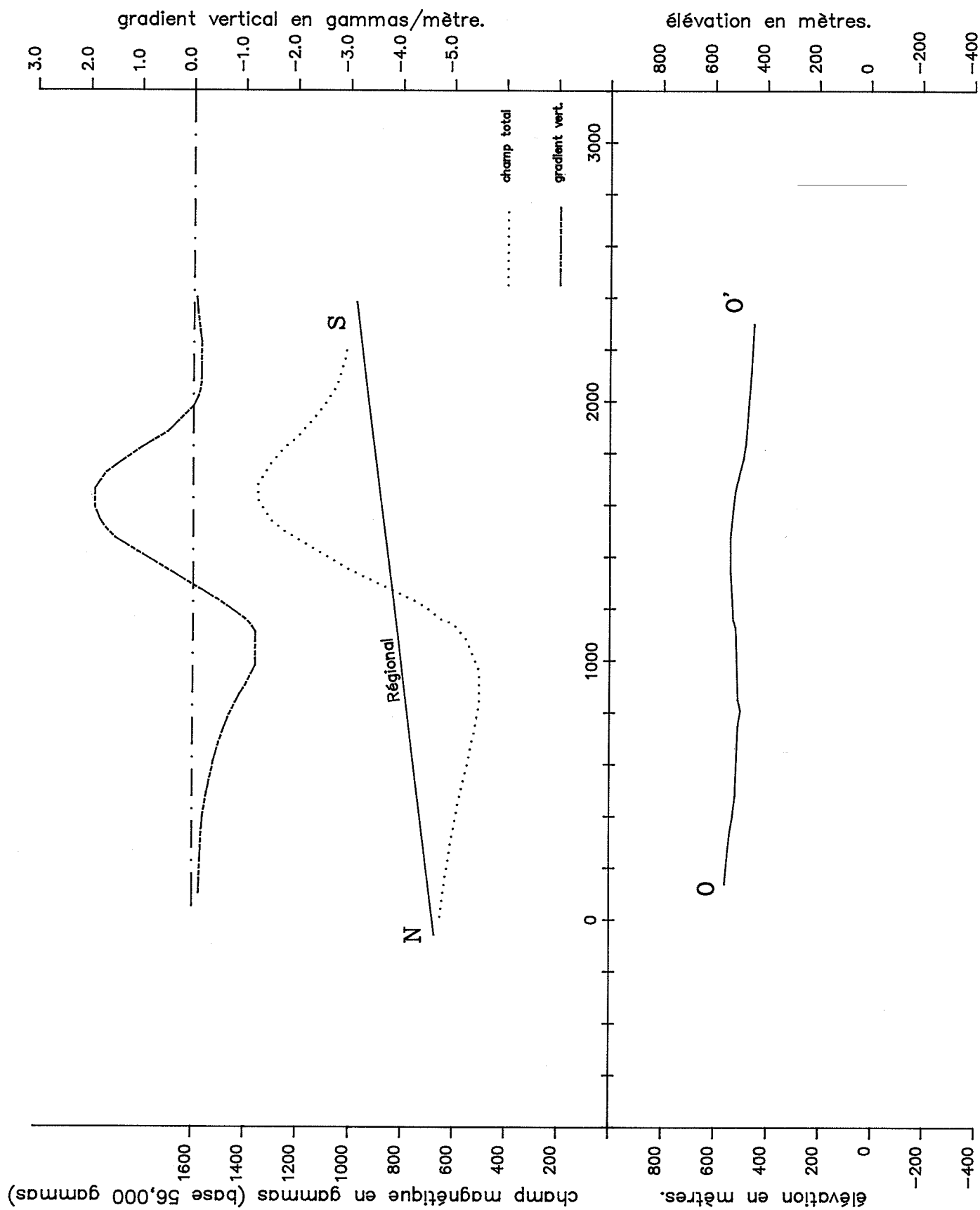


Figure 3.6b. Profil O.

de la partie négative de l'anomalie), l'interprétation quantitative n'a pas été effectuée.

Cette bande de basalte pourrait contenir des zones minéralisées associées à des veines de quartz qui ne peuvent toutefois pas être détectées par levé magnétique. Les zones les plus favorables seraient situées à l'intérieur de l'auréole de contact du batholite McGerrigle et résulteraient de remplissage de fractures et d'altération thermique.

Les très fortes anomalies observées autour du Pic du Vieillard, au sud de la bande, sont probablement aussi du metabasalte, en contradiction avec la cartographie géologique qui y indique des sédiments. La présence de magnétite associée à l'auréole de métamorphisme est moins probable puisqu'aucun autre effet semblable n'est observée autour du batholite.

3.3.2. Batholite des monts McGerrigle (22A/13, 22H/4)

Les données aéromagnétiques suggèrent que le batholite des monts McGerrigle seraient formé d'au moins trois séries intrusives: les plutons nord, centre et sud. La grande anomalie observée à l'est du batholite sud serait un intrusif mafique (gabbro).

Pluton nord (22H/4c)

La moitié nord du massif granitique (figure 3.7) semble très hétérogène et la présence d'enclaves mafiques (basalte et gabbro) explique le relief magnétique plus intense. Les enclaves de basalte originent de la lentille de basalte plus âgée qui a été soulevée et déformée par l'intrusion de ce pluton.



Figure 3.7. Pluton McGerrigle Nord; gradient vertical (22H4c).
1:50,000

Le levé aéromagnétique n'a pas détecté l'auréole de métamorphisme qui entoure le pluton. Il existe toutefois une faible possibilité que la forte anomalie du Pic du vieillard soit associée à des skarns ferrifères. La petite anomalie située 3.5 km au nord pourrait correspondre à un cimetière de véhicules lourds forestiers.

Pluton central (22A/13e)

La partie centrale du massif (figure 3.8a) est située près du mont Jacques-Cartier. Différentes phases d'intrusions sont démontrées par les trois ou quatre séries d'alignements magnétiques circulaires. Le magnétisme de ces anomalies pourrait être causé par une différenciation du milieu granitique-dioritique, où la roche dioritique serait plus riche en magnétite.

Le pluton central serait le plus récent, puisqu'il semble recouper les plutons septentrional et méridional.

Le profil L (figure 3.8b) a été tracé au-dessus du pluton central et indique bien les anomalies magnétiques dues à la différenciation magmatique à l'intérieur du pluton.

Pluton sud (22A/13e)

La moitié méridionale du massif (figure 3.9) est située autour du mont McWhriter et est surtout composée de roches granitiques.

Ce pluton est le plus grand des trois et possède un magnétisme similaire à celui de la partie centrale. Ceci s'explique par l'absence commune d'enclaves mafiques, et la présence d'alignements circulaires. Au moins quatre différenciations magmatiques sont observées.

Cette partie du massif n'a que partiellement été couverte par le présent levé et les anomalies se poursuivent vraisemblablement plus à l'ouest.



Figure 3.8a. Pluton McGerrigle Central; gradient vertical (22A13e).
1:50,000

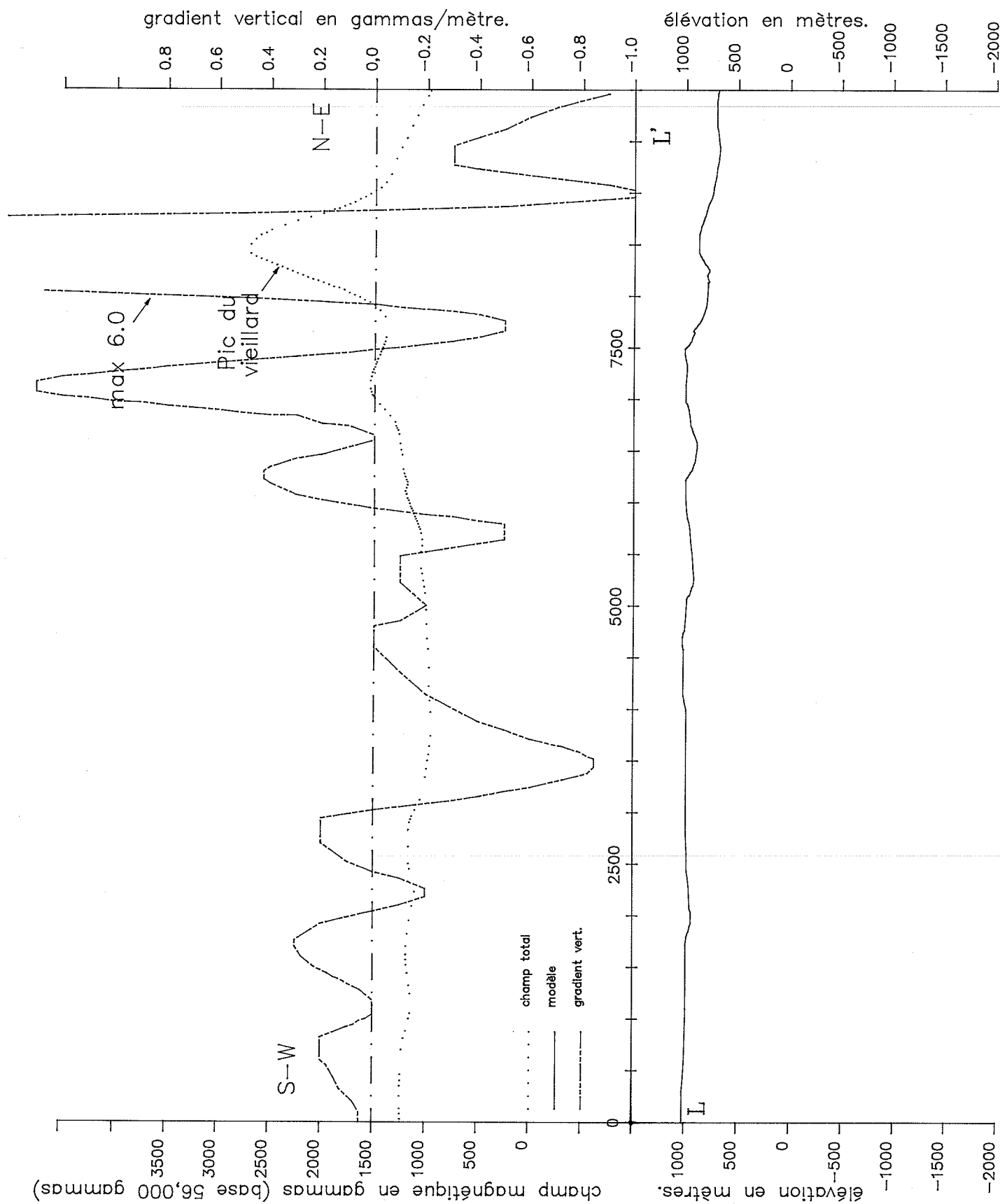


Figure 3.8b. Profil L.

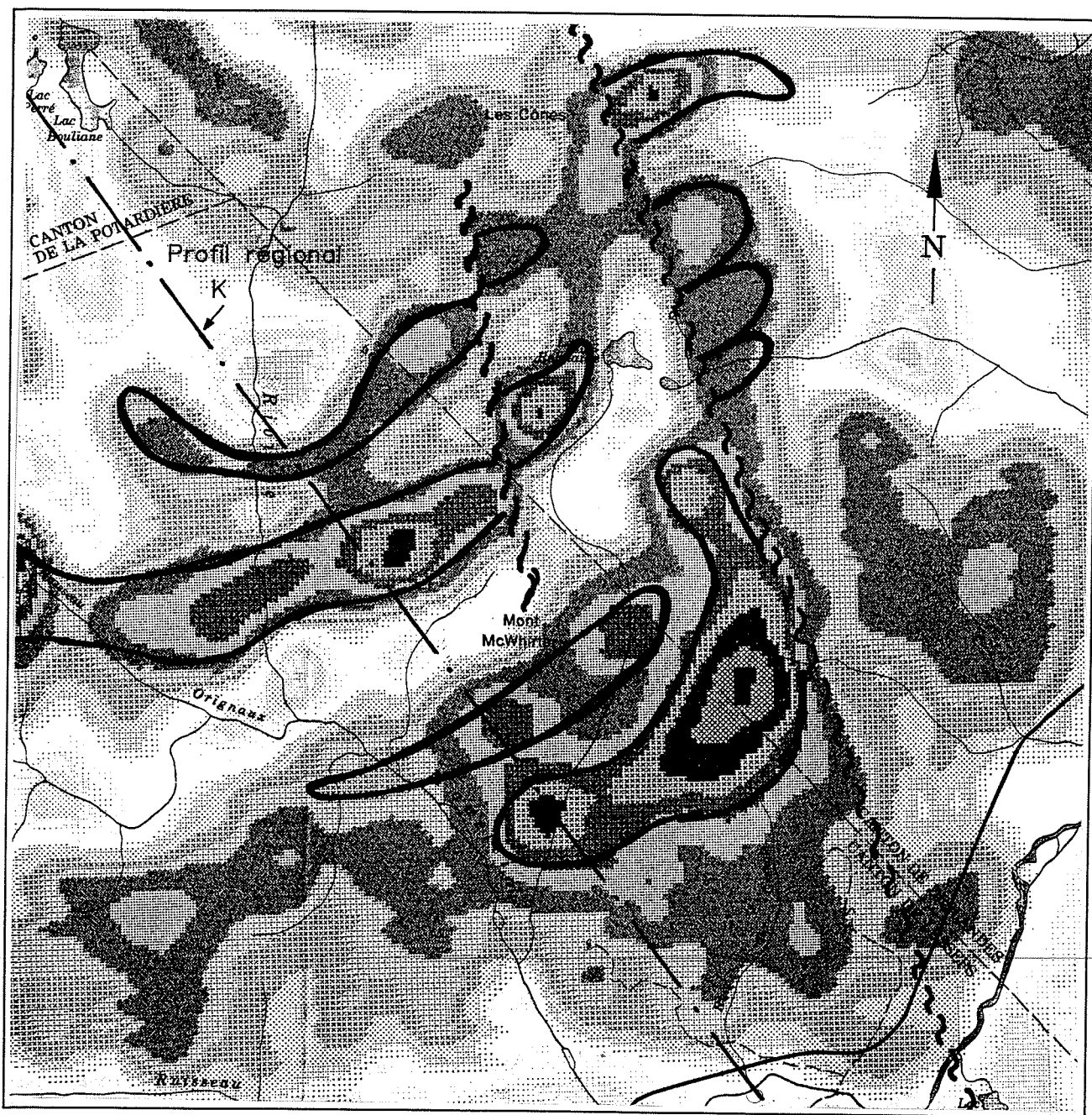


Figure 3.9. Pluton McGerrigle Sud; gradient vertical (22A13e).
1:50,000

Les parties centrale et méridionale du massif McGerrigle semblent avoir été disloquées par une faille orientée N 20 W. Cette direction correspond aussi à une série de petits dykes de diabase cartographiés à cet endroit; bien que fortement magnétiques, ces dykes n'ont pu être détectés par voie aérienne, dû à leurs faibles dimensions.

La faille pourrait indiquer une zone de faiblesse reliée à l'origine même du batholite McGerrigle. Son extension dans les sédiments du sud est suggéré par l'alignement des lacs Martin, Vert et Long.(cf. carte 1:25,000) Cette faille représente un intérêt supplémentaire quant au potentiel de minéralisation, particulièrement à l'endroit où elle recoupe la faille des Chic-Chocs.

Intrusif oriental

L'anomalie relativement uniforme (figure 3.10a,b) observée juste à l'est de la jonction des plutons central et méridional représente vraisemblablement une intrusion gabbroïque en profondeur. L'interprétation quantitative (figure 3.10c) indique un diamètre de 6 km et une profondeur au sommet de 650 m. Une apophyse a aussi été détectée en sa bordure est.

3.3.3. Intrusifs Satellites

Plusieurs autres intrusifs granitiques, de moindres envergures, sont situés dans les roches sédimentaires siluro-dévonienues. Par rapport à leur expression magnétique, ces intrusifs peuvent être classifiés selon deux types:

1. Des intrusions de dimension moyenne ne démontrant pas de magnétisme à l'intérieur, mais plutôt une auréole magnétique d'origine similaire à celle observée à l'intérieur des plutons

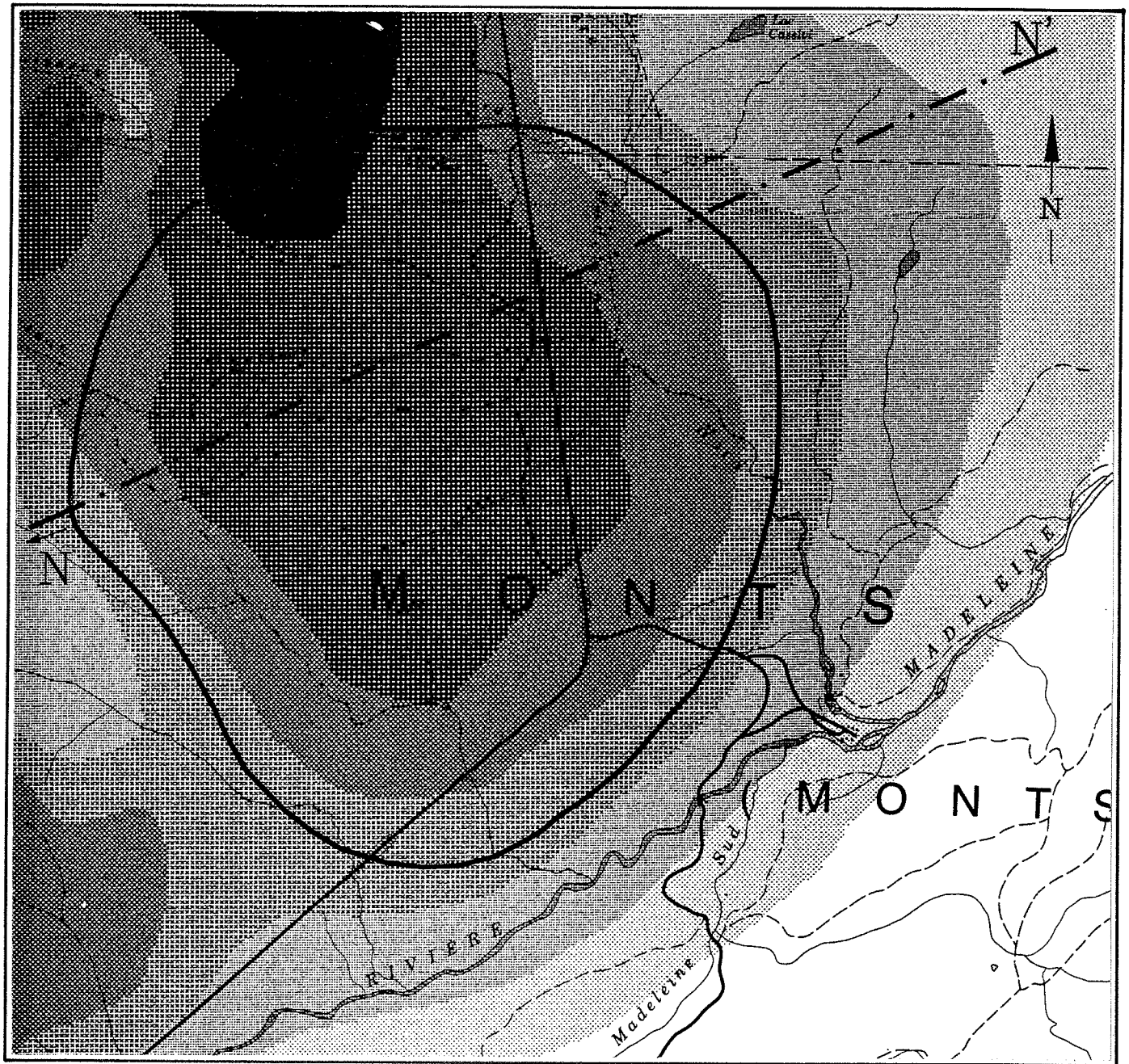
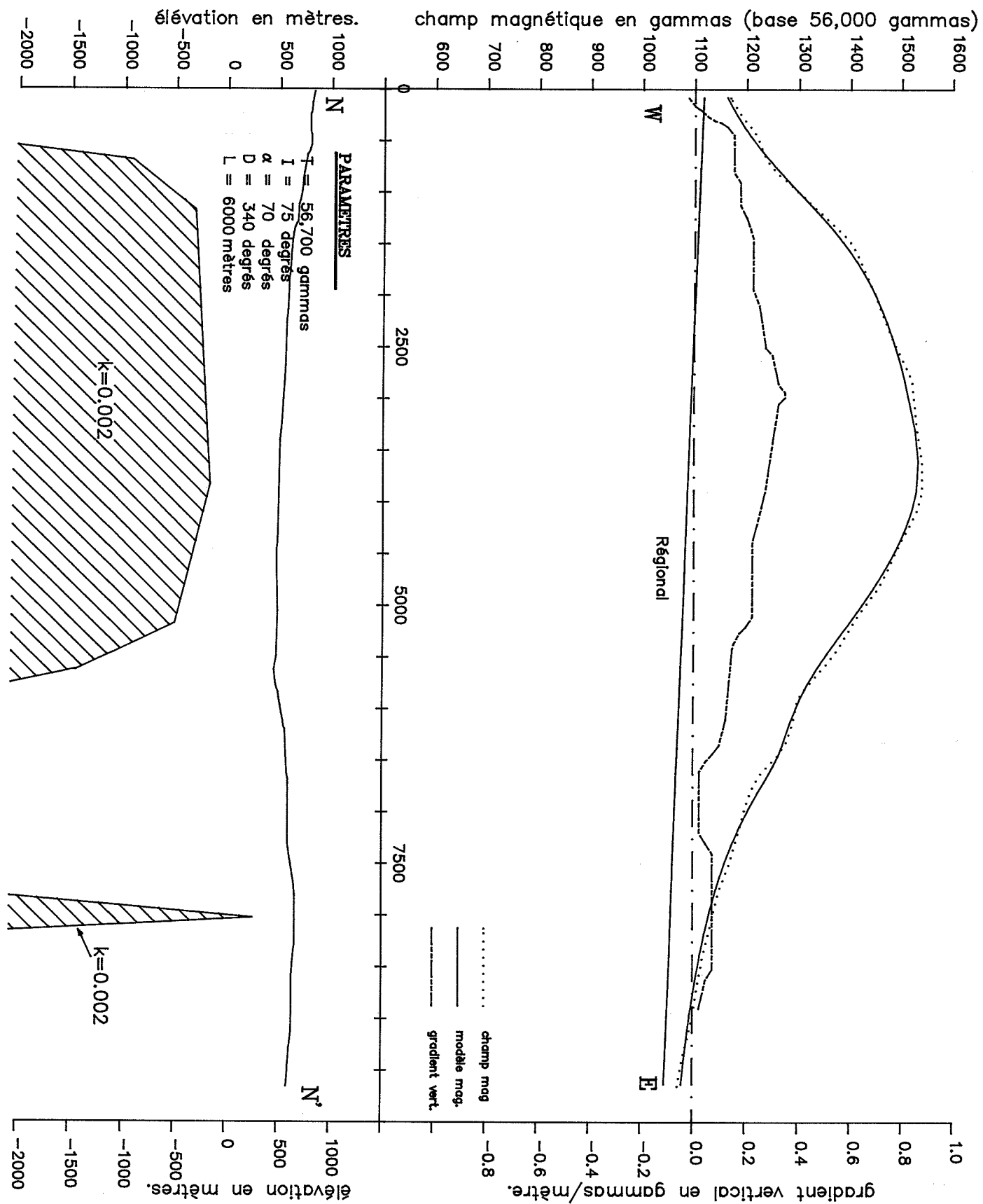


Figure 3.10b. Intrusif McGerrigle Est; champ total (22A13e).
1:50,000



McGerrigle (ex. Monts Vallières-de-St-Réal, Hog's Back et Chauve).

2. Des intrusions de petite dimension (diamètre inférieur à 1 km) démontrant un centre magnétique (ex. gisement Sullipek, monts Lyall, Brown et Tuzo). Le magnétisme serait ici associé soit à l'altération métasomatique ayant produit des skarns ferrifères ou simplement à la présence de laves basaltiques.

a) Mont Hog's Back (22B/16a)

Le mont Hog's Back est situé sur la partie ouest d'un intrusif acide de 3.5 km de diamètre lui même situé au nord-ouest des monts Vallières-de-St-Réal. (figure 3.11) Sur la carte du gradient vertical, les anomalies magnétiques sont observées au sud de l'intrusif, ou les roches adjacentes sont des calcaires. Une faille, parallèle à celle des Chic-Chocs, a été interprétée au nord, au contact des siltstone. Une autre faille, orientée N 30 W, a été interprétée au sud-ouest de l'intrusif.

b) Mont Vallières-de-St-Réal (22B/16a)

Cet intrusif démontre un magnétisme plutôt dispersé (figure 3.11), bien qu'une anomalie plus intense soit observée en sa bordure sud.

Une faille N30W, parallèle à celle des monts Hog's Back, est interprétée au centre de l'intrusif. Au sud-ouest, la forte anomalie correspond au prospect de Puma (3m à 2% Cu).

La petite anomalie circulaire située au nord de l'intrusif, correspond à une enclave de diabase.

Au sud et au sud-est des monts Vallières-de-St-Réal, la présence de formations basaltiques explique les nombreuses anomalies magnétiques.

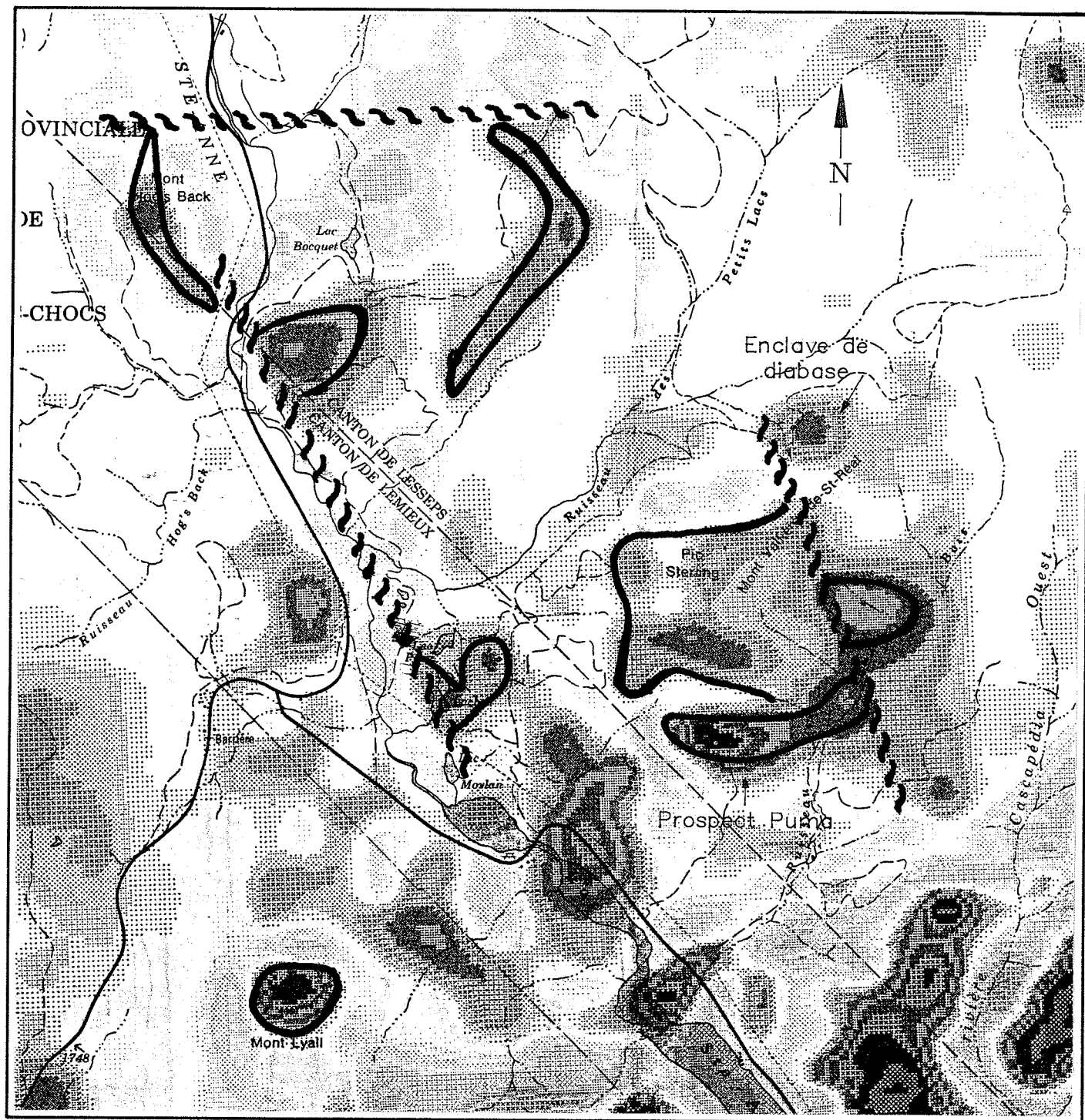


Figure 3.11. Intrusifs des monts Lyall, Hog's Back et Valières-de-St-Réal gradient vertical (22B16a). 1:50,000

c) Mont Chauve (22B/16a,c)

Un autre intrusif acide est indiqué dans le coin nord-ouest de la carte 22B/16a, à l'est du mont Chauve (figure 3.12 coin nord-est). Comme pour celui du mont Hog's Back, seules les limites est, sud et ouest démontrent des anomalies magnétiques et une faille a été interprétée en sa limite nord. Deux failles parallèles sont aussi interprétées au centre de l'intrusif.

3.3.4. Dôme de Lemieux (22B/16a)

Le présent levé a détecté plusieurs aspects intéressants du Dôme de Lemieux. Sur les cartes de gradient vertical, un centre et des auréoles magnétiques sont observés, de même que deux dykes NNW qui traversent le dôme (figure 3.13a). L'auréole magnétique et le centre du dôme (mont de la Brèche) correspondrait, selon la carte géologique, à une série d'intrusions gabbroïques. Une deuxième auréole, à l'est de la première, correspondrait pour sa part à des volcanites mafiques.

Du point de vue de l'intérêt pour l'exploration, ces anomalies magnétiques peuvent indiquer des zones d'altération thermique qui, lorsqu'elles sont fracturées, deviennent des cibles de prospection très intéressantes. Les anomalies se retrouvant dans des formations poreuses s'étendant en profondeur sont particulièrement propices à la venue de fluide minéralisateur.

Nous avons lu, dans la littérature, que l'intrusion en profondeur d'un grand pluton n'est pas une théorie généralement acceptée pour expliquer la forme du dôme. Toutefois, l'interprétation de la carte du champ total (figure 3.13b) suggère la présence d'un corps magnétique situé à 2,000 m de profondeur et mesurant 10 km de diamètre. Cette interprétation (figure 3.13c) indique que cette roche contiendrait environ 0.5 % de magnétite, une valeur typique du granite.

