

2002YA001-01

PROJET CHAMPLAIN, LEVE MAGNETO-TELLURIQUE

Documents complémentaires

Additional Files



Licence



Licence

Cette première page a été ajoutée
au document et ne fait pas partie du
rapport tel que soumis par les auteurs.

Énergie et Ressources
naturelles

Québec 



Projet Champlain
LEVE MAGNETO-TELLURIQUE

2002 GA001



Date : Août 2002

JUNEX inc.

3075, Quatre-Bourgeois, bureau 103, Québec, G1W 4Y5
tél : 418-654-9661 web : www.junex.ca

MISE EN SITUATION

La région de Champlain - Batiscan attira l'attention dès les années 1900, où quelques petits gisements de gaz furent découvert et exploité à titre résidentiel, le long de la rivière Batiscan. Ensuite, étudiée de plus près par la compagnie Bald Mountain, quelques puits de plus de 500 m furent dans le secteur, là où il semblait y avoir des anomalies gravitationnelles. Une importante quantité de gaz fut soutiré du puits A003 (Bald Mountain Batiscan #1), mais s'intéressant d'avantage à l'huile, la compagnie ne poursuivit pas les travaux dans ce secteur, supposant un petit gisement étant donné les test de pression effectués.

La compagnie Laduboro effectua une étude très poussée du secteur par la mise en place de plusieurs forages de plus ou moins 500 m afin de localiser la faille majeure se situant au nord-ouest de la ville de Champlain. Cette faille d'importance était, déjà à l'époque, considérée comme un potentiel en réservoir fracturé. Laduboro procéda également à l'étude sismique du secteur. Les recommandations de cette étude sont claires : deux hauts structuraux se situent au nord-est de la ville de Champlain (annexe 1) et nécessite un intérêt particulier, étant donné le manque le forage dans le secteur. Pour des raisons inconnues, la compagnie ne décida pas de continuer dans ce sens. La région de Champlain fut par la suite mise à l'oubliette jusqu'à aujourd'hui où la compagnie JUNEX Inc. reprend l'ensemble de travaux et tient en compte les recommandations de Laduboro. Un levé magnéto-tellurique sera pratiqué sur les zones de hauts structuraux au nord-est de Champlain. En tout, trois profils seront étudiés ainsi qu'une petite partie de la région du puits A003 (annexe 2).

Une liste contenant tous les noms et adresses de divers propriétaires des terres agricoles de la région est disponible en annexe 3 de ce document.

Un levé magnéto-tellurique fut déjà pratiqué dans la région, mais plus au sud du Lac Saint-Pierre. Le rapport concernant cette étude est disponible en annexe 4. Également, un exemple d'application de la magnéto-tellurie conjointement à la sismique pour les phénomènes d' « overthrust » est exposée en annexe 4

CONTEXTE GÉOLOGIQUE

La région de Champlain est située dans la zone de la Plate forme du Saint-Laurent. Les unités des Basses-Terres du Saint-Laurent furent recouvertes par les dépôts du Quaternaires, selon l'alternance sable-argile. Les membres des Groupes de Lorraine, Utica, Trenton, Black-River et Postdam se succèdent ensuite pour former l'ensemble de la Plate forme du Saint-Laurent. Les unités suivent majoritairement une épaisseur variable allant en diminuant des Appalaches vers les Laurentides. Le tout repose sur le socle d'âge Grenvillien.

La région est caractérisée par la présence de failles majeures et secondaires, représentant les fidèles reliques du bassin secondaire formant le lac Saint-Pierre. Au nord de Champlain, la faille de Champlain, certains l'appelleront faille normale (SOQUIP, 1988), d'autres "Wrench fault" (Sproule, 1964), constitue la limite du bassin d'effondrement et marque le début des unités de Lorraine et d'Utica. Au sud de cette faille, les unités des Basses-Terres furent bouleversées par les caprices tectoniques de l'effondrement de la région du Lac Saint-Pierre. En effet, de nombreuses failles réagirent à cet événement de façon décrochante ou normale. Ces dernières croisent la faille de Champlain, d'abord à un angle de $N50^0$, puis augmente d'inclinaison pour atteindre $N20^0$ tout près de Batiscan.

La définition de ces mouvements engendra des zones intéressantes où les unités d'intérêt traditionnel à l'exploration subirent des compressions et des élévations. On retrouve un exemple de ces hauts entre Champlain et Batiscan, sur la route 138, près du puits A003. Enfin, la possibilité de dolomitisation dans ce secteur rend les bordures de failles intéressantes pour la région de Champlain.

Une coupe de la région est disponible en annexe 5; on y retrouve également un aperçu des puits et la profondeur relative de leur différentes unités géologiques (annexe 6).

JUNEX inc

ISOCONTOUR TRENTON EXPOSANT LES HAUTS
STRUCTURAUX AU NORD-EST DE CHAMPLAIN

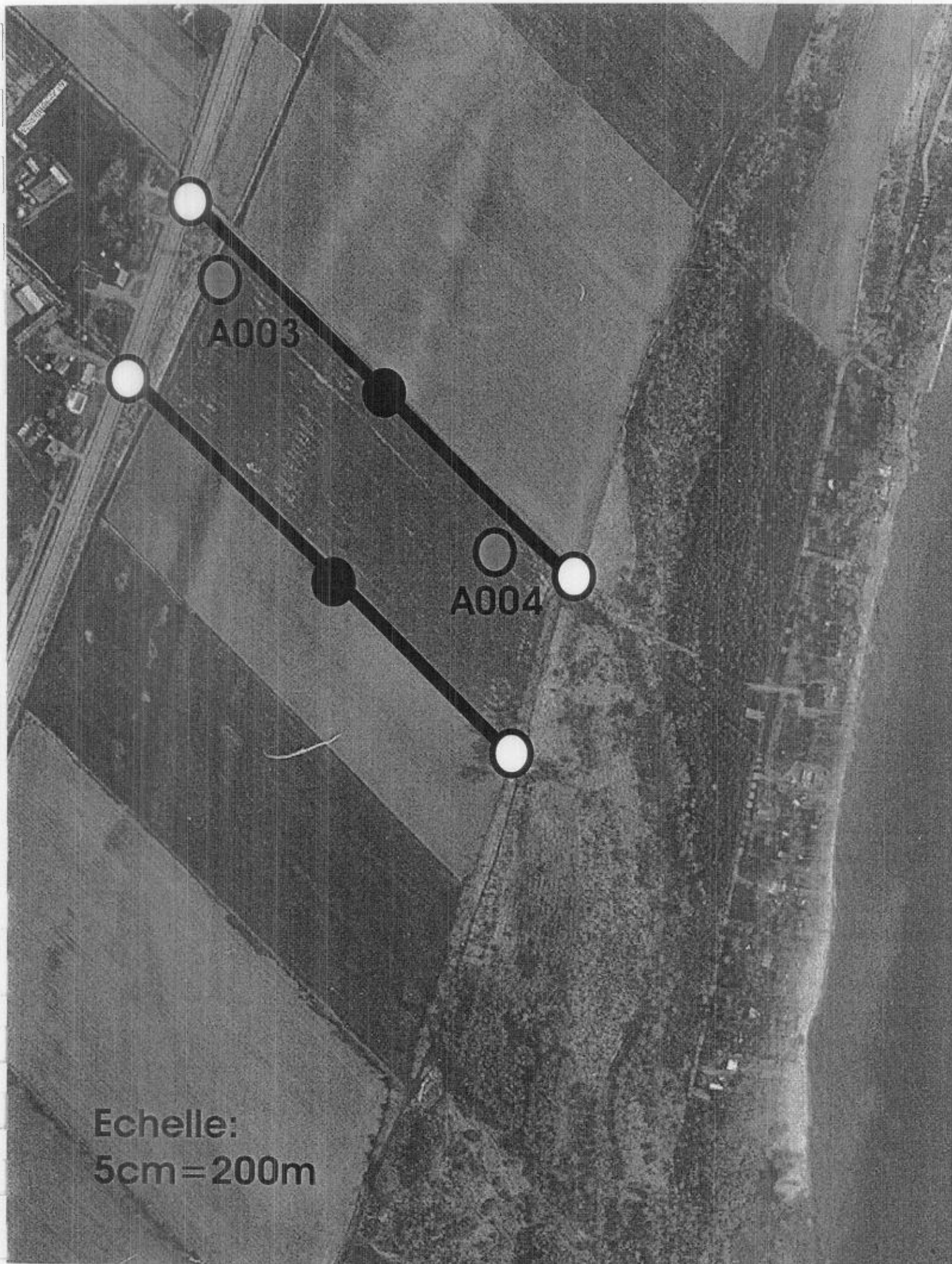
1 :20 000

Annexe no. 1

JUNEX inc

CARTE DE LOCALISATION DES PROFILS

Annexe no. 2



Echelle:
5cm=200m

JUNEX inc

LISTE CONTACTS
REGION DE CHAMPLAIN
RÉGION DE BATISCAN

Annexe no. 3

LISTE CONTACT
GÉOPHYSIQUE - ÉTÉ 2002
DROIT ACCÈS (JAUNE)

CHAMPLAIN¹

Lot 505

Sylvain Carignan

14 Rang Picardie N Rr 1
Champlain, QC G0X 1C0

Phone: 819-295-3468

Rene Langevin

4 Rang Picardie N Rr 1
Champlain, QC G0X 1C0

Phone: 819-295-5356

Donna Langevin

15 Rang Picardie N Rr 1
Champlain, QC G0X 1C0

Phone: 819-295-3306

Comité intermunicipale de la gestion des déchets

VILLE DE CHAMPLAIN

Lot 498-499

Pierre Carignan

26 Rang Picardie N Rr 1
Champlain, QC G0X 1C0

Phone: 819-295-3096

Lot 19

Ferme charel

Marcel Charel

819-295-3518

Lot 20

~~**Erie Plante**~~

1400 Rue Notre-Dame O Rr 1
Champlain, QC G0X 1C0

Charles Marchand.

295-3213

Phone: 819-295-3877

Lot 22

Michel Dufresne

Ferme charel*

~~**Jean N Gagnon**~~

1381 Rue Notre-Dame E Rr 1
Champlain, QC G0X 1C0

→ ferme Charel.

Phone: 819-295-3830

~~**Pierre C Leblanc**~~

1387 Rue Notre-Dame E Rr 1
Champlain, QC G0X 1C0

Phone: 819-295-3336

Lot 504

Pierre Carignan *

Comité intermunicipale des déchets *

¹ Les lots 27 et 9 demeurent sans propriétaires : à vérifier sur place.

Lot 509-510**Robert Dufresne**659 Rue Notre-Dame E Rr 1
Champlain, QC G0X 1C0**Phone:** 819-295-3781Corporation municipale
Comité inter-municipalville de champlain
ville de champlain**Lot 16****Georges Gagnon**1443 Rue Notre-Dame E Rr 1
Champlain, QC G0X 1C0

Luc de Grandmont

Louison Cheimont. 819-295-3330.
1419, Rue Notre-Dame E Rr 1
*Champlain, Ec G0X 1C0***Phone:** 819-295-3268**Lot 9****Georges Gagnon***
Henri Carignan*Carignan.***Lot 27****T Marchand ???- thérèse... ?**1050 Rue Notre-Dame S
Champlain, QC G0X 1C0**Phone:** 819-295-3388**L Bacon ??? - lise... ?**1370 Rue Notre-Dame O Rr 1
Champlain, QC G0X 1C0**Phone:** 819-295-5114*Charles*
Marchand?

BATISCAN

Lots 441

Dorina Massicotte

260, route du village, Champlain

Yvan Caron

201 Rue De La Station Rr 1
Batiscan, QC G0X 1A0

Phone: 418-362-2298

Robert Gendron

10 Rang Picardie N Rr 1
Champlain, QC G0X 1C0

Phone: 819-295-3934

Donna Langevin *

15 Rang Picardie N Rr 1
Champlain, QC G0X 1C0

Phone: 819-295-3306

René Langevin *

Lot 437

Emile Moreau

55 Rang Picardie N Rr 1
Champlain, QC G0X 1C0

Phone: 819-295-3543

Lot 325

Pierre Carignan *

26 Rang Picardie N Rr 1
Champlain, QC G0X 1C0

Phone: 819-295-3096

Stéphane Charel

1373, rue Notre-Dame, Champlain (co-propri. Marcel Charel)

Georges Gagnon

1443 Rue Notre-Dame E Rr 1
Champlain, QC G0X 1C0

Phone: 819-295-3268

Yvon Gennelle

315, rue Desbien, Cap-de-la-madeleine

Jannine Lacommande

20, rue Principale, Batiscan

Francois Moreau

85 Rang Picardie N Rr 1
Champlain, QC G0X 1C0

Phone: 819-295-3288

Line Moreau

rang cycotte, Sainte-Marthe-du-cap

Marcel Roy

214 Guimond Rue
Montreal, QC H1V 1S4

Phone: 514-235-2840

Jean-François Turcotte

1121, rue Principale, Batiscan

Lot 236**Jules Carignan**

265 Rue Principale Rr 1
Batiscau, QC G0X 1A0

Phone: 418-362-3052

Denis Labissonniere

291 Rue Principale Rr 1
Batiscau, QC G0X 1A0

Phone: 418-362-2993

Leopold Lapierre + Armande

275 Rue Principale Rr 1
Batiscau, QC G0X 1A0

Phone: 418-362-2244

Paul Armand Lapierre

277 Rue Principale Rr 1
Batiscau, QC G0X 1A0

Phone: 418-362-2307

Lot 237**Denis Labissonniere ***

291 Rue Principale Rr 1
Batiscau, QC G0X 1A0

Phone: 418-362-2993

Luc Labissonniere

255 Rue Principale Rr 1
Batiscau, QC G0X 1A0

Phone: 418-362-2461

Lot 238**Francois Bacon**

225 Rue Principale Rr 1
Batiscau, QC G0X 1A0

Phone: 418-362-2648

Lot 442

Yvan Caron

Robert Gendron

10 Rang Picardie N Rr 1
Champlain, QC G0X 1C0

Phone: 819-295-3934

Donna Langevin *

15 Rang Picardie N Rr 1
Champlain, QC G0X 1C0

Phone: 819-295-3306

Rene Langevin *

4 Rang Picardie N Rr 1
Champlain, QC G0X 1C0

Phone: 819-295-5356

JUNEX inc

**ÉTUDE MAGNETO-TELLURIQUE
SUD DU LAC-ST-PIERRE**

Annexe no. 4



MINISTÈRE
DES RICHESSES
NATURELLES

DIRECTION GÉNÉRALE
DES MINES

LEVE MAGNETO-TELLURIQUE
DANS LA REGION DE TROIS-RIVIERES
AU SUD DU LAC SAINT-PIERRE
(QUEBEC)

Ministère des Richesses Naturelles
Direction Générale de l'Energie

LEVE MAGNETO-TELLURIQUE
DANS LA REGION DE TROIS-RIVIERES
AU SUD DU LAC SAINT-PIERRE
(QUEBEC)

par
PHAM VAN NGOC

INSTITUT DE RECHERCHE EN EXPLORATION MINERALE
1978

LEVE MAGNETO-TELLURIQUE
DANS LA REGION DE TROIS-RIVIERES
AU SUD DU LAC SAINT-PIERRE

SOMMAIRE

	<u>Page</u>
RESUME	111
1. INTRODUCTION	1
2. CADRE GEOLOGIQUE	4
3. CADRE GEOGRAPHIQUE	9
4. APPAREILLAGE	14
4.1 Appareil de Profilage M.T.	14
4.2 Chaîne de Sondage M.T.	19
5. TRAITEMENT DES DONNEES DE S.M.T.	21
6. ACQUISITION DES DONNEES SUR LE TERRAIN	25
6.1 Acquisition des données de P.M.T.	25
6.2 Acquisition des données de S.M.T.	25
7. PRESENTATION DES RESULTATS	26
8. INTERPRETATION QUANTITATIVE	33
8.1 Coupes géoélectriques	33
8.2 Carte structurale profonde	47
9. PROPRIETES ELECTRIQUES DU SOCLE PROFOND A LA BASE DE LA CROUTE TERRESTRE	48
10. RECOMMANDATIONS ET CONCLUSION	49
REFERENCES	52

Annexe 1 COORDONNEES U.T.M. DES STATIONS PRIMAIRES S.M.T.

Annexe 2 COORDONNEES U.T.M. DES STATIONS SECONDAIRES P.M.T.

Documents joints : - CATALOGUE DES COURBES DE S.M.T. ET DE P.M.T.
- CATALOGUE DES LISTES D'INTERPRETATION PAR
ORDINATEUR.

LEVE MAGNETO-TELLURIQUE
DANS LA REGION DE TROIS-RIVIERES
AU SUD DU LAC SAINT-PIERRE
(QUEBEC)

RESUME

Un levé magnéto-tellurique de détail a été effectué au Sud du Lac Saint-Pierre, autour du village de Baieville. Il a permis de mettre en évidence une tectonique profonde plus complexe que ne laisse prévoir la géologie en surface. D'une part, on a pu distinguer 4 "séries électriques" alternativement conductrice et résistante correspondant à 4 séries lithologiques de la surface du sol jusqu'au toit du socle. D'autre part, les résultats M.T. font ressortir clairement deux zones tectoniques différentes:

- une zone tectonique calme dans la partie située au N.W. de Baieville, où les couches sont pratiquement tabulaires, minces et le socle peu profond (≈ 1000 m);
- une zone tectonique très perturbée dans la partie située au S.E. de Baieville, où toutes les séries sédimentaires deviennent beaucoup plus épaisses. Une série de failles normales, de direction N.E.-S.W., délimitent les structures en forme de marches d'escalier plongeant de plus en plus profondément vers le S.E. où la profondeur du socle dépasserait 3000 m. Une carte structurale profonde a pu être établie, mettant en évidence, en plus des failles, une succession de plis anticlinaux et synclinaux de même direction que les failles. Deux plis anticlinaux situés le plus au S.E. de la région étudiée, pourraient constituer d'excellents pièges pour les hydrocarbures et des recommandations ont été faites pour y effectuer des forages de contrôle.

LEVE MAGNETO-TELLURIQUE
DANS LA REGION DE TROIS-RIVIERES
AU SUD DU LAC SAINT-PIERRE
(QUEBEC)

1. INTRODUCTION

Suite à une campagne de reconnaissance magnéto-tellurique (M.T.) effectuée en 1975 dans les basses terres du Saint-Laurent, campagne dont les résultats ont confirmé la fiabilité et l'utilité de la méthode M.T. dans l'exploration pétrolière, il a été décidé d'effectuer une autre campagne M.T. de détail dans la région de Trois-Rivières, au Sud du Lac Saint-Pierre dans le but de mieux localiser les anomalies qui pourraient être reliées à des structures géologiques favorables à la présence d'hydrocarbures.

En effet les réservoirs d'hydrocarbures et de gaz correspondent généralement à des roches poreuses qui, par suite de la présence de l'eau d'infiltration, sont très conductrices. La méthode M.T. qui fournit des renseignements aussi bien qualitatifs que quantitatifs sur les propriétés électriques du sous-sol, est susceptible non seulement de déceler la présence de ces roches-réservoirs qui se traduit par l'existence d'un horizon conducteur, mais permet également de dresser de véritables coupes géologiques à partir des coupes géoélectriques lorsqu'on dispose de suffisamment d'informations concernant la conductibilité des roches de la région prospectée. Le tableau sur la page suivante donne un ordre de grandeur des résistivités des roches couramment rencontrées:

Roches	Résistivités en ohm-mètre (Ωm)
Eau salée	0.03 à 0.10
Marnes et sables imbibés d'eau salée	0.5 à 10
Argiles et marno-calcaires	10 à 50
Schistes	50 à 300
Calcaires	100 à 5000
Grès, sables secs	100 à 10,000
Roches éruptives	300 à 10,000

Quoique la résistivité des roches soit extrêmement variable en fonction de leur teneur en eau et de leur degré d'altération, on observe souvent, dans la nature, de très grands contrastes de résistivité entre les différents horizons géologiques qui pourraient être ainsi mis en évidence par la méthode magnéto-tellurique.

La méthode M.T. fait partie de la grande famille des méthodes géophysiques utilisant les propriétés du champ électromagnétique, mais elle présente la particularité d'utiliser comme source, le champ électromagnétique naturel dont le spectre de fréquences est extrêmement large, des fréquences plus basses que 10^{-5} Hz jusqu'aux fréquences plus hautes que 10^4 Hz. Ce qui explique que son champ d'application est aussi étendu que varié, des prospections pétrolières aux prospections

La résistivité est une constante de proportionnalité qui caractérise une matière.

minières, de l'étude de la tectonique très profonde jusqu'à la géologie de l'ingénieur tout à fait superficielle.

Pour une meilleure compréhension de la méthode, et des résultats exposés plus loin, le lecteur peut se reporter très utilement au Rapport technique EP75-R-9 du Département de Génie minéral de l'Ecole Polytechnique de Montréal, note intitulée: "Théorie et pratique de la Magnéto-tellurique et du profilage tellurique-tellurique" par PHAM VAN NGOC. Rappelons brièvement qu'en prospection M.T., on utilise habituellement les deux techniques suivantes:

- 1) le sondage magnéto-tellurique (S.M.T.),
qui consiste à étudier les variations de la résistivités apparente ρ_a en fonction de la période T (ou $\sqrt{T}$). Par suite de l'effet de peau qui traduit le fait que plus la période est grande, plus la profondeur de pénétration du champ électromagnétique est importante, l'interprétation de la courbe $\rho_a = f(\sqrt{T})$ permet d'obtenir des renseignements quantitatifs sur la profondeur du sous-sol;
- 2) le profilage magnéto-tellurique (P.M.T.),
qui consiste à choisir une période (ou fréquence) donnée, et à dresser des profils ou des cartes de résistivité apparente correspondant à cette période. Les profils ou cartes ainsi établis

skin depth: la distance à laquelle le signal est réduit de 37%

permettent de délimiter les zones conductrices et résistantes plus ou moins superficielles suivant la période choisie.

La technique de sondage donne des informations plus complètes sur la structure du sous-sol mais nécessite un appareillage plus important pour enregistrer les signaux dans une très large bande de fréquence, un traitement des données et une interprétation plus élaborés, accessibles seulement par ordinateur.

La technique de profilage ne fournit que des renseignements d'ordre qualitatif, mais utilise un appareillage très simple permettant d'obtenir directement les résultats sans aucun traitement particulier.

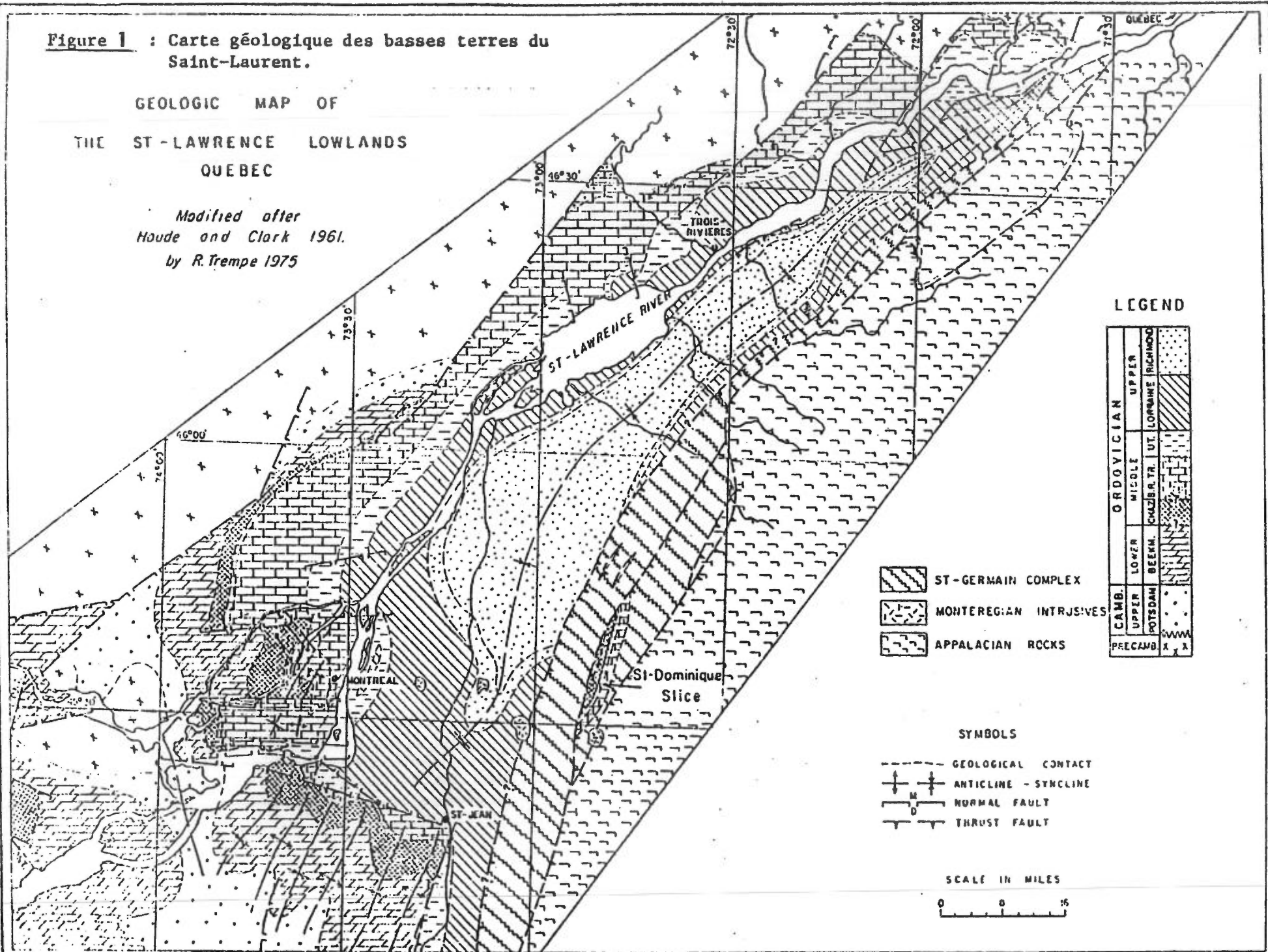
2. CADRE GEOLOGIQUE

La géologie et la tectonique des basses terres du Saint-Laurent dans lesquelles se trouve la région étudiée, sont très bien résumées par Robin J. BEIERS (1976). Les Figures 1 et 2 extraites de son article, montrent d'une part la carte géologique ainsi que le caractère lithologique des différentes formations rencontrées dans les basses terres du Saint-Laurent et d'autre part le style tectonique de la région.

Figure 1 : Carte géologique des basses terres du Saint-Laurent.

**GEOLOGIC MAP OF
THE ST-LAWRENCE LOWLANDS
QUEBEC**

*Modified after
Houde and Clark 1961.
by R. Trempe 1975*



LEGEND

CAMP.	ORDOVICIAN			
	UPPER	MIDDLE	CHAZI & TR.	UT. LORRAINE
UPPER	POTSDAM			
PRECAMB.				

- ST-GERMAIN COMPLEX
- MONTEREGIAN INTRUSIVES
- APPALACIAN ROCKS

SYMBOLS

- GEOLOGICAL CONTACT
- ANTICLINE - SYNCLINE
- NORMAL FAULT
- THRUST FAULT

SCALE IN MILES



Fig. 2

Stratigraphic chart

System		Series	St. Lawrence lowlands groups/formations		Generalized lithological character
<i>Superieur</i> Or'ovician	U	Gincinnation	Richmond		Red sh and ss
			Lorraine		Interbedded sh and siltstone
			Ulrica		Black sh
<i>M. 1000</i> <i>1000</i>	M	Chomplonian	Trenton		Thin-bedded ls
			Black River		Ls
			Chazy		Ls and dol
	L	Canadian	Beekmantown	Beauharnois fm Therese fm	Dolo
Cambrian	U	Croixan	Potsdam	Chateauguay fm	Quartz sands
				Covey Hill fm	Feldspathic sands

Fig. 3

Schematic cross section of lowlands

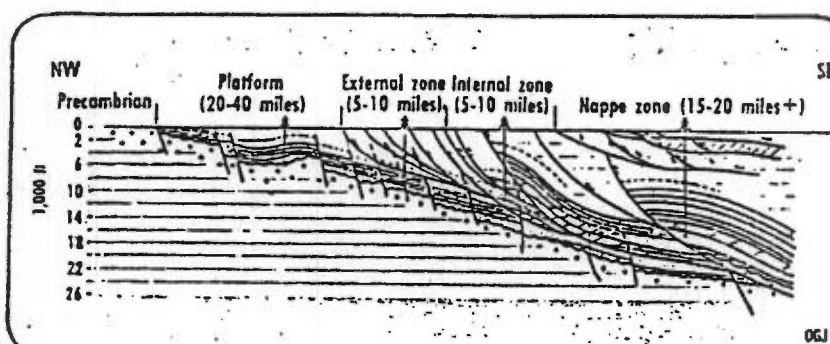


Fig. 4

Tectonic zones, Quebec lowlands

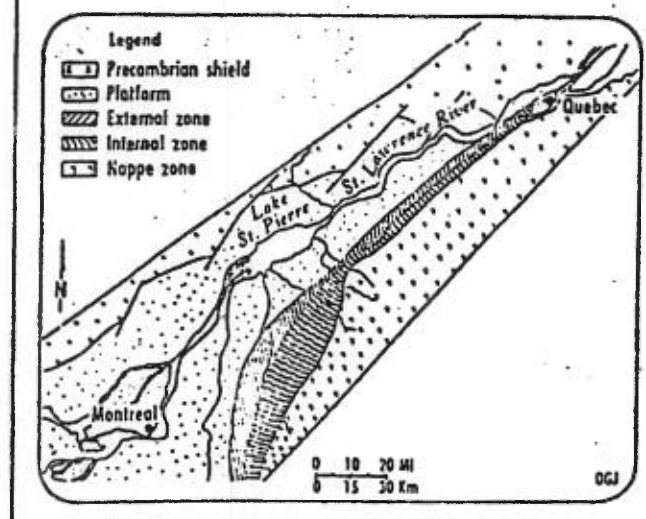


Figure 2 : Stratigraphie et zones tectoniques des basses terres du Saint-Laurent. (Extrait de l'article de R.J. BEIERS, The Oil and Gas Journal, 26 janvier 1976).

Stratigraphiquement, on distingue donc deux étages dans les séries sédimentaires: le Cambrien et l'Ordovicien. Ces séries sédimentaires reposent en discordance sur le socle métamorphique d'âge précambrien du bouclier canadien. Le bassin sédimentaire forme un vaste synclinal dont l'axe longe la rive Sud du Saint-Laurent. Il est bordé au N.W. par des failles normales marquant son contact avec le bouclier précambrien, et au S.E. par des failles de chevauchement constituant la fameuse ligne de Logan et marquant le début du domaine appalachien tectoniquement très tourmenté.

Au centre du bassin affleure la formation la plus récente de l'Ordovicien supérieur, le groupe Richmond qui est formé de schistes ~~ordinaires~~ *ordinaires post-tectoniques* mollassiques rouges et de sables. Du point de vue électrique, ce genre de formation a des résistivités extrêmement variables pouvant varier de 10 à 500 Ωm . Au-dessous, on trouve le groupe Lorraine ~~de type flysch~~ *de type flysch* dont l'épaisseur peut atteindre 1,500 m. Formé principalement de schistes argileux gris intercalés avec du limon, la résistivité du groupe Lorraine devrait être faible, de 10 à 50 Ωm . Mais elle peut dépasser 100 Ωm dans certains faciès contenant du grès fin. Vient ensuite le groupe Utica qui, formé principalement de schistes argileux noirs, doit avoir une faible résistivité. Les quatre groupes suivants: Trenton, Black River, Chazy, Beekmantown, constituant l'Ordovicien moyen et inférieur, ont un caractère lithologique assez semblable car il s'agit de formations carbonatées à prédominance de calcaire, de calcaire dolomitique, et de dolomie.

Leurs résistivités devraient être nettement supérieures à celles des groupes précédents et pourraient atteindre 1000 Ωm . Sous les séries carbonatées, on trouve un faciès très différent puisqu'il s'agit du groupe Postdam du Cambrien supérieur formé de sables feldspathiques et de sables à quartz. Normalement ce faciès devrait présenter une forte résistivité. Cependant à cause de sa forte porosité qui en fait une roche réservoir pouvant contenir de l'eau ou des hydrocarbures, le groupe Postdam devrait se comporter finalement comme un conducteur. Enfin, sous les séries sédimentaires, le socle, formé de roches métamorphiques, devrait avoir une forte résistivité, de l'ordre de 10,000 Ωm .

Tectoniquement, on peut distinguer avec BEIERS (c.f. Figures 2 et 3) quatre zones différentes de plus en plus perturbées du N.W. au S.E. Au N.W., la "zone de plate-forme" à tectonique relativement calme, correspond à la majeure partie du bassin du Saint-Laurent. Sa section présente la forme d'une grande cuvette synclinale et les différentes couches géologiques sont pratiquement tabulaires. On peut y trouver localement des failles mais elles sont de type normal. Par contre plus au S.E., les différentes zones tectoniques rencontrées comportent généralement des failles de chevauchement. Ainsi, pour la "zone externe", les failles de chevauchement atteignent seulement les formations superficielles de l'Ordovicien supérieur (Richmond, Lorraine, Utica), pour la "zone interne", elles atteignent toutes les séries sédimentaires, y compris les séries carbonatées de l'Ordovicien et le groupe Postdam du Cambrien. Enfin, dans la "zone des nappes",

en plus des failles de chevauchement, on trouve des "nappes de charriage" venant du S.E. et dont l'épaisseur peut dépasser 1000 m.

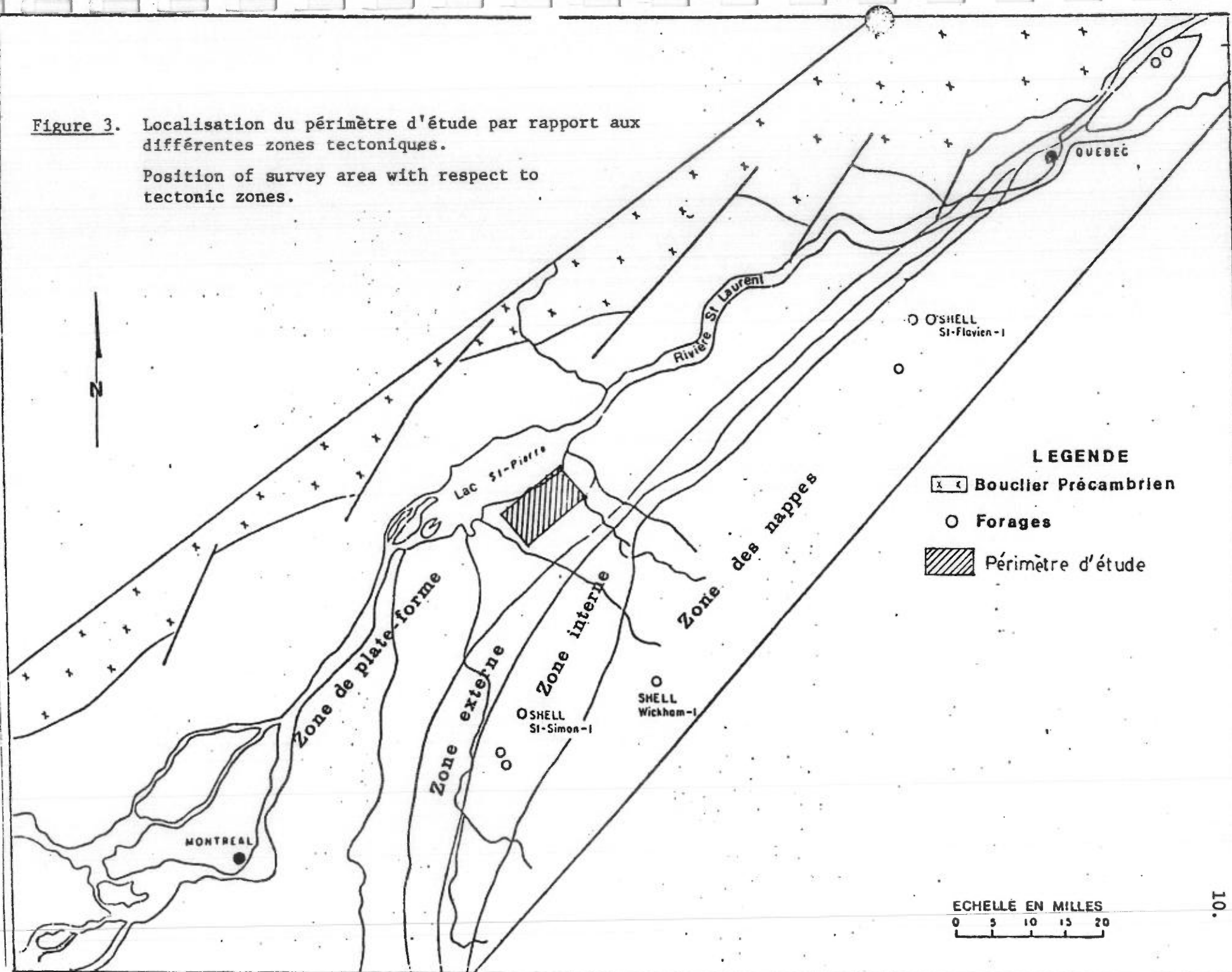
La région étudiée, située juste au Sud du Lac Saint-Pierre, autour du village de Baieville, et dont le périmètre est hachuré sur la Figure 3, se trouve au coeur de la zone de plate-forme. La tectonique de la région, apparemment calme en surface, cache cependant en profondeur de grandes zones faillées qui ont posé quelques problèmes à une étude détaillée des structures profondes par la sismique. En effet un système de failles normales de direction générale N.E.-S.W., traverse tout le bassin du Saint-Laurent en le hachant en marches d'escalier de plus en plus profondes vers le S.E. Dans certains cas, des rejets jusqu'à 3,000' ont été reconnus. En effet ces failles ont été actives depuis le Cambrien et ont joué pendant une grande partie de l'histoire des dépôts sédimentaires. Pour une étude détaillée de la tectonique profonde de la région, une forte densité de stations s'impose.