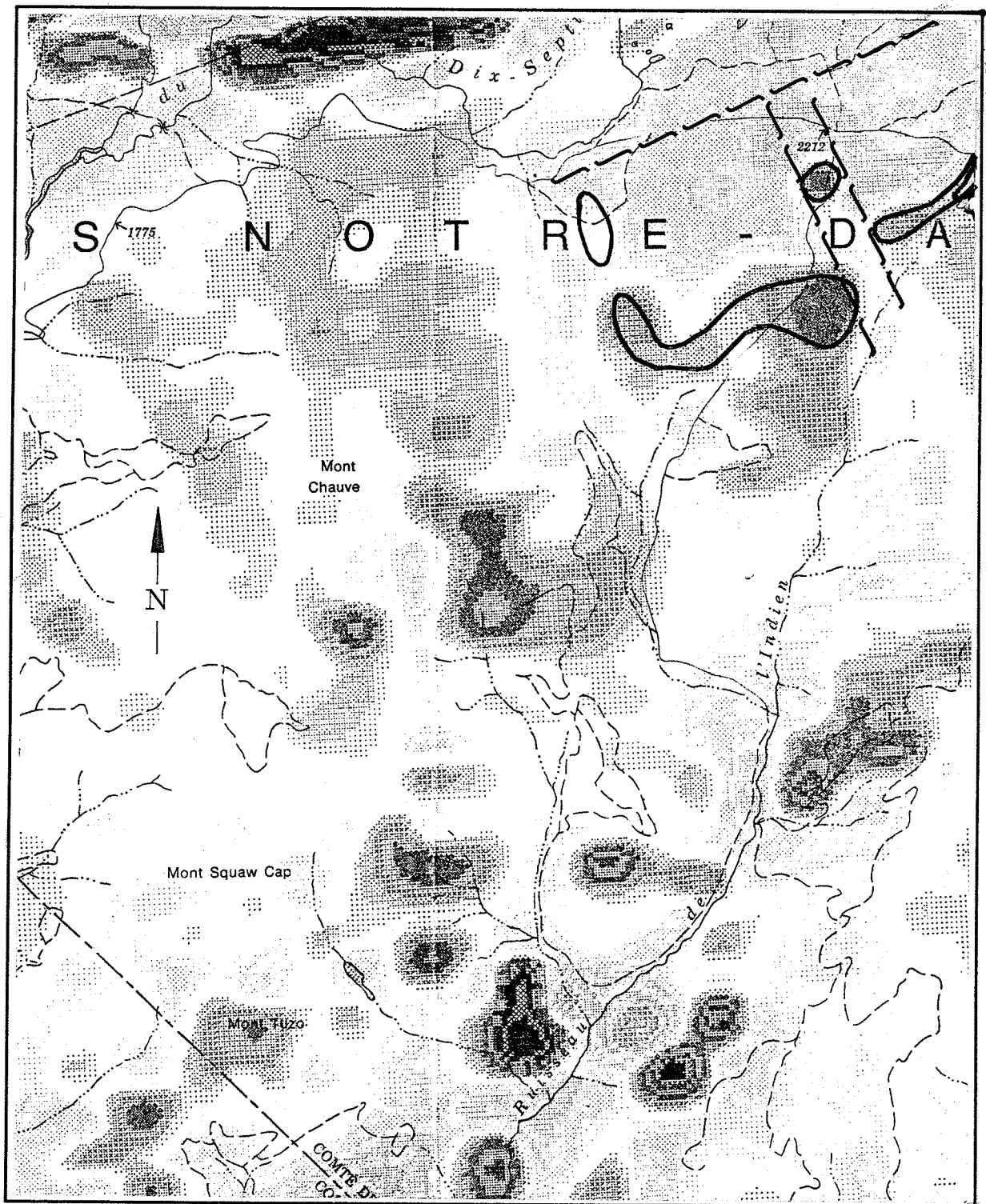


Figure 3.12. Intrusif du Mont Chauve; gradient vertical (22B16c).
1:50,000

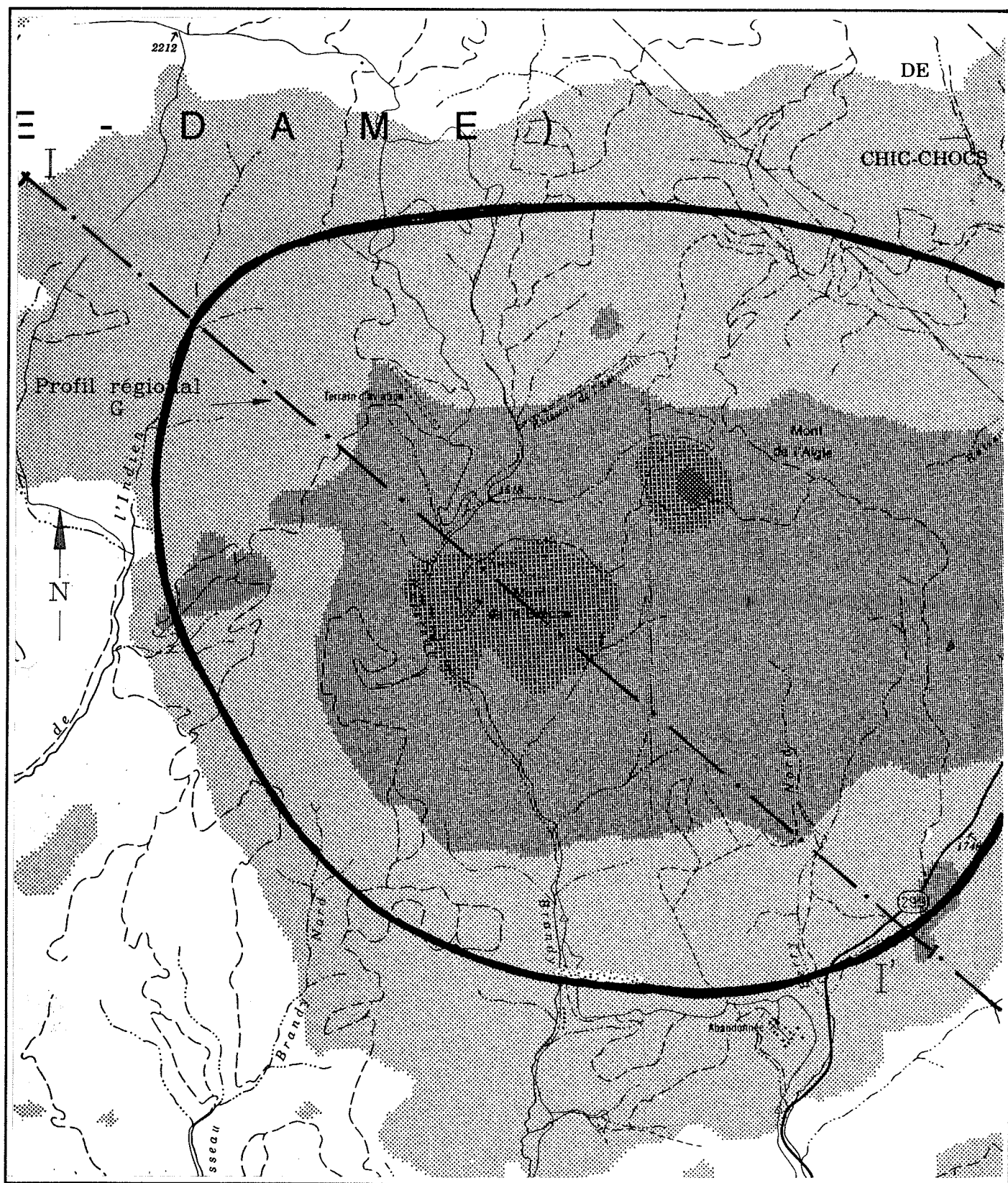


Figure 3.13b. Dôme de Lemieux; champ total (22B16a).
1:50,000

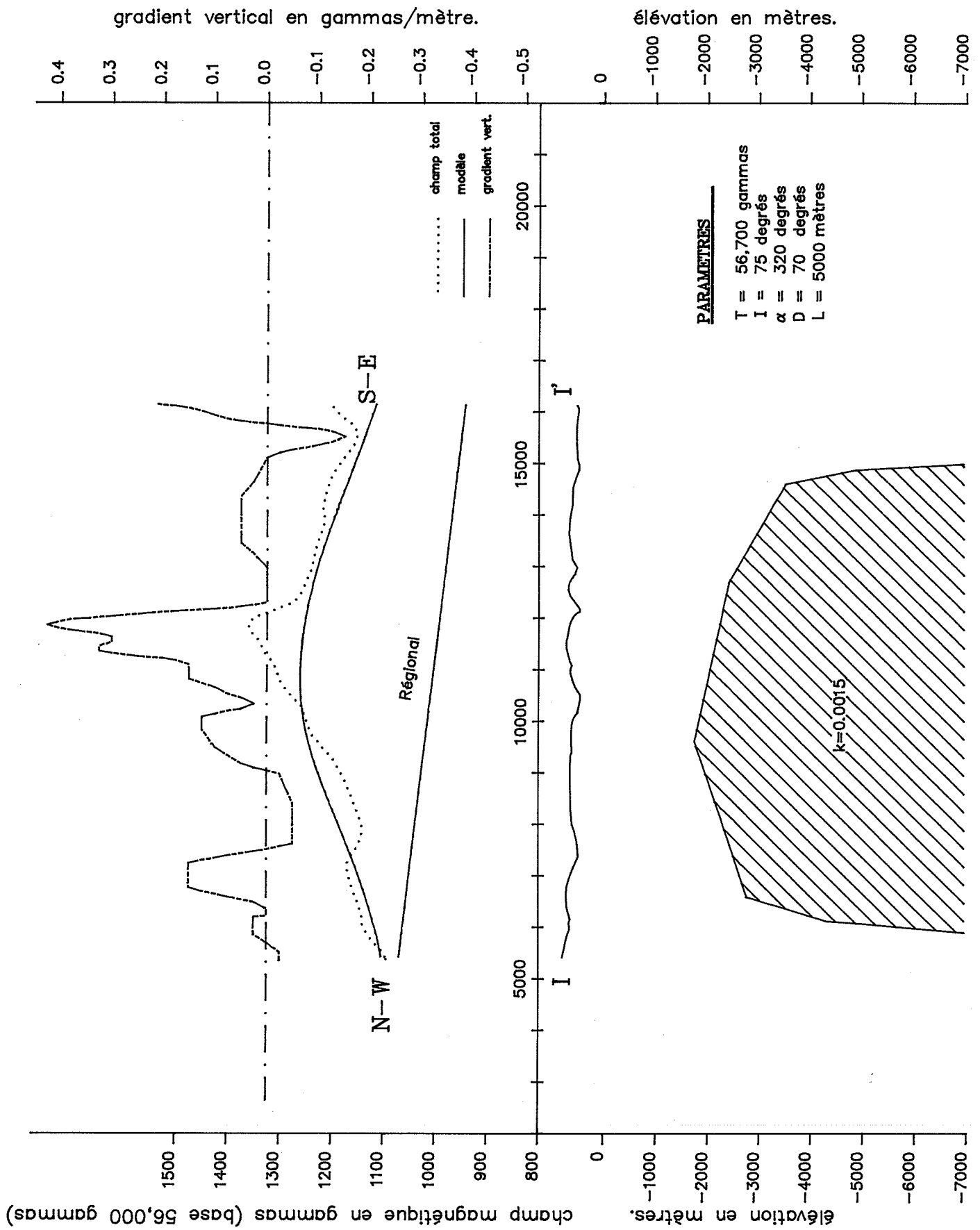


Figure 3.13c. profil I.

L'hypothèse d'un pluton en profondeur est aussi soutenue par le fait que l'anomalie de champ total ne correspond pas exactement à celle du gradient vertical, suggérant qu'il existe des sources magnétiques distinctes en surface et en profondeur.

A l'extrémité sud-ouest du dôme, le grand filon-couche mafique a été déformé par la poussée du dôme (figure 3.14).

3.3.5. Région de Murdochville (22A/13g)

Au-dessus de la région de Murdochville, les données aéromagnétiques indiquent une large anomalie de champ total, accompagnée d'une série de petites anomalies de gradient vertical (figure 3.15 a). Ces anomalies se situent dans une zone de plissement et de failles, dans les roches sédimentaires du groupe de Gaspé.

Deux simulations ont été effectuées: une en profondeur pour l'anomalie du champ total (fig.3.15b) et une en surface pour les anomalies du gradient vertical (fig.3.15c). Bien que la simulation d'intrusifs circulaires soit possible pour chacune des petites anomalies observées, il demeure que celle située au-dessus des installations de la mine pourrait être causée par celles-ci.

L'interprétation de la figure 3.15b indique que des intrusions peu profondes, de 100 à 500 m de diamètre, peuvent expliquer les anomalies magnétiques observées. Ces anomalies pourraient être causées soit par le stockwork lui même (fortement minéralisé), ou par des skarns ferrifères liés aux formations sédimentaires adjacentes. L'anomalie située au-dessus du lac au NE de cette région pourrait indiquée une zone minéralisée en skarn.

La figure 3.15c démontre pour sa part la présence d'un pluton magnétique situé à 1,000 m de profondeur, mesurant 4,000 m de diamètre et contenant

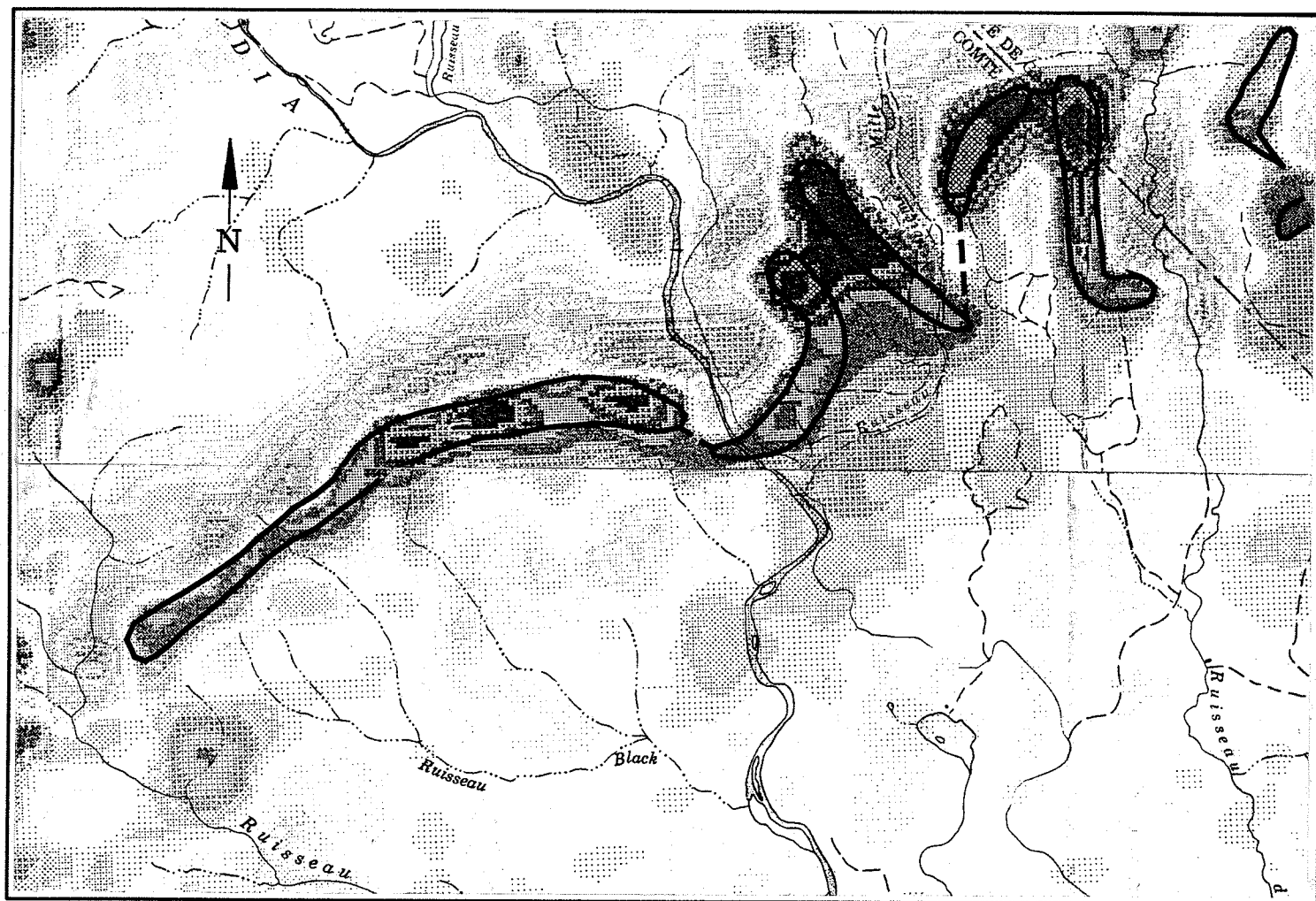


Figure 3.14. Déformation d'un dyke au contact du dôme de Lemieux; gradient vertical (22B16c). 1:50,000

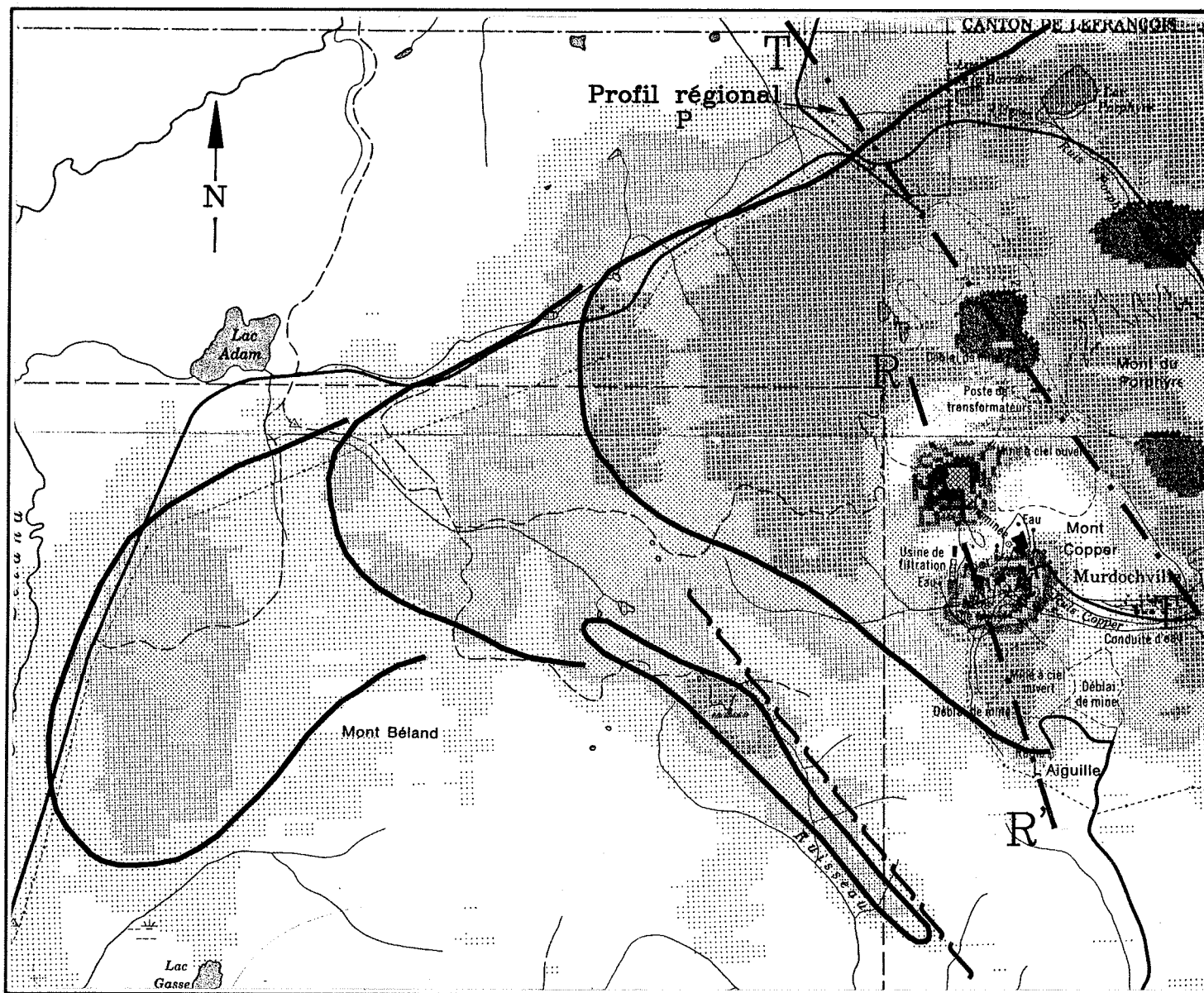


Figure 3.15a. Intrusif de Murdochville; gradient vertical (22A13g).
1:50,000

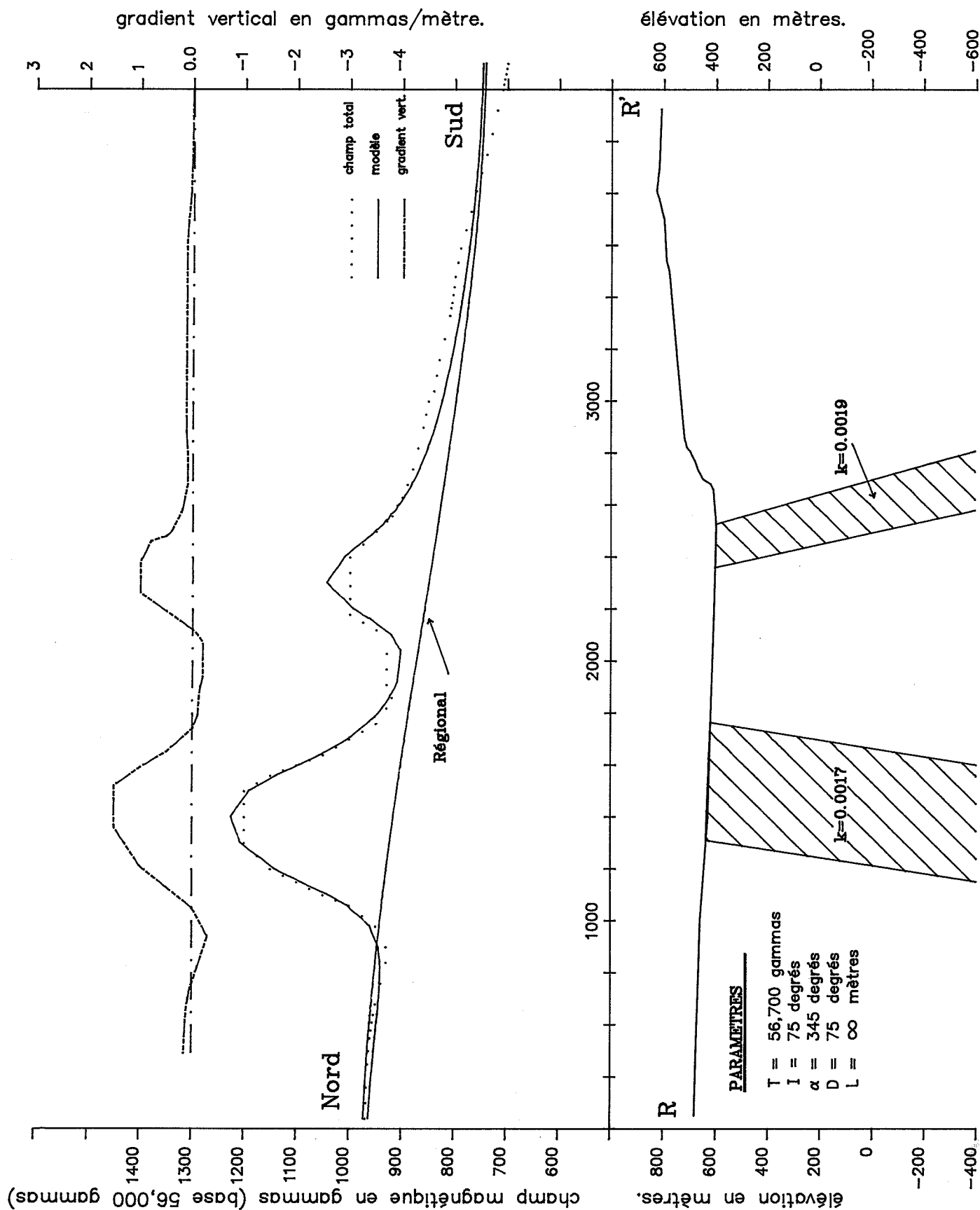


Figure 3.15b. profil R.

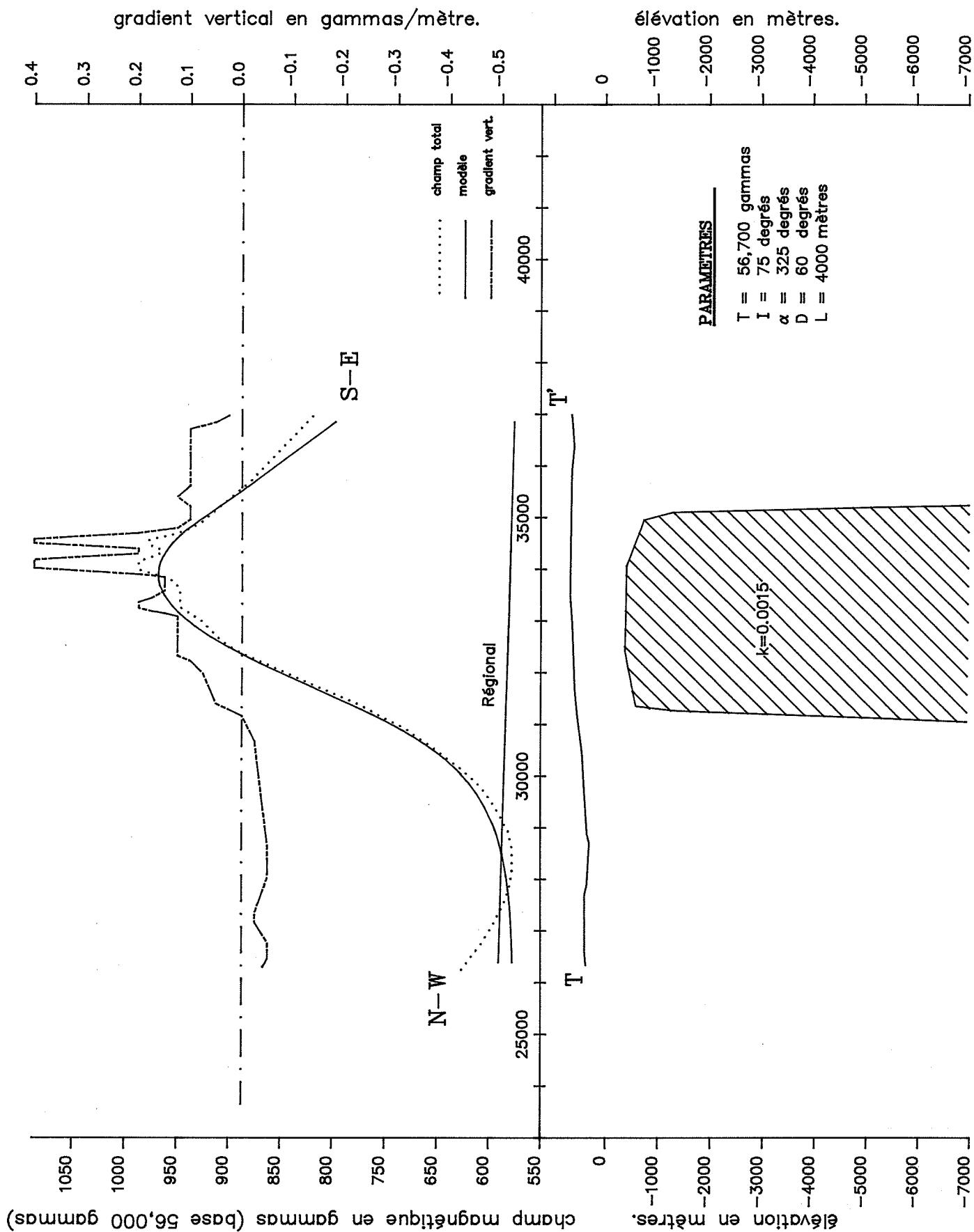


Figure 3.15c. Profil T.



Figure 3.15d. Géologie de la région de Murdochville.
1:50,000

environ 0.5 % de magnétite, ce qui est typique des roches granitiques. La carte géologique (fig 3.15d) indique des nez de plis successifs séparés par des failles. Ceci est confirmé par le levé magnétique, bien que la localisation des anomalies soit quelque peu différente.

3.3.6. Région du mont Brown (22A/13a)

Dans un rayon de 3 km autour du Mt Brown (figure 3.16a), le patron magnétique est particulièrement aléatoire, suggérant la présence de laves mafiques. Selon la carte géologique (figure 3.16b), le mont Brown correspond à un intrusif de syénite semblable à ceux de Murdochville.

Dans ce cas, les anomalies magnétiques situées en son flanc sud pourraient représenter des skarns ferrifères. D'autre part, il est toujours possible que des roches mafiques aient pénétrées les cassures entourant l'intrusif.

Environ 6 km au nord du Mt Brown, une autre zone d'anomalies magnétiques, moins intenses correspondrait à des dykes de diabases non-affleurants.

3.3.7. Gisement de Sullipek (22A/13c)

L'anomalie magnétique détectée au dessus du gîte Sullipek (figure 3.17a) est similaire aux autres petites anomalies circulaires de la région du levé, entre autres celles de Murdochville, du mont Brown, du mont Lyall et du mont Tuzo (22B/16c). L'interprétation du profil de la figure 3.17b indique une source magnétique affleurante de 280 m de diamètre possédant un pendage de 50°S et une susceptibilité de .003 cas (1% de magnétite).