3. CADRE GEOGRAPHIQUE

Il a été prévu d'exécuter 65 stations primaires de Sondage Magnéto-tellurique (S.M.T.) et 133 stations secondaires de Profilage Magnéto-tellurique (P.M.T.) réparties suivant 8 profils identifiés par les lettres B', E, I, J, K, L, M et N. La totalité des profils est placée autour de Baieville au Sud du Lac Saint-Pierre. Les

Figure 3. Localisation du périmètre d'étude par rapport aux différentes zones tectoniques.

Position of survey area with respect to tectonic zones.



profils sont parallèles et orientés suivant la direction S.E.-N.W., à l'exception du profil B' qui recoupe perpendiculairement les profils L et M au Nord.

La Figure 4 montre l'emplacement des 65 stations primaires S.M.T., et la Figure 5, celui des 137 stations secondaires P.M.T. exécutées (au lieu de 133 prévues dans le contrat). On a adopté la convention suivante pour le numérotage des stations:

- les stations de S.M.T. ont pour numéro:

S X n

S : comme Sondage

X : lettre indiquant le profil

n : numéro de la station primaire du profil

- les stations de P.M.T. ont pour numéro:

P X n

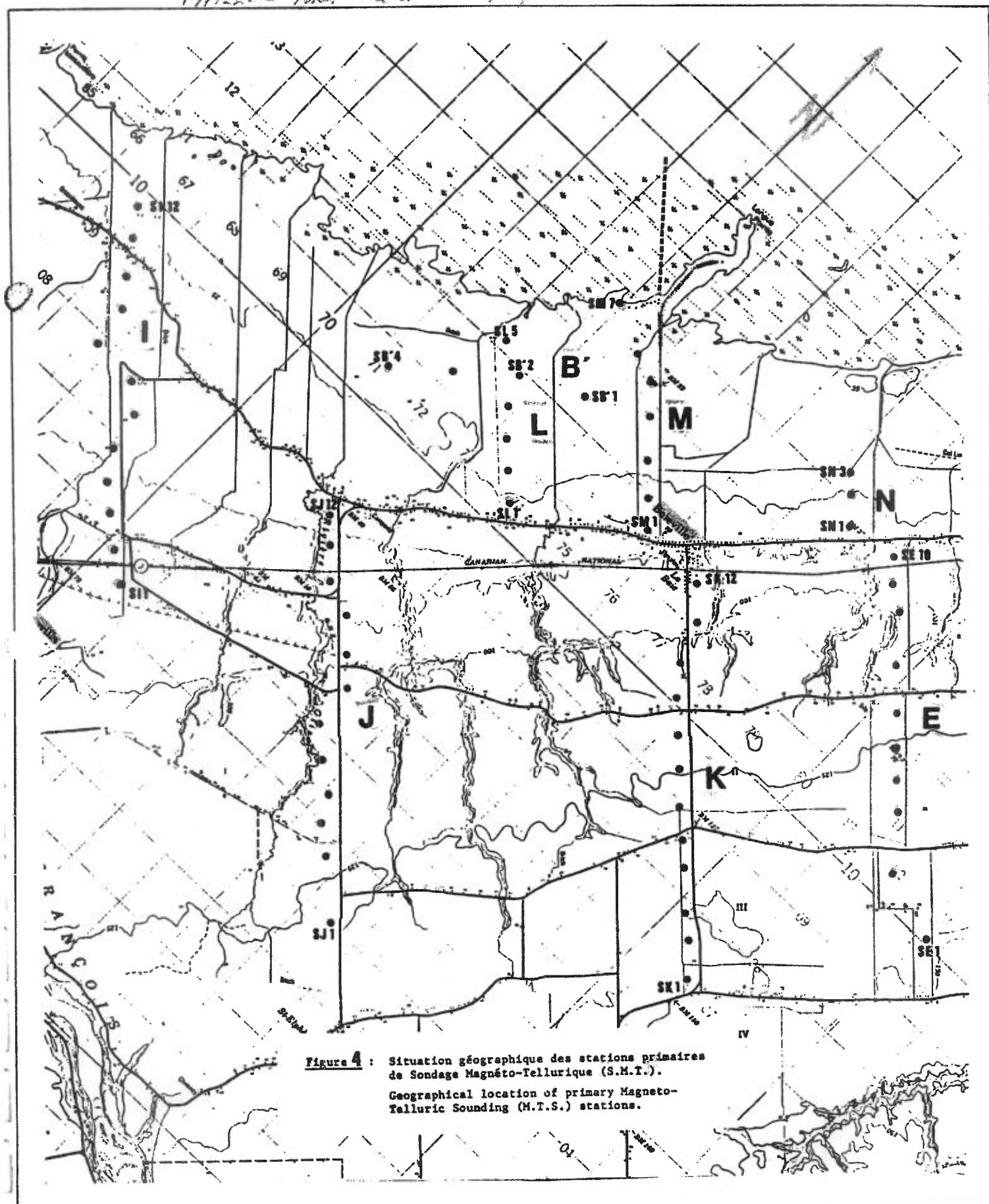
P : comme Profilage

X : lettre indiquant le profil

n : numéro de la station secondaire du profil.

FAILLES N.E. - S.W.

Lignes M.T. N.W. - S.E.



FAILLES N.E. - S.W. LIGNES M.T. N.W.-S.E.

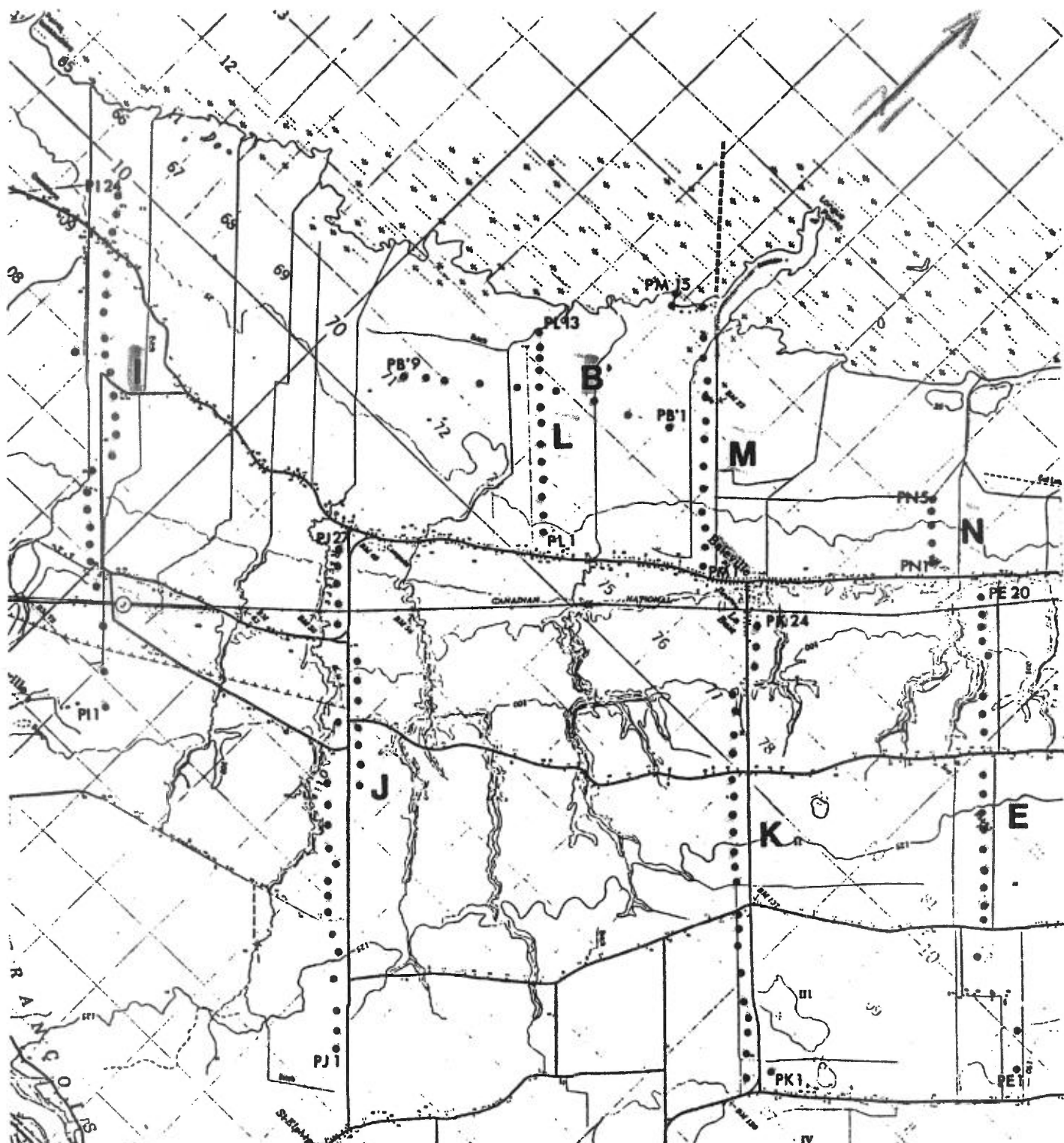


Figure 5 : Situation géographique des stations secondaires de Profilage Magnéto-Tellurique (P.M.T.).
Geographical location of secondary Magneto-Telluric Profiling (M.T.P.) stations.

La répartition des stations entre les 8 profils est donnée dans le tableau suivant:

Profils	Stations S.M.T.	Stations P.M.T.
B'	SB'1 à SB'4	PB'1 à PB'9
E	SE1 à SE10	PE1 à PE20
I	SI1 à SI12	PI1 à PI24
J	SJ1 à SJ12	PJ1 à PJ27
K	SK1 à SK12	PK1 à PK24
L	SL1 à SL5	PL1 à PL13
M	SM1 à SM7	PM1 à PM15
N	SN1 à SN3	PN1 à PN5

En moyenne, les stations S.M.T. sont distantes l'une de l'autre de 500 m et les stations P.M.T. de 250 m environ, le long des profils orientés S.E.-N.W. Cela constitue une bonne densité de stations pour une étude de détail.

4. APPAREILLAGE

4.1 Appareil de profilage magnéto-tellurique (P.M.T.)

L'appareil utilisé pour le profilage M.T., le "TELMAG 2" (TEllurique MAGnéto-tellurique), est entièrement conçu et réalisé au Laboratoire de Géophysique appliquée de l'Ecole Polytechnique de Montréal. Son originalité réside dans le fait qu'il peut être

utilisé à la fois pour le profilage magnéto-tellurique et pour le profilage tellurique-tellurique (PHAM VAN NGOC 1975, 1978). Il est constitué essentiellement de deux "amplificateurs-filtres" identiques, chacun étant logé dans une valise en fibre de verre de dimensions $37 \times 36 \times 15$ cm, pesant environ 8 Kg (c.f. Figures 6 et 7). La Figure 8 montre le schéma synoptique de l'amplificateur-filtre. Le filtre réjecteur 60 et 180 Hz est destiné à éliminer les parasites industriels provenant du secteur. Les filtres passe-bande très sélectifs sont au nombre de quatre fonctionnant en parallèle, ce qui permet d'observer simultanément quatre signaux de fréquences différentes sur quatre canaux distincts. De plus, chaque canal peut être accordé à trois fréquences différentes, ce qui permet d'analyser au total 12 fréquences réparties comme suit: 1, 3, 5, 8, 21, 34, 100, 250, 400, 700, 1200, et 2000 Hz. De ce fait, le "TELMAG 2" permet aussi, si l'on désire, d'effectuer véritablement un "mini-sondage M.T." dans cette gamme de fréquences. Les signaux pseudo-sinusoidaux à la sortie des filtres sélectifs, sont redressés, puis intégrés et la tension moyenne est affichée sur un voltmètre digital à cristaux liquides visibles en plein soleil. Le niveau des signaux est contrôlé par des indicateurs à aiguille, leur saturation est détectée et signalée par un voyant, et leur durée d'intégration est automatiquement contrôlée par quatre horloges, une par canal.



Figure 6: Appareil de profilage "TELMAG 2" mis en station pour une mesure magnéto-tellurique.

Equipment for profiling "TELMAG 2" located at a station for M.T. measurement.

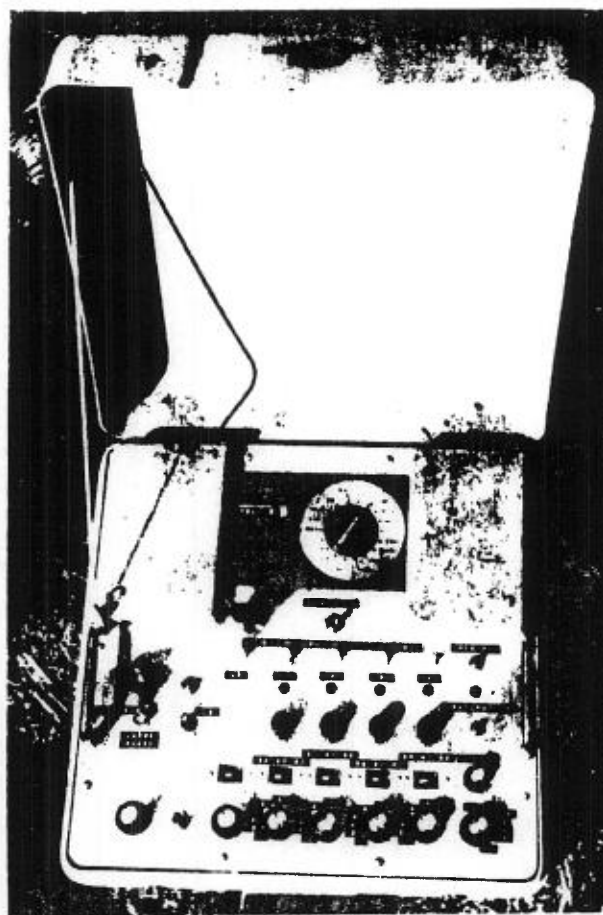


Figure 7: Panneau de contrôle de la valise "amplificateur-filtre".

Panel control of "amplifier-filter" box.

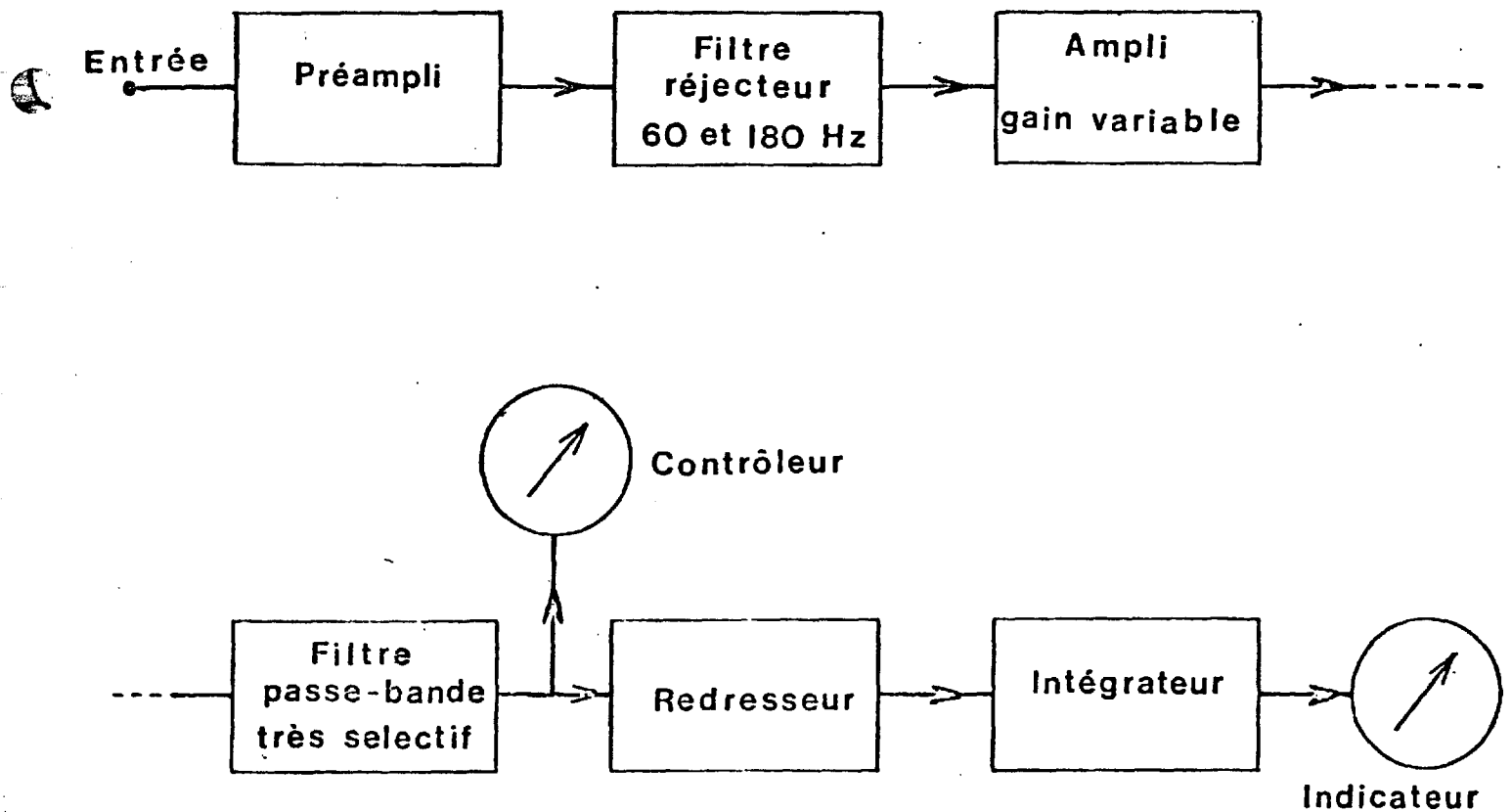


Figure 8: Schéma synoptique de l'amplificateur-filtre.

Dans le profilage magnéto-tellurique, les 2 "amplificateurs-filtres" du "TELMAG 2" sont connectés l'un au capteur tellurique et l'autre au capteur magnétique. Le capteur tellurique est formé de deux électrodes en acier inoxydable plantées directement dans le sol. Le capteur magnétique (CM.15) est de type inductif à noyau en ferrite et à contre-réaction de flux permettant d'obtenir une réponse constante dans une large gamme de fréquences, environ 50mV/γ entre 5 et 500 Hz. Les données de profilage ne nécessitent aucun traitement particulier. Il convient seulement de prendre, en chaque station et pour une fréquence donnée, la moyenne de 3 ou 4 lectures des valeurs du champ tellurique et du champ magnétique et d'appliquer la formule de Cagniard pour obtenir la valeur de résistivité apparente pour cette fréquence (ou période):

$$\rho_{ax} = 0.2 T \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2$$

*Chaque lecture
vous donne le Temps ?
ce doit être la période
de temps correspondant à
la fréquence choisie*

ρ_a = résistivité apparente en Ωm

T = période en seconde

E_x = champ tellurique suivant la direction Ox en mV/km

H_y = champ magnétique suivant la direction Oy perpendiculaire à Ox en gamma.

Par convention, on associe la valeur de résistivité apparente ainsi obtenue, à l'orientation de la ligne tellurique.