Le magnétisme de Sullipek résulte de la présence d'un skarn ferrifère dérivé des calcaires. La minéralisation y est le produit d'activité hydrothermale. Toutes les petites anomalies circulaires situées à l'ouest de Sullipek de-



Figure 3.16a. Intrusif du Mont Brown; gradient vertical (22A13a)
1:50,000

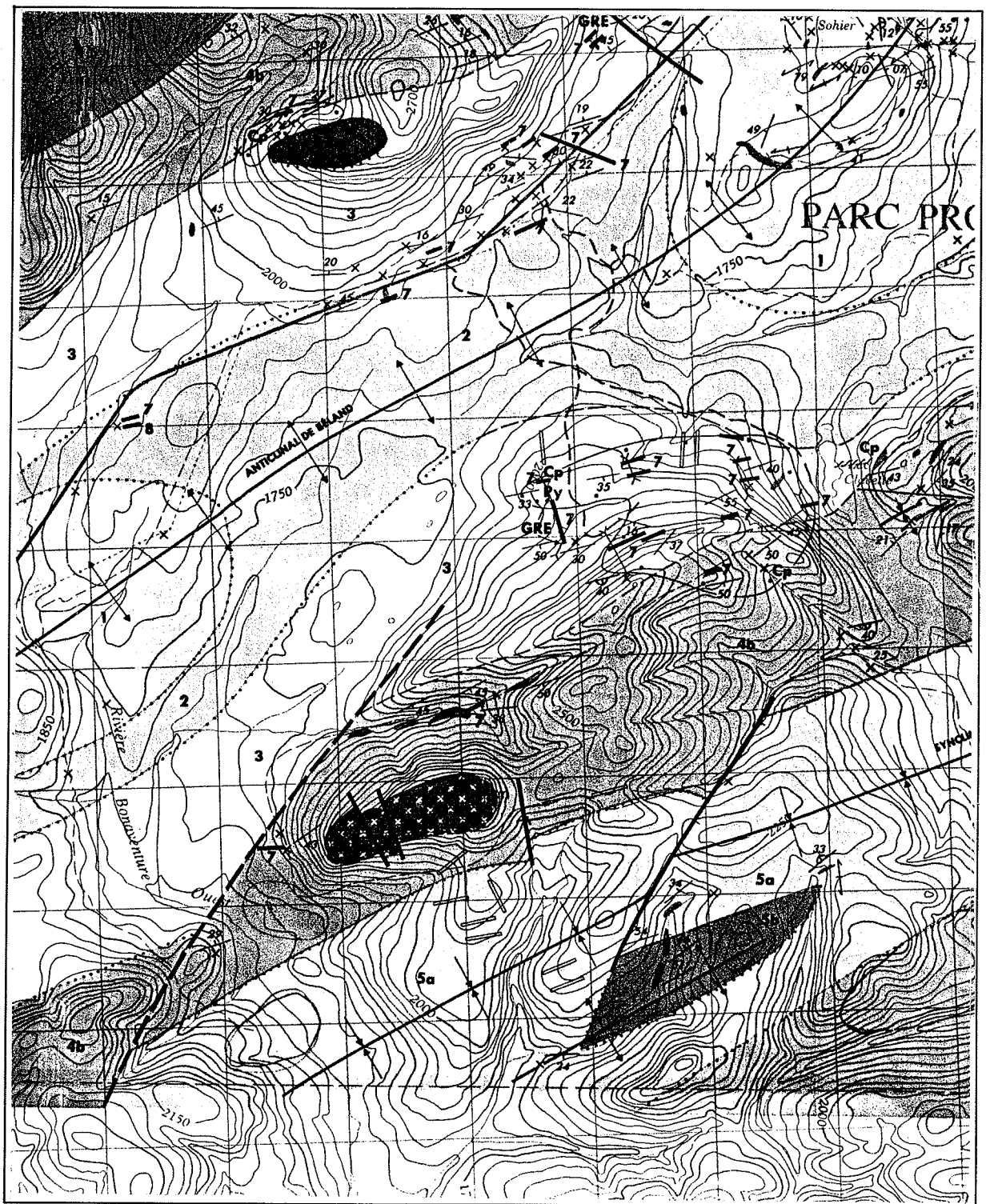


Figure 3.16b. Géologie du Mont Brown.
1: 50,000

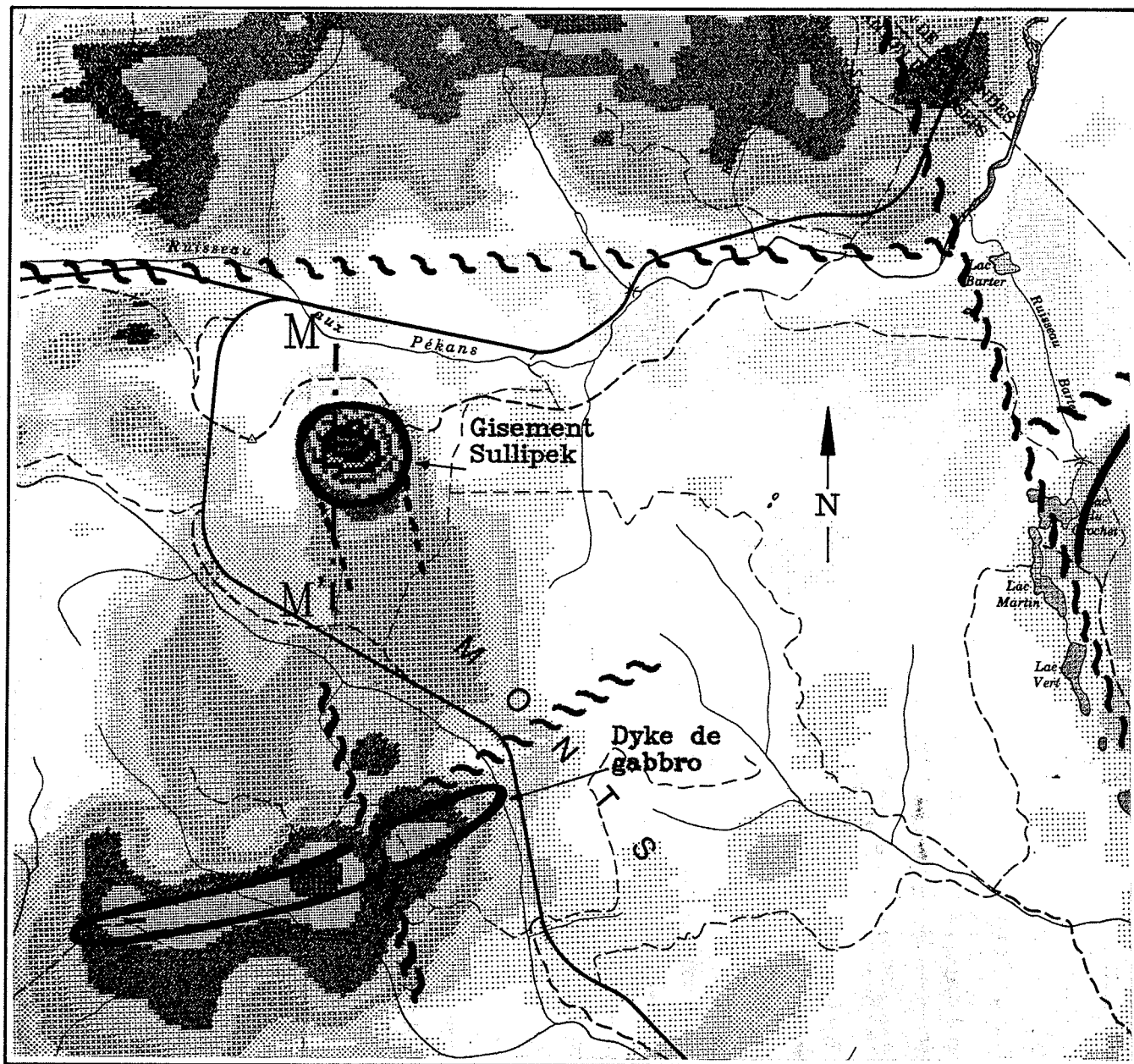


Figure 3.17a. Intrusif Sullipek; gradient vertical (22A13c).
1:50,000

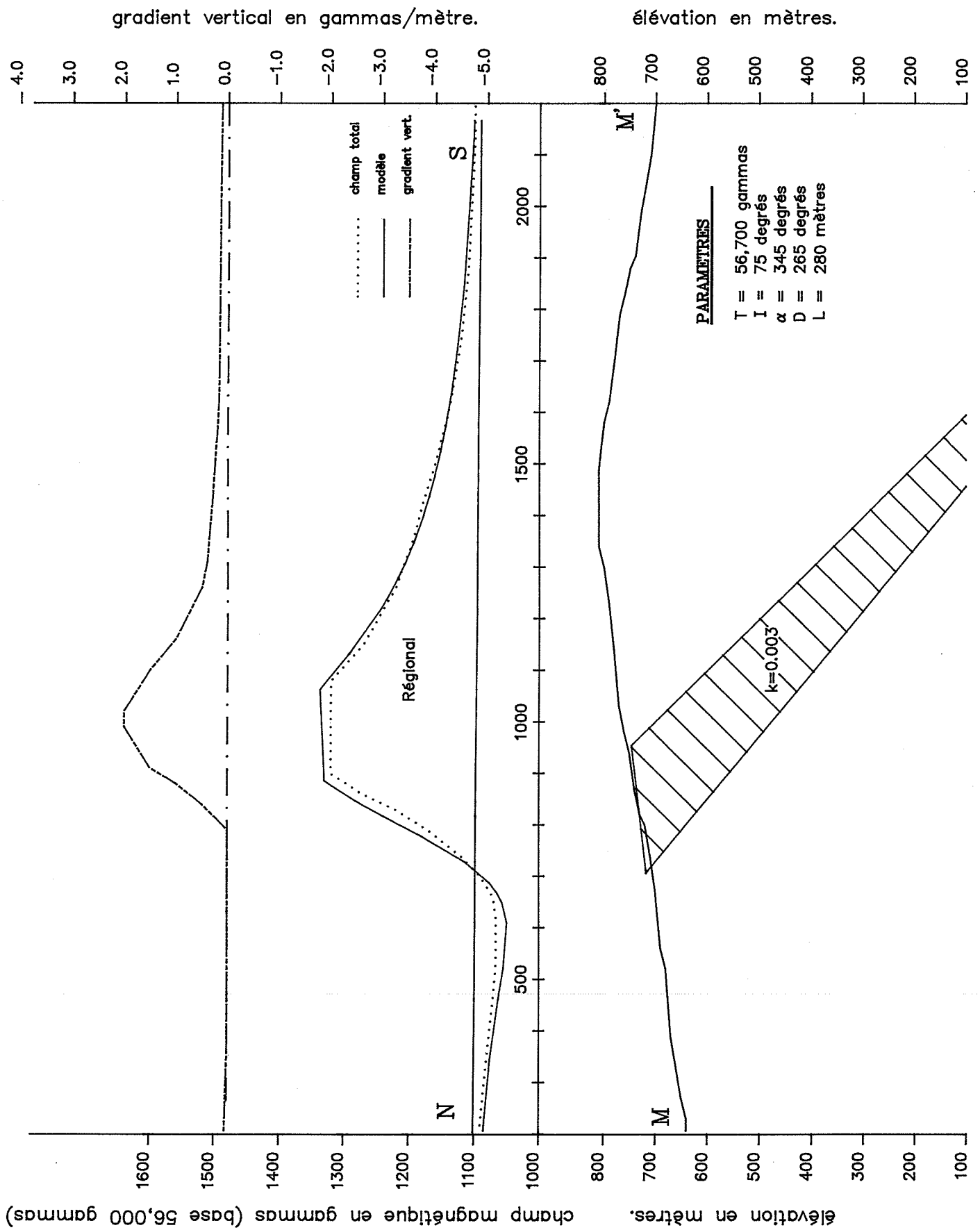


Figure 3.17b. Profil M.

vraient donc être examinées afin de déterminer la présence possible de skarns.

3.3.8. Mont Lyall (22B/16a)

L'anomalie du mont Lyall (figure 3.18) correspond à des laves de basalte et de rhyolite, donc sans intérêt particulier.

3.3.9. Massifs ultrabasiques (22B/15a,16c)

En bordure nord de la faille des Chic-Chocs sud, des lentilles ultrabasiques sont clairement identifiées par leurs bordures serpentinisées (figure 3.19a). Les lentilles mêmes ne sont pas magnétiques mais des bandes de metabasaltes (fortement magnétiques) sont cartographiées au contact sud des ultramafiques.

L'interprétation quantitative de l'anomalie du mont du Sud (figure 3.19b,c) indique un pendage de 70° S pour les zones magnétiques, ce qui correspond à celui de la faille Chic-Chocs sud. Il n'est pas possible toutefois de préciser l'interprétation quantitative au delà du produit KT (susceptibilité - épaisseur) qui est de .25 pour la serpentine et de .8 pour les metabasaltes. Les figures 3.19 b et c indiquent deux possibilités quant à la résolution du produit KT.

Des dykes peu profonds (figure 3.19d) rattachés perpendiculairement à la faille Chic-Chocs sud seraient associés à des zones de fractures transversales.

La figure 3.20 indique une anomalie située en bordure de la faille des Chic-Chocs où notre campagne de terrain a confirmé la présence de péridodite serpentinisée.

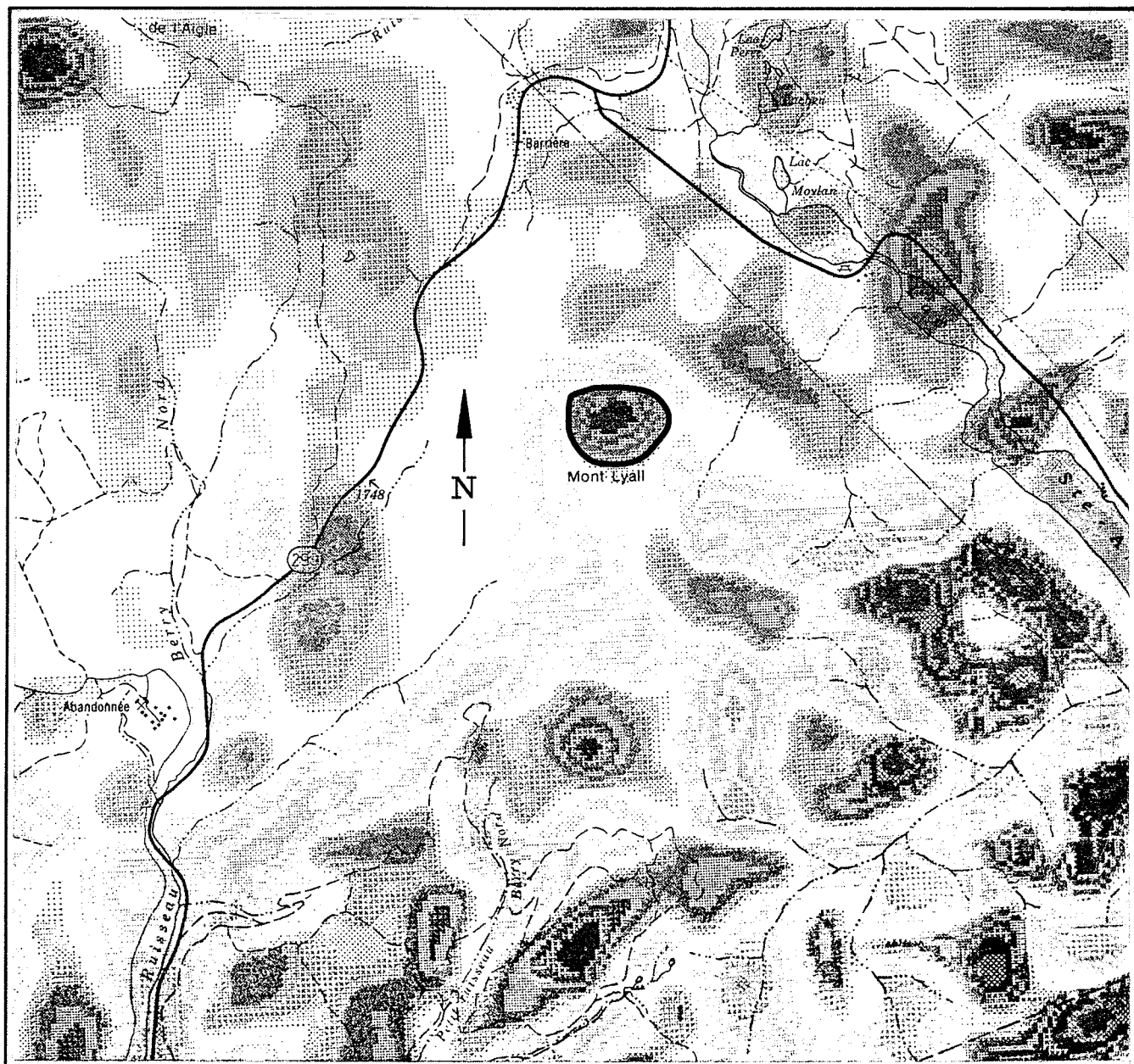


Figure 3.18. Anomalie du Mont Lyall; gradient vertical (22B16a).
1:50,000

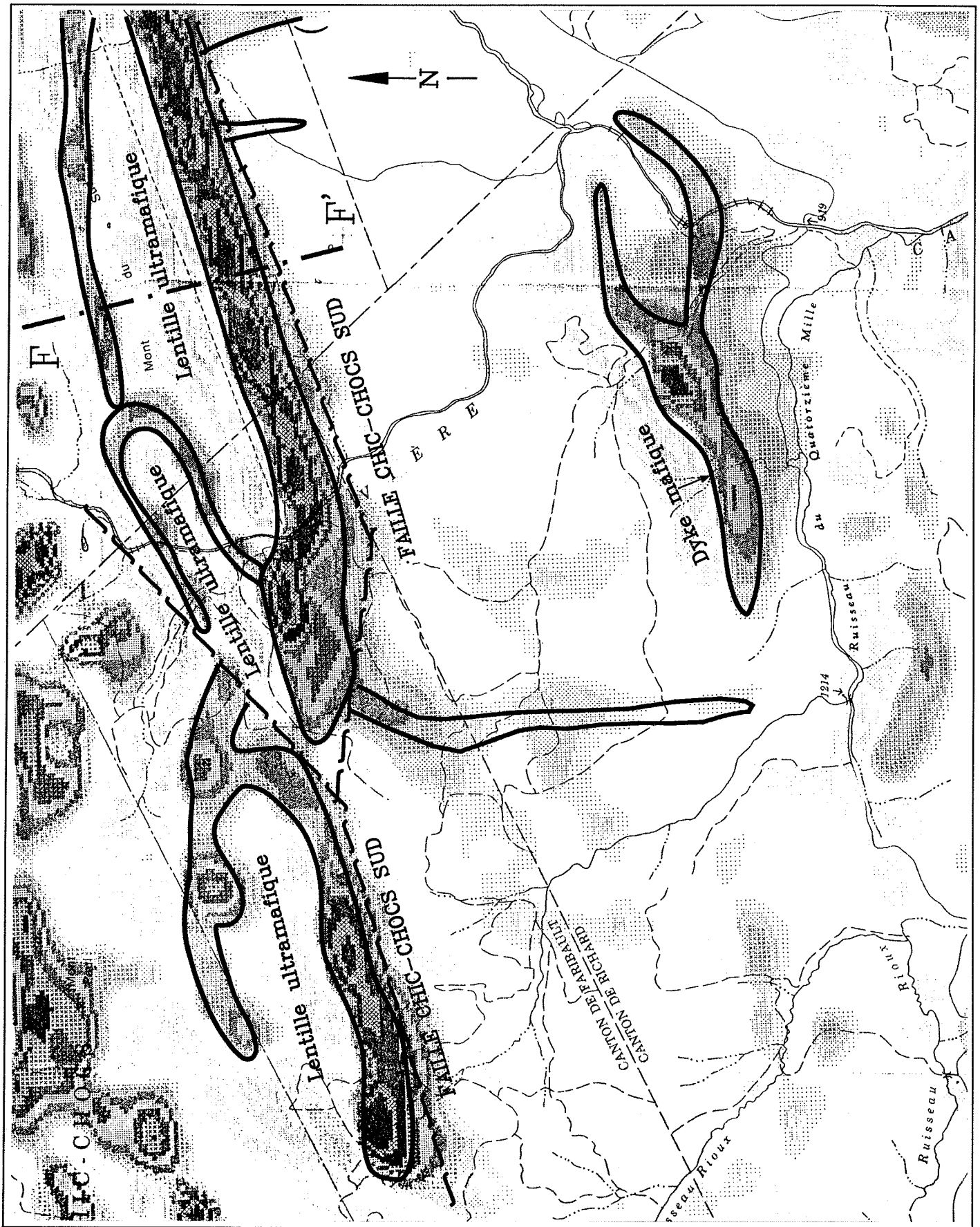


Figure 3.19a. Lentilles ultramafiques et dyke mafique; gradient vertical (22B16c).
1:50,000

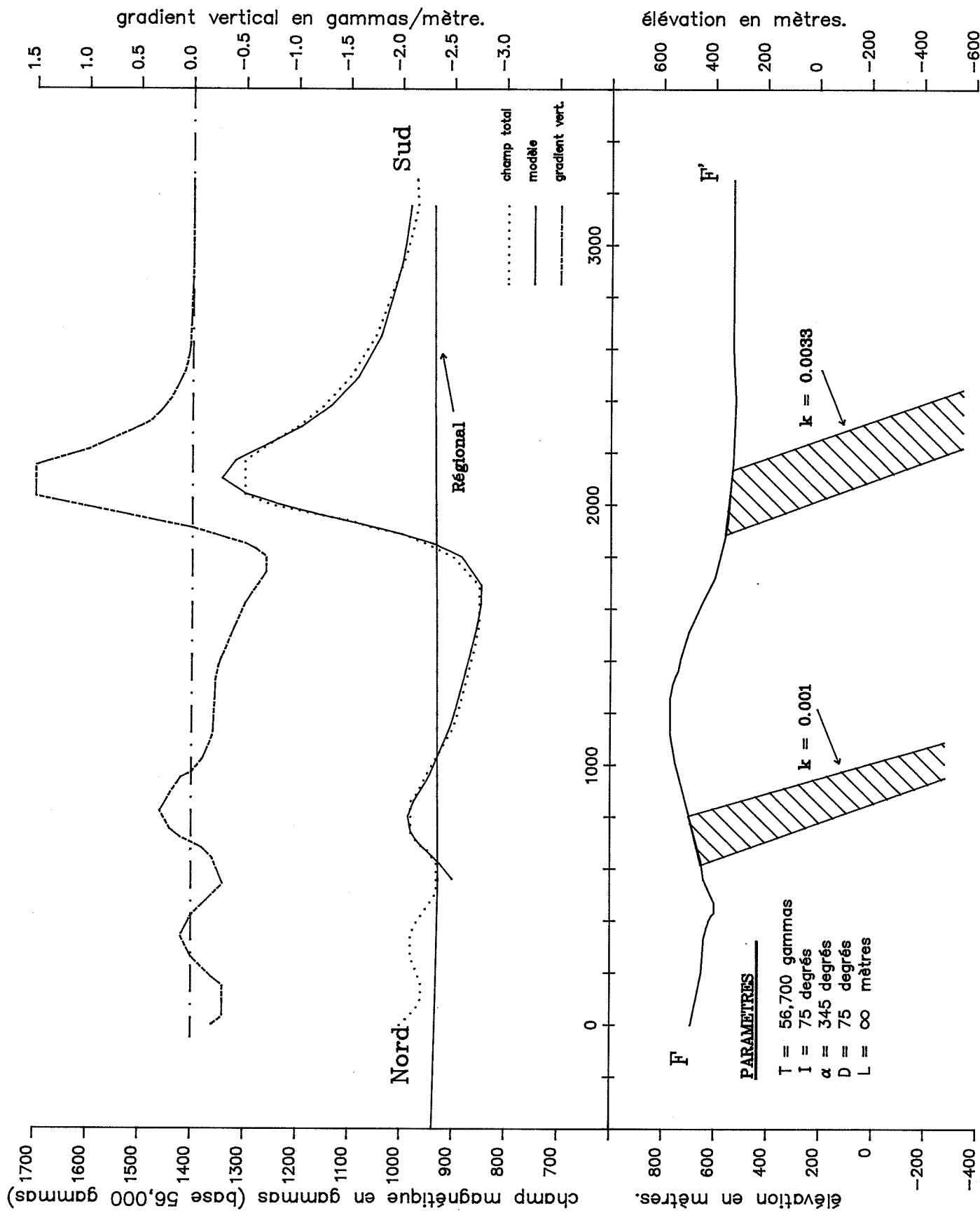


Figure 3.19b. Profil F.

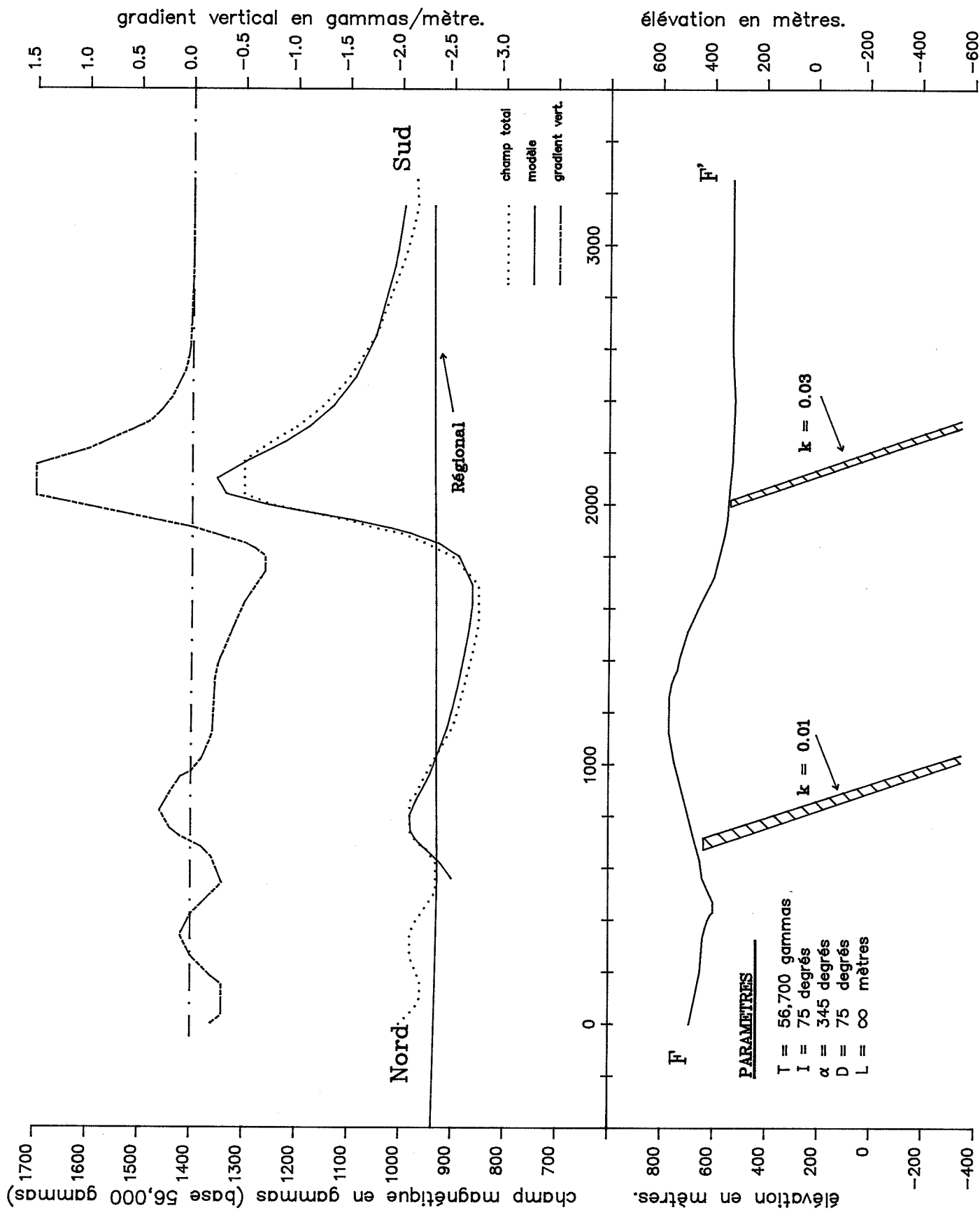


Figure 3.19c. Profil F. (modification de la susceptibilité)

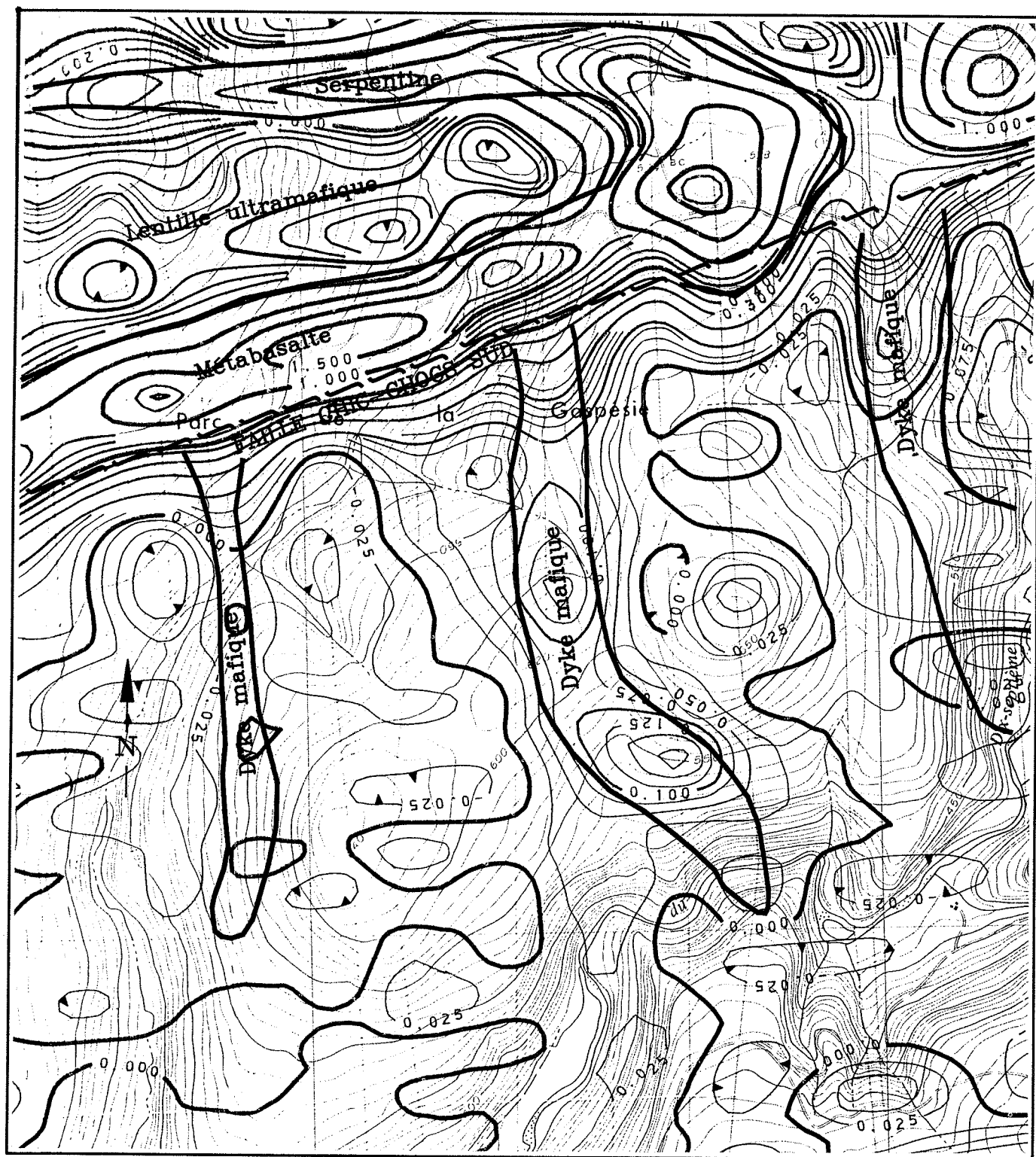


Figure 3.19d. Lentille ultramafique et dykes mafiques; gradient vertical (22B16a).
1:20,000

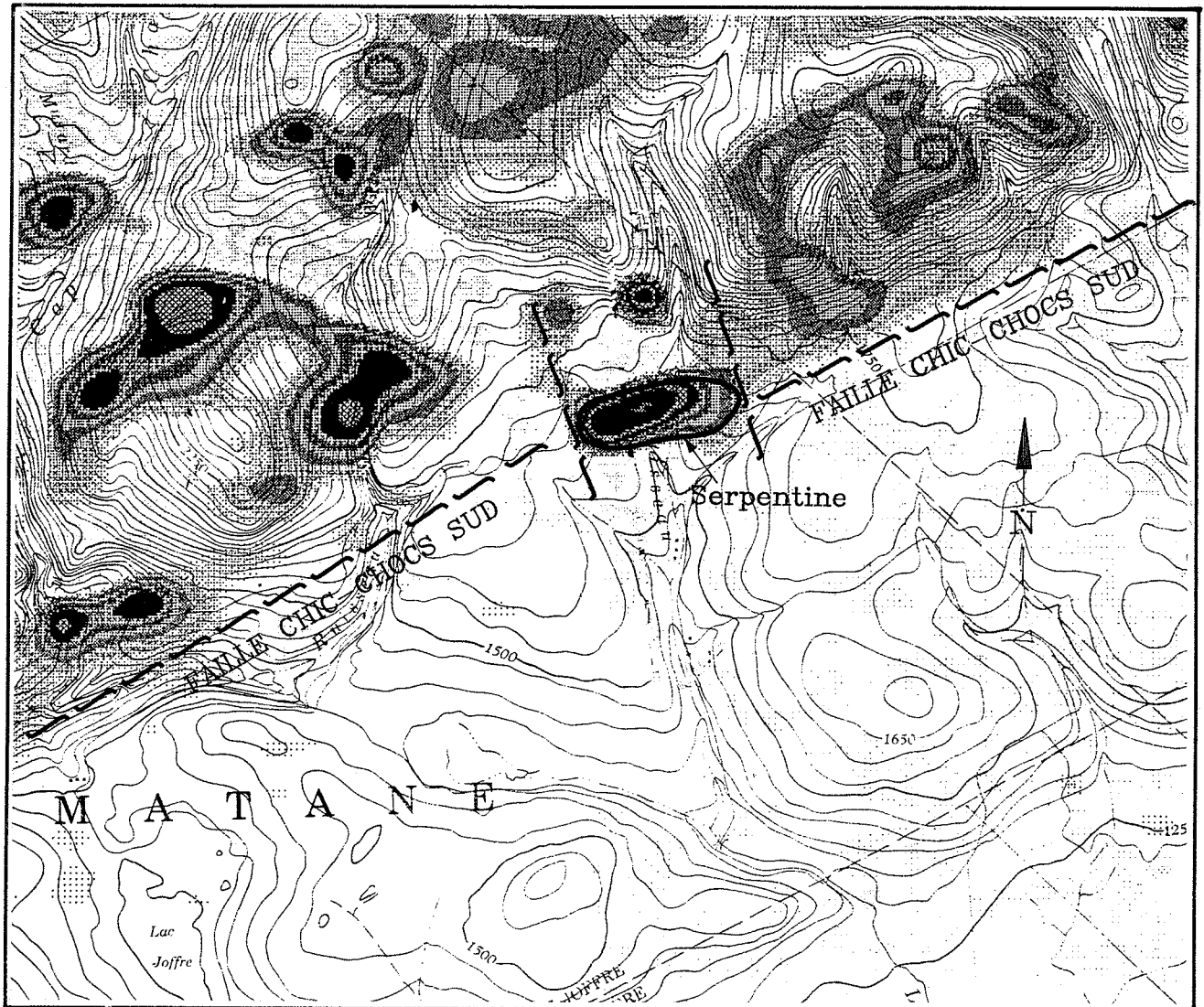


Figure 3.20 . Faille Chic-Chocs Sud; gradient vertical (22B15a).
1:50,000

3.3.10. Fractures transversales au sud de la faille Chic-chocs (22A12,13 et 22B/15,16)

Une série de dykes orientés transversalement à la stratigraphie sont observés au sud de la faille Chic-Chocs sud (figure 3.21 et 3.22). Les anomalies se situent dans un corridor d'environ 150 km de largeur dans la partie la plus agée de la ceinture siluro-dévonienne et correspondent vraisemblablement à des fractures transversales emplies par des roches filoniennes magnétiques.

3.3.11. Dykes mafiques (27A/13; 22B/7)

A ce stade-ci, rappelons que les zones géologiquement favorables ne sont pas nécessairement associées à des zones présentant des susceptibilités élevées. Une grande quantité de magnétite n'implique pas obligatoirement une minéralisation économique. L'interprétation de ces anomalies demeure toutefois intéressante du point de vue de la cartographie géologique.

Nous présentons dans cette section, et les deux qui suivent, quelques interprétations effectuées sur des anomalies géophysiquement bien définies mais qui, géologiquement, ne présente qu'un intérêt cartographique.

Les trois anomalies présentées aux figures 3.23, 3.24 et 3.25 correspondent à des dykes situés respectivement aux extrémités nord-est et sud-ouest ainsi qu'au centre de la zone de levé. Ils sont typiques de nombreuses intrusions mafiques ou coulées de laves observables dans cette région.

Des alignements de très faible amplitude (figure 3.26 a,b), observées sur la carte 22B7g, ont été interprétées comme des dykes minces situés à près de 300 m de profondeur.

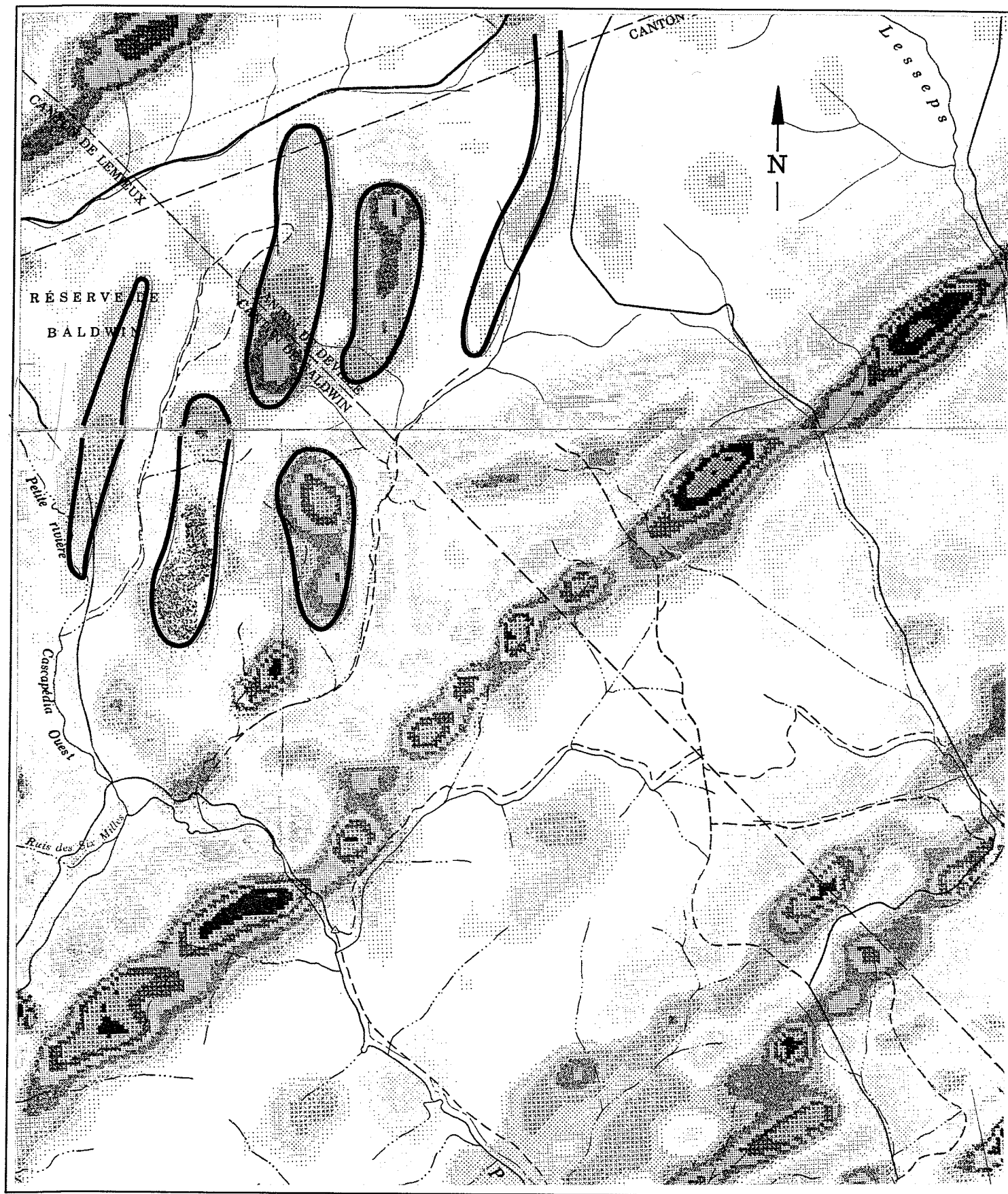


Figure 3.21. Dykes recoupant la stratigraphie; gradient vertical (22A13c).
1:50,000

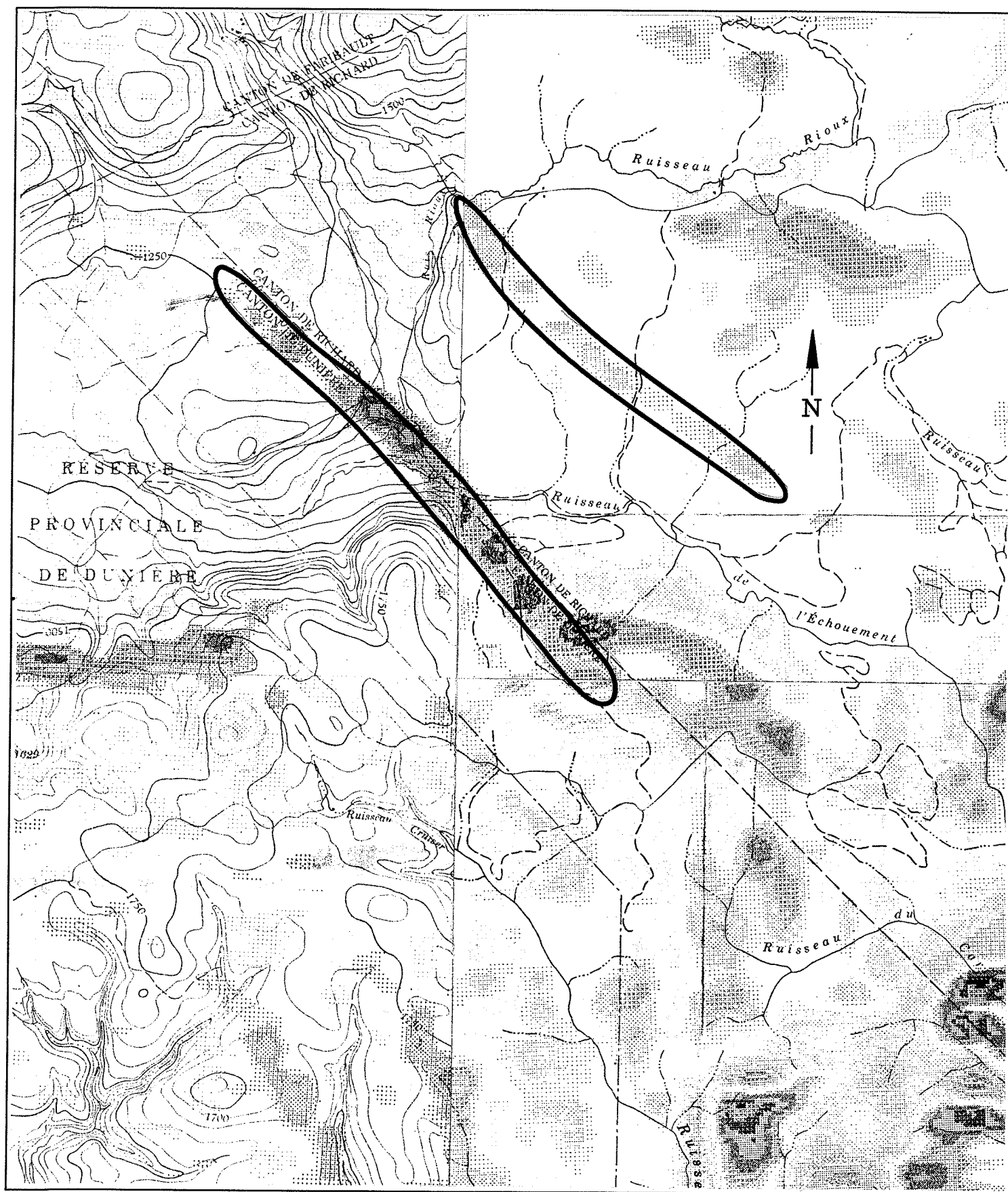


Figure 3.22. Dyke recoupant la stratigraphie; gradient vertical (22B15a).
1: 50,000

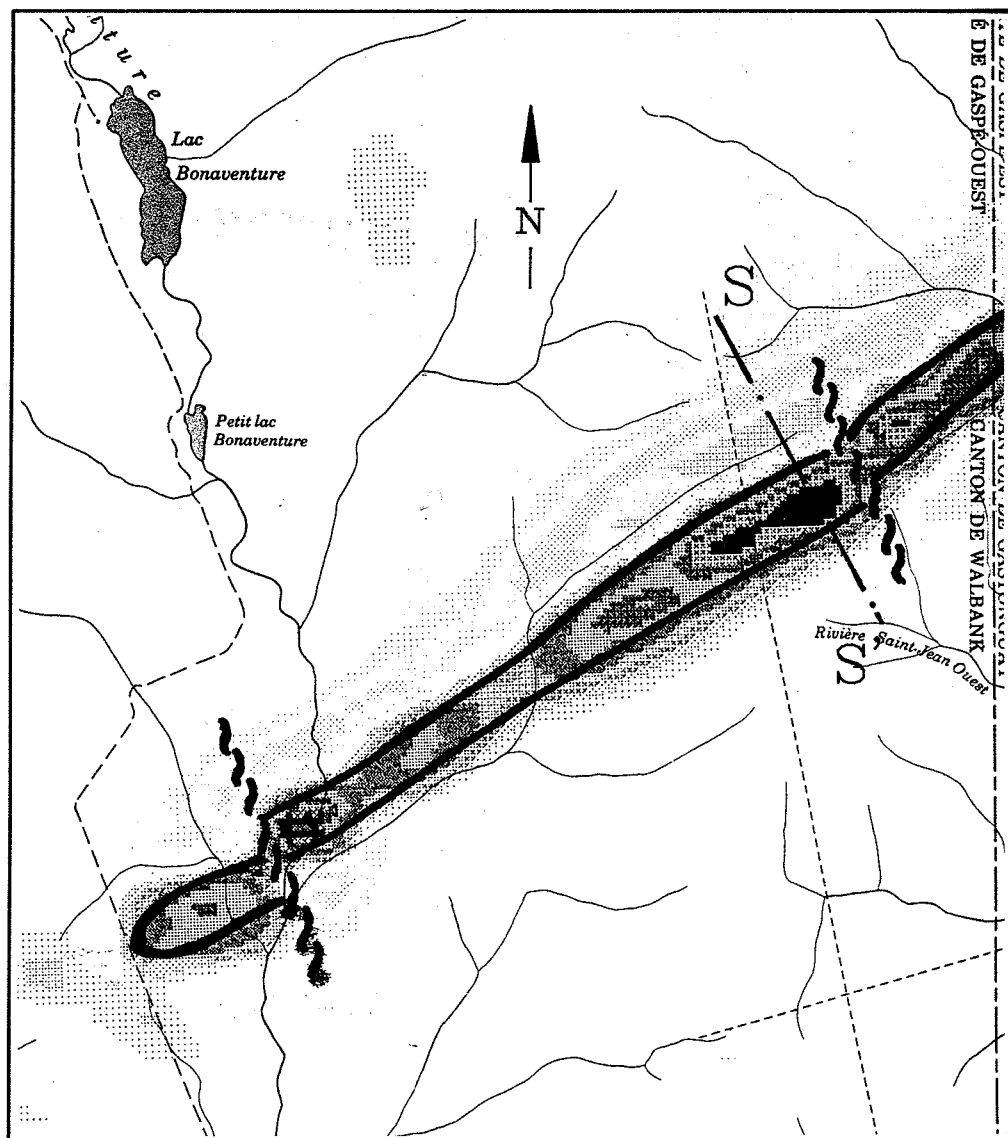
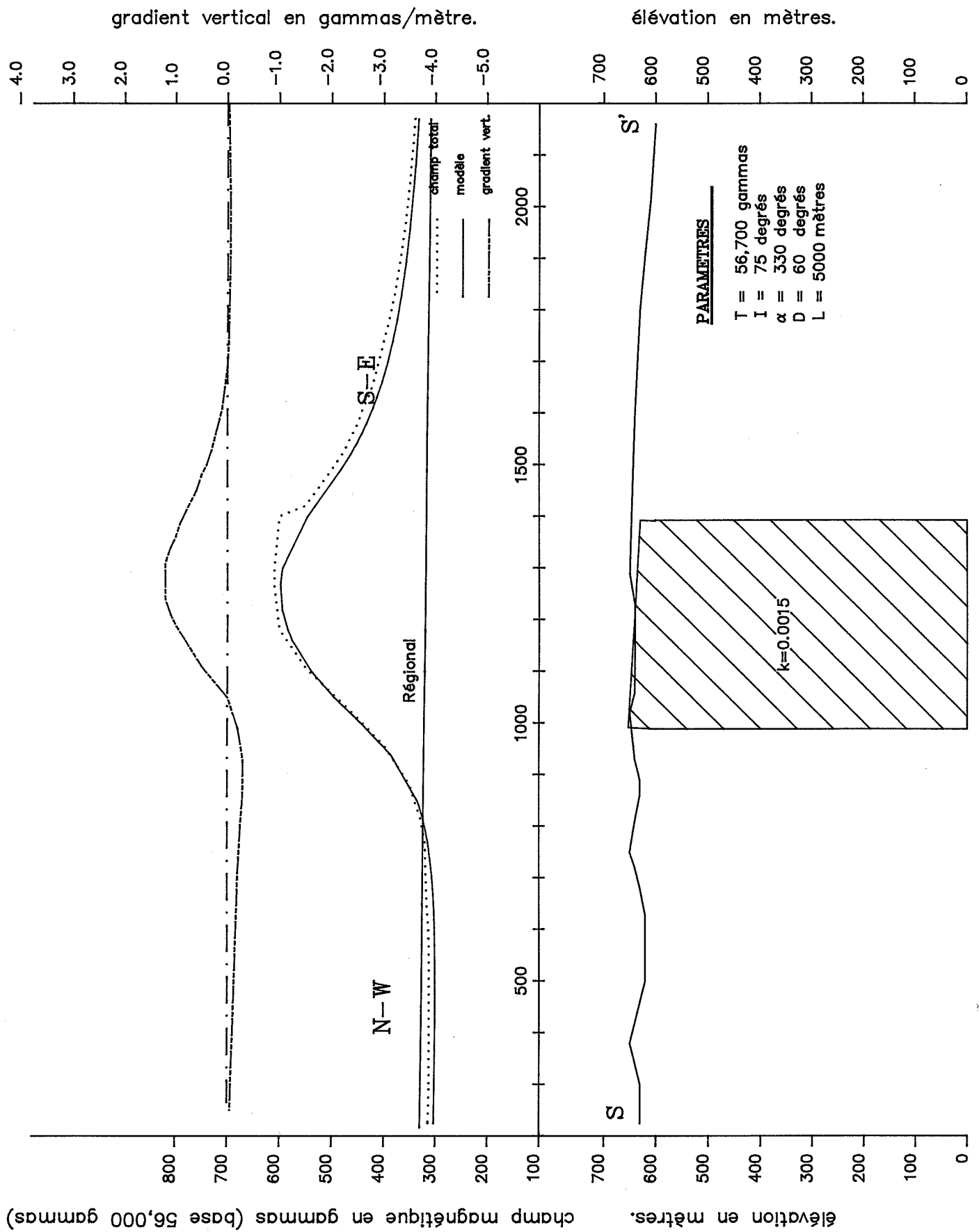


Figure 3.23a. Dyke mafique; gradient vertical (22A13a)
1:50,000



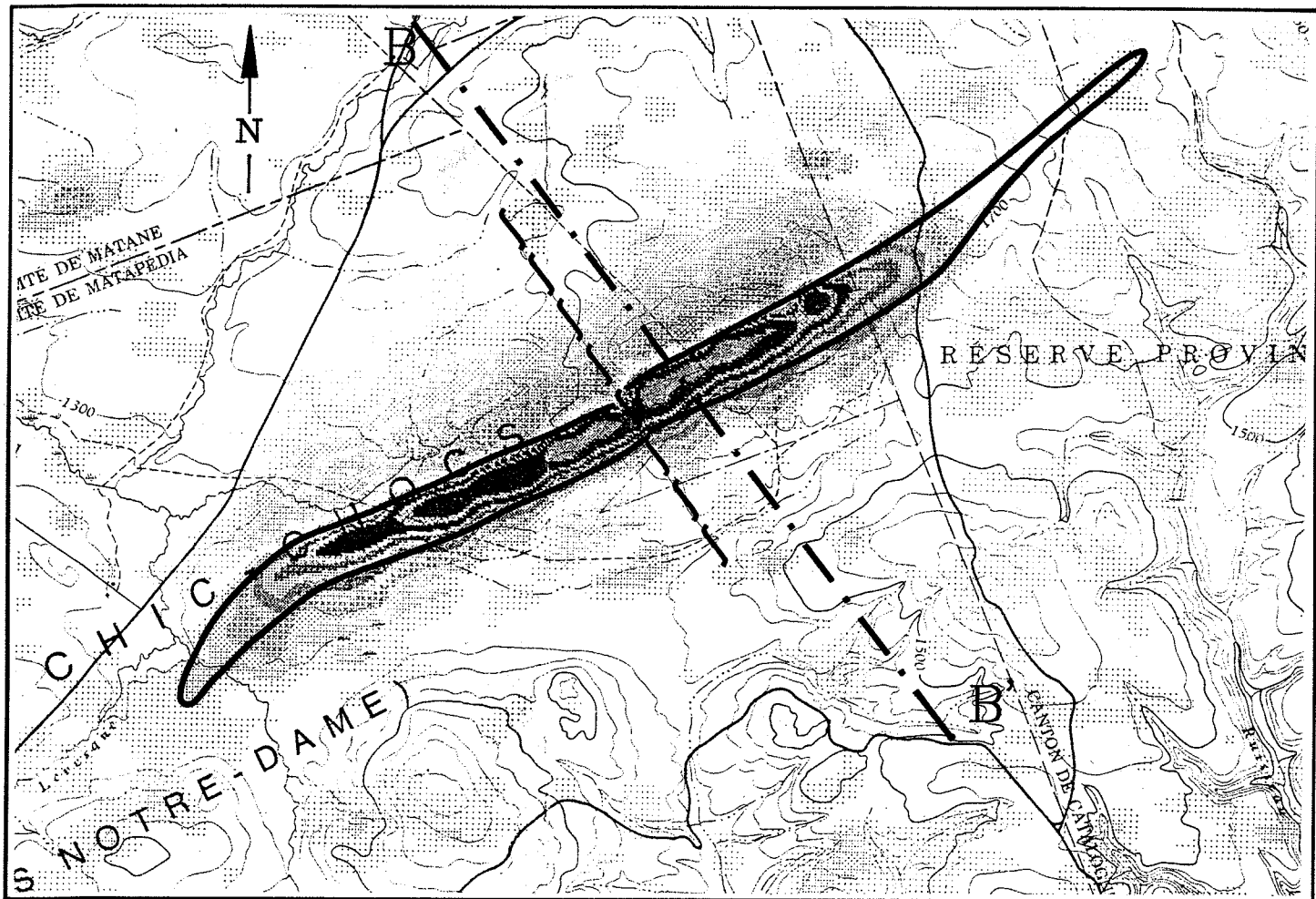


Figure 3.24a. Dyke mafique; gradient vertical (22B7e).
1:50,000

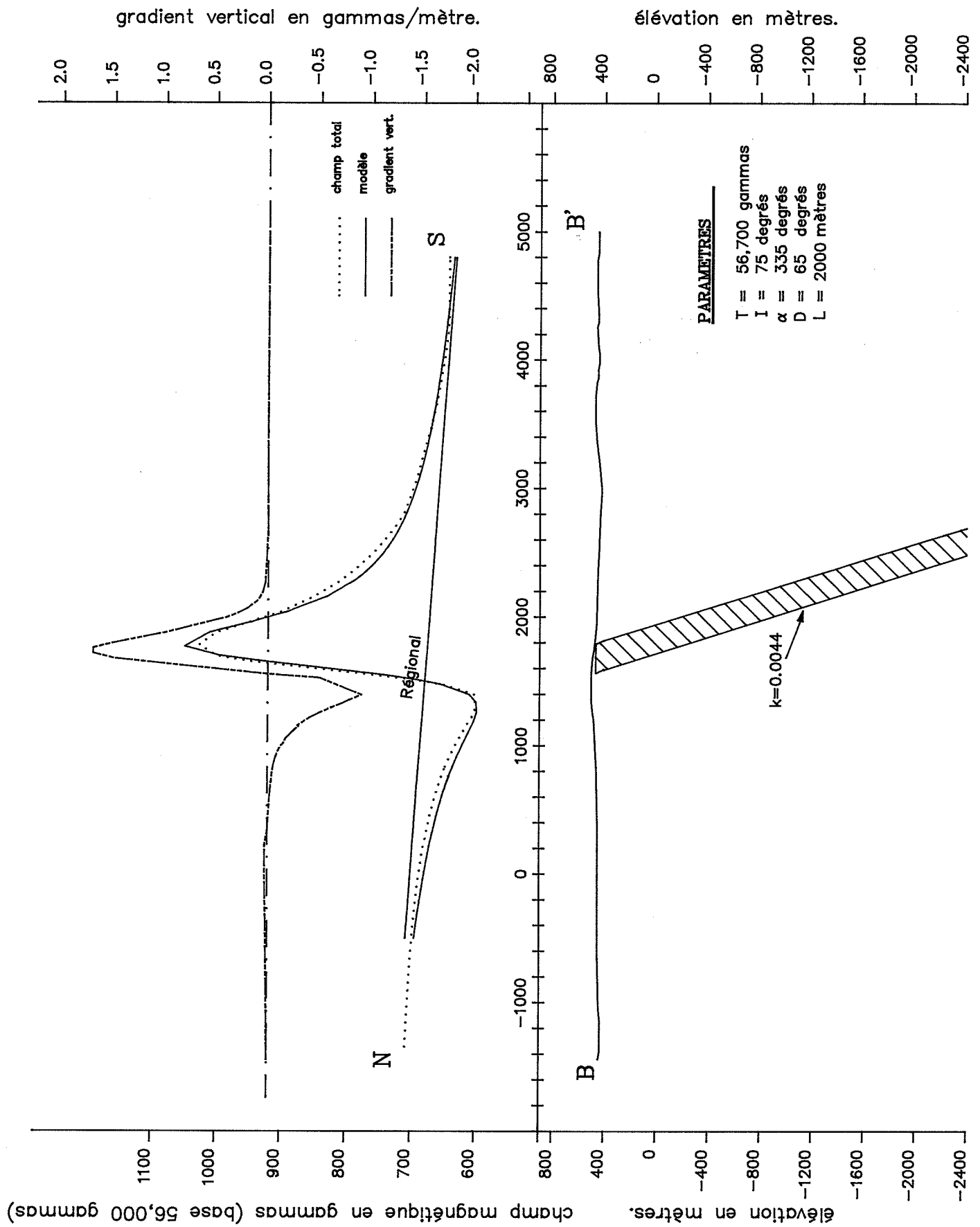


Figure 3.24b. Profil B.

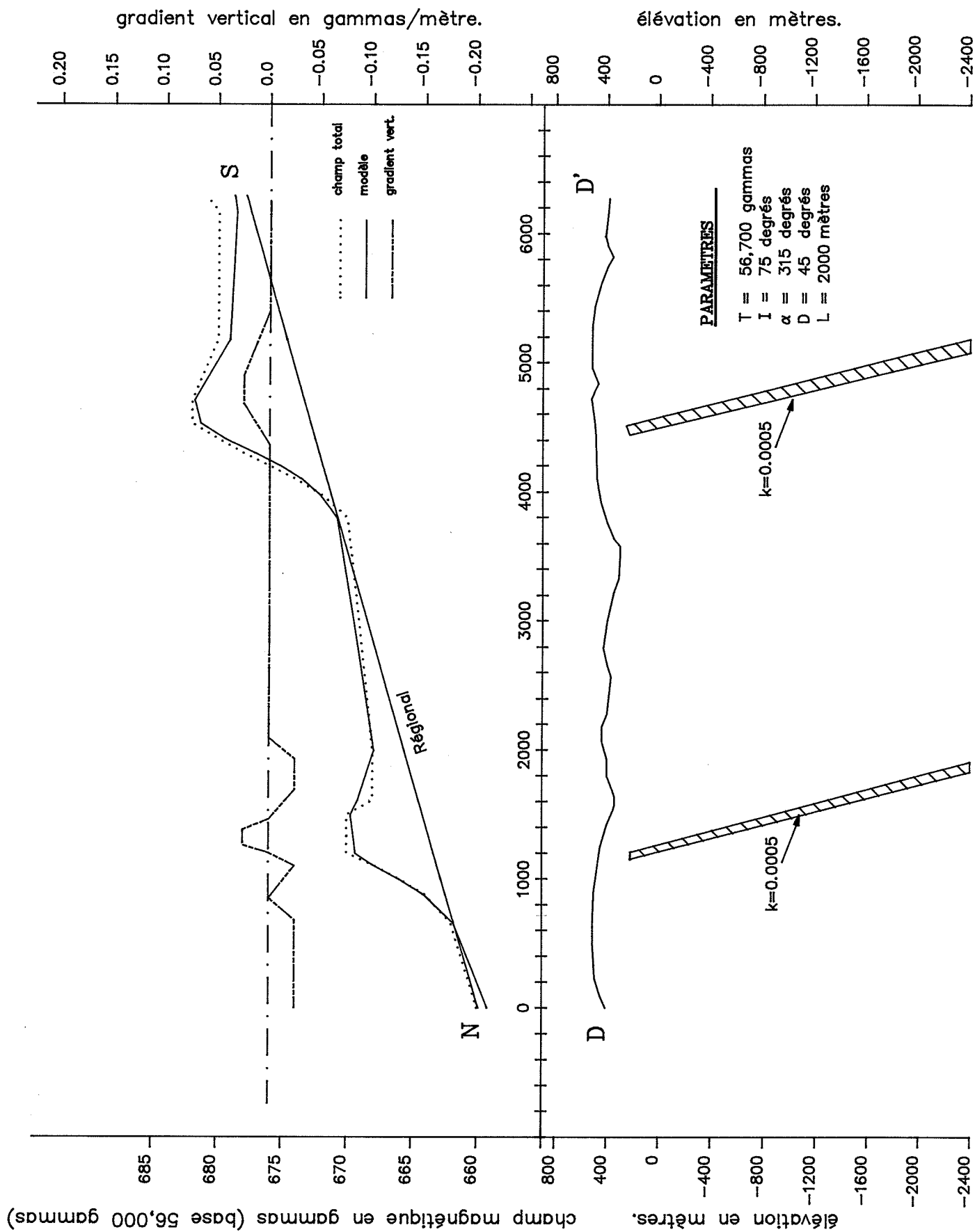


Figure 3.26b. Profil D.