↓
*veut dire simplement
l'orientation de la
ligne sur laquelle*

4.2 Chaîne de sondage magnéto-tellurique (S.M.T.)

La chaîne de sondage magnéto-tellurique, essentiellement conçue pour être entièrement transportable, soit par une petite camionnette, soit par hélicoptère dans les régions à accès difficile, utilise un enregistreur analogique TANBERG TIR115 à 4 canaux et ayant une dynamique de 48 db. *veut dire probablement l'amplitude du signal* La Figure 9 montre le schéma synoptique de la chaîne de mesure. Chaque canal comporte un filtre large bande ITHACO 4210 à très haute impédance d'entrée, ** Résistance pour le A.C.* un préamplificateur PAR 113 à très faible bruit, et un module comportant un filtre réjecteur 60+180 Hz et un amplificateur relié à l'enregistreur TANBERG. Dans le cas du sondage M.T., où l'on veut analyser les signaux dans une très large bande de fréquences, les capteurs telluriques et magnétiques sont de plusieurs types suivant la gamme de fréquences étudiée:

GAMME DE FREQUENCES	CAPTEURS TELLURIQUES	CAPTEURS MAGNETIQUES REPNSES CONSTATE
<i>plus grande que</i> Fréquence > 1 Hz <i>courte période</i>	Electrodes en acier <i>n'ont pas le temps de se polariser.</i>	CM.15 (5-500 Hz) = 50mV/γ
<i>plus petites que</i> Fréquence < 1 Hz <i>longue période</i>	Electrodes impola- risables (SO ₄ Cu)	CM.9R (0.1-50 Hz) = 50mV/γ CM.9L (0.005-1 Hz) = 10mV/γ

haute impédance d'entrée
Donc que les

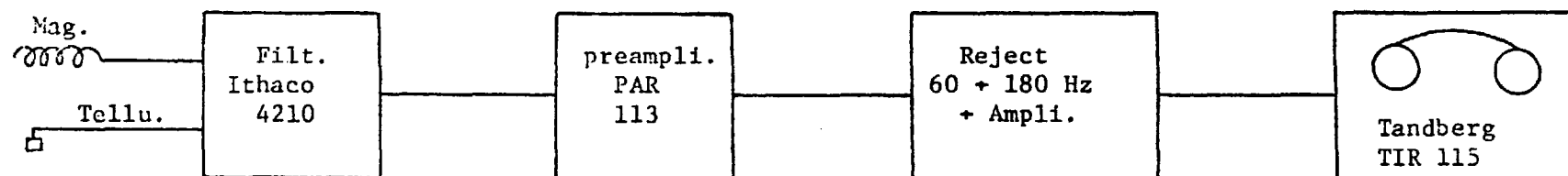


Figure 9: Schéma synoptique de la chaîne de sondage magnéto-tellurique.

Block diagram of M.T. sounding equipment.

Les capteurs magnétiques CM.9R et CM.9L sont aussi, comme le CM.15, de type inductif à contre-réaction de flux mais à noyau en mu-métal. En chaque station, on enregistre simultanément deux composantes telluriques, horizontales E_x et E_y et deux composantes magnétiques horizontales H_x et H_y suivant deux directions perpendiculaires Ox et Oy afin d'appliquer ultérieurement le traitement tensoriel pour la recherche des directions et des résistivités apparentes principales. On enregistre également la composante magnétique verticale H_z ^{est affectée du signe opposé à la verticale du champ magnétique terrestre} simultanément soit avec E_x et E_y , soit avec H_x et H_y pour compléter les informations précédentes dans l'étude des discontinuités électriques latérales.

Les enregistrements magnétiques analogiques sont analysés sommairement sur place afin de s'assurer de la qualité des enregistrements, avant d'être digitalisés ultérieurement au laboratoire avec les filtres "antipliage" et les pas d'échantillonnage convenablement choisis en fonction des gammes de fréquences traitées.

TENSEUR : Ensemble de fonctions qui décrivent un champ vectoriel. Par ex un vecteur du champ électrique E et le vecteur d'une densité de courant J sont décrit par le tenseur P parce que $E = P.J$. P est un tenseur qui est habituellement d'ordre 2 comme une matrice. De façon similaire les constantes d'élasticité sont des composantes de tenseurs pour des milieux anisotropes.

5 - TRAITEMENT DES DONNEES DE S.M.T.

Rappelons que le traitement tensoriel des données de S.M.T. ^{relatif à un vecteur} vise à obtenir les impédances tensorielles Z_{ij} ^{contrainte à un vecteur de déformation} suivant les directions principales dans le cas où le sous-sol est électriquement anisotrope. Evidemment dans le cas d'un sous-sol tabulaire, les impédances tensorielles se réduisent aux impédances scalaires Z_c de Cagniard, invariantes par rapport aux directions des axes de mesure. Dans le cas général,

X et Y pour qu'elles sont ^{22.2} *22.2*

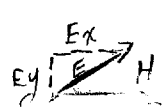
les quatre composantes horizontales magnéto-telluriques sont reliées par les équations suivantes :

champ électrique

$$E_x = Z_{11}H_x + Z_{12}H_y$$

$$E_y = Z_{21}H_x + Z_{22}H_y$$

Composante x de E = la somme des composantes x et y de H



$$\begin{vmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{vmatrix}$$

Les 4 termes du tenseur Z_{ij} sont calculés par la méthode des moindres carrés qui présente l'avantage de minimiser les bruits affectant en particulier les enregistrements telluriques.

Si le sous-sol possède une anisotropie électrique à deux dimensions, l'angle θ_0 que fait les axes d'anisotropie avec les axes de mesure peut être obtenu par la formule :

$$\tan 4 \theta_0 = \frac{(Z_{11}-Z_{22}) (Z_{12}+Z_{21}) + (Z_{11}+Z_{22}) (Z_{12}-Z_{21})}{|Z_{11}-Z_{22}|^2 - |Z_{12}+Z_{21}|^2}$$

Cependant, afin de mieux observer le caractère bidimensionnel de l'anisotropie électrique du sous-sol, on préfère examiner, période par période, la variation des 4 termes du tenseur Z_{ij} en fonction de la rotation des axes de mesure tous les 5° entre -90° et $+90^\circ$. La Figure 10 montre un exemple d'une telle analyse. Les 2 directions θ° et $\theta^\circ + 90^\circ$ pour lesquelles le terme diagonal Z_{11} (ou Z_{22}) est nul ou passe par un minimum, correspondent aux 2 directions principales de l'anisotropie électrique. Les valeurs correspondantes des termes Z_{12} et Z_{21} permettent de calculer les 2 résistivités apparentes principales ρ_{a12} et ρ_{a21} . La Figure 11 représente l'organigramme du programme de traitement tensoriel des données de S.M.T.

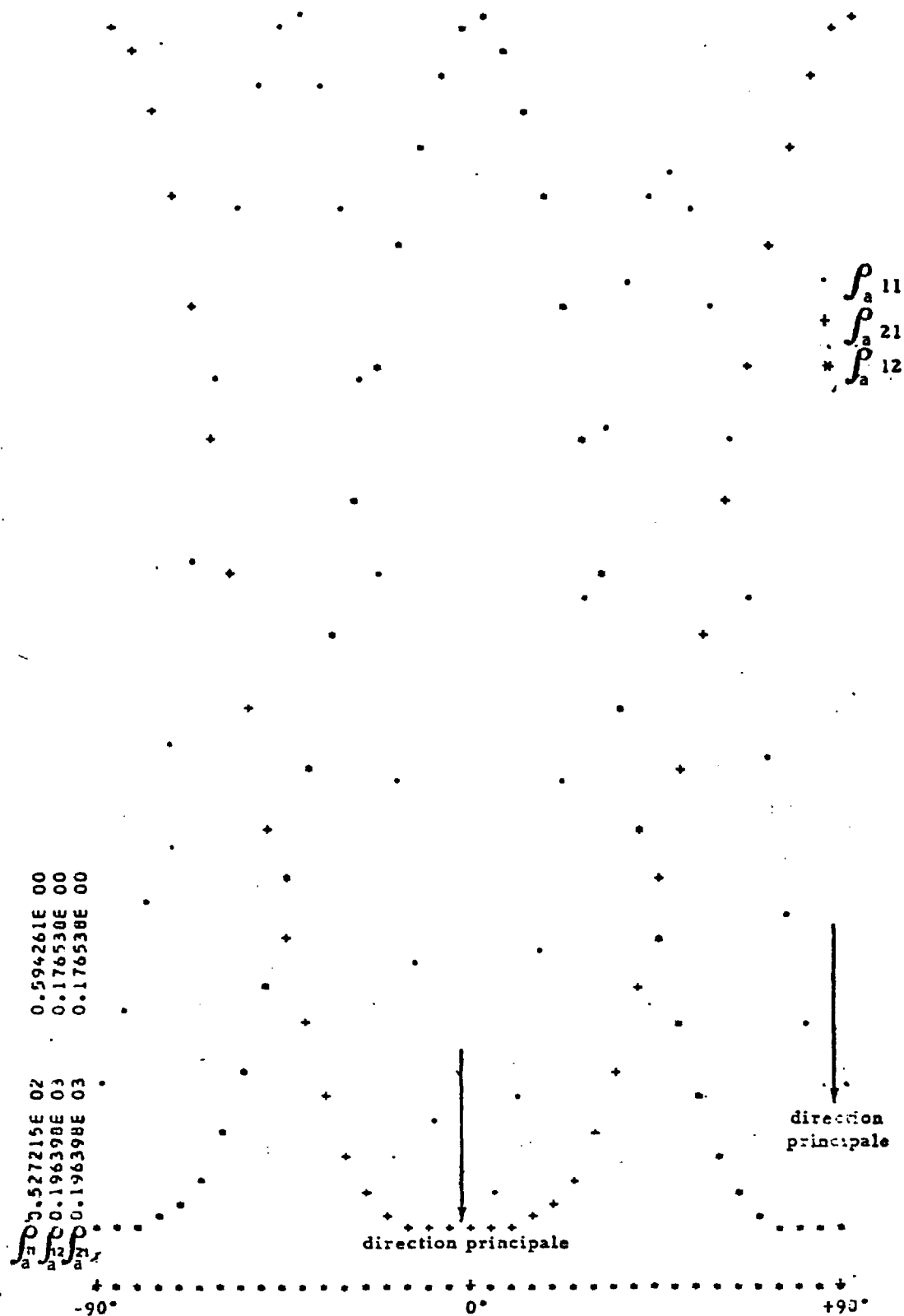
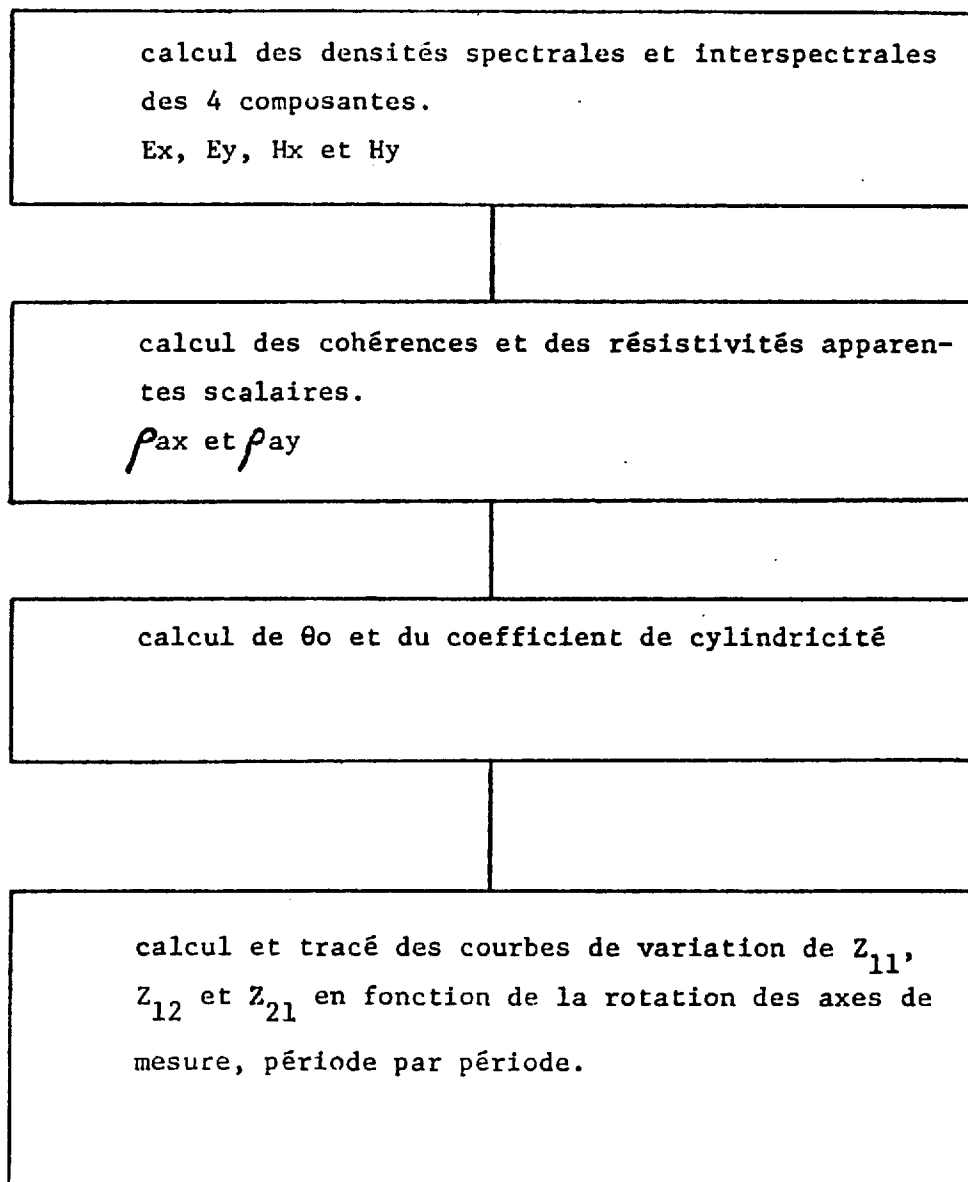


Figure 10: Exemple de rotation des axes de mesure pour la recherche des directions principales.

Example of measurement axes rotation for research of principal directions.

Figure 11: Organigramme du traitement tensoriel des données de S.M.T.



6 - ACQUISITION DES DONNEES SUR LE TERRAIN

Sur le terrain, deux équipes travaillent simultanément, l'une pour effectuer les mesures de P.M.T., l'autre pour enregistrer les données de S.M.T.

6.1 Acquisition des données de P.M.T.

La direction de la ligne tellurique adoptée pour les mesures est celle de la structure générale du bassin du Saint-Laurent, c'est-à-dire 63° N.E. par rapport au Nord Magnétique ou 40° N.E. par rapport au système de coordonnées U.T.M. Pour chaque profil, on effectue également, en plusieurs stations, des mesures suivant la direction perpendiculaire. On a pu ainsi constater que, dans l'ensemble, les résultats suivant les deux directions sont sensiblement les mêmes, ce qui confirme le caractère isotrope des résistivités apparentes dans la région étudiée. D'autre part, étant donné que cette dernière est parfois fortement perturbée par les signaux parasites artificiels, notamment près des zones d'habitation et des fermes, il a été nécessaire de refaire environ 30% des stations P.M.T. afin de contrôler la qualité de leurs mesures.

6.2 Acquisition des données de S.M.T.

Les deux directions de mesure choisies sont respectivement orientées de 27° N.W. et 63° N.E. par rapport au Nord Magnétique ce qui correspond à 50° N.W. et 40° N.E. par rapport au Nord du système de

coordonnées U.T.M., la dernière direction étant celle de la structure générale du bassin du Saint-Laurent. Les lignes telluriques placées suivant ces deux directions ont une longueur de 200 m, mais peuvent être exceptionnellement plus réduites pour des raisons d'accès sur le terrain. Quoique, d'après les résultats de la précédente campagne de reconnaissance (PHAM VAN NGOC, 1976), on soupçonnait le caractère pseudo-tabulaire du sous-sol de la région étudiée, on a effectué quand même, en plusieurs stations, des enregistrements de la composante magnétique verticale afin de contrôler l'importance de l'effet des éventuelles hétérogénéités du sous-sol.

. 1 cycle / seconde 1/1 → 1 cycle

7 - PRESENTATION DES RESULTATS

.1 / 1 10 seconde

Pour les données des stations S.M.T., la bande des fréquences traitées s'étend de 20 Hz environ à 0.1 Hz (périodes de 0.05 à 10 secondes). Dans cette bande, le spectre est balayé de façon presque continue. Le traitement des données est limité vers les basses fréquences à 0.1 Hz, car à cette fréquence le socle est déjà largement atteint. Les enregistrements sont limités vers les hautes fréquences à 20 Hz, car dans toute la région étudiée, le niveau extrêmement élevé du 60 Hz du secteur et de ses harmoniques, atteignant parfois 500 fois le niveau des signaux naturels, empêche tout enregistrement utilisable à large bande pour des fréquences supérieures à 20 Hz. Pour remédier à cela, une nouvelle stratégie d'acquisition des données qui a été essayée déjà avec succès durant la campagne de 1975 dans les basses terres du Saint-Laurent (PHAM VAN NGOC, 1976), a été de nouveau appliquée pour cette

étude. Elle consiste à combiner les résultats de P.M.T. avec ceux de S.M.T. afin d'obtenir, pour chaque station S.M.T., une courbe de sondage couvrant pratiquement 5 décades. En effet, comme il l'a été décrit dans le paragraphe 4, l'appareil de P.M.T., le TELMAG2, permet d'obtenir des résultats jusqu'à 2000 Hz, complétés par une mesure à 17.8 KHz en utilisant le signal émis par l'émetteur T.B.F. ^{très basse fréquence} du Maine (E.U.). Evidemment les résultats obtenus par le TELMAG2 ne sont pas aussi précis que ceux obtenus par le traitement par ordinateur des S.M.T.. Cependant dans le cas où le niveau du 60 Hz est très élevé, le filtrage sélectif utilisé dans le TELMAG2 permet d'obtenir au moins un ordre de grandeur des résistivités apparentes dans la gamme des fréquences supérieures à 20 Hz, alors que l'enregistrement à large bande est inutilisable. De plus, dans cette nouvelle stratégie d'acquisition des données, on a pris soin de doubler les stations P.M.T. par rapport aux stations S.M.T., ce qui permet de mieux contrôler la continuité des résultats de profilage.

Comme il l'a été déjà mentionné dans le paragraphe précédent, les mesures de profilage suivant deux directions perpendiculaires, en plusieurs stations, ont montré le caractère isotrope des résistivités apparentes. Ce caractère d'isotropie est, dans l'ensemble, bien confirmé par le traitement tensoriel des données de sondage, sauf pour les très grandes périodes, supérieures à 10 secondes, qui ne concernent plus les séries sédimentaires, mais qui intéressent seulement les propriétés électriques de la partie profonde de la croûte terrestre. En certaines stations, on observe une certaine anisotropie, mais cette anisotropie est toujours faible dans la gamme des périodes étudiées.

On peut donc considérer que les séries sédimentaires de la région étudiée, prises dans leur ensemble, présentent un caractère électriquement isotrope. Cette isotropie devrait traduire, en principe, le caractère pseudo-tabulaire du sous-sol. Mais on verra plus loin, d'après les résultats de l'interprétation quantitative, qu'il existe un système de failles normales de direction générale N.E.-S.W., à rejet parfois assez important et affectant tout le terrain sédimentaire. Or, étant donné que ce dernier présente des séries alternativement conductrice et résistante, l'effet des discontinuités électriques latérales provoquées par les failles, est fortement atténué, ce qui explique le caractère isotrope observé. D'ailleurs, le très faible niveau de la composante magnétique verticale enregistrée, confirme la faible influence des hétérogénéités latérales du sous-sol sur les résultats magnéto-telluriques.