3.3.12. Failles de gravité

La figure 3.27 donne un exemple d'interprétation d'une faille de gravité.

L'élargissement entre les anomalies, de part et d'autre de la faille, suggère une faille de gravité où les anomalies correspondraient à un même filon-couche situé dans un synclinal érodé.

3.3.13. Anomalie circulaire (22A/13e)

L'anomalie circulaire observée sur la figure 3.28 correspond à un intrusif mafique.

3.3.14. Sédiments magnétiques

La figure 3.29a représente une anomalie détectée au-dessus d'une vallée profonde. Ces anomalies sont interprétées comme des sédiments magnétiques contenant 0.1 % de magnétite. Les vallées ont typiquement 0.5 km de largeur et les couches magnétiques une épaisseur variant de 50 à 100 m. Dans la figure 3.29b une deuxième concentration de sédiments magnétiques a aussi été interprétée à une profondeur de 150 m de façon à corréler la courbe de terrain.

Un autre exemple de sédiments magnétiques peut être observé dans une vallée au centre de la carte 22H/4e. (figure 3.30)

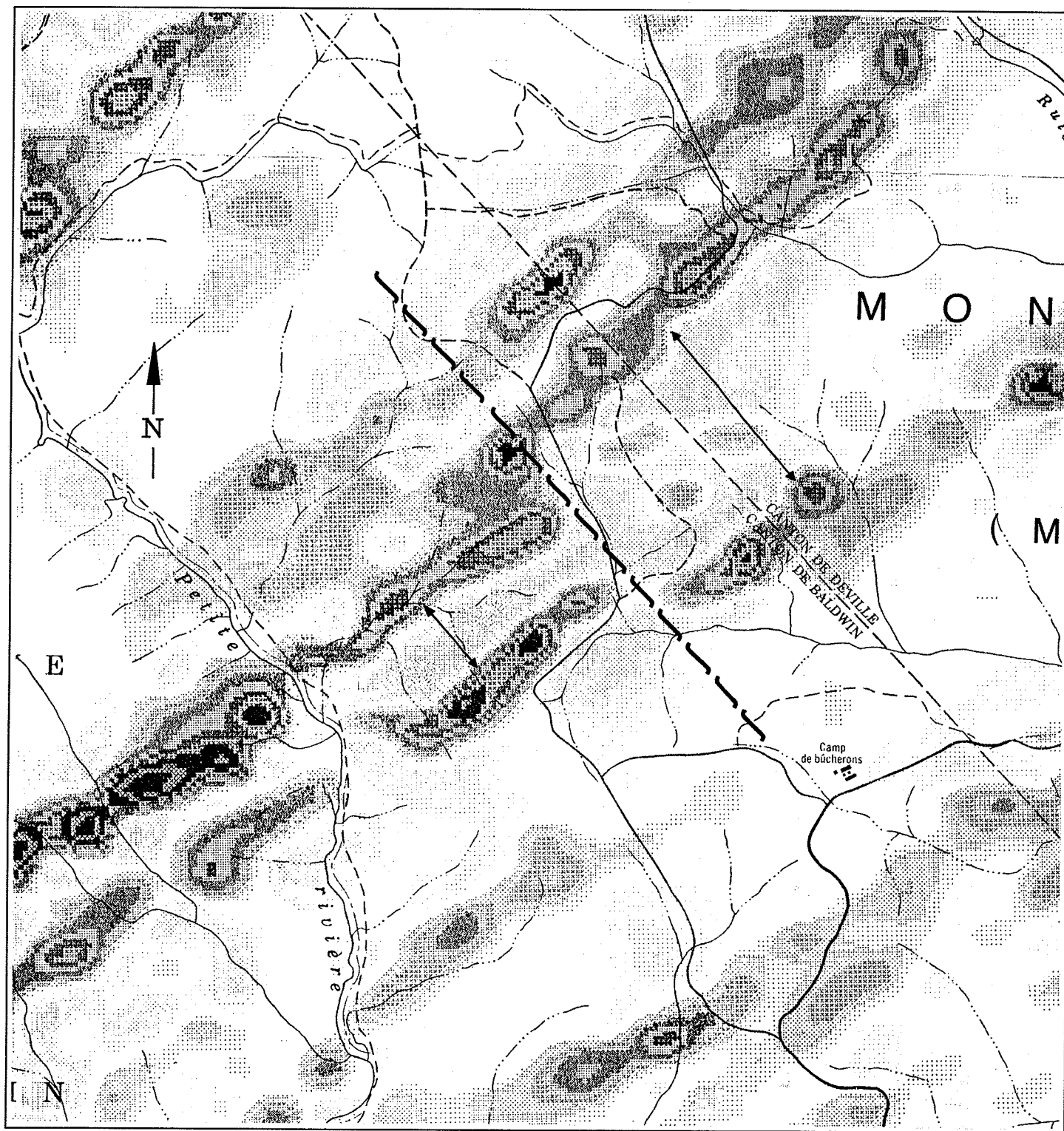


Figure 3.27. Faille de gravité; gradient vertical (22A12e).
1:50,000

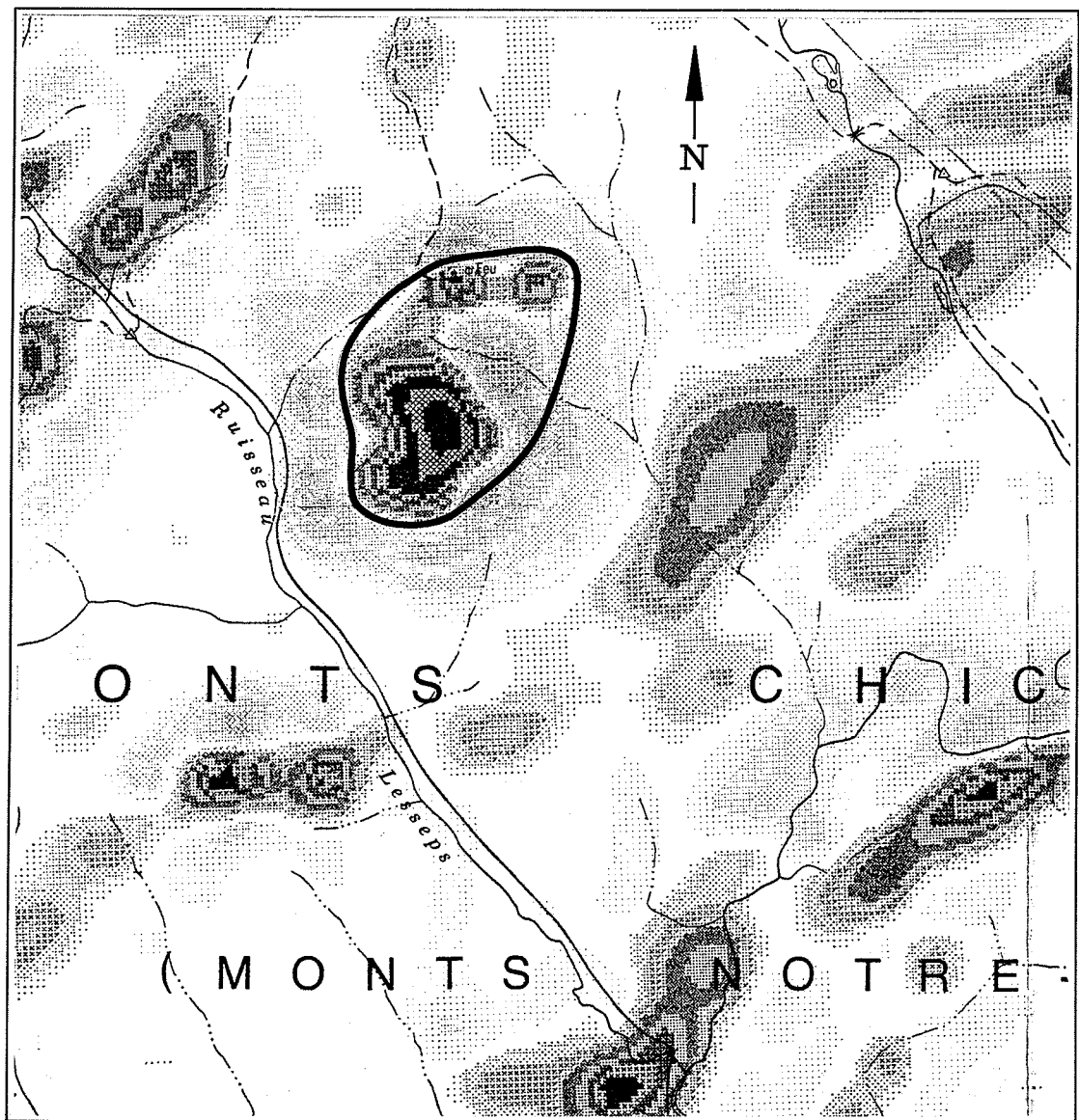


Figure 3.28. Anomalie circulaire; gradient vertical (22A13e).
1:50,000

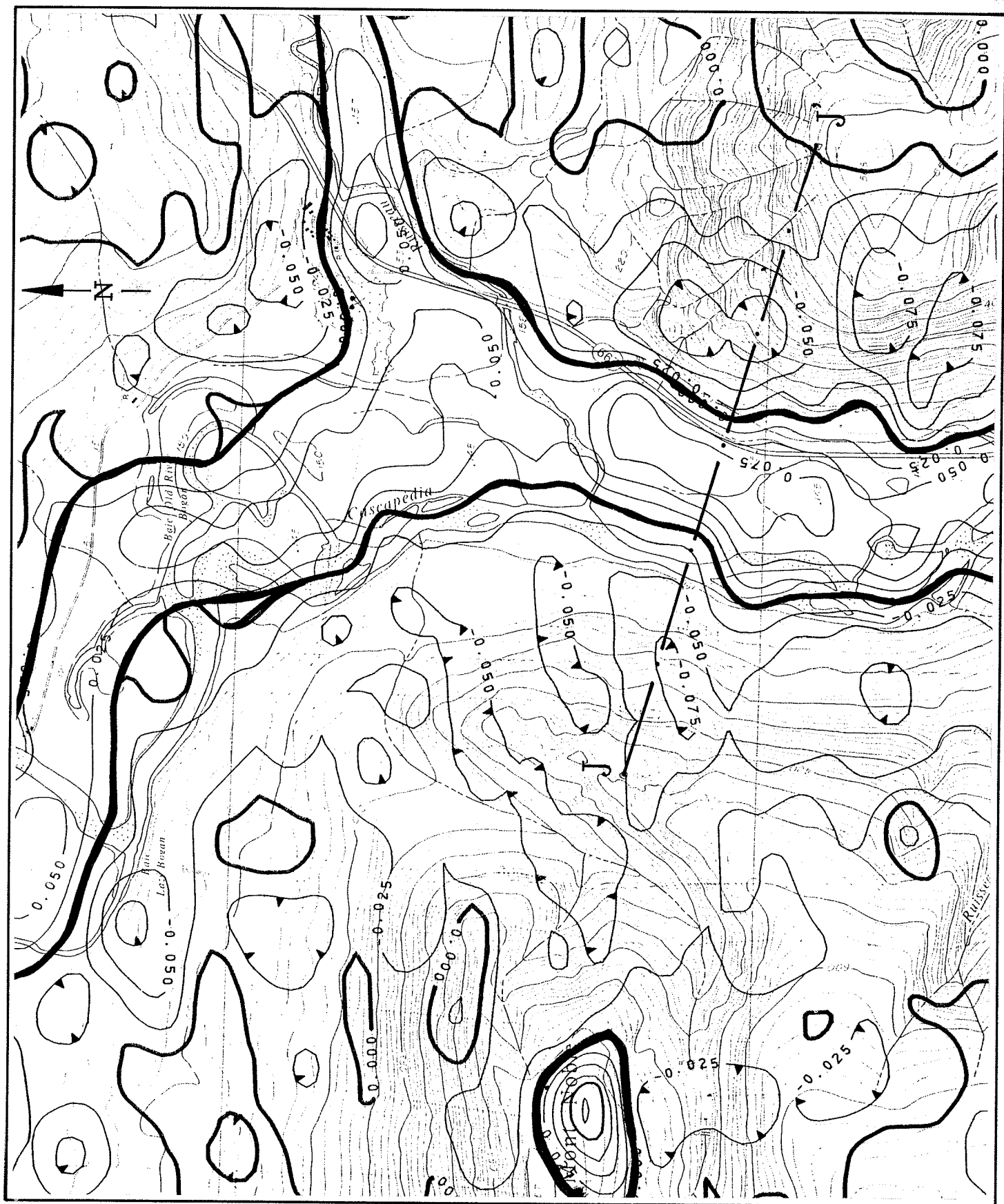


Figure 3.29a. Sédiments magnétiques et anomalie du Mont Noble;
gradient vertical (22B9g). 1:20,000

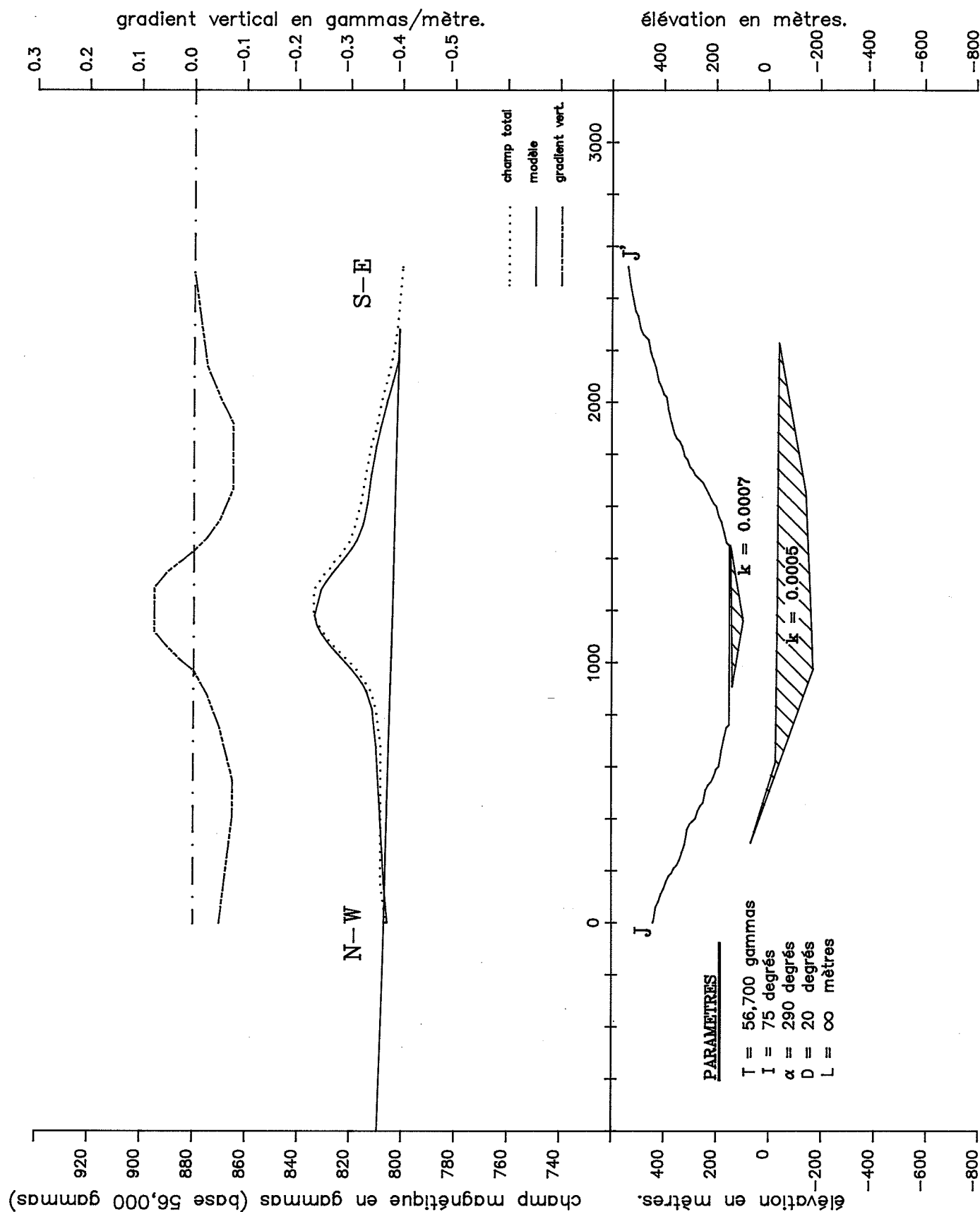


Figure 3.29b. Profil J.

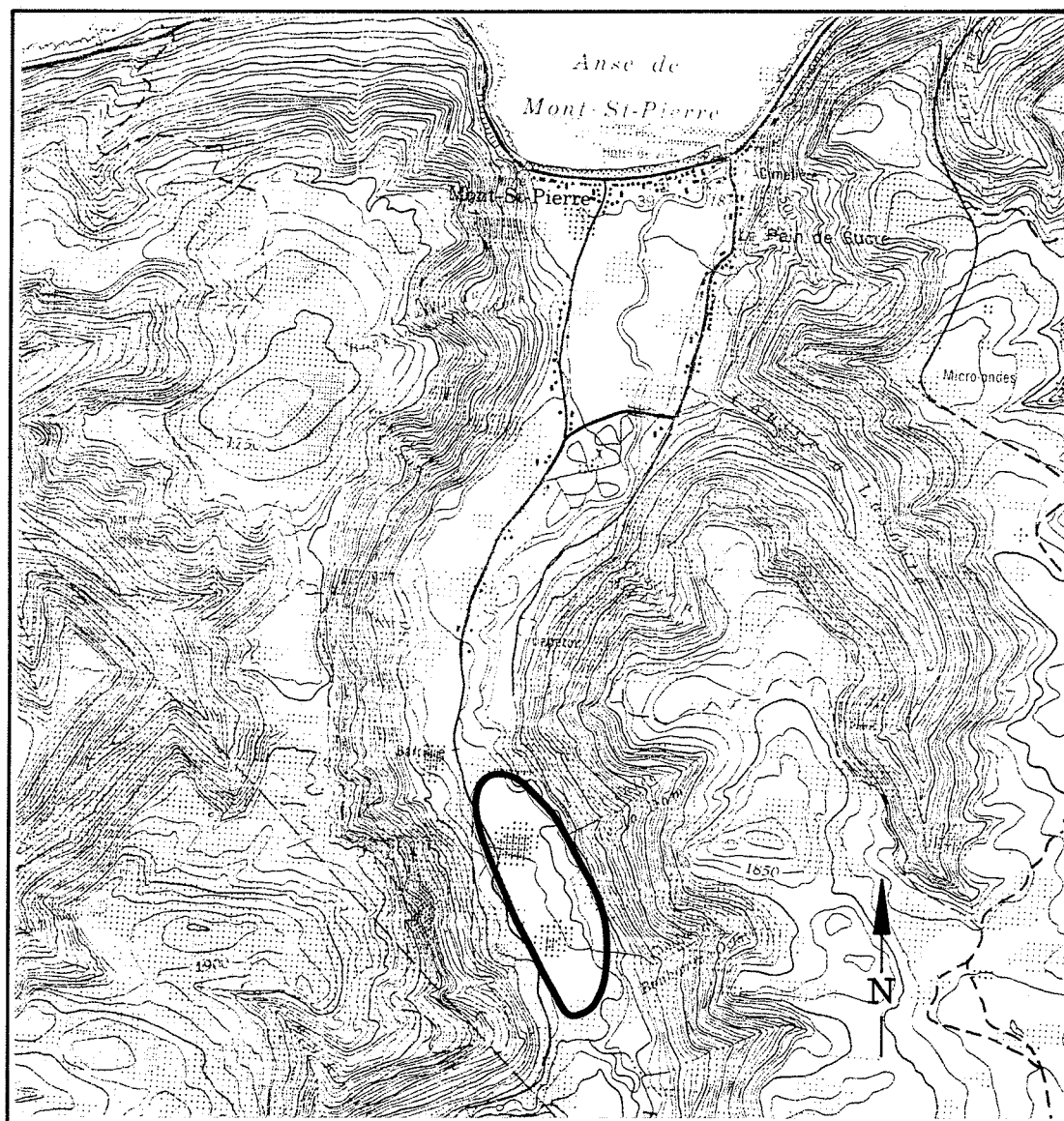


Figure 3.30. Sédiments magnétiques; gradient vertical (22Hae).
1:50,000

3.4. BIBLIOGRAPHIE

On peut trouver des textes sur l'interprétation magnétique dans la plupart des livres sur la géophysique.

Applied Geophysics, W.M. Telford, L.P. Geldart, R.E. Sheriff, D.A. Keys, Cambridge University Press. 1978.

Introduction to Geophysical Prospecting, M.B. Dobrin, McGraw-Hill, 1976.

La géophysique et les propriétés physiques des roches, M.K. Séguin, Les presses de l'Université Laval, 1971.

Il y a aussi un livre intéressant publié par la SEG.

The utility of regional gravity and magnetic anomaly maps, W.J. Hinze, SEG, 1985: Dans ce bouquin plusieurs techniques de rehaussement et de filtrages sont présentées avec des exemples intéressants.

Plusieurs bons logiciels sont maintenant disponibles pour permettre l'interprétation magnétique sur des micro ordinateurs. Citons par exemple celui de la compagnie Géosoft de Toronto et de Interpex aux Etats-Unis.

4. MESURES ELECTROMAGNETIQUES TBF.

La méthode électromagnétique TBF (Très Basses Fréquences) aussi appelé VLF (Very Low Frequency) est une méthode d'exploration géophysique peu coûteuse. Son application à des levés au sol est très populaire dans les régions où la conductivité du sol est relativement faible. Les mesures en système aéroportés présentent cependant plusieurs problèmes d'acquisition et de traitement qui n'ont pas encore été résolus. Aussi l'utilisation des résultats du levé présent ne peut avoir qu'une portée limitée.

4.1. THEORIE.

Toutes les mesures électromagnétiques, et en particulier la méthode TBF, reposent sur l'induction d'un courant électrique dans un conducteur. Ceci est illustré à la figure 4.1. Le phénomène d'induction se produit lorsque le conducteur est traversé par un champ magnétique variable. Le champ magnétique qui cause l'induction est appelé **champ primaire**.

Le courant électrique qui est induit dans le conducteur par le champ primaire génère à son tour un champ magnétique qui aura la même fréquence: c'est le **champ secondaire**. La détection d'un champ secondaire est un très bon indice de la présence d'un conducteur. L'interprétation des mesures du champ secondaire peut permettre de déterminer certaines caractéristiques géométriques et électriques du conducteur qui en est la source.

La source du champ primaire peut être très variée. C'est souvent ce qui distingue les différentes méthodes électromagnétiques. Le sigle TBF (ou VLF) représente un signal électromagnétique émis dans la bande TBF (15 à 30 kHz) par un réseau mondial de stations de communications militaires. Ce signal, émis de façon continue, par de puissantes antennes (jusqu'à 1000 kw) se propage à la surface de la terre sur de grandes distances. La méthode de prospection électromagnétique TBF repose sur l'utilisation de ce signal comme champ magnétique primaire. La méthode offre l'avantage d'utiliser des instruments simples et faciles d'opération, ce qui signifie de faibles coûts d'acquisition des données.

C'est souvent à cause de ses raisons (simplicité et faible coût) que de tels levés sont généralement fait en même temps que les relevés aéromagnétiques.

Il est à noter que le sigle TBF provenant de la nomenclature de la télécommunication radiophonique peut porter à confusion en géophysique. En effet les très basses fréquences de la radio sont de très hautes fréquences

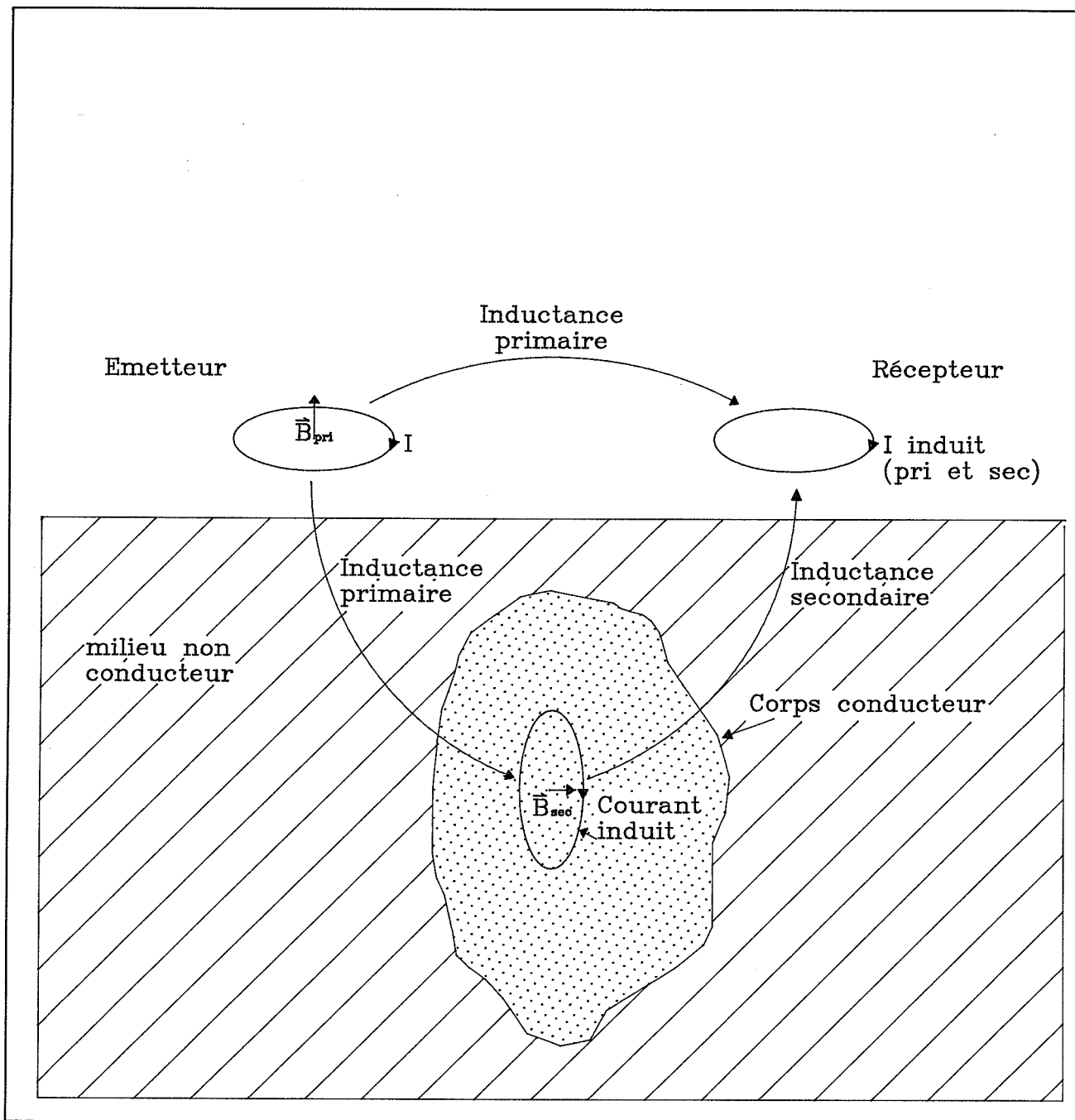


Figure 4.1. Illustration de la méthode électromagnétique.

en prospection électromagnétique. Les autres méthodes électromagnétiques utilisent des fréquences beaucoup plus basses. Elles se situent au alentour de 1Kz.

4.2. METHODES DE MESURES TBF.

4.2.1. Choix des émetteurs

Il est de première importance lors d'un levé TBF de bien choisir le ou les émetteurs qui seront utilisés de même que de bien disposer les lignes de levé.

Les principes qui s'appliquent sont les suivant (figure 4.2): les lignes de levé seront perpendiculaire à la direction des formations géologiques et la station principale sera dans une direction perpendiculaire aux lignes de levé. Cette station sera appelée **en ligne** dû au fait que le champ magnétique primaire sera parallèle aux lignes du levé. Si une deuxième station est utilisée elle sera préférablement choisie en ligne avec les lignes du levé. Elle portera alors le nom de station **ortho** puisque son champ magnétique sera orthogonale aux lignes du levé.

4.2.2. Mesures au sol.

A grandes distances de la source TBF, le champ magnétique primaire est horizontal et uniforme. L'intensité et l'orientation du champ mesuré qui est composée du champ primaire et secondaire sont cependant affectés par des contrastes de conductivité du sous-sol. Ces changements de conductivité amèneront le champ magnétique à être orienté de façon elliptique, c'est à dire à varier dans le temps en suivant une ellipse inclinée dans l'espace (figure 4.3A). Les premiers appareils TBF ont été construit afin de mesurer l'inclinaison () et l'ellipticité () de l'ellipse de polarisation. Tels sont les appareils de mesure EM16 de la compagnie Geonics et RADEM de la compagnie Crone Geophysics.

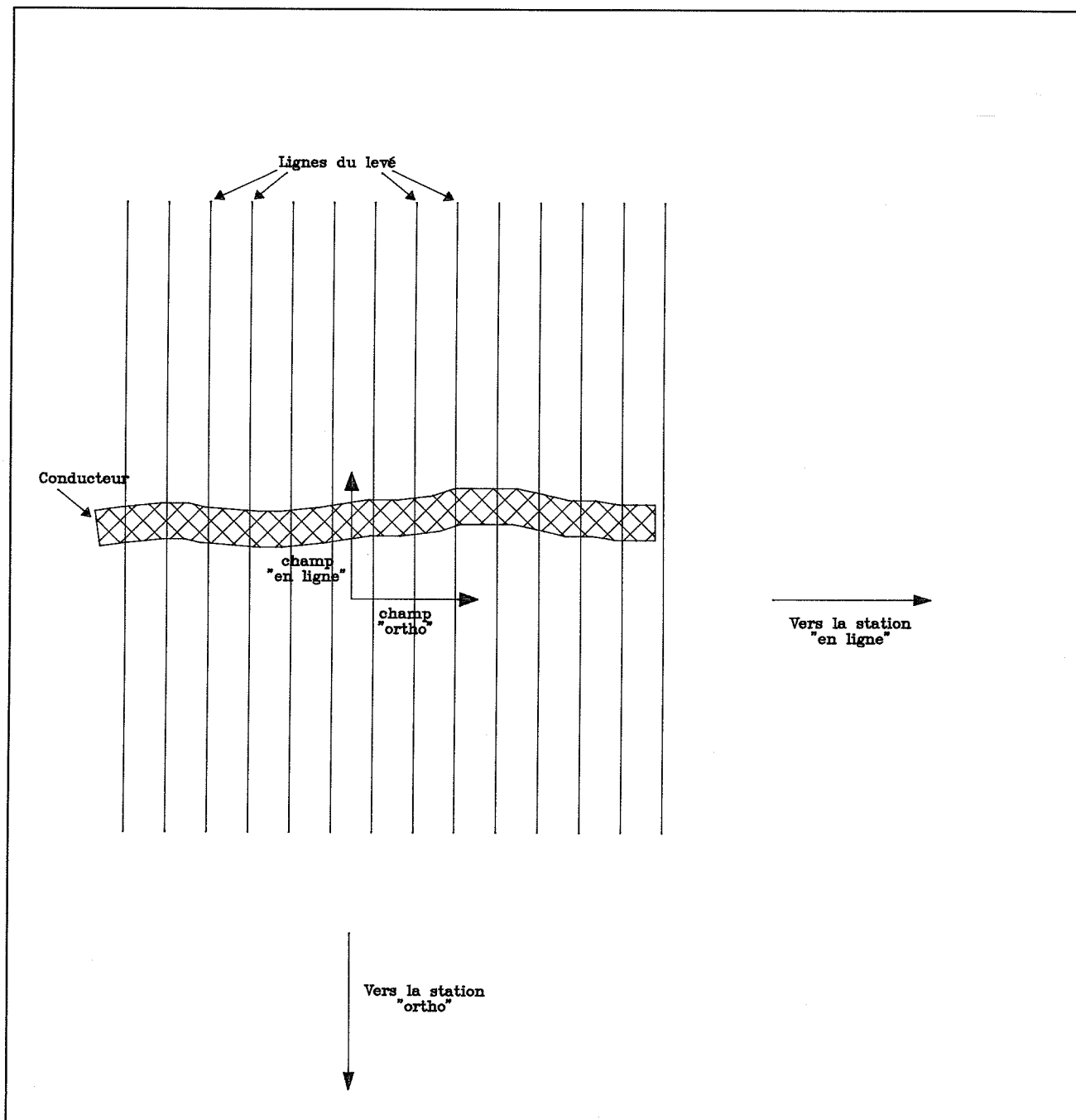


Figure 4.2. Géométrie d'un levé TBF.

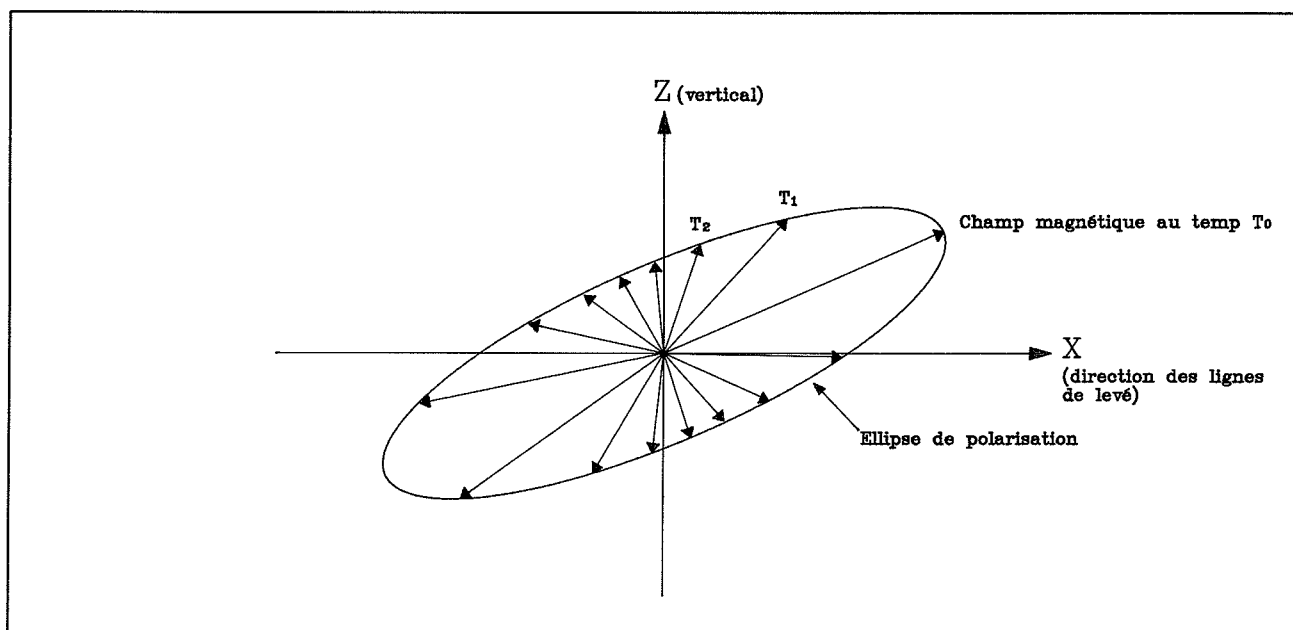


Figure 4.3a. Polarisation elliptique du champ magnétique.

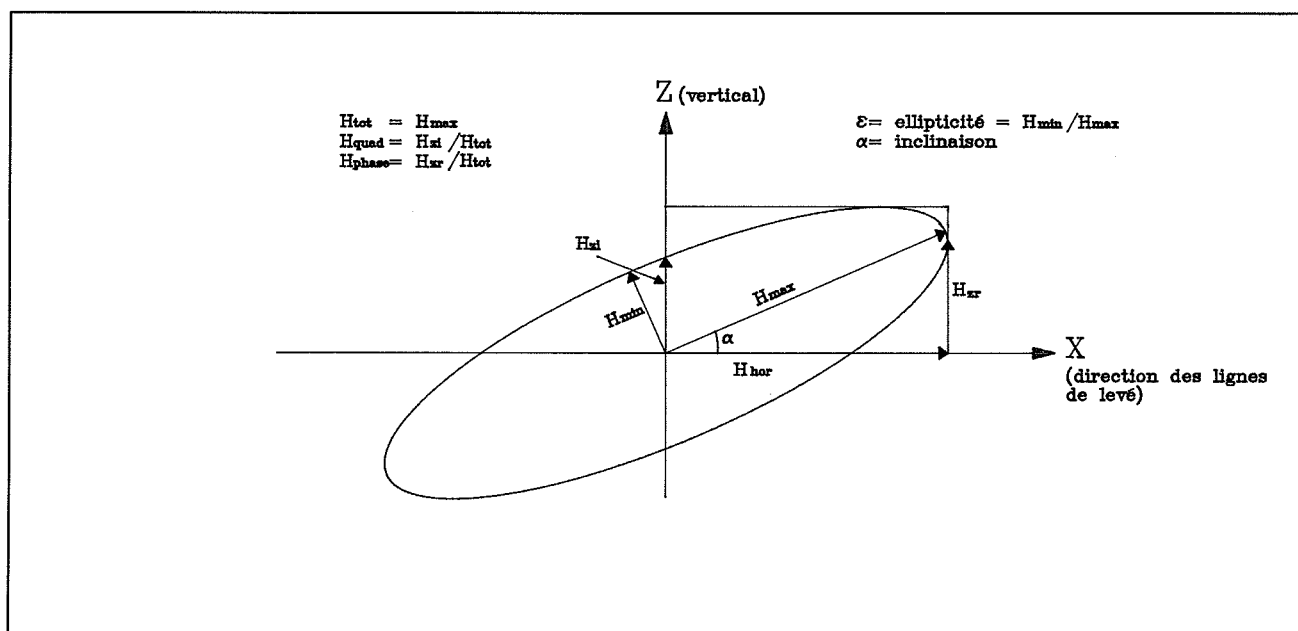


Figure 4.3b. Paramètres mesurés en TBF.

La mesure de l'angle d'inclinaison avec les appareils cités plus haut demande une opération soignée. De plus, elle se prête mal à l'automatisation du processus de mesure. Aussi différents manufacturiers ont proposé de mesurer le rapport entre le champ vertical en phase (H_{2r}) et le champ horizontal au point de mesure. Cette mesure est appelée mesure de la phase et le rapport entre le champ vertical de phase (H_{2i}) et le champ horizontal qui est appelé mesure de la quadrature. Le système VLF-3 de la compagnie Scintrex et le système OMNI PLUS VLF de la compagnie EDA instrument fonctionnent de cette façon. Il est à remarquer que la mesure de l'angle d'inclinaison est approximativement égale à la mesure du champ vertical en phase tandis que la mesure de l'ellipticité est approximativement égale à la mesure du champ déphasé (figure 4.3B).

4.2.3. Mesures à partir d'une plate-forme aéroportée.

La mesure des caractéristiques du champ TBF à partir d'une plate-forme aéroportée est plus complexe à effectuer qu'au sol, à cause des mouvements de la plate-forme et des interférences avec la structure métallique, les moteurs et l'installation électrique de l'aéronef. Ainsi, au cours des années, les manufacturiers ont proposés différentes solutions. Les systèmes récents utilisent un ensemble de trois capteurs magnétiques orthogonaux, placés dans l'avion, l'hélicoptère ou dans un oiseau remorqué, ces trois capteurs permettent de définir complètement le champ électromagnétique. Les deux systèmes utilisés pour le présent levé font partie de cette classe. De plus, ils ont tous deux la possibilité d'enregistrer simultanément sur 2 canaux (2 stations émettrices)

4.2.4. Méthode de traitement et d'interprétation

Il n'existe pas de manière standard pour traiter les données TBF aéroportées.

Cependant, il est reconnu que les contracteurs effectueront différents traitements sur les données afin d'améliorer la présentation.

Afin de niveller les données entre les lignes, la procédure habituelle est de calculer la moyenne pour une ligne, et de soustraire la moyenne sur toute la ligne. Ceci peut cependant entraîner des distortions des anomalies d'une ligne à l'autre.

Pour enlever la dérive diurne du champ TBF, certains passent les données à travers un filtre passe-haut, ou enlèveront une dérive calculée à partir d'une régression polynomiale. Les données sont aussi souvent passées à travers un filtre passe-bas, afin de les lisser, d'enlever l'effet du bruit atmosphérique, et d'améliorer la présentation.

Une autre méthode consiste à présenter le gradient horizontale du signal ceci a pour effet d'enlever la dérive diurne et de placer les maxima au dessus des conducteurs. Cette technique n'est valable que pour les mesures de la quadrature, elle a été utilisée par la compagnie Sanders lors de levé en Gaspésie.

La technique habituelle d'interprétation des résultats de levé électromagnétique est de comparer les résultats observés aux résultats obtenus lors de simulation mathématique ou par comparaison avec des modèles réduits en laboratoire. Différents auteurs ont publiés les résultats de simulation au-dessus de corps simples, pour des levés TBF au sol. Il n'existe présentement pas d'étude de modèles TBF pour les systèmes aéroportés. Ainsi ils sont extrapolés à partir des modèles pour les levés au sol. Au-dessus d'un conducteur local, on observe une anomalie d'inversion de signe pour la quadrature et une anomalie en forme de bosse pour le champ total.

Dhanasekaran et Poddar (1985), cité dans la section bibliographique ont publié un programme calculant la réponse VLF d'un corps conducteur situé

dans un demi-espace non-conducteur. Ce programme peut facilement être utilisé sur micro-ordinateur.

4.3. SOURCE D'ERREUR DANS LES MESURES AEROPORTES

Les mesures aéroportées sont prises de façon continue. De plus, elles demandent que l'intensité du champ TBF primaire soit stable lors de la mesure. Différents phénomènes qui ne sont pas reliés à la géologie locales peuvent les affecter.

4.3.1. Variations du champ primaire

Les différents émetteurs, une journée par semaine, cessent d'émettre, pour des fins d'entretien. En plus de ces périodes prévues les émetteurs peuvent cesser d'émettre pour des périodes variant entre 10 secondes et 30 minutes, à cause de problèmes reliés au système d'émission. Lors de la reprise du signal, l'intensité prendra un certain temps à se stabiliser. Les mesures prise durant les périodes instables seront alors plus ou moins fiables.

De même, le champ TBF se propage entre le sol et l'ionosphère. Des changements dans les propriétés de ce milieu affecteront l'intensité du champ magnétique. Or, la partie de l'ionosphère qui réfléchit les ondes TBF, (située entre 60 et 90 km d'altitude) est fortement affectée par le rayonnement solaire. Ainsi, il existe une grande différence dans l'intensité du champ magnétique entre le jour et la nuit, avec des variations rapides et importantes du champ au levé et au coucher du soleil. Pendant le jour, le champ TBF est relativement stable, avec une faible dérive.

Une troisième cause pouvant affecter les mesures TBF provient des orages qui se produisent tout autour de la planète. L'énergie électromagnétique provenant de ces orages se propage de la même façon que le signal TBF, et affectera la mesure. On observe toujours un faible bruit provenant de ces orages. Ces bruits sont plus fort près de l'équateur où se situe les principales zones d'orages.

4.3.2. Variation dans l'altitude et la topographie

Il a été démontré que des variations dans l'altitude de vol ainsi que la topographie locale peuvent influencer fortement les mesures TBF. Ce problème est particulièrement important en Gaspésie où une grande partie du levé est à relief accidenté.

4.4. EVALUATION DE LA METHODE SUR LA REGION ETUDIEE.

Les signaux provenant de deux stations émettrices ont été utilisés: Cutler situé dans l'état du Maine et dont les lettres d'appel sont NAA et Annapolis au Maryland (NSS). L'orientation du champ magnétique provenant de Cutler est de 105° nord et de 130° nord pour Annapolis. La figure 4.4 montre la géométrie utilisée. Comme on peut le constater cette géométrie est assez loin d'une géométrie idéale tel que présenté à la figure 4.2. Les deux stations utilisées sont situées dans un cadran qui les classent "ortho". La station Annapolis a cependant été définie comme station "en ligne". Pour obtenir une vraie station en ligne il aurait fallu choisir la station de Moscou ou celle de Seattle, cependant il est probable que la qualité de réception de ces stations qui sont très éloignée, a empêché un tel choix.

Le problème de la mauvaise sélection des stations et de la direction des lignes de vol est souvent insurmontables puisque les lignes de vol sont généralement choisies à partir des critères dictés pour le levé aéromagnétique.

On doit noter ici qu'il y a une différence dans la présentation des résultats entre les cartes produites par la compagnie Sanders et celles produites par Les Relevés Géophysiques. La première utilisant les traits pleins pour la station Annapolis tandis que la seconde utilise le trait plein pour la station orthogonale qui est Cutler. De même tel que mentionné précédemment la compagnie Sanders a présenté le gradient horizontal des mesures en quadrature au lieu des mesures en quadrature.

A l'étude des résultats on peut remarquer que de nombreux problèmes rendent les résultats à peu près inutilisable. Le principal problème étant lié au fort relief de la Gaspésie. La plupart des anomalies peuvent être corréllé à la topographie. Certaines autres sont causée par la présence de lignes de transmission. Comme exemples d'anomalie causée par les lignes de transmission citons celles au-dessus des lignes électriques près de

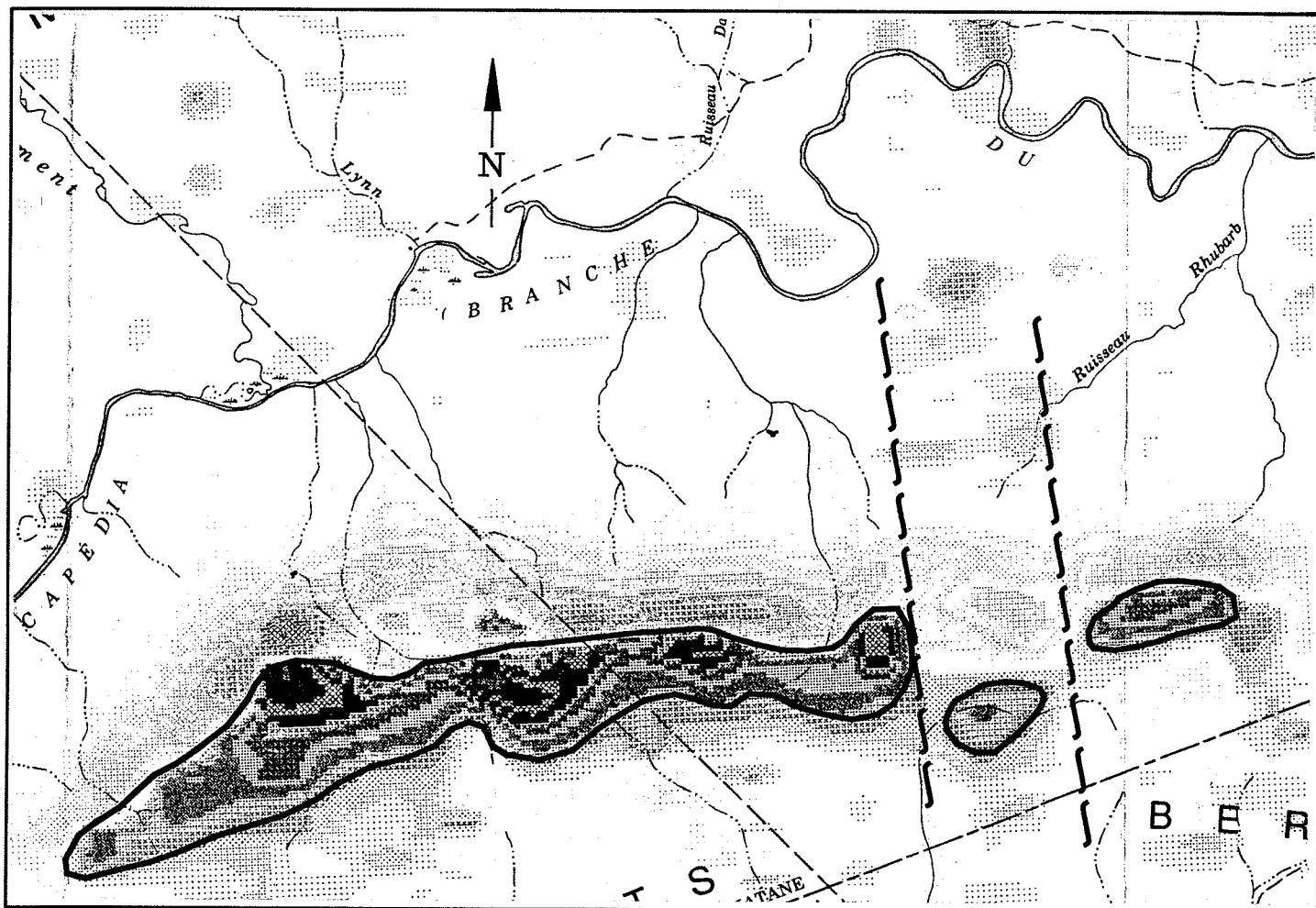


Figure 3.25. Dyke mafique; gradient vertical (22B9e).
1:50,000

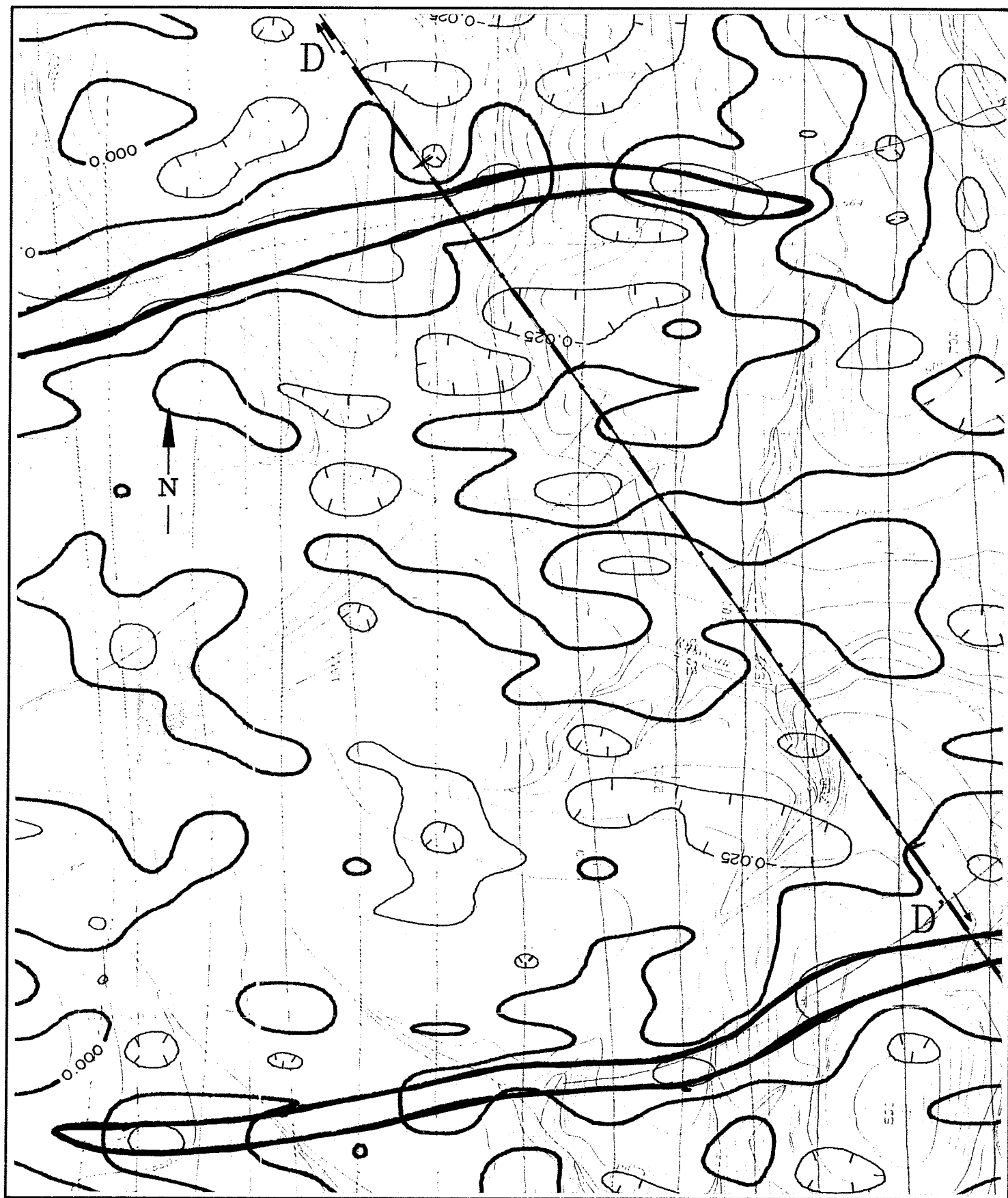


Figure 3.26a. Dykes profonds; gradient vertical (22B7g).
1:20,000

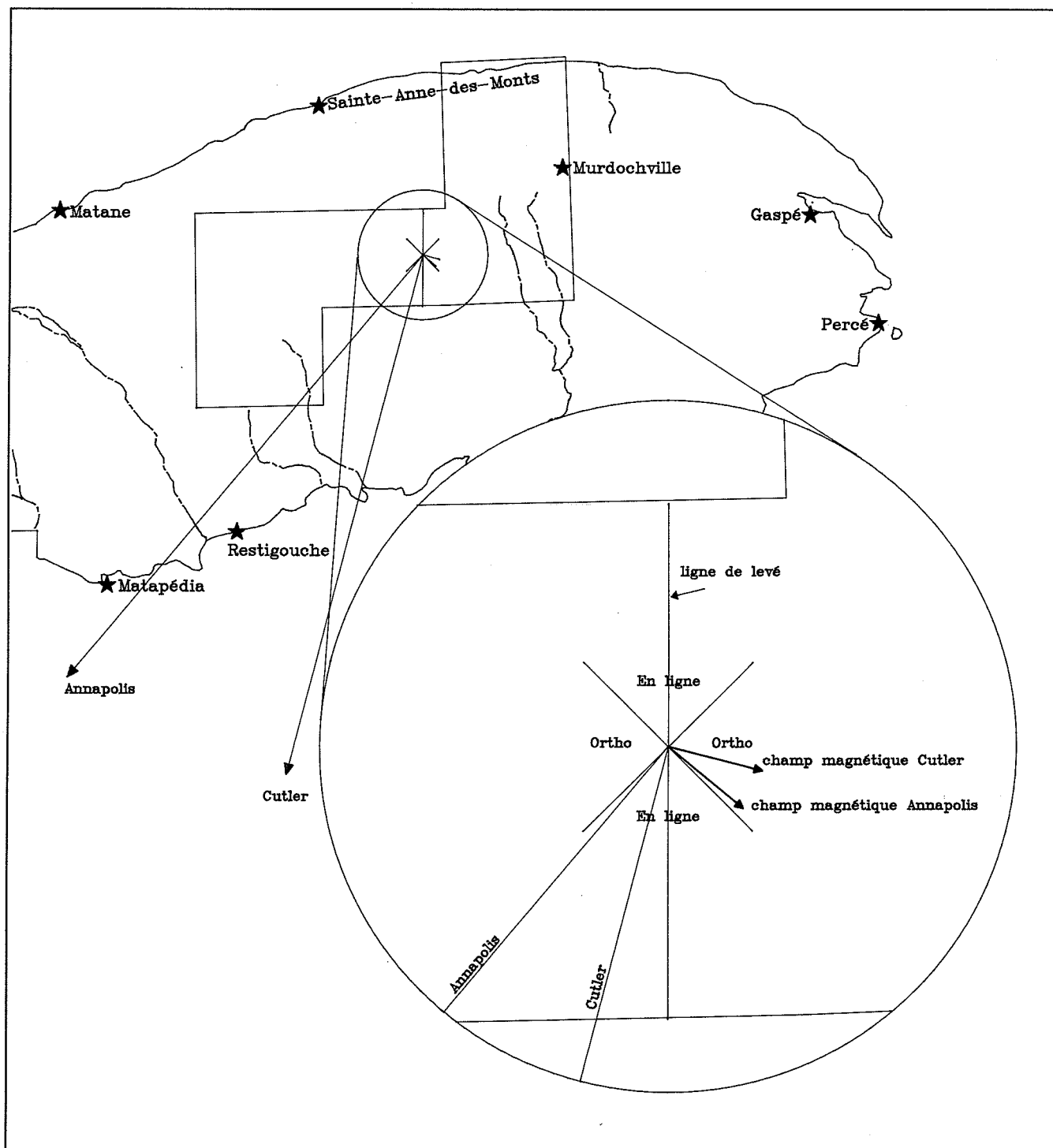


Figure 4.4. Géométrie du levé TBF en Gaspésie.

Murdochville. Celles-ci sont bien visible sur les profils de champ total de la carte 22A/13.

4.5. CONCLUSIONS.

L'acquisition des mesures de la méthode EM-TBF est relativement facile et peu dispendieuse. Cependant, l'interprétation des résultats dans une région telle que la Gaspésie, où la topographie est très accidentée, devient très compliquée en raison de l'influence de la topographie sur les mesures. Etant donné que cet effet n'a jamais été étudié à fond dans un contexte aéroporté, nous devons conclure que les résultats des levés représentés à l'endos des cartes TBF (VLF) ou 1/50 000, sont très difficilement utilisables pour la prospection ou la cartographie géologique.

4.6. BIBLIOGRAPHIE

Pour ceux qui voudraient approfondir leurs connaissances sur la méthode EM-TBF, et même tenter d'interpréter certaines parties des levés, nous proposons les textes suivants comme lecture complémentaire. Il n'existe malheureusement pas de référence générale sur la méthode EM-TBF aéroportée.

VLF Interpretation manual, James L. Wright : Cahier produit pour la compagnie EDA instrument donnant de bonnes explications de la méthode et des techniques d'exploitation.

Model studies of the VLF-EM method of geophysical prospecting. D.P. Coney, 1977, *Geoexploration*, 15, 19-35.: Présentation de résultats de simulations analogiques de la réponse TBF au-dessus de corps conducteurs.

A program to compute EM scattering of plane wave by a perfectly conducting half-plane in a finitely conducting layered half-space. P.C. Dhanasekaran, M. Poddar, 1985, *Computers and Geosciences*, vol. 11, no. 1, 1-17.: Présentation d'un programme pour calculer les modèles TBF.

Operating Manual for EM16 VLF-EM. Geonics, 1987,: Ce livre d'instruction produit par la compagnie Geonics pour le EM-16 peut donner une bonne vue d'ensemble sur la méthode.

Airborne EM instruments operating at VLF and higher frequencies. A. Herz, 1986, dans G.J. Palacky, ed., *Airborne Resistivity Mapping*, *Com. Geol. Can.*, paper 86-22.: Présentation simple des différents systèmes VLF aéroportés qui ont été développés à travers les années.

Electromagnetic prospecting for minerals, J. Klein, J.J. Lajoie, 1980, dans R.V. Blaricom, ed., *Practical Geophysics for the Exploration Geologist*, Northwest Mining Association, Spokane.: Ce texte présente en termes simples,

accompagnés d'exemples, les différentes méthodes électromagnétiques utilisées pour l'exploration minière.

Five years of surveying with the Very Low Frequency/Electromagnetics method.
N.R. Paterson, V. Ronka, 1971, Geoexploration, 9, 7-26.: Article classique sur les principes de la méthode VLF appliquée à la prospection de conducteurs enfouis. Bonne explication de la méthode d'angle d'inclinaison.

VLF Radio Engineering, A.D. Watt, 1967, Pergamon Press Inc.: Mine de renseignements de toutes sortes sur les antennesémettrices et la propagation radio dans la bande TBF.

ANNEXE A: METHODES SIMPLES D'INTERPRETATION MAGNETIQUE

1. Calcul de la profondeur par la méthode de la demi-pente (anomalie en champ total)

- 1- Tracer une ligne horizontale sous l'anomalie (position arbitraire)
- 2- Tracer la pente maximum (tangente au point d'inflexion) sur chacun des flancs de l'anomalie et tracer la verticale à partir de leur point de rencontre
- 3- Trouver la mi-hauteur sur la verticale et joindre au point a et b pour obtenir les demi-pentes
- 4- Reporter les demi-pentes sur la courbe (en glissant une équerre sur une autre)
- 5- Tracer les verticales à partir des nouveaux points de tangence pour obtenir les distances d_1 et d_2 .