L'ensemble des résultats de S.M.T. et de P.M.T. est présenté dans un catalogue joint à la fin du rapport. Ce catalogue comporte 65 figures correspondant respectivement aux 65 stations primaires S.M.T. Sur ces mêmes figures, on a également reporté les résultats de toutes les stations secondaires P.M.T. Chaque figure contient donc les résultats d'une station S.M.T. tracés en rond (o) pour des basses fréquences (inférieures à 20 Hz), ceux de la station P.M.T. placée au même endroit, tracés en pointillé pour les hautes fréquences (supérieures à 20 Hz) et éventuellement ceux d'une ou de deux stations P.M.T. voisines. De cette façon, il est possible de reconstituer, pour chaque station primaire S.M.T., une courbe de sondage relativement bonne pour 5 décades de périodes. L'interprétation quantitative d'une telle courbe, dont les résultats seront exposés plus loin, permettra d'obtenir des informations

10^1
 10^0
 10^{-1}
 10^{-2}
 10^{-3}

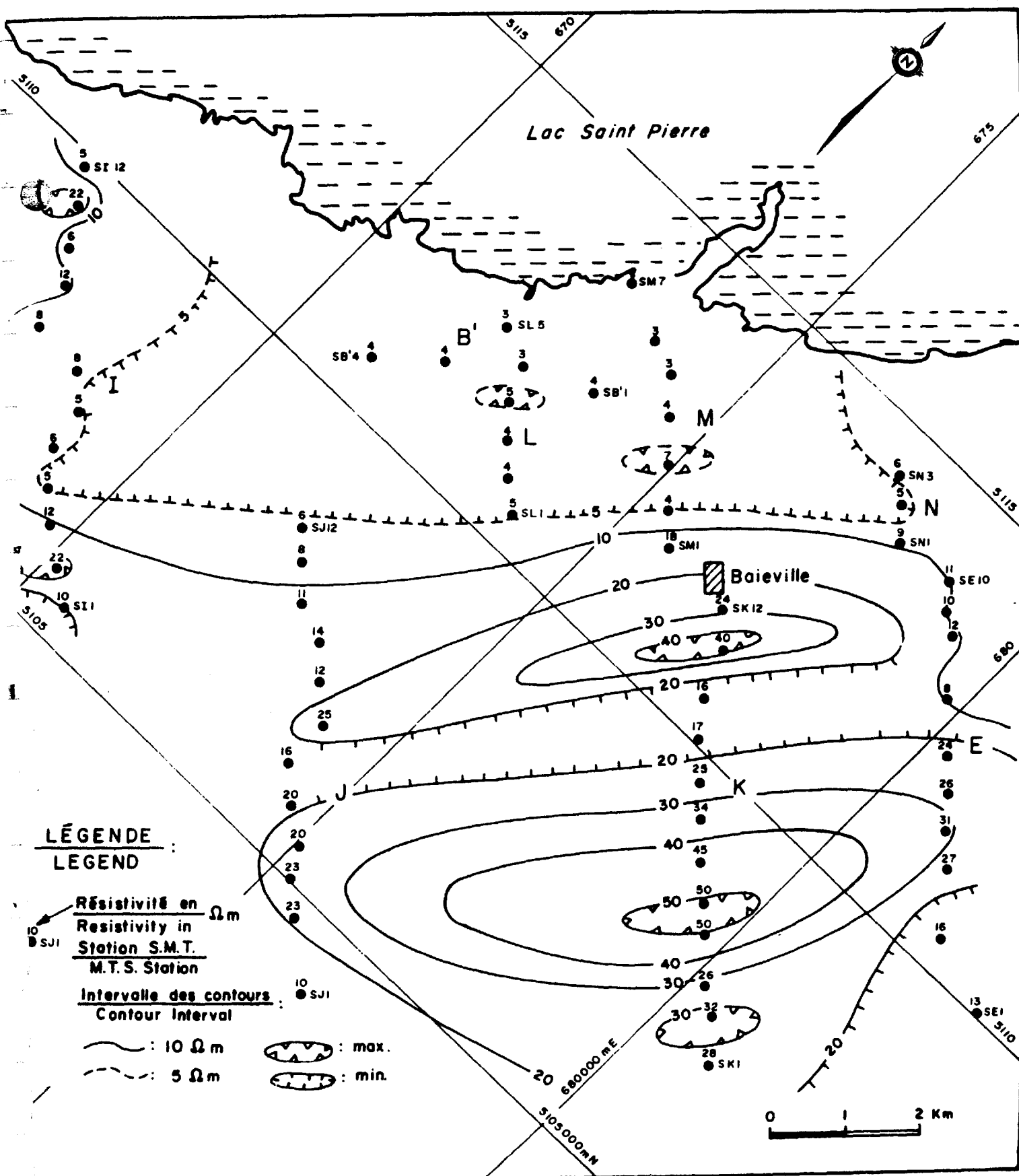
} 5 Décades

aussi complètes que possible, à la fois sur les structures superficielles et sur les structures profondes. D'ailleurs, en ce qui concerne spécialement la région étudiée, la stratégie d'acquisition des données dans une très large gamme de périodes, suivie d'une interprétation détaillée de toute la série sédimentaire de la surface jusqu'au socle, se révéla absolument primordiale. En effet la série stratigraphique du groupe Lorraine-Utica, composée essentiellement de schistes argileux, généralement très conducteurs, constitue un épais écran électro-magnétique en surface tendant à atténuer l'effet des structures profondes. Ces dernières ne peuvent être correctement mises en évidence que si l'effet de la couche conductrice superficielle est aussi correctement évalué. Cette évaluation est, de plus, grandement facilitée par la forte densité des stations le long des profils. Ainsi, il est extrêmement significatif d'examiner l'évolution de la forme des courbes de sondage, d'une station à l'autre, le long de chaque profil. Prenons par exemple, le profil K (cf. catalogue des courbes S.M.T. et P.M.T. à la fin du rapport). On constate qu'il y a un changement très net de la forme des courbes de sondage, d'une part entre les stations SK3 et SK6, d'autre part entre les stations SK9 et SK11. C'est donc aux environs de ces stations qu'il pourrait y avoir de notables accidents dans le sous-sol.

Pour avoir, qualitativement, une image de la structure du sous-sol, on a dressé deux cartes de résistivité apparente correspondant respectivement aux deux fréquences : $F=10$ Hz et $F=1$ Hz. La carte de résistivité apparente correspondant à la plus haute fréquence ($F=10$ Hz), montrée sur la Figure 12, est surtout influencée par des structures relativement plus superficielles, grossièrement au niveau des séries

FIGURE 12 - CARTE DES RÉSISTIVITÉS APPARENTES M.T.
M.T. APPARENT RESISTIVITIES MAP

$F = 10 \text{ Hz}$

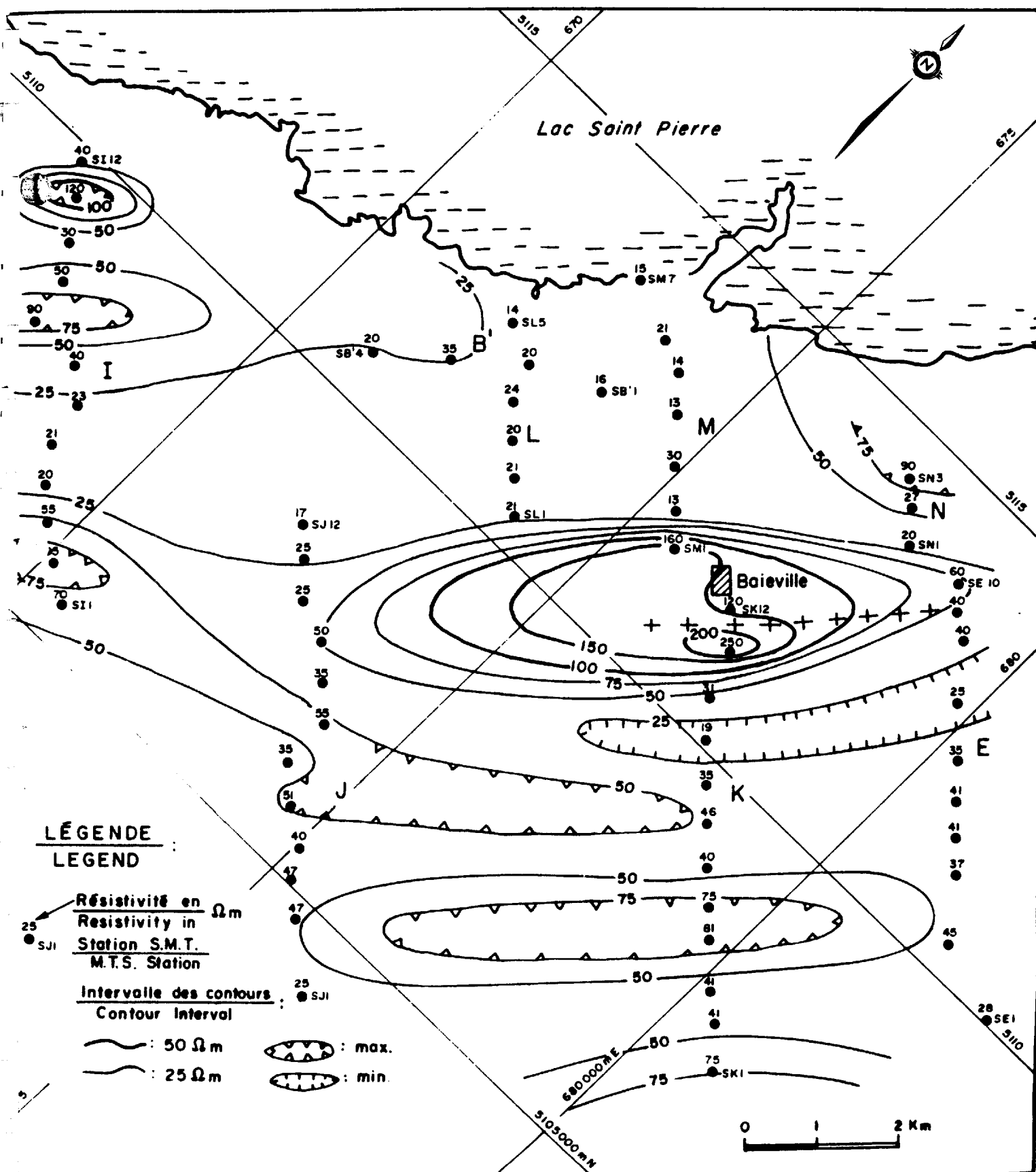


conductrices du Groupe Lorraine-Utica et des séries résistantes du groupe Trenton. On y observe, dans la partie N.W. bordant le Lac Saint-Pierre, une large zone très conductrice, relativement uniforme, de résistivité inférieure à 5 Ω m. Elle correspond à l'effet prédominant du Groupe Lorraine-Utica affleurant au N.W. Plus au S.E., les résistivités apparentes sont nettement plus élevées. On y trouve deux bandes allongées de résistivités maximales séparées par un minimum relatif. Elles pourraient provenir, soit de l'influence du groupe Richmond en surface et du groupe Trenton en profondeur, soit du changement de faciès du Groupe Lorraine-Utica.

La carte de la Figure 13, correspondant à une fréquence plus basse ($F=1$ Hz), devrait traduire l'effet des structures plus profondes, notamment au niveau du socle. Cependant, on observe que la partie N.W. reste toujours relativement conductrice et continue à subir l'influence du Groupe Lorraine-Utica. Plus au S.E., la carte est plus complexe et présente une succession de maximums et de minimums. Les deux maximums les plus forts, l'un près de Baieville, l'autre autour de la station SK4, pourraient correspondre à une remontée du socle ou à une structure anticlinale. Cependant la grande variété des propriétés électriques des différentes séries sédimentaires, jointe à la présence évidente d'importants accidents en profondeur, ne permet pas de faire une interprétation qualitative simple des cartes de résistivité apparente. Une interprétation quantitative plus poussée, présentée plus loin, permettra de mieux discerner les complexités structurales. Néanmoins les deux cartes des Figures 12 et 13 révèlent très clairement l'existence d'une tectonique locale plus complexe que prévu en profondeur, absolument

FIGURE 13 - CARTE DES RÉSISTIVITÉS APPARENTES M.T.
M. T. APPARENT RESISTIVITIES MAP

$F = 1 \text{ Hz}$



insoupçonnable à partir de la géologie en surface. Elles indiquent également que la direction structurale principale est bien celle du bassin sédimentaire du Saint-Laurent, c'est à dire N.E.-S.W. et que, dans le périmètre étudié, les accidents les plus importants sont localisés le long du profil K, au S.E. de Baieville.

8 - INTERPRETATION QUANTITATIVE

Le caractère isotrope des courbes de sondage présentées dans le paragraphe précédent, permet d'adopter, avec une bonne approximation, l'hypothèse tabulaire pour l'interprétation quantitative de ces courbes. Le catalogue des listes d'interprétation par ordinateur, joint également à la fin de ce rapport, donne les résultats obtenus. Ces derniers seront présentés, ci-dessous, schématiquement sous forme de "coupes géoélectriques" correspondant aux 8 profils exécutés, et permettant d'établir, en dernier lieu, une carte de synthèse structurale profonde de la région étudiée.

8.1 Les coupes géoélectriques

Une coupe géoélectrique suivant un profil est une représentation, suivant une section verticale, de la répartition en profondeur des terrains de résistivité différente le long de ce profil. Elle pourrait correspondre à une coupe géologique au cas où les différentes séries stratigraphiques auraient un caractère lithologique suffisamment différencié pour avoir des contrastes de résistivité bien marqués. Cependant

la corrélation entre géologie et résistivité électrique n'est pas toujours aisée lorsqu'il existe des changements de faciès, ou lorsque les propriétés physiques des roches ont changé, notamment à cause des fractures ou de l'altération. Néanmoins, avec les réserves d'usage, les coupes géoélectriques, en corrélation avec d'autres renseignements géologiques ou géophysiques, peuvent fournir des indications très intéressantes sur la structure du sous-sol.

Précisément dans le cas des basses terres du Saint-Laurent, grâce d'une part aux études géologiques et électriques d'un grand nombre de forages profonds exécutés dans la région, études dont les résultats sont résumés dans le paragraphe 2 du "cadre géologique" de ce rapport, grâce d'autre part aux résultats obtenus durant la précédente campagne de reconnaissance M.T. (PHAM VAN NGOC, 1976), et confirmés par la présente étude au Sud du Lac Saint-Pierre (cf. Figures 14 à 19), il est possible de distinguer quatre "séries électriques" bien différenciées de la surface du sol jusqu'au socle :

1) les séries conductrices superficielles,

de résistivité variable mais généralement inférieure à 100 Ωm , correspondant aux groupes Richmond, Lorraine et Utica,

2) les séries carbonatées résistantes,

de résistivité comprise entre 500 et 2000 Ωm , correspondant aux groupes Trenton, Black River, Chazy et Beekmantown,

FIGURE 14 - Coupe géoélectrique du profil
 Geoelectrical section of profile

SB'

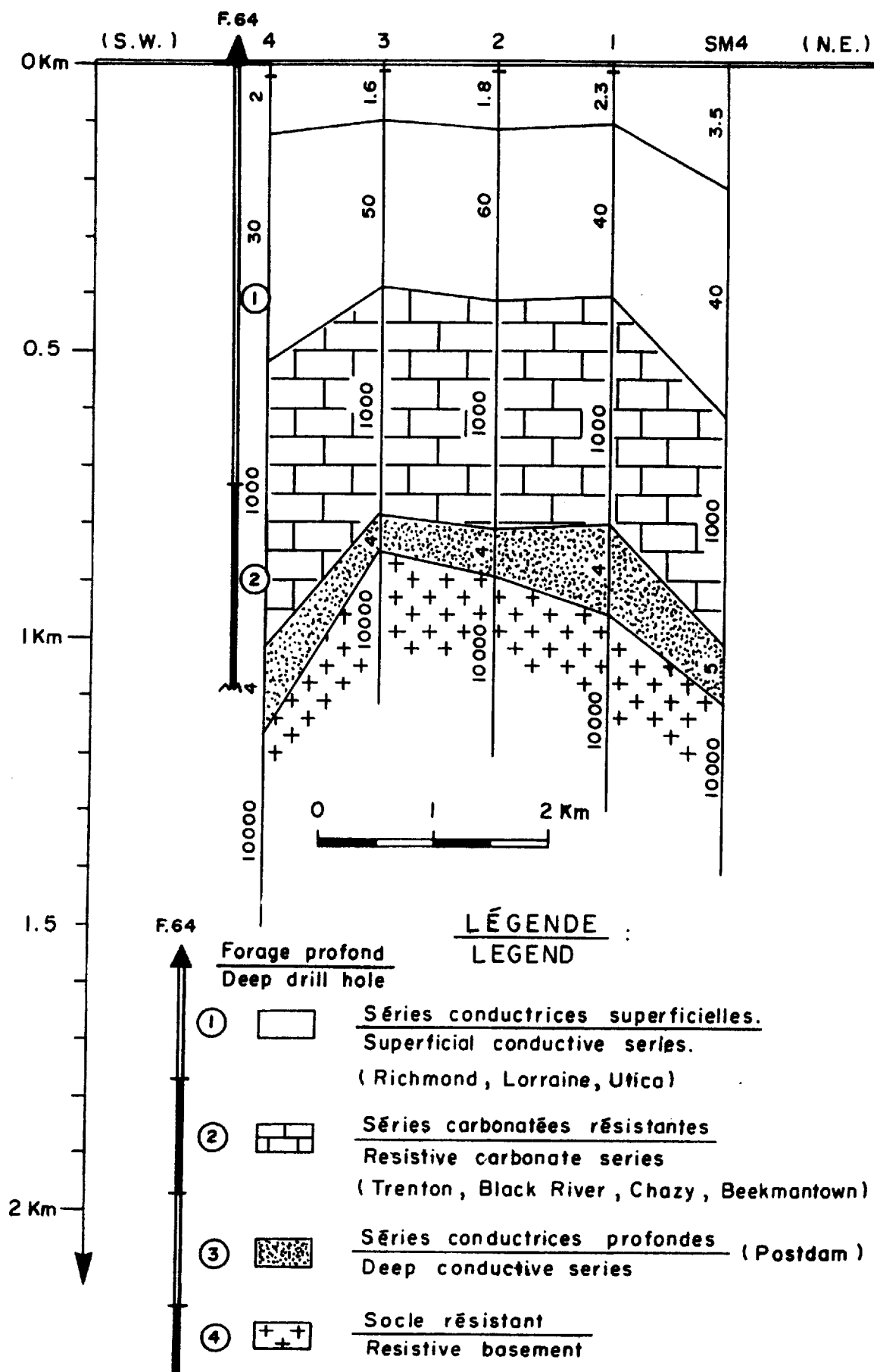


FIGURE 15 - Coupes géoélectriques des profils :
Goelectrical sections of profiles

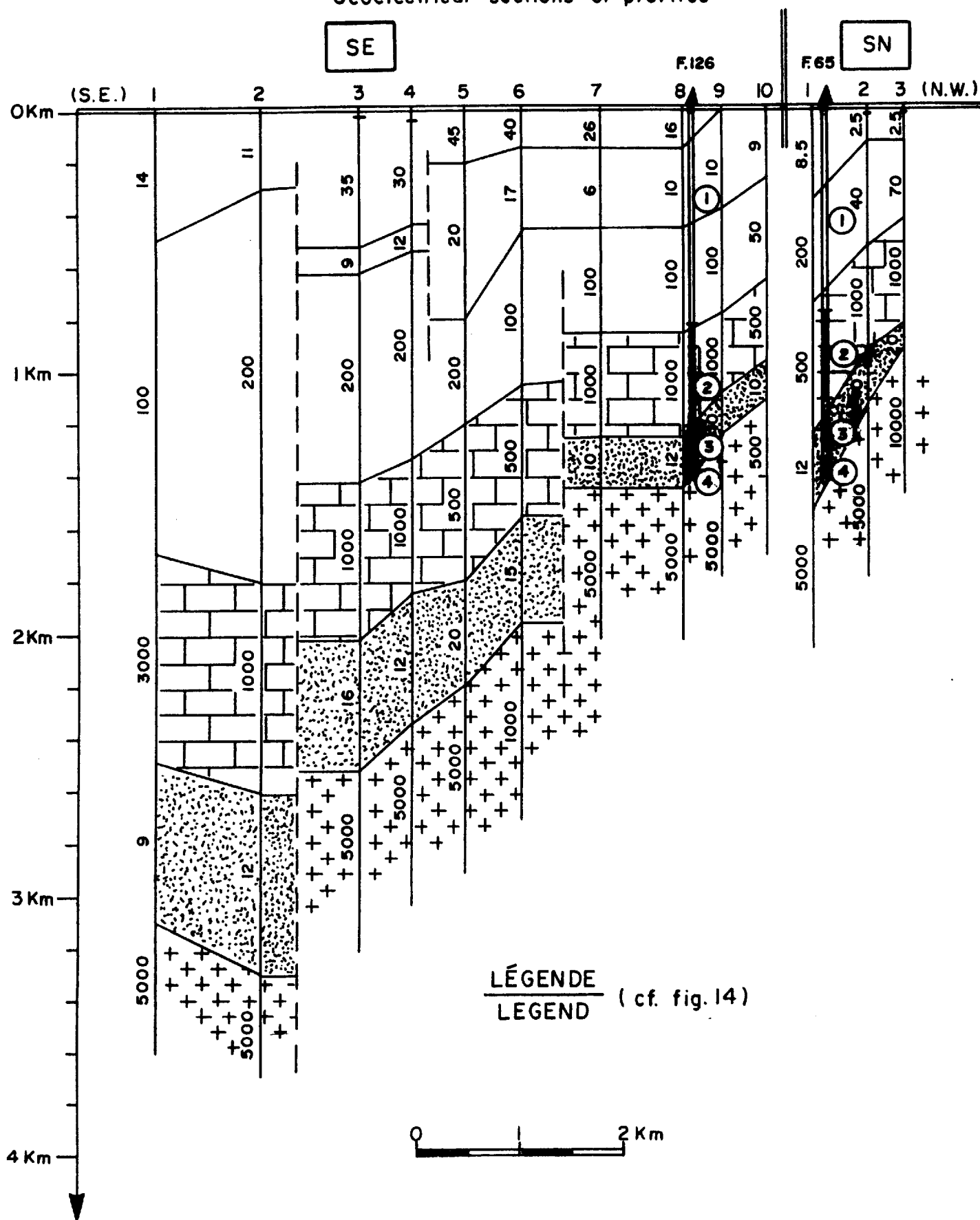


FIGURE 16 — Coupe géoélectrique du profil
Goelectrical section of profile

SI

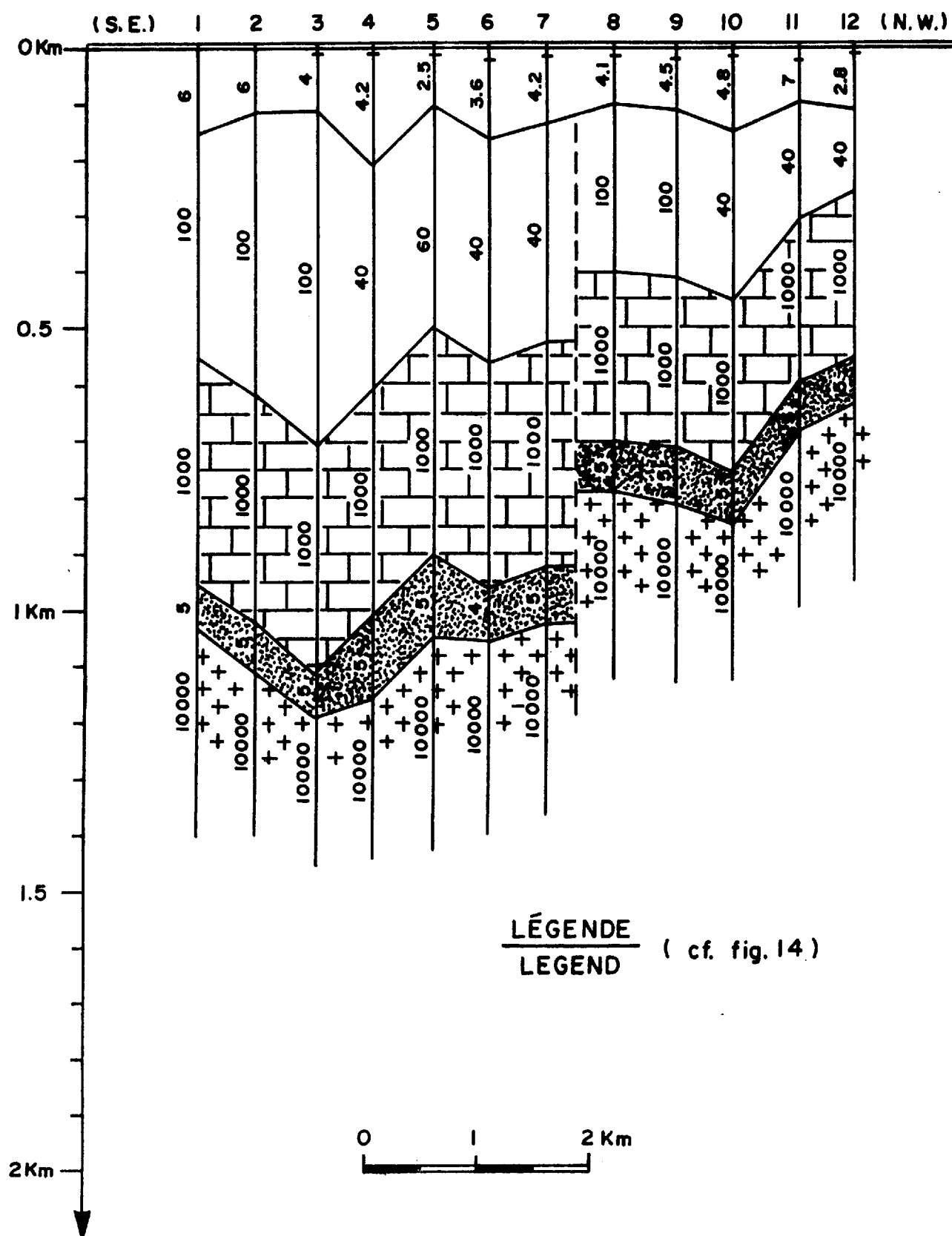


FIGURE 17 - Coupe géoélectrique du profil
Geoelectrical section of profile

SJ

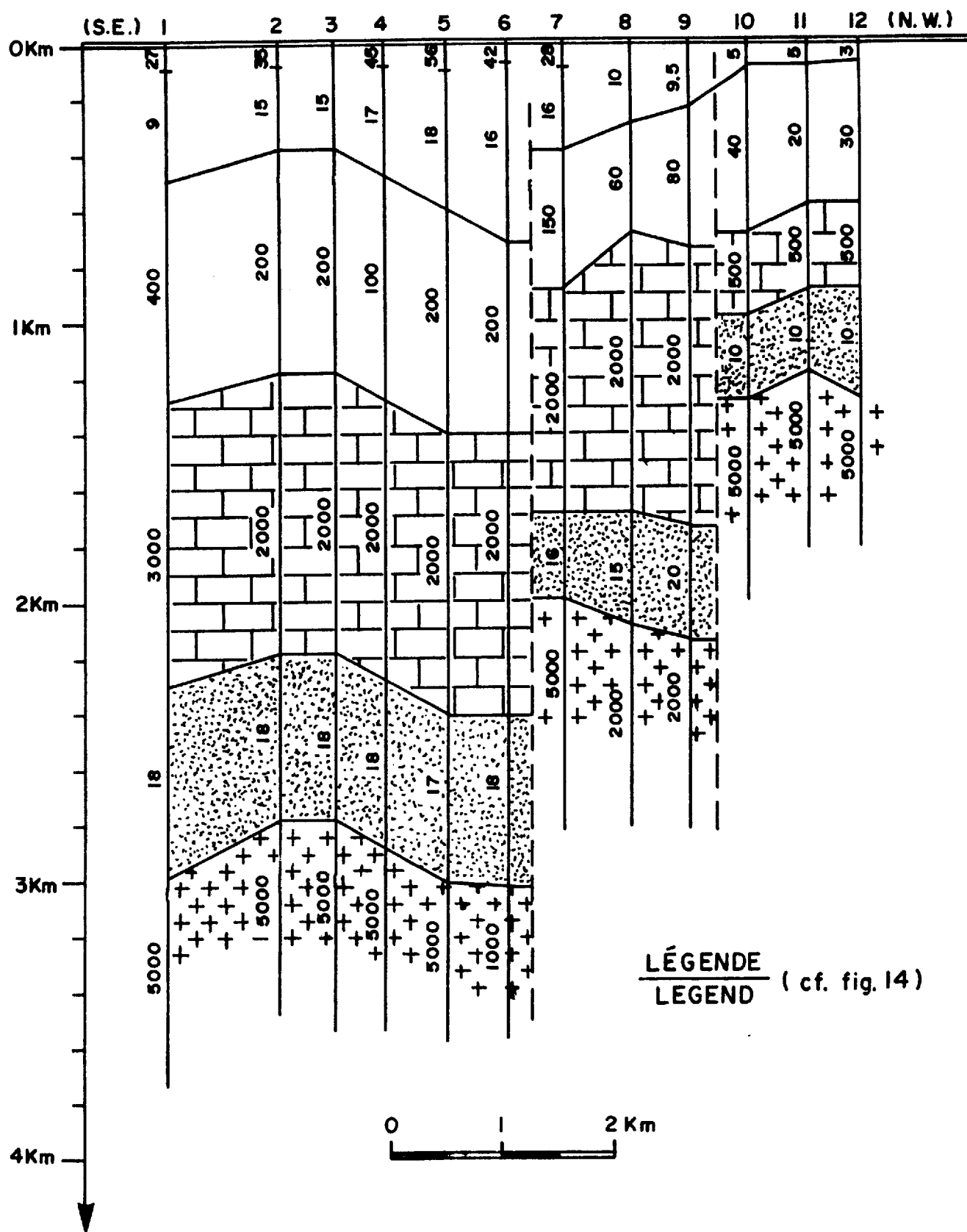


FIGURE 18 - Coupe géoélectrique du profil
 Geoelectrical section of profile

SK

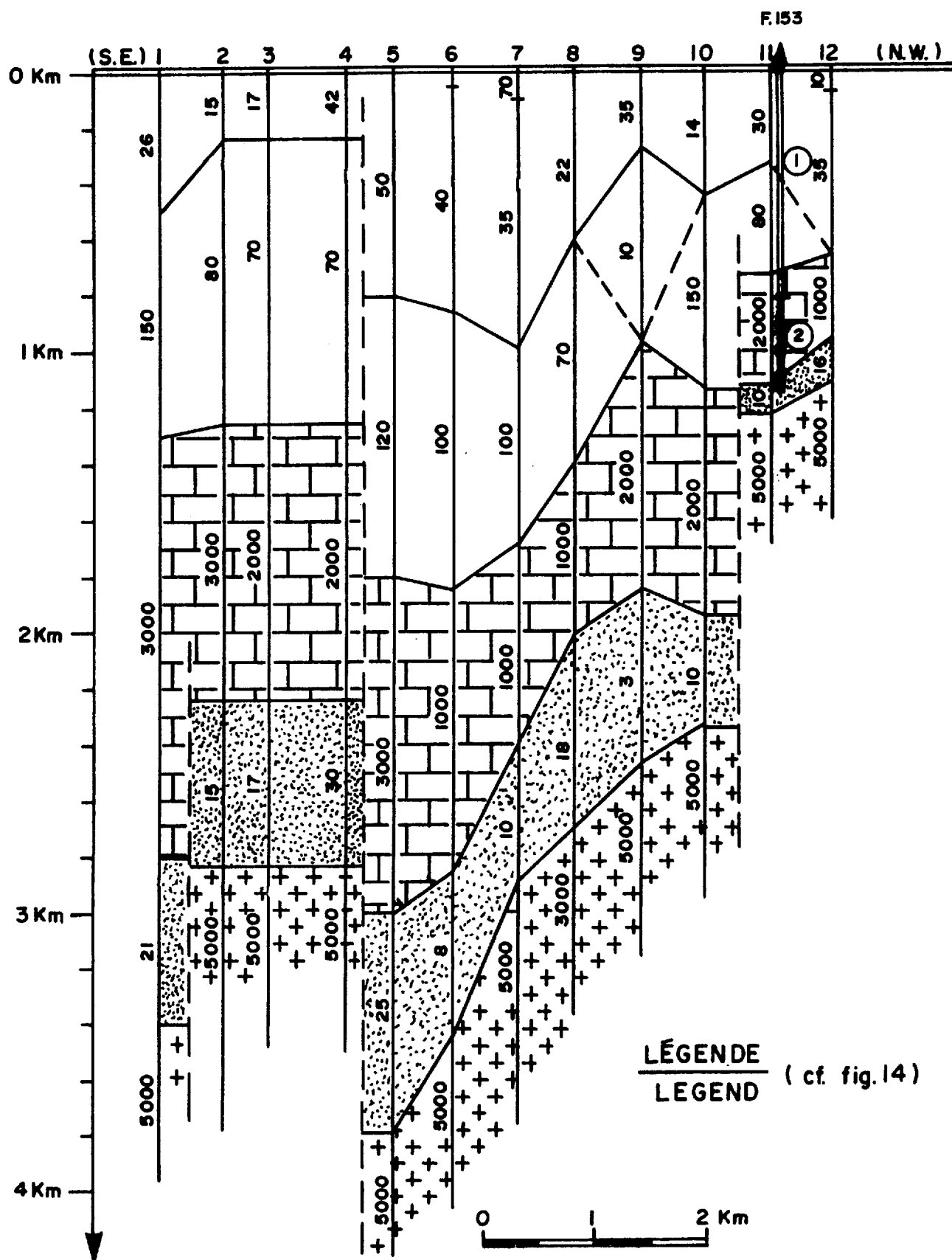
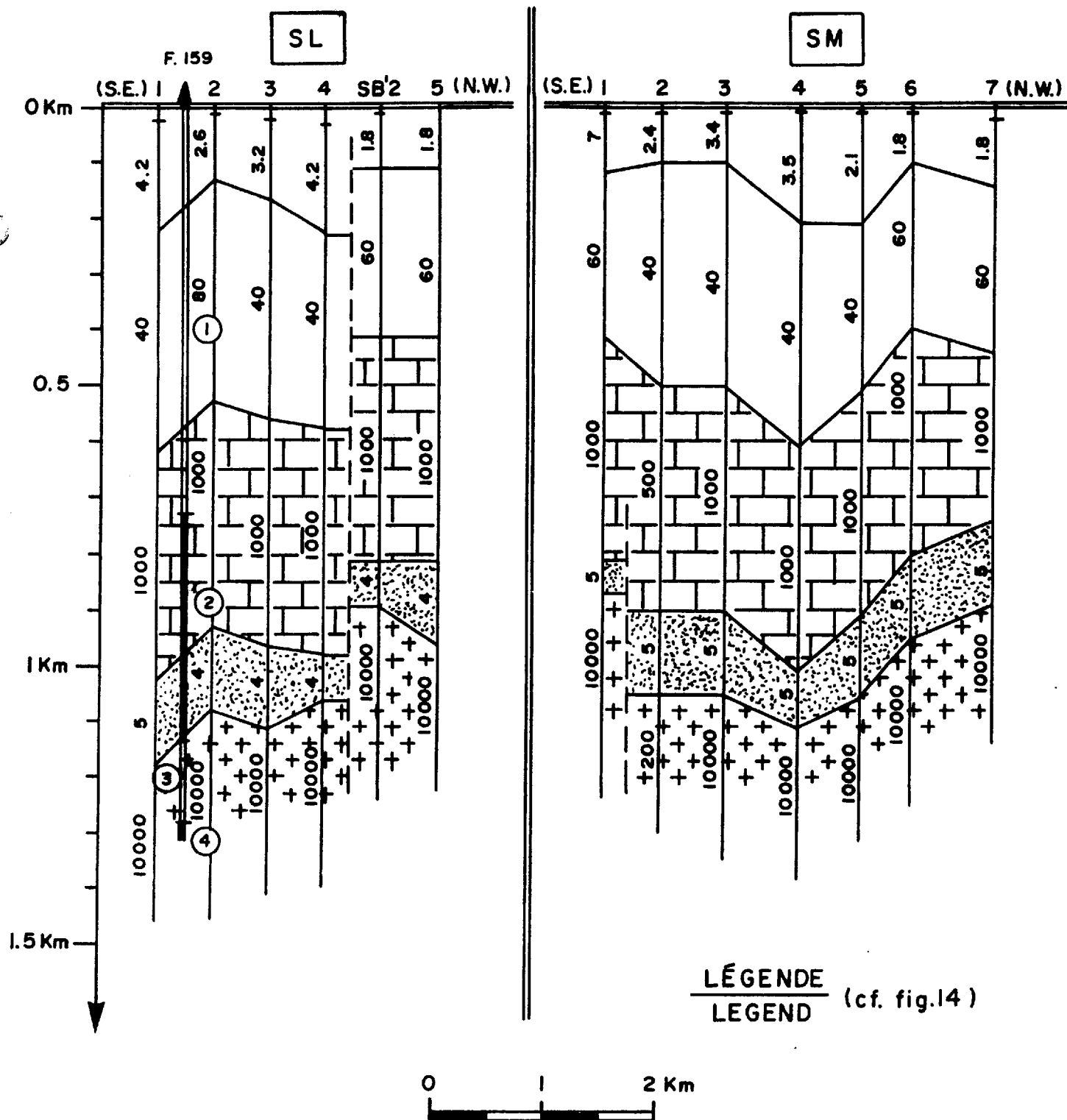


FIGURE 19 — Coupes géoélectriques des profils :
Geoelectrical sections of profiles



- 3) les séries conductrices profondes,
de résistivité inférieure à 20 Ωm ,
correspondant aux formations du
Postdam,
- 4) le substratum résistant, de résistivité
supérieure à 1000 Ωm , correspondant au
socle précambrien.