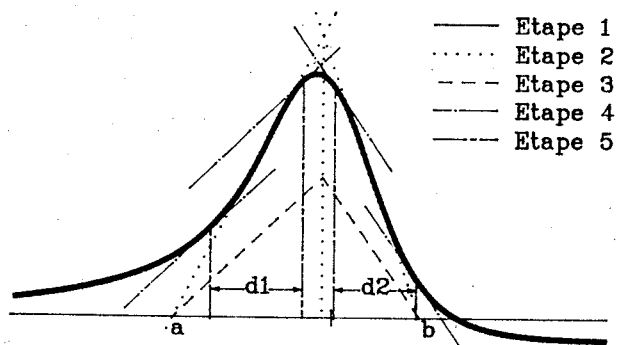


Figure A.1. Méthode de la demi-pente

$$\text{Profondeur du sommet} = C * \frac{(d_1 + d_2)}{2}$$

- où
- C = .8 pour un dyke mince (anomalie pointue)
 - C = .5 pour un dyke très large (anomalie large)
 - C = .65 pour un dyke dont la largeur égale deux fois la profondeur (cas général)

Cette méthode suppose une anomalie causée par un dyke de longueur infinie (au moins 5 fois plus long que large) et pourrait donner des résultats erronnés si la source était une sphère ou un cylindre vertical. Cette méthode a l'avantage de ne pas nécessiter la détermination du niveau zéro de l'anomalie.

2. Approximation de la profondeur à partir de la demi-largeur (anomalie en champ total)

- 1- La ligne horizontale doit correspondre au niveau zéro de l'anomalie (moyenne régionale).
- 2- Tracer la verticale à partir du point maximum.
- 3- Trouver la mi-hauteur entre le niveau zéro et le point maximum, et reporter sur le flanc le plus abrupt.
- 4- Tracer la verticale à partir de la demi-hauteur pour obtenir la distance d .

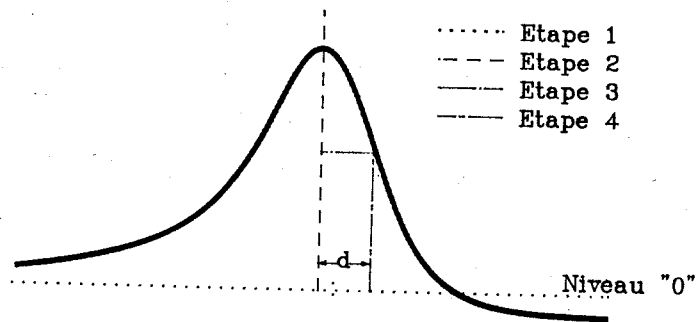


Figure A.2. Méthode de la demi-largeur

La profondeur du sommet varie selon le modèle présumé:

modèle	profondeur
Dyke mince (ligne de pôles)	d
Cylindre vertical (pôle)	$1.3 d$
Sphère (dipôle) et cylindre horizontal (ligne de dipôles)	$2 d$

3. Calcul de la profondeur par la méthode de la pente maximum
(anomalie en gradient vertical)

- 1- La ligne horizontale doit correspondre au niveau zéro
- 2- Tracer la pente maximum sur chaque flanc de l'anomalie.
- 3- Tracer les verticales à partir des points où la pente maximum quitte la courbe pour obtenir les distances d1 et d2.

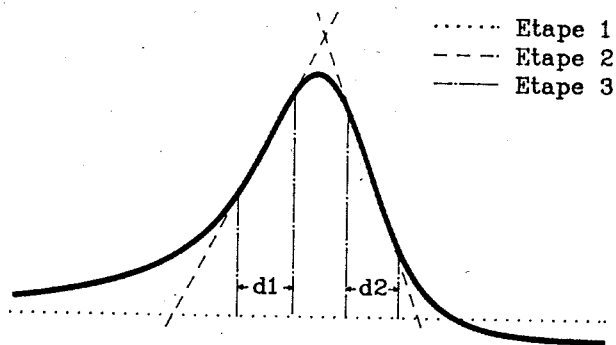


Figure A.3. Méthode de la pente maximum.

$$\text{Profondeur du sommet} = C * \frac{(d_1 + d_2)}{2}$$

- où
- | | |
|---------|---|
| C = 1.5 | pour un dyke mince |
| C = 1 | pour un dyke très large ou un contact |
| C = 2 | pour une sphère ou un cylindre vertical |

4. Calcul du pendage (anomalie en champ total)

Dans le cas d'un dyke épais (au moins deux fois plus large que profond), infini en longueur et en profondeur, et ne démontrant pas de magnétisation rémanente, le pendage () peut être approximé à partir de la formule suivante:

$$= 2I + \quad - 90$$

$$\text{où } I = \tan^{-1} (\tan i / \cos d)$$

où i = inclinaison du champ terrestre

d = angle entre le nord magnétique et l'axe positif du profil

Le niveau zéro de l'anomalie doit être connu et , dans la formule ci-haut, est obtenu à partir de l'abaque à la page suivante. La valeur de doit être calculée à partir de la formule suivante:

$$= \frac{\text{amplitude du maximum}}{\text{amplitude du minimum}} \quad \text{sur l'anomalie champ total}$$

La valeur de est additionnée lorsque la partie négative de l'anomalie est située dans la direction de l'axe positif du profil, et soustraite lorsque c'est la partie positive qui est située dans cette direction. Lorsque l'anomalie est parfaitement symétrique, $= 0$, alors que dans le cas d'amplitudes positives et négatives égales, $= +90$.

La valeur du pendage ainsi obtenue doit être mesurée à partir de l'axe positif du profil.

5. Calcul de la susceptibilité et du % de magnétite (anomalie en champ total)

Pour un dyke tel que décrit précédemment, le contraste minimum de susceptibilité est donné par la formule suivante:

$$k \approx .3 \ A / T$$

où A = amplitude totale (pic à pic) de l'anomalie

T = intensité du champ magnétique terrestre ambiant

A partir de la valeur de k, il est possible de calculer approximativement le pourcentage en volume de magnétite:

$$\% \text{ de magnétite} = 333 * k$$

A noter que k représente le contraste de susceptibilité et que le pourcentage calculé représente la concentration volumétrique de magnétite en excès de la roche encaissante. De plus, tel que mentionné ci-haut, la valeur de k est minimale et peut parfois s'avérer inférieure à la vraie susceptibilité par un facteur de 10.

ANNEXE B: MODELES MAGNETIQUES

Vingt modèles ont été utilisés afin d'obtenir un catalogue de courbes permettant de reconnaître les effets de diverses géométries de corps magnétisés.

Les calculs ont été effectués à partir des paramètres du champ magnétique terrestre tels qu'observés dans la péninsule gaspésienne soit un champ total 'T' de 56,700 gammas et une inclinaison 'I' de 75°. (fig 38a) Les résultats peuvent toutefois être considérés représentatifs d'anomalies magnétiques observées ailleurs au Canada et au nord des Etats-Unis, à l'exception des régions situées autour de la baie d'Hudson et près du cercle polaire, où le champ magnétique approche 90° d'inclinaison.

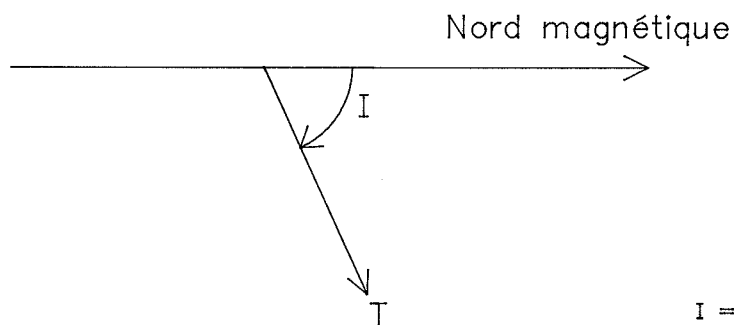
Quatre modèles ont été simulés: le dyke, les prismes vertical et horizontal et le cube (sphère). Les principaux paramètres qui furent variés sont l'orientation, le pendage, la profondeur, la largeur et la susceptibilité. Il est à noter que les corps orientés nord-sud démontrent une anomalie qui est toujours symétrique et positive.

Les figures B.1 B.2 et B.3 identifient les paramètres utilisés pour la description des modèles.

MODELE NO.

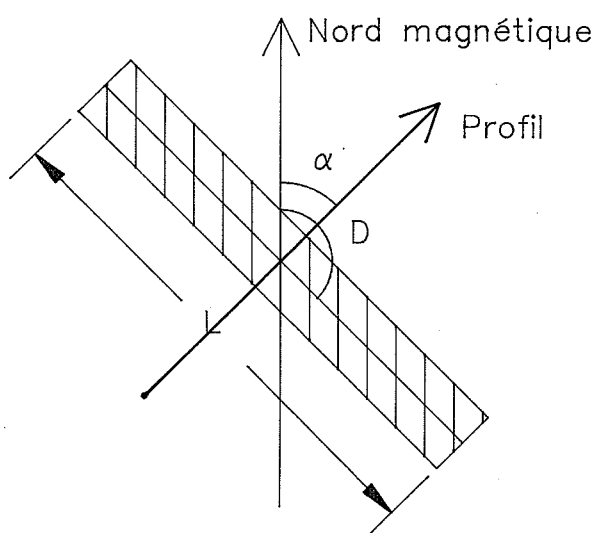
DESCRIPTION

- 1 Dyke Nord-Sud (5% de magnétite).
- 2 Dyke Nord-ouest - Sud-est.
- 3 Dyke Est-Ouest.
- 4 Dyke incliné 30° vers le nord.
- 5 Dyke incliné 30° vers le sud.
- 6 Dyke Est-Ouest épais ($s/H = 6$).
- 7 Dyke Nord-Sud épais.
- 8 Dyke mince ($s/H = 0.2$).
- 9 Dyke profond ($s/H = 0.1$).
- 10 Prisme vertical.
- 11 Prisme incliné 30° vers le nord.
- 12 Prisme incliné 30° vers le sud.
- 13 Prisme de faible dimension ($s/H = 0.33$).
- 14 Prisme de grande dimension (1% de magnétite).
- 15 Prisme profond de grande dimension.
- 16 Sphère.
- 17 Sphère de petite dimension ($s/H = 0.2$).
- 18 Sphère profonde ($s/H = 0.2$).
- 19 Prisme horizontal.
- 20 Prisme horizontal large.



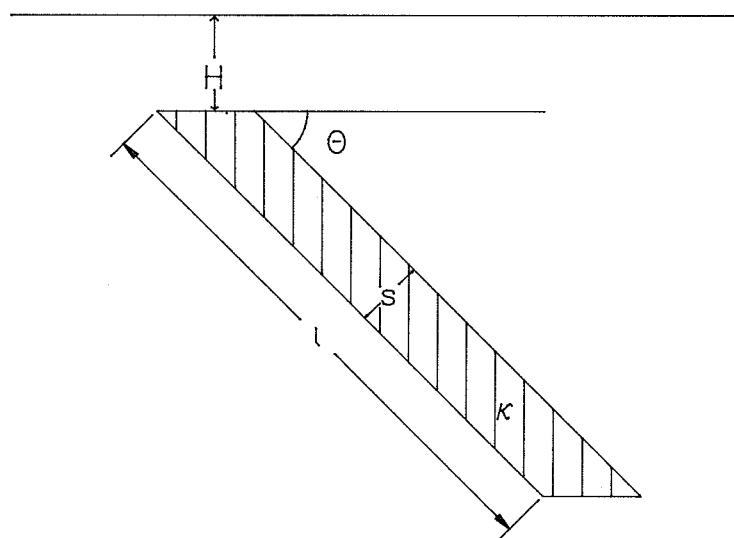
I = inclinaison en degrés
T = intensité en gammas

Figure B.1. Coupe verticale du champ magnétique terrestre.



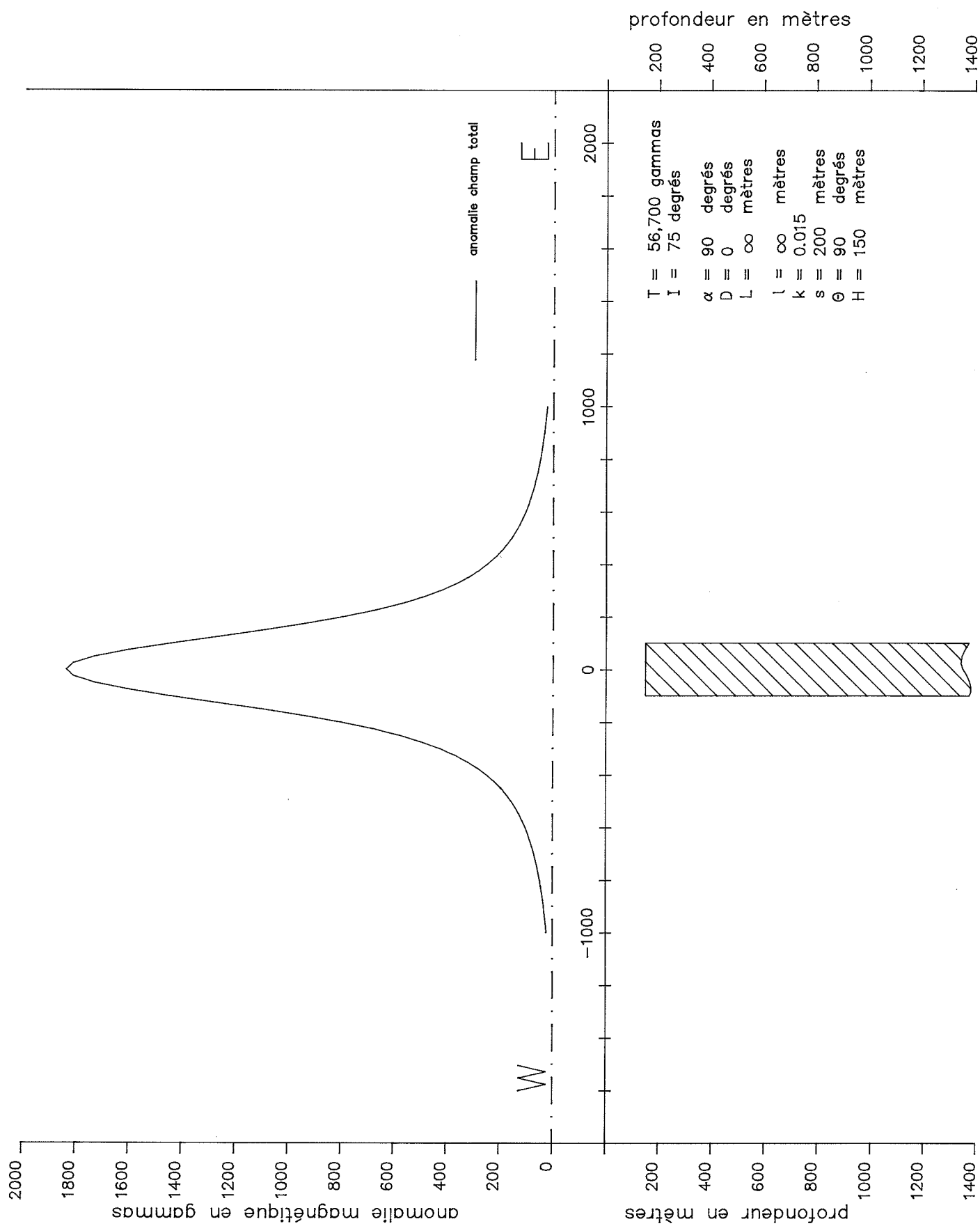
α = direction du profil en degrés
D = direction du corps en degrés
L = longueur du corps en mètres.

Figure B.2. Vue en plan du corps magnétique.

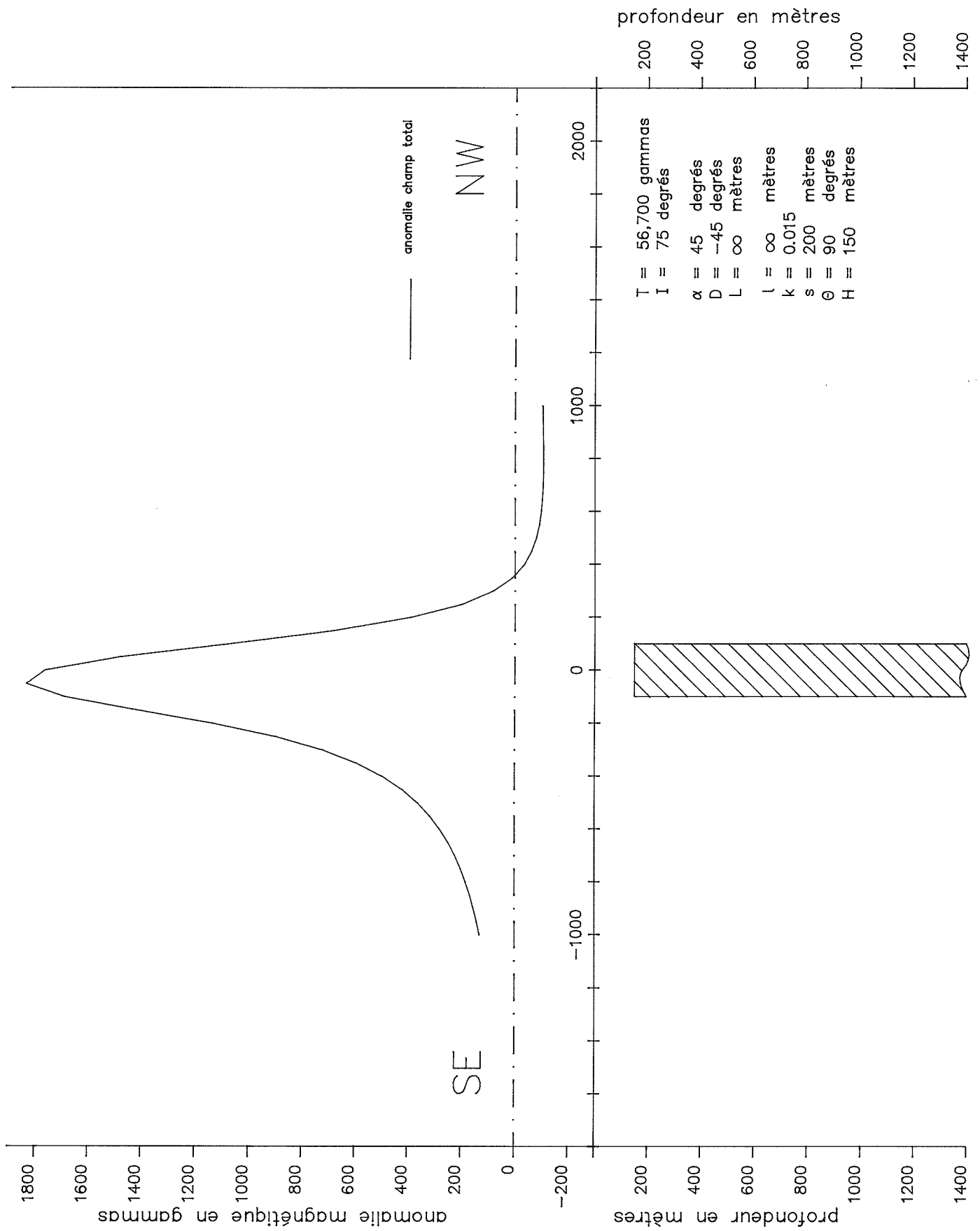


l = extension en mètres
k = susceptibilité en 10^{-6} CGS
s = épaisseur en mètres
 θ = pendage du corps en degrés.
H = distance capteur-sommet du corps

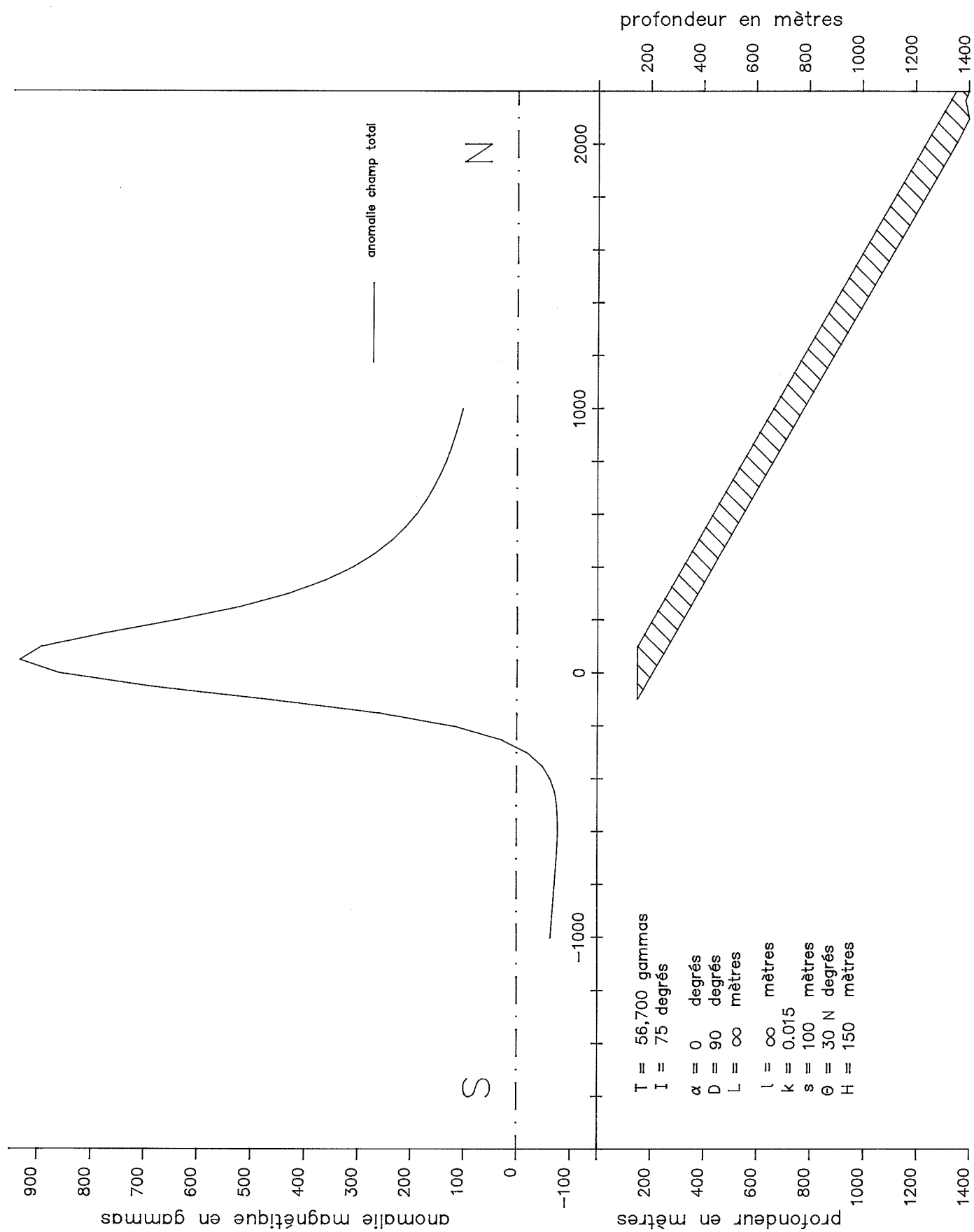
Figure B.3. Coupe du corps magnétique



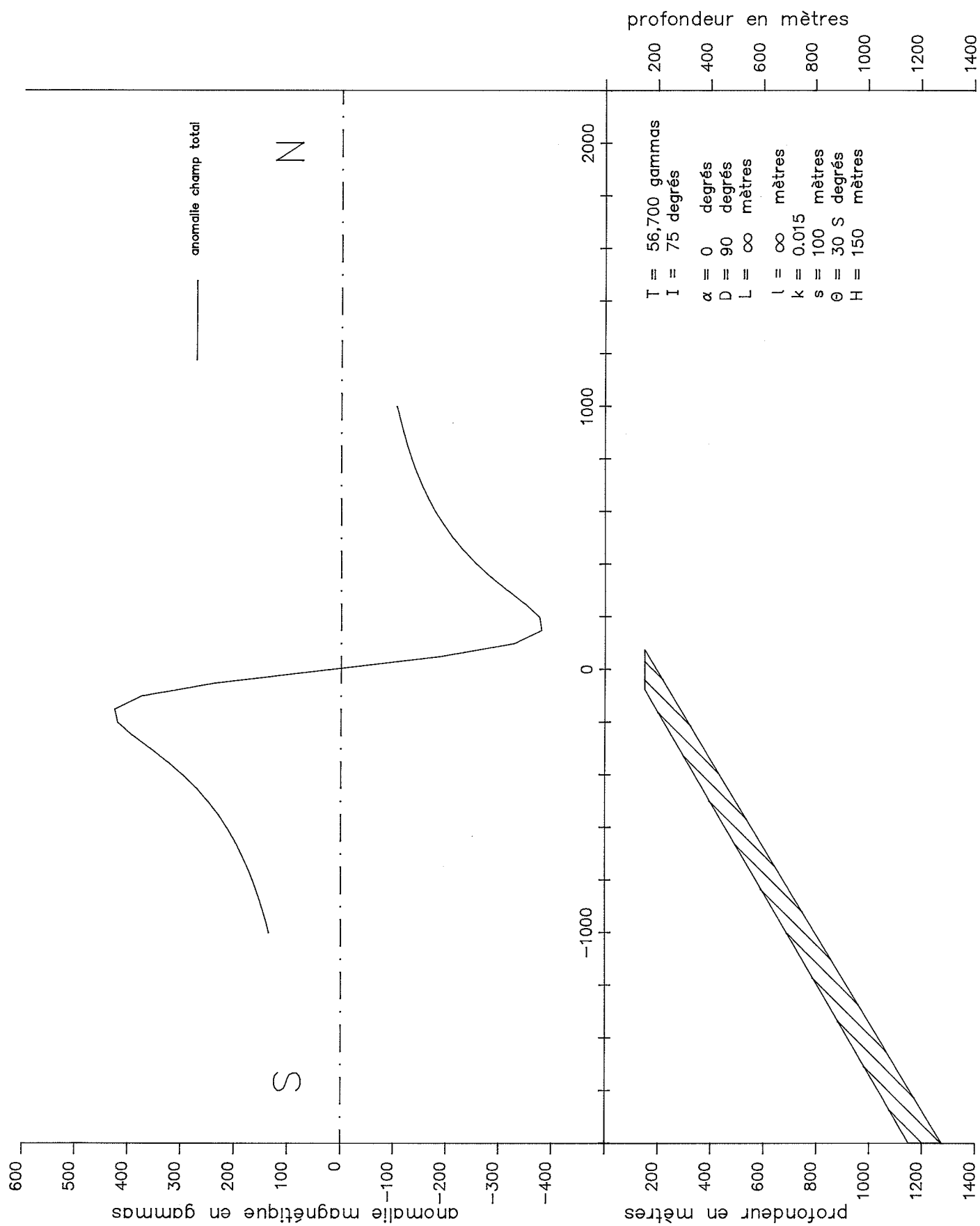
Modèle no 1. Dyke nord-sud (5% de magnétite).



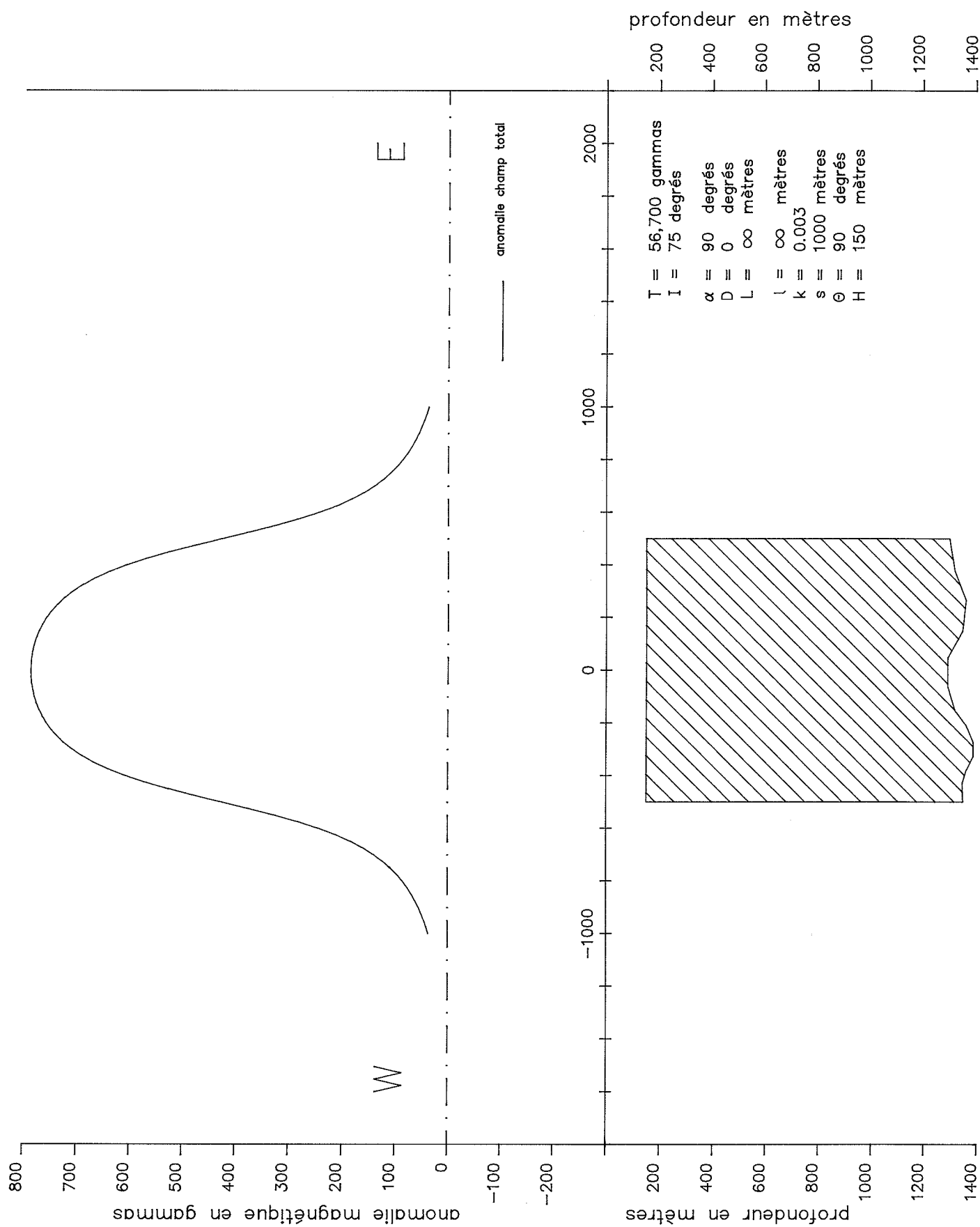
Modèle no 2. Dyke nord-ouest sud-est (5% de magnétite).