Evidemment, cette délimitation des différentes "séries électriques" a un caractère "macroscopique" car on ne doit considérer que leur résistivité moyenne d'ensemble. Cela n'exclut pas que, localement, il existe des variations de résistivité à l'intérieur d'une même série. Mais ces variations locales ne peuvent être visibles que pour les séries superficielles. Par contre, les variations de résistivité observées dans les séries plus profondes, notamment dans les séries 2), 3) et 4), ne sont pas forcément significatives et doivent être interprétées avec prudence. Moyennant ces réserves, l'examen des coupes géoélectriques des 8 profils présentés sur les Figures 14 à 19, permet de distinguer, dans la région prospectée, deux zones tectoniques différentes, déjà observées sur les cartes de résistivité apparente des figures 12 et 13 :

- une zone tectonique calme, située dans la partie N.W. du périmètre d'étude, bordant le Lac Saint-Pierre et délimitée au S.E. par une faille longeant approximativement la ligne de chemin de fer du Canadian National passant par Baieville. Dans cette zone, les coupes géoélectriques des profils B' (Fig. 14), I (Fig. 16), L et M (Fig. 19),

N (Fig. 15) montrent que les terrains sont pratiquement tabulaires et qu'il n'existe aucun accident majeur à l'exception d'une éventuelle faille mineure profonde sous le profil I, à l'emplacement des stations SI7 et SI8, et sous le profil L, à l'emplacement de SL4 et SL5. L'influence des séries conductrices superficielles, constituées principalement par les groupes Lorraine-Utica, y est prédominante et atténue fortement l'effet des formations du Trenton et du Postdam peu épaisses. La profondeur du socle varie entre 800 m au N.W. à 1200 m au S.E. Par ailleurs, le socle présente un léger anticlinal sous le profil B'.

- une zone tectonique perturbée en profondeur, occupant le reste du périmètre d'étude, dans la partie S.E. En effet, l'examen des profils E (Fig. 15), J (Fig. 17) et K (Fig. 18) montre que les terrains profonds sont hachés par une série de failles normales, provoquant la formation de structures en forme de marches d'escalier plongeant de plus en plus profondément vers le S.E. Cependant, il est intéressant de remarquer que ces marches d'escalier ne sont pas toujours plates, mais ont parfois la forme, soit des plis anticlinaux, soit des plis synclinaux. Il est évident que de telles structures, si elles se confirment, constituent d'excellents pièges pour les hydrocarbures. De plus, il est intéressant de noter également que, dans cette zone, il y a un épaissement général de toutes

les séries sédimentaires, notamment celles du Postdam considérées comme une roche-réservoir potentielle.

Les coupes des trois profils parallèles E, K et J ont bien la même structure générale en forme d'escalier, mais présentent de notables différences dans le détail.

Les marches d'escalier sous le profil E (cf. Fig. 15) descendent régulièrement du N.W. au S.E. Celles sous le profil K (cf. Fig. 18) sont fortement plissées, notamment entre les stations SK5 et SK10, provoquant des rejets de faille qui dépassent 1000 m. Sous le profil J (cf. Fig. 17), même si on observe encore des rejets importants atteignant 1000 m, les marches d'escalier tendent à devenir horizontales. Ces résultats, joints à ceux observés sur les cartes de résistivité apparente des Figures 12 et 13, tendent à confirmer que c'est le long du profil K que les accidents sont les plus importants.

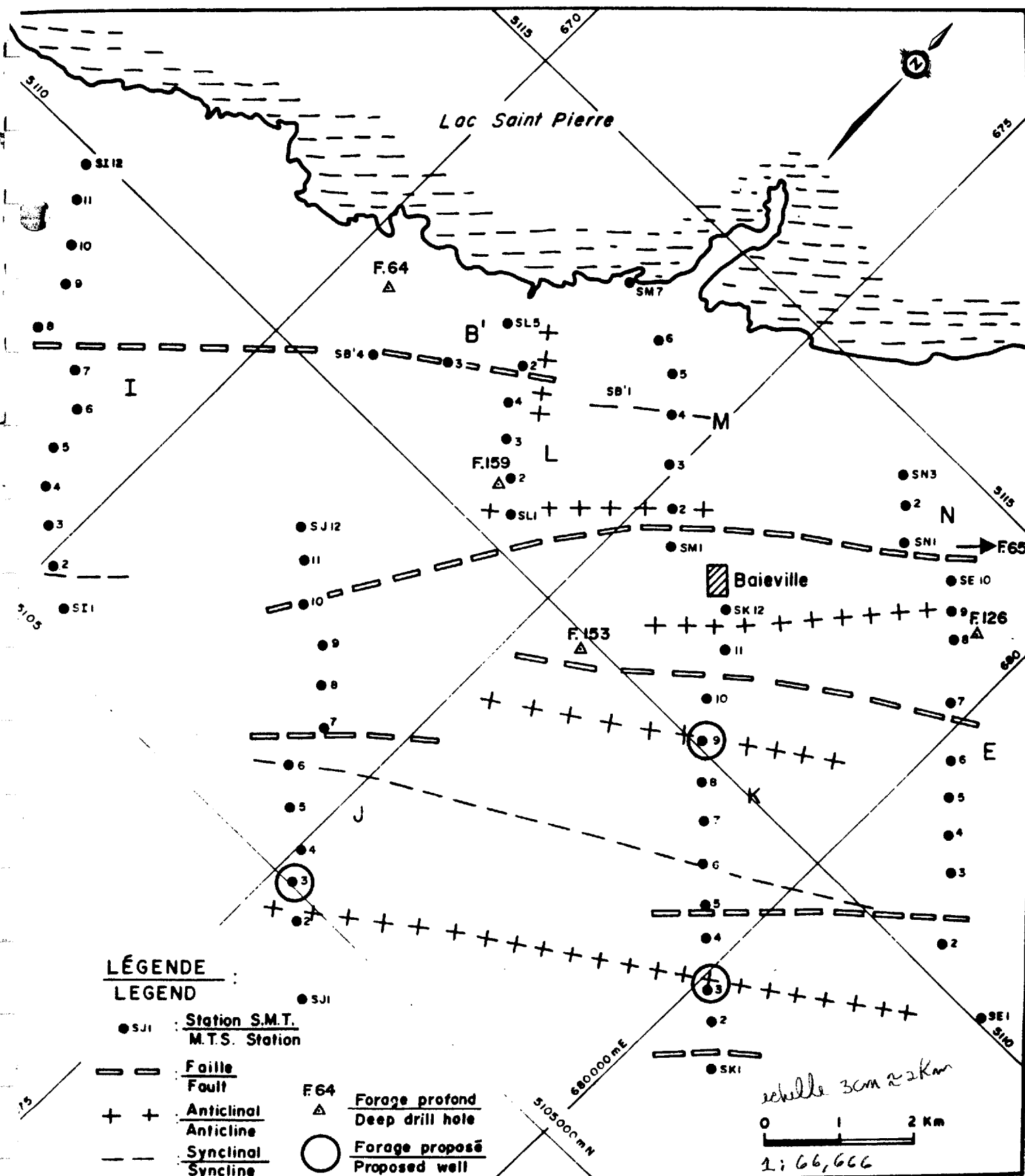
Le socle y atteindrait jusqu'à 3800 m de profondeur.

La coupe du profil SK (Fig. 18), pourrait donner l'impression qu'il existe un bloc soulevé ("horst") sous les stations SK2, 3 et 4. Il serait plus logique de considérer que ce bloc constituerait une marche d'escalier "normale", et que c'est le bloc situé immédiatement au N.W. qui est fortement plissé, créant une "fosse" importante sous les stations SK5 et 6. Quoiqu'il en soit, il ne s'agit que d'une hypothèse d'interprétation et l'image géologique réelle ne correspond pas forcément à celle tracée sur la figure 18. Il faut surtout retenir, d'après les résultats M.T., l'existence d'une structure générale plissée en profondeur, mise en évidence plus loin sur la carte structurale de la figure 20.

En ce qui concerne les séries superficielles, on constate que leurs résistivités sont généralement supérieures à celles correspondant à la zone du N.W., confirmant les résultats déjà observés sur la carte de la Figure 12. Mais ici, l'existence d'une couche relativement plus résistante (résistivité supérieure à 100 Ωm) à la base de ces séries et visible sur les coupes géoélectriques, tend à confirmer l'hypothèse de la présence du faciès de grès fin dans les groupes Lorraine-Utica, en même temps que ces derniers s'épaississent. En dehors du fait que ce faciès présente un certain intérêt comme roche-réservoir, sa résistivité plus grande contribue à atténuer l'effet d'écran électromagnétique, et permet de mieux mettre en évidence l'effet des séries conductrices profondes du Postdam.

Il est intéressant de comparer les résultats d'interprétation magnéto-tellurique présentés sur les coupes géoélectriques avec ceux des forages profonds. Il existe, dans le périmètre étudié, 5 forages profonds qui ont pour numéros F.64, F.65, F.126, F.153 et F.159 et dont la situation géographique est indiquée sur la Figure 20. On a également reporté leur coupe stratigraphique simplifiée, composée seulement de 4 séries correspondant aux 4 séries électriques (cf. légende de la figure 14), sur les diverses coupes géoélectriques des profils situés à proximité. C'est ainsi que les forages F.126 et F.159 sont placés juste sur les profils respectifs SE et SL, alors que les forages F.64, F.65 et F.153 sont reportés respectivement sur les profils SB', SN et SK par une projection perpendiculaire à ces profils.

FIGURE 20 - CARTE STRUCTURALE PROFONDE D'APRÈS LES RÉSULTATS M.T.
DEEP STRUCTURAL MAP ACCORDING TO M.T. RESULTS



La comparaison des résultats M.T. avec ceux des forages montre que, dans l'ensemble, la coïncidence se réalise mieux que 20%, ce qui constitue une très bonne performance pour l'interprétation d'une région structuralement aussi complexe. En effet, dans toute interprétation géophysique, les inévitables erreurs expérimentales font que la précision des résultats est rarement meilleure que 20%. Mais les écarts observés peuvent aussi avoir d'autres origines. D'une part, d'après le "principe de suppression", l'existence d'une couche trop mince par rapport à sa profondeur, ne peut pas être correctement mise en évidence. C'est le cas notamment de la série conductrice profonde du Postdam (série (3)) dans la partie N.W. du périmètre étudié. Ce qui pourrait expliquer les écarts les plus forts observés entre le forage F.159 et la station SL2 (Cf. Figure 19). D'autre part, les résultats M.T. indiquent les "horizons électriques" qui ne correspondent pas nécessairement aux "horizons stratigraphiques" donnés par les forages. En effet, les propriétés électriques des couches dépendent, non seulement de leur lithologie et de leur faciès, mais aussi de leur porosité et de leur degré d'altération. Ainsi certain faciès du groupe Lorraine-Utica pourrait être plus résistant et se trouve "confondu électriquement" avec les séries carbonatées plus profondes. De même, l'altération du niveau supérieur du socle peut rendre ce dernier plus conducteur et repousser le niveau du "socle électrique" plus bas.

Pour toutes ces raisons, les faibles écarts observés entre les résultats M.T. et ceux des forages existants, ne mettent pas en cause l'ensemble des résultats obtenus. Il faut cependant tenir compte des éléments exposés ci-dessus pour mieux exploiter les résultats M.T.

Il serait possible d'affiner encore l'interprétation des résultats M.T. si l'on disposait d'autres informations, notamment celles concernant la sismique. Il est extrêmement souhaitable de concevoir, dans l'avenir, une stratégie globale d'exploration pétrolière utilisant conjointement les deux méthodes M.T. et sismique, car leurs résultats peuvent se compléter très utilement pour donner une meilleure information sur les structures complexes et sur les propriétés physiques des roches-réservoirs.

La sismique est beaucoup plus précise que la M.T., car à partir des forages, on peut savoir les horizons.

8.2 Carte structurale profonde.

La MT pourrait nous aider à extrapoler là où il n'y a pas de forages.

L'intérêt pétrolier de la région prospectée, réside essentiellement en une meilleure connaissance de la tectonique profonde, notamment au niveau du Postdam. On a donc établi, à partir des coupes géoélectriques données par l'interprétation quantitative des sondages, une carte structurale profonde (cf. Figure 20). Sur cette carte, on a relié, entre les différents profils, les failles, les anticlinaux et les synclinaux relevés sur les coupes géoélectriques correspondantes. Elle fait apparaître clairement une image de la tectonique profonde beaucoup plus tourmentée que prévu, notamment dans la zone située au S.E. de Baieville où l'on observe une série de failles alternées avec des axes anticlinaux et synclinaux, tous de direction générale N.E.-S.W.

La M.T. pourrait servir à dégrossir les grands traits structuraux et sédimentologiques d'un bassin car elle est moins coûteuse que la sismique à l'heure actuelle. Les zones "anormales" pourraient par la suite être précisées par sismique réflexion.

9 - PROPRIETES ELECTRIQUES DU SOCLE PROFOND A LA BASE DE LA CROUTE
TERRESTRE

Dans l'exposé présenté ci-dessus, on s'est surtout attaché à étudier les propriétés électriques et les structures des séries sédimentaires jusqu'au toit du socle, considéré comme le substratum dans l'interprétation quantitative des S.M.T. De ce fait, la période de 10 secondes, la plus longue analysée sur les courbes de sondage, est largement suffisante pour atteindre le toit du socle. Même pour certaines stations, celles situées dans la zone N.W. où le socle est peu profond, son influence se fait sentir déjà à partir de la période de 1 seconde. Ainsi, uniquement pour des raisons de commodité de calcul théorique des courbes de sondage, on a adopté des résistivités assez fortes, mais pas absolument constantes, pour le socle considéré comme substratum, c'est à dire indéfiniment prolongé vers le bas. La valeur absolue de la résistivité du socle ne présente aucun intérêt dans l'étude des structures des séries sédimentaires, et les valeurs indiquées sur les coupes géoélectriques doivent être considérées comme un ordre de grandeur.

Cependant, en plusieurs stations de la région étudiée, on a essayé d'analyser les phénomènes M.T. pour les périodes plus longues, jusqu'à 100 secondes, et on s'aperçoit que la résistivité du socle n'est pas indéfiniment constante vers les grandes profondeurs. Une étude détaillée de ce phénomène sort du cadre de cet exposé. Signalons simplement qu'à une profondeur de l'ordre de 10 Km, le socle deviendrait plus conducteur et sa résistivité pourrait descendre au-dessous de 100 Ω m. Ce résultat présente un grand intérêt pour une étude de la tectonique régionale concernant la structure profonde de la croûte terrestre. En

effet on a émis l'hypothèse de l'existence d'un système de rift dans la vallée du Saint-Laurent (KUMARAPALI P.S. and SAULL V.A., 1966), mais cette hypothèse a soulevé de nombreuses controverses et n'a pas pu être confirmée jusqu'à présent. Or, de nombreuses études géomagnétiques et magnéto-telluriques effectuées à travers le monde, notamment sur le rift du Lac Baïkal en U.R.S.S., sur le fossé rhénan entre les Vosges et la Forêt Noire, ainsi que nos propres travaux dans le Bassin parisien (PHAM VAN NGOC et BOYER D., 1974) et dans la chaîne côtière de la Colombie britannique (PHAM VAN NGOC, 1976 et 1978), ont démontré l'existence de couches conductrices peu profondes à la base de la croûte terrestre sous les structures du type de rift. Il semble donc que cette couche conductrice existe également sous la vallée du Saint-Laurent et qu'il faille prendre sérieusement en considération l'hypothèse de l'existence d'un système de rift le long du Saint-Laurent.

10 - RECOMMANDATIONS ET CONCLUSION

D'après les résultats d'interprétation quantitative exposés au paragraphe 8, il y aurait deux structures pétrolières particulièrement intéressantes, mises en évidence par la M.T. Ce sont les deux plis anticlinaux situés le plus au S.E. de la région étudiée et tracés en bas de la carte structurale de la Figure 20. En effet, dans cette zone, une structure de forme anticlinale, jointe à l'existence d'une épaisse série du Postdam, constituerait un bon piège pour les hydrocarbures. Nous recommandons donc les forages de contrôle aux trois endroits suivants situés sur les deux plis anticlinaux, et qui nous paraissent présenter les meilleures chances d'atteindre un réservoir éventuel :

Emplacements recommandés	Coordonnées U.T.M.	
	Longitudes	Latitudes
Station SK9	677,750	5,110,100
Station SK3	680,300	5,107,800
Station SJ3	675,350	5,105,000

Il est évident que les résultats présentés dans ce rapport comportent une part d'hypothèses comme dans toutes les interprétations géophysiques. Ces hypothèses sont d'autant plus susceptibles d'être erronées que la tectonique profonde de la région étudiée est plus complexe que prévu. Il faut noter que, dans le même périmètre, la sismique a rencontré quelques difficultés pour dresser avec précision la carte structurale profonde. De ce point de vue, la M.T. a apporté des précisions intéressantes malgré les difficultés rencontrées. En effet, sur le plan magnéto-tellurique, la région prospectée n'est pas particulièrement favorable. Au contraire, d'une part le niveau élevé des parasites industriels a perturbé fortement les signaux enregistrés, d'autre part la présence des séries conductrices superficielles du Groupe Lorraine-Utica constitue un véritable écran électromagnétique. Néanmoins, grâce à l'exécution d'une très forte densité de stations suivant une nouvelle stratégie d'acquisition des données et à un traitement adéquat des enregistrements, il a été possible d'en tirer le maximum d'informations dans l'interprétation des résultats.

Toutes les possibilités de la M.T. ne sont pas encore entièrement exploitées. Des travaux de recherche continuent à se développer à

l'Ecole Polytechnique de Montréal dans tous les domaines, notamment dans la mise au point d'une nouvelle chaîne digitale d'acquisition des données qui permettra d'augmenter considérablement le rapport signal sur bruit. Cette chaîne sera opérationnelle dès cette année. Il n'est pas douteux qu'à l'avenir, la M.T. prendra une place de plus en plus importante dans tous les domaines d'exploration, notamment dans l'exploration pétrolière où elle peut compléter très économiquement la sismique et même la remplacer avantageusement.

Fait à Montréal le 15 mars 1978



PHAM VAN NGOC,
Ing.Géophys., Doct.ès Sci.

REFERENCES

- BEIERS R.J. (1976) Vast sedimentary basin of Quebec Lowlands major interest to Soquip. The Oil and Gas Journal, Janv. 26, 1976, p. 194-208.
- KUMARAPALI P.S. and SAULL V.A. (1966) The St. Lawrence Valley System: A North American equivalent of the East African Rift Valley System, Can. J. Earth Sci., 3, p. 653-658.
- PHAM VAN NGOC et BOYER D. (1974) Propriétés électriques des terrains profonds sous l'anomalie magnétique du Bassin Parisien. C.R. Acad. Sci., Paris, tome 279, série D, pp. 715-718. Magnetotelluric Mapping of Deep Structure in the Parisian Basin. Second Workshop on EM Induction, Ottawa, 22-28 Août 1974.
- PHAM VAN NGOC (1975) Théorie et pratique de la Magnéto-tellurique et du profilage tellurique-tellurique. (Theory and Practice of Magnetotelluric and Telluric-Telluric Profiling). Rapp. Tech. Ecole Polytechnique de Montréal, No EP 75-R-9.
- PHAM VAN NGOC (1976) Levés magnéto-telluriques dans les basses terres du Saint-Laurent (Magnetotelluric Survey in the St. Lawrence Lowlands). Rapport du Min. Rich. Nat. Québec - Dir. Energie - 74 pages.
- PHAM VAN NGOC (1976) Reconnaissance M.T. dans la vallée de Lillooet, (C.B.). Rapp. IREM-EMR Canada, Dép. Physique du Globe, Ottawa, 22 pages, 40 figures.
- PHAM VAN NGOC, D. BOYER et M. CHOUTEAU (1978) Cartographie des "pseudo-résistivités apparentes" par profilage tellurique-tellurique associé à la Magnéto-tellurique. Exemples d'application sur des structures uranifères dans la région de Cluff Lake (Saskatchewan, Canada). Geophysical Prospecting, vol. 26, no 1.
- PHAM VAN NGOC (1978) Prospection magnéto-tellurique de la région géothermique du Mont Meager (C.B.). Rapp. IREM-EMR Canada, Dép. Physique du Globe, Ottawa, 30 pages, 38 figures.

ANNEXE 1

COORDONNEES U.T.M. DES STATIONS PRIMAIRES S.M.T.

Stations	Longitudes	Latitudes	Stations	Longitudes	Latitudes
SB'1	673,600	5,112,350	SJ8	673,750	5,107,150
SB'2	672,650	5,111,950	SJ9	673,350	5,107,500
SB'3	671,900	5,111,300	SJ10	672,800	5,107,700
SB'4	671,150	5,110,650	SJ11	672,450	5,108,100
			SJ12	672,150	5,108,400
SE1	683,100	5,110,050	SK1	681,000	5,107,150
SE2	681,950	5,110,400	SK2	680,550	5,107,600
SE3	681,400	5,111,150	SK3	680,200	5,107,800
SE4	681,000	5,111,450	SK4	679,700	5,108,300
SE5	680,650	5,111,850	SK5	679,400	5,108,600
SE6	680,300	5,112,200	SK6	679,000	5,108,950
SE7	679,700	5,112,750	SK7	678,550	5,109,350
SE8	679,200	5,113,400	SK8	678,200	5,109,700
SE9	678,900	5,113,550	SK9	677,750	5,110,100
SE10	678,650	5,113,900	SK10	677,400	5,110,500
			SK11	677,150	5,111,150
SI1	670,700	5,105,450	SK12	676,800	5,111,500
SI2	670,200	5,105,750			
SI3	669,800	5,106,100	SL1	673,950	5,110,450
SI4	669,400	5,106,400	SL2	673,550	5,110,800
SI5	669,100	5,106,850	SL3	673,200	5,111,100
SI6	668,950	5,107,450	SL4	672,900	5,111,450
SI7	668,550	5,107,800	SL5	672,150	5,112,200
SI8	667,800	5,107,850			
SI9	667,650	5,108,450	SM1	675,700	5,111,600
SI10	667,350	5,108,850	SM2	675,350	5,111,950
SI11	667,000	5,109,350	SM3	674,950	5,112,350
SI12	666,700	5,109,750	SM4	674,500	5,112,800
			SM5	674,100	5,113,250
SJ1	676,550	5,104,050	SM6	673,650	5,113,450
SJ2	675,750	5,104,700	SM7	672,900	5,113,800
SJ3	675,350	5,105,000			
SJ4	675,100	5,105,400	SN1	677,800	5,113,750
SJ5	674,650	5,105,700	SN2	677,450	5,114,100
SJ6	674,200	5,106,100	SN3	677,200	5,114,400
SJ7	674,200	5,106,750			

ANNEXE 2 (suite)

Stations	Longitudes	Latitudes	Stations	Longitudes	Latitudes
PK1	681,100	5,107,400	SL6	673,000	5,111,300
PK2	681,000	5,107,150	SL7	672,900	5,111,500
PK3	680,750	5,107,400	SL8	672,700	5,111,650
PK4	680,550	5,107,600	SL9	672,500	5,111,800
PK5	680,400	5,107,750	SL10	672,300	5,112,000
PK6	680,200	5,107,850	SL11	672,200	5,112,100
PK7	680,000	5,108,050	SL12	672,100	5,112,200
PK8	679,700	5,108,300	SL13	672,000	5,112,350
PK9	679,500	5,108,450			
PK10	679,400	5,108,600	PM1	675,700	5,111,600
PK11	679,050	5,108,900	PM2	675,500	5,111,800
PK12	678,900	5,109 050	PM3	675,350	5,112,000
PK13	678,750	5,109,150	PM4	675,200	5,112,100
PK14	678,500	5,109,350	PM5	674,950	5,112,350
PK15	678,400	5,109,500	PM6	674,750	5,112,550
PK16	678,200	5,109,700	PM7	674,500	5,112,850
PK17	678,000	5,109,800	PM8	674,350	5,113,000
PK18	677,750	5,110,100	PM9	674,100	5,113,250
PK19	677,600	5,110,250	PM10	673,950	5,113,400
PK20	677,400	5,110,500	PM11	673,700	5,113,500
PK21	677,250	5,110,650	PM12	673,500	5,113,750
PK22	677,150	5,111,100	PM13	673,200	5,114,050
PK23	677,000	5,111,300	PM14	672,900	5,113,800
PK24	676,800	5,111,500	PM15	672,800	5,113,950
SL1	673,950	5,110,450	PN1	677,850	5,113,750
SL2	673,750	5,110,650	PN2	677,650	5,113,950
SL3	673,600	5,110,800	PN3	677,450	5,114,100
SL4	673,400	5,110,950	PN4	677,300	5,114,250
SL5	673,200	5,111,100	PN5	677,200	5,114,400

Petroleum exploration in overthrust areas using magnetotelluric and seismic data.

M. D. Watts, Geosystem srl, Milan, and Alaattin Pince, Türkiye Petrolleri AO, Ankara.*

SUMMARY

Exploration in overthrust areas presents many difficulties, particularly data quality and drilling costs. This paper shows that using magnetotelluric (MT) data in conjunction with seismics can help to image below overthrusts, increasing the reliability of geophysical interpretation.

INTRODUCTION

In many parts of the world, overthrust zones are prospective for petroleum due to a combination of appropriate source, thermal maturation, and reservoir conditions (D'Andrea et al., 1993; Picha, 1996). However, allochthonous sheets typically represent a chaotic assemblage of differing lithologies, leading to seismic data of poor quality. The tectonic conditions which cause this, i.e. the movement of relatively plastic strata over a more rigid autochthon, can also juxtapose rocks of widely varying electrical resistivity. Examples of this occur at many places along the Alpine-Toros tectonic line (Beydoun 1991), where low resistivity deep-sea sediments, sometimes intercalated with ophiolitic assemblages, have been thrust over high-resistivity carbonates. In such conditions the magnetotelluric method can be applied to the mapping of the top of the carbonates, which correspond to both the reservoir and the source rock in Albania, Southern Italy, Greece, and Southern Turkey. This paper draws on data from the last-named area, which have been made available by the management of Türkiye Petrolleri AO.

GEOLOGICAL SETTING

The example used here is from the Adiyaman area of Southern Turkey. A schematic cross-section is shown in figure 1. Broadly speaking, a Mesozoic ophiolitic mélange (Kocali and Karadut Fms.) was thrust over platform sediments of similar age. The latter include the Mardin Group carbonates, the principal exploration objective. Subsequently, Tertiary sediments, including a karstic limestone and irregular basalts, were deposited above this sequence. Post-Miocene tectonics created complex fault-controlled structures in the Mardin which are host to many oil fields.

SEISMIC DATA

Seismic data are mostly of poor quality. The surface geology may include karstic limestone, as well as heterogeneous Mesozoic ophiolitic mélange. Rugged

topography causes substantial access problems. The example shown in figure 2 is typical: the target Mardin reflector, identified by the letter A, and confirmed by ties to wells, is discontinuous. Other (mostly intra-thrust) reflectors can be seen. These reflections, converted to depth using a combination of stack and well-log velocities, are superimposed on the MT model of figure 3.

MT DATA ACQUISITION AND INTERPRETATION

The MT data were collected using commercial 5-channel systems in 1991 and 1992. Time-series were processed using conventional cascade decimation techniques. Co-located time-domain EM soundings were carried out in central-loop mode, and were used for static-correction (cf. Pellerin and Hohmann, 1990).

After static-stripping, the most critical step in the analysis of the data was the mode identification, i.e. the determination of the modes parallel and perpendicular to geo-electric strike. Since resistivities are often high, skin depths were correspondingly great, and on this scale the geology in all areas can be regarded as 3D. Thus, appropriate decomposition techniques (Torquil Smith, 1995) were required to put the data in a form for further processing. The model presented here was obtained using the finite-difference 2D inversion code developed by Mackie and Rodi (1996). The input data were apparent resistivity and phase for both modes in the frequency range 100 to 0.003Hz. Inversions were terminated when the RMS error reached less than 1.5.

COMPARISON BETWEEN MT, SEISMIC, AND WELL-LOG DATA.

The profile used to illustrate this case was selected because there are sufficient wells to provide control. The inversion results are shown in figure 3; white lines indicate the positions of the reflectors as described above. It is clear that there is good agreement between seismic and MT data in the northern half of the profile (i.e. between the Kocali-1 and Camlica-1 wells). This confirms that the velocity used for the seismic depth conversion is also reasonable. However, to the south of Camlica-1, there is no such agreement. The absence of a significant increase in resistivity at this depth suggests either that the velocity used was incorrect, or that the reflection is not from the top of the Mardin. However, the required increase in velocity is about 45%, giving a

value inconsistent with the likely geology. We therefore conclude that this reflector, and also the one shown at shallow depth near the Camlica-1 well, correspond to intra-thrust surfaces.

The depths interpreted from the MT data to the top of the Mardin Group are in good agreement with the Kocali and Camlica wells. The correlation with the Cemberlitas-5 well is poorer. This may be for two reasons: (1) this is the end of the MT profile, and hence the inversion is less-well constrained (2) the MT station is 2-km from the well and off-structure (the Cemberlitas field was too noisy for a satisfactory MT measurement to be made). The increase in depth to the top of the Mardin between the Camlica and Cemberlitas wells (fig. 3) is partially supported by data from the Palanli-1 well, about 3 kilometers along strike to the west. This reached a total depth of 3800m, finishing in the allochthonous flysch and without reaching the carbonate target.

CONCLUSIONS

The interpretation overlain on figure 3 indicates that the Mardin Group can be reliably imaged using a combination of seismic and MT data. This works in part because the stratigraphic sequence is characterized by parallel physical properties, i.e. high velocity corresponds with high resistivity and vice versa. MT allows fragmentary reflections to be correlated with

greater confidence with large-scale stratigraphic units. Whether the structural high indicated between Kocali-1 and Camlica-1 is prospective is, of course, another question.

REFERENCES

- Beydoun, Z.R., 1991, Arabian Plate hydrocarbon geology and potential - a plate tectonic approach: AAPG Studies in Geology 33.
- D'Andrea, S., Pasi, R., Bertozzi, G., and Dattilo, P., 1993, Geological model, advanced methods help unlock oil in Italy's Apennines: Oil and Gas Jo., Aug 23 1993, 53-57
- Pellerin, L. and Hohmann, G. W., 1990, Transient electromagnetic inversion: A remedy for magnetotelluric static shifts: Geophysics, 55, 1242-1250.
- Picha, F.J., 1996 Exploring for hydrocarbons under thrust belts - a challenging new frontier in the Carpathians: AAPG Bull. 80(10) 1547-1564.
- Mackie, R.L., and Rodi, W., 1996, A nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion: paper presented at Fall Meeting of the American Geophysical Union, San Francisco, California.
- Torquil Smith, J., 1995, Understanding telluric distortion matrices: Geophys.J.Int. 122 219-226.

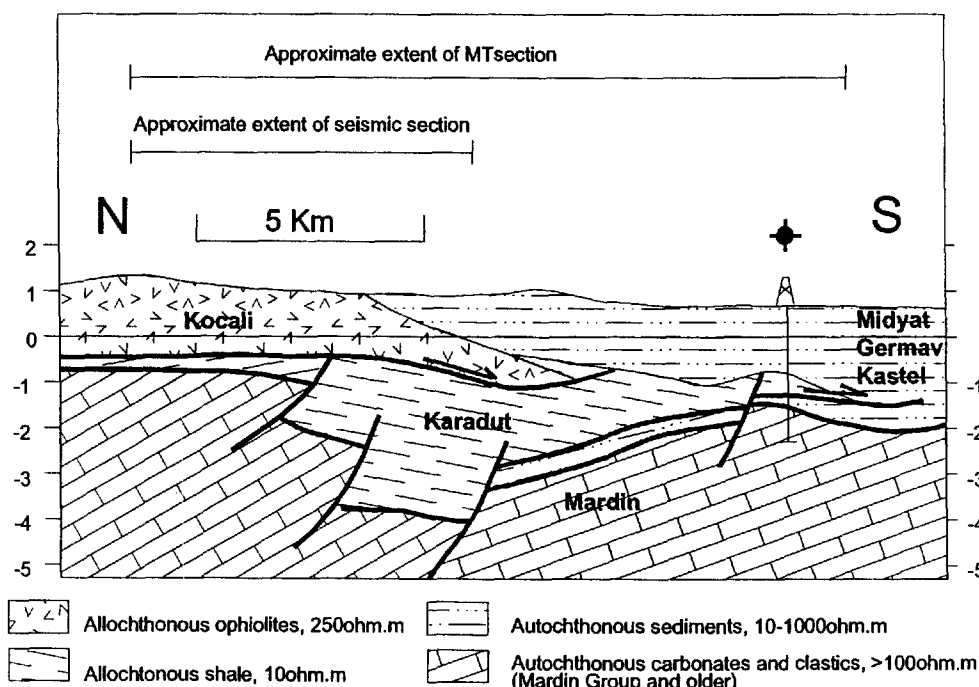


Fig 1: Schematic cross-section, based on regional well control. Elevations in kilometers.

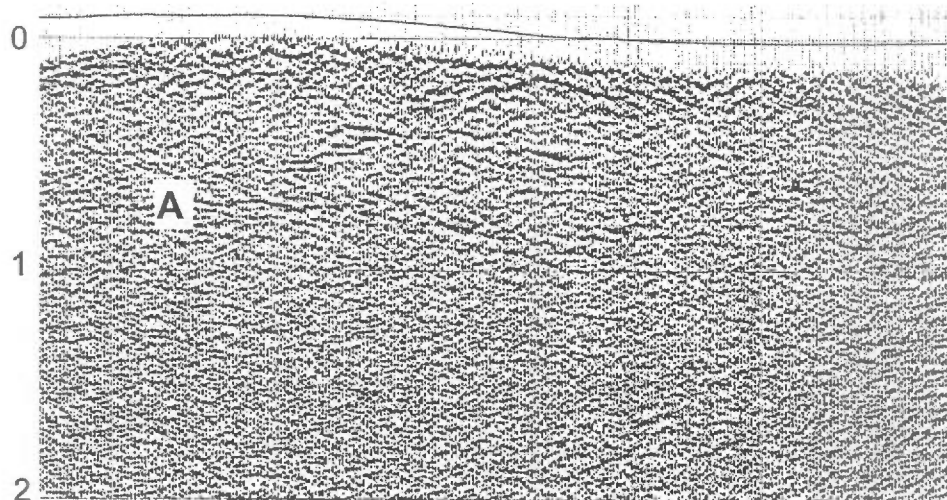


Fig. 2: Seismic section corresponding to the central part of figure 1. 24-fold data were recorded using 25kg surface shots at 75m intervals into a 48-channel split-spread. Scale on left is 2-way time in seconds. The letter A marks a sub-horizontal reflector which correlates with the top of the carbonate platform, the Mardin Group.

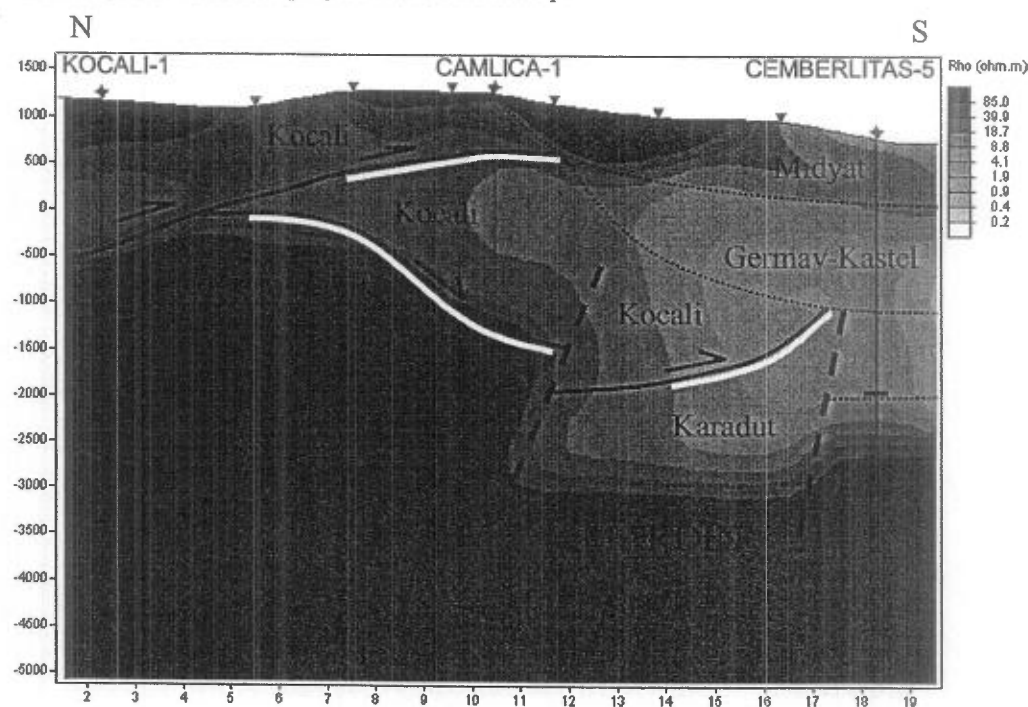


Fig. 3: Two-dimensional inversion of MT data (gray scale). White lines represent seismic reflectors. Cross-bar on wells shows top of Mardin Group. Inverted triangles are MT stations. Vertical scale is elevation in meters, horizontal scale is in kilometers. See text for interpretation in terms of stratigraphy and structure.

JUNEX inc

COUPE DES PUIITS
-SECTEUR CHAMPLAIN-

Annexe no. 5

JUNEX inc

UNITEES GEOLOGIQUES
BASSES-TERRES DU SAINT-LAURENT

Annexe no. 6

Groupe de Lorraine

Auteur: Emmons, E., 1842

Coupe type: Lorraine, Jefferson County, État de New York

Âge: Ordovicien tardif

Historique: Emmons (1842) suggéra d'identifier les shales compris entre l'Utica et le grès d'Oswego (Grey sandstone of Oswego) par le nom de "Lorrain Shales". Précédemment, Vanuxem (1840) avait divisé cette séquence en formations de "Pulaski shales" et de *Frankfort slate*. Vanuxem (1842) suggéra le nom de *Groupe de Hudson River* pour cette même séquence. Le terme de *Groupe de Hudson River* a par la suite, été jugé inadéquat car les roches