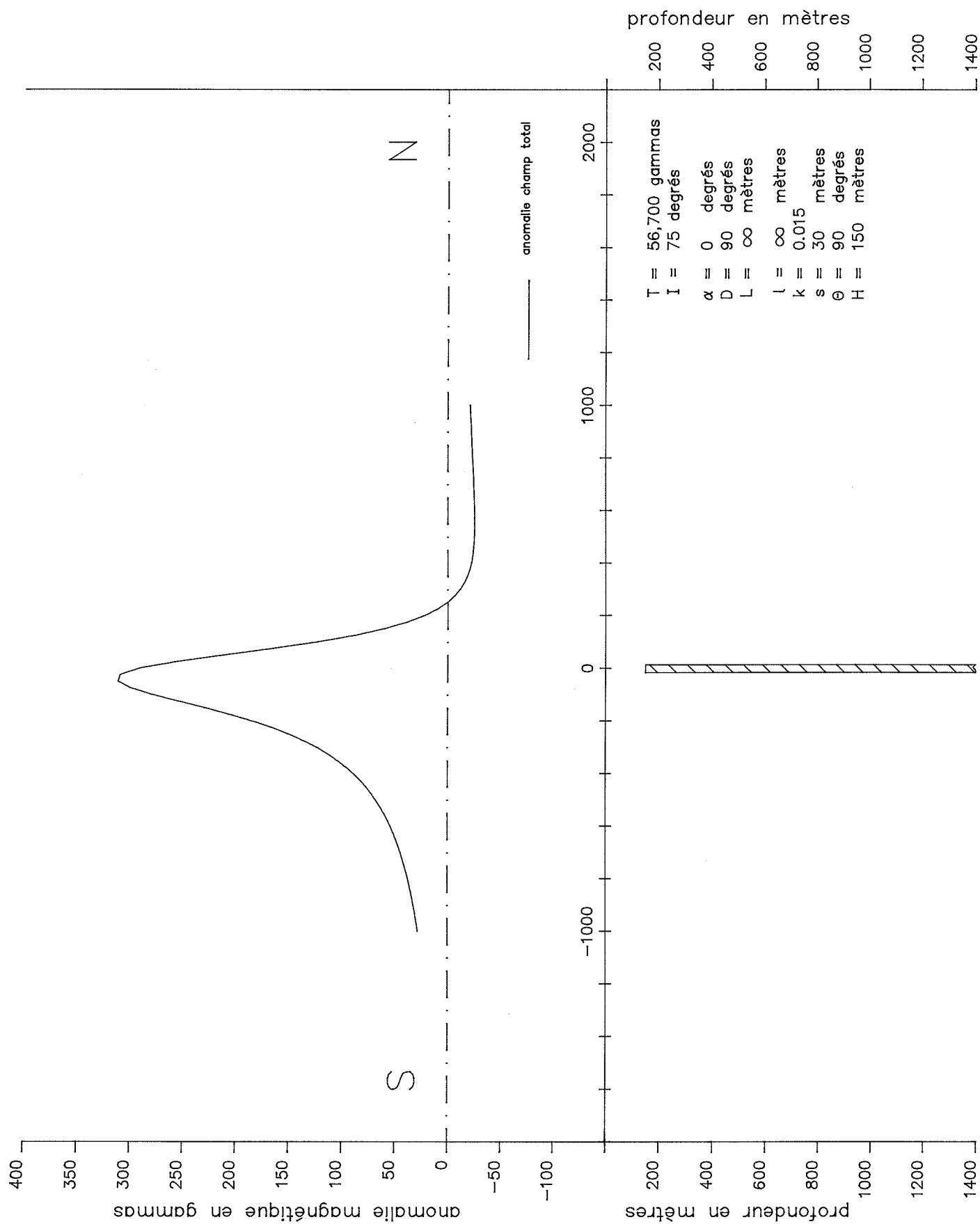
Modèle no 4. Dyke incliné vers le nord (5% de magnétite).



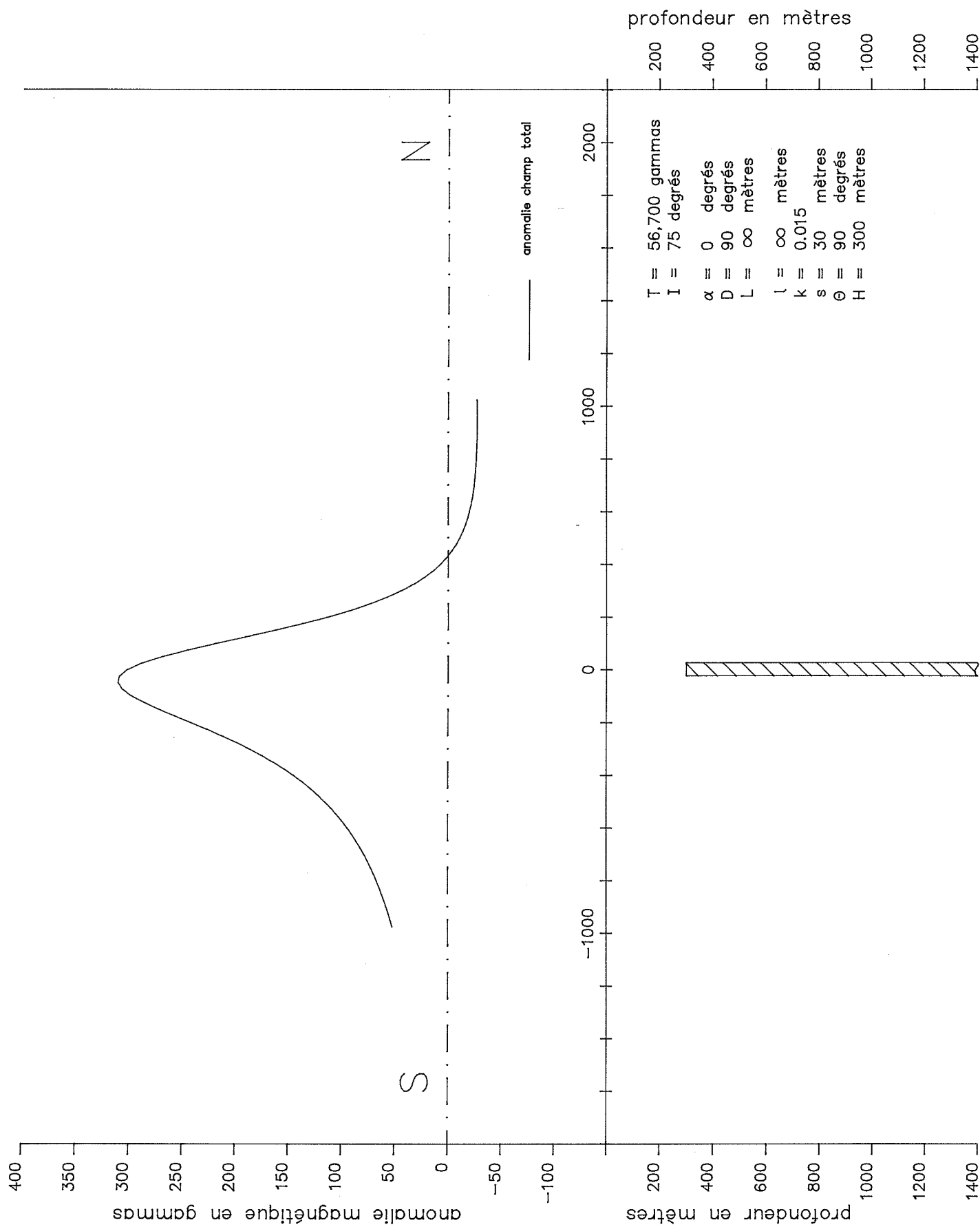
Modèle no 5. Dyke incliné 30 degrés vers le sud (5% de magnétite).



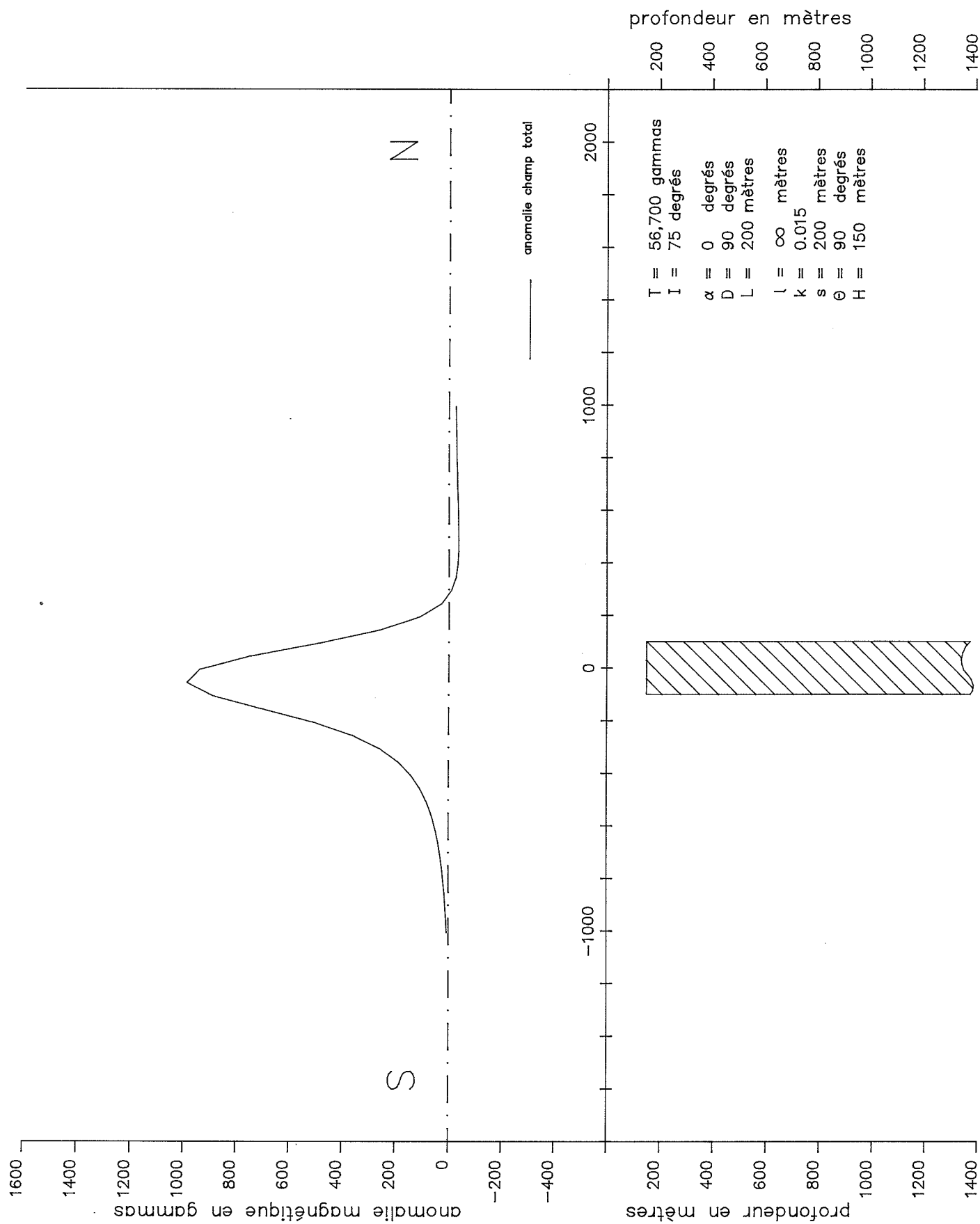
Modèle no 7. Dyke nord-sud épais (1% de magnétite).



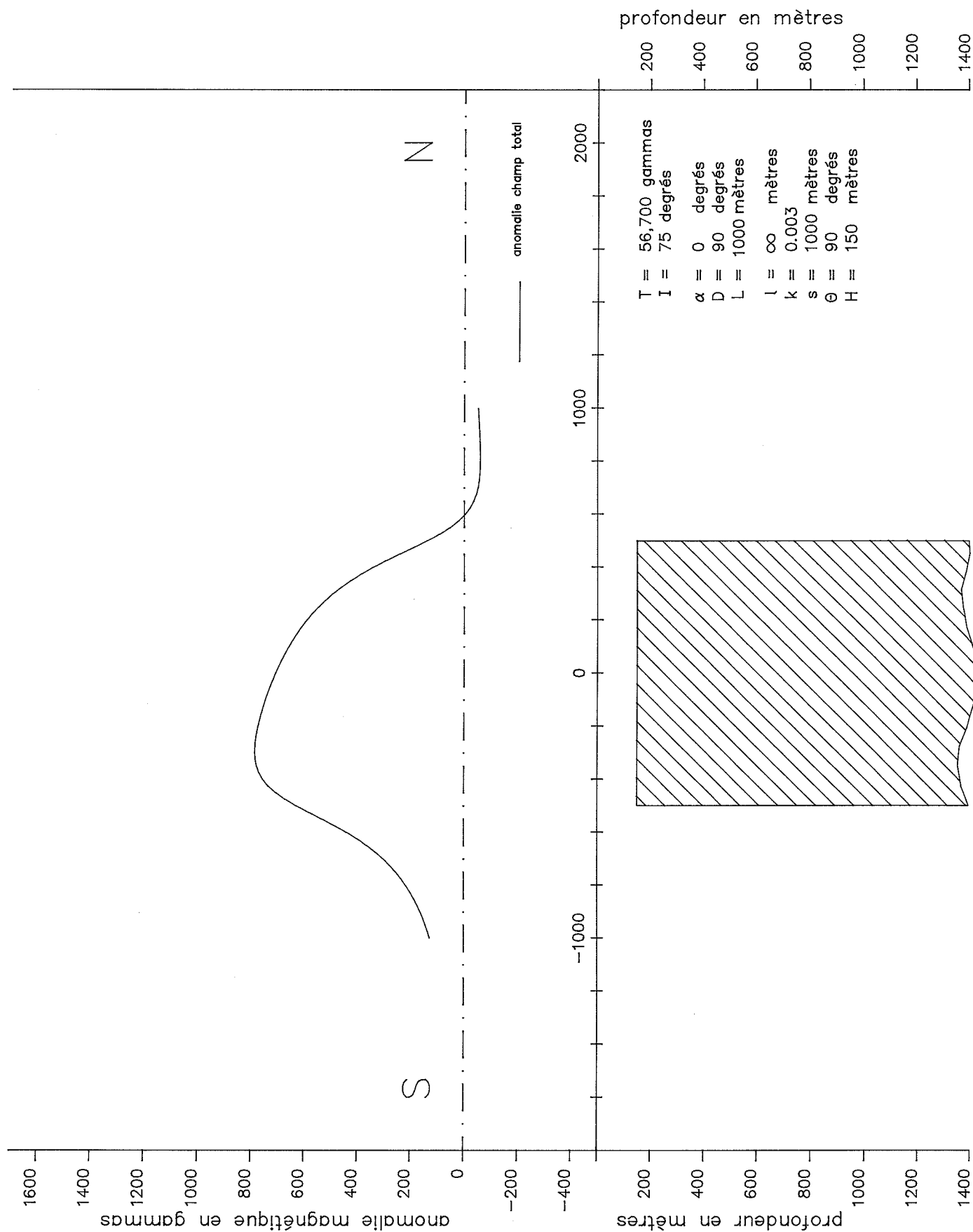
Modèle no 8. Dyke mince ($s/H=0.2$), (5% de magnétite).



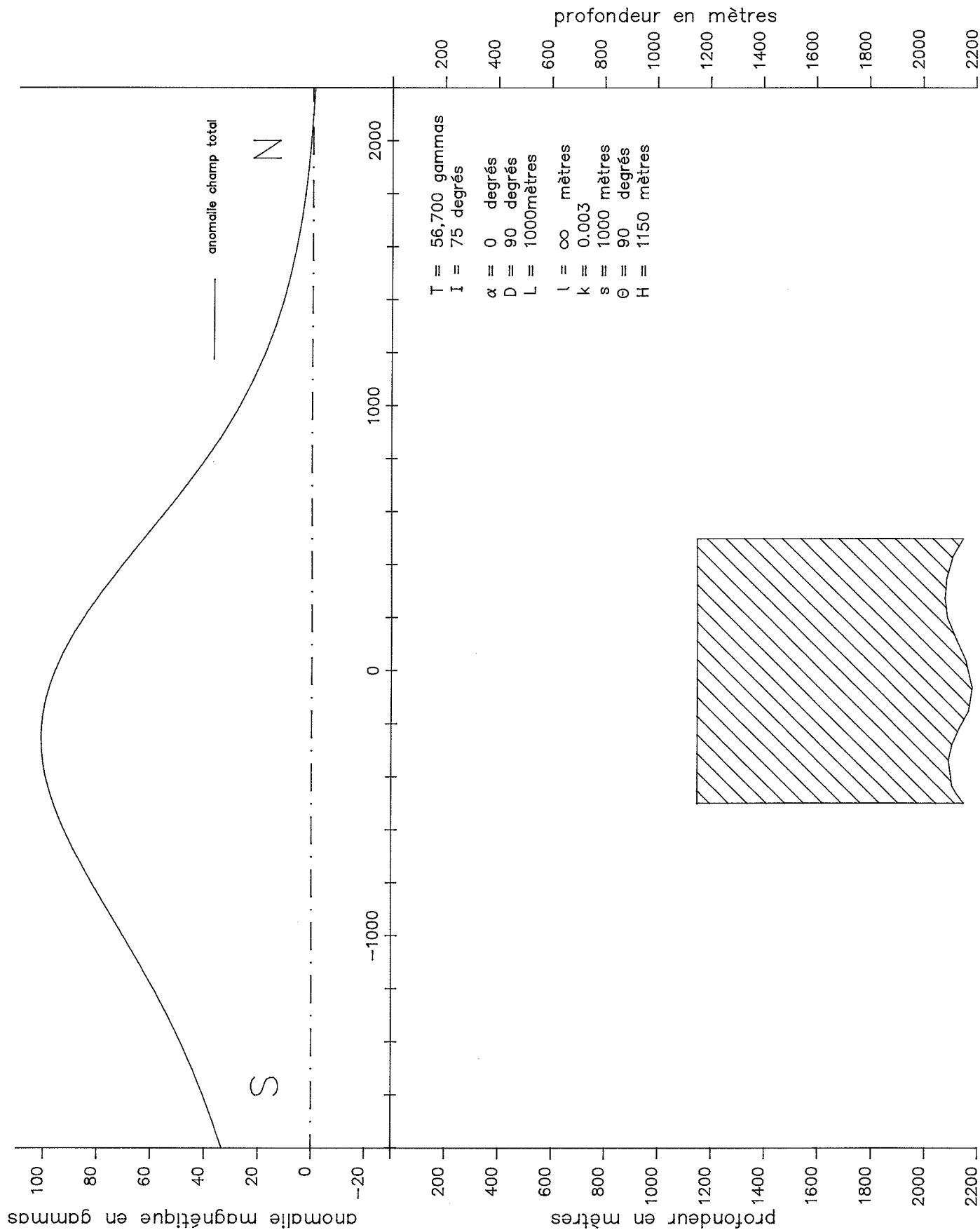
Modèle no 9. Dyke profond ($s/H=0.1$), (5% de magnétite).



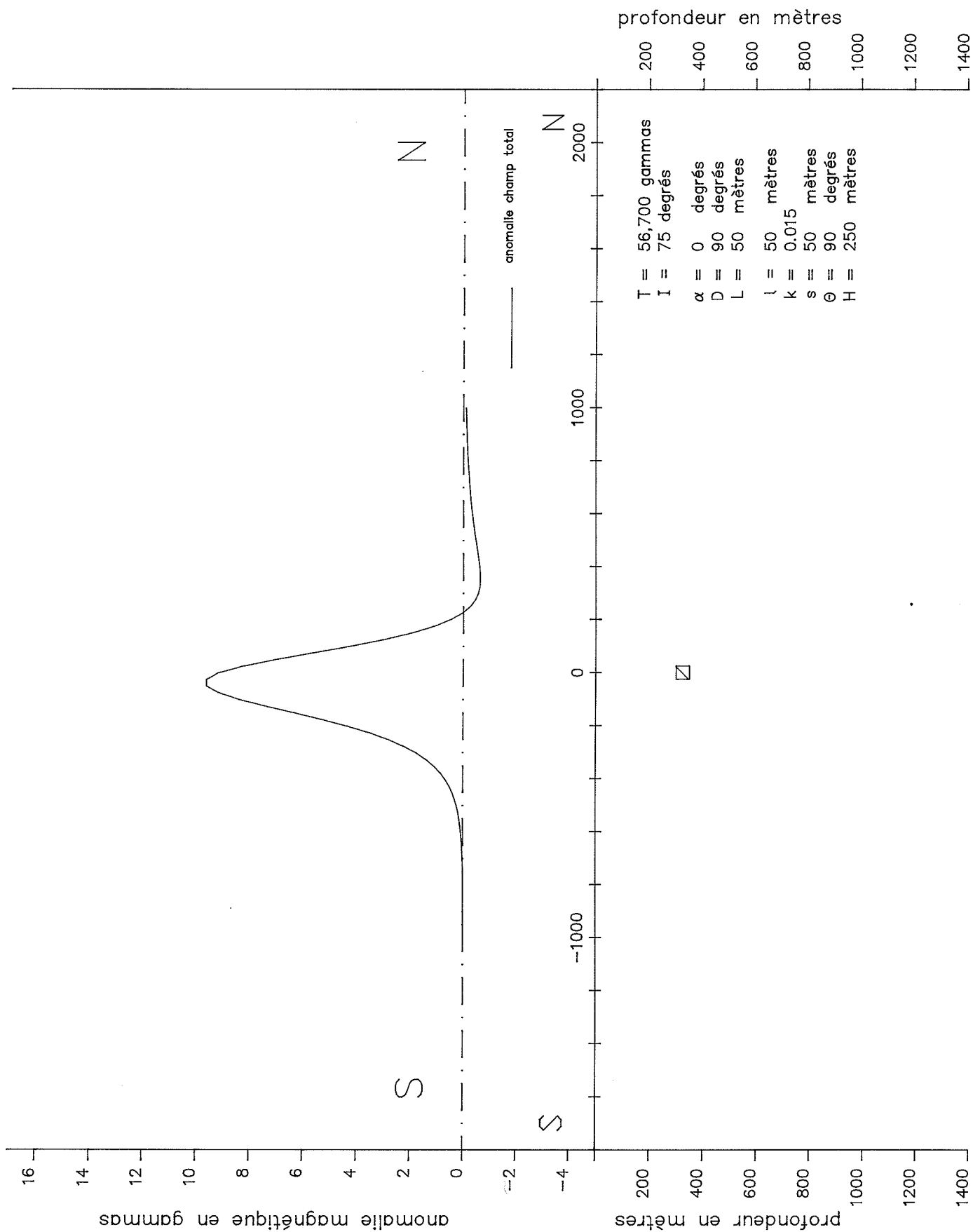
Modèle no 10. Prisme vertical (5% de magnétite).



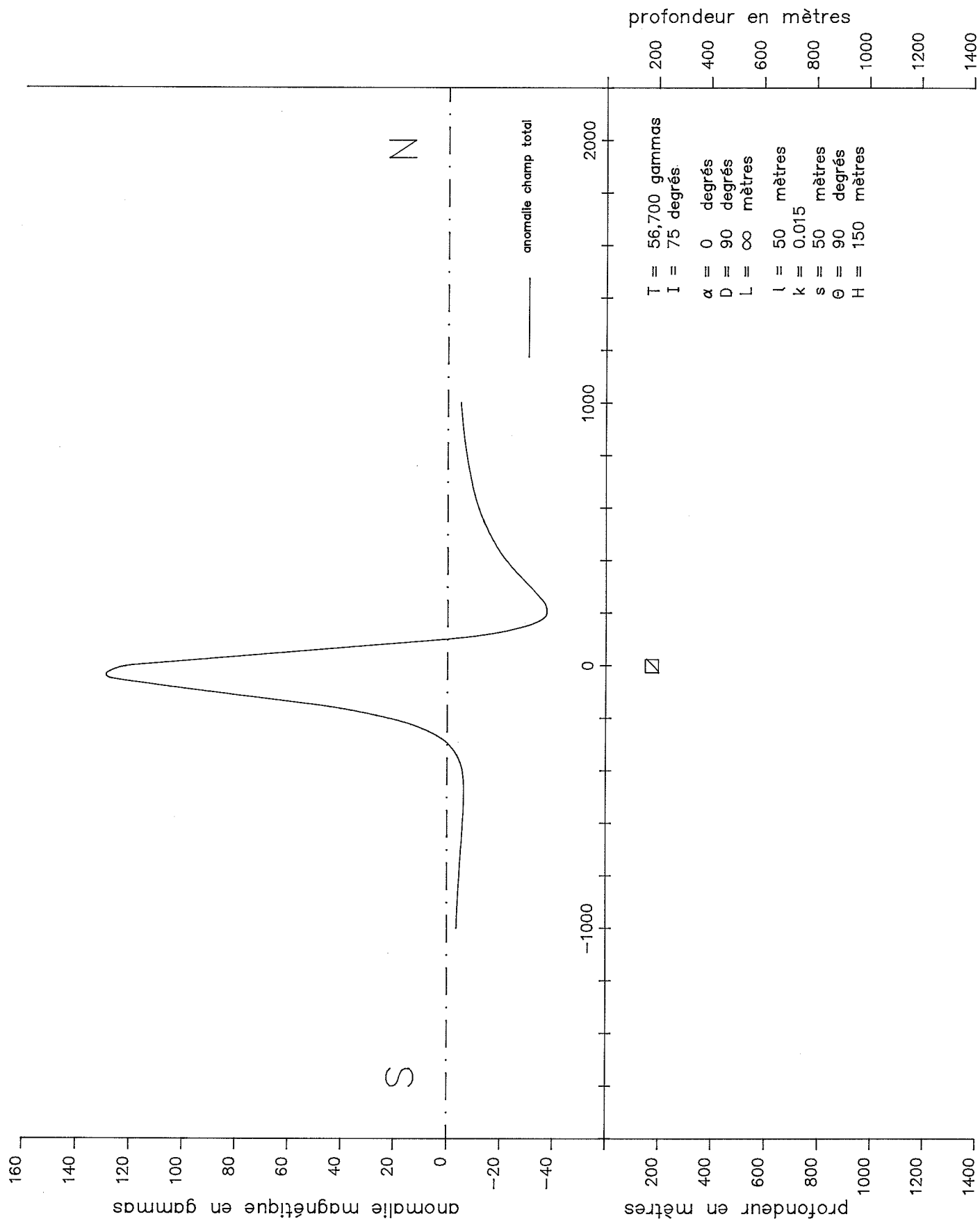
Modèle no 14. Prisme de grande dimension (1% de magnétite).



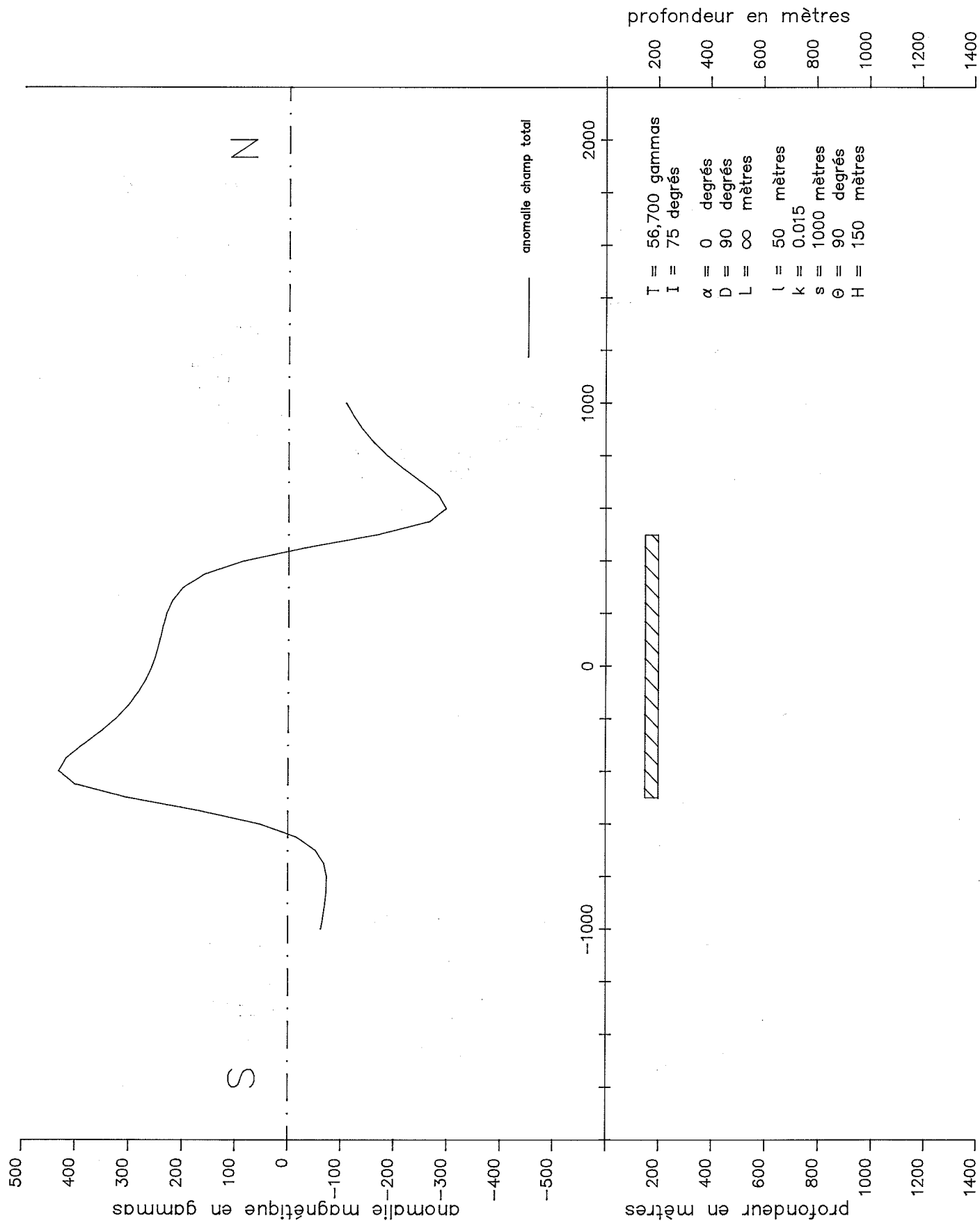
Modèle no 15. Prisme profond de grande dimension (1% de magnétite).



Modèle no 18. Sphère profonde ($s/H=0.2$), (5% de magnétite).



Modèle no 19. Prisme horizontal (5% de magnétite).



Modèle no 20. Prisme horizontal large (5% de magnétite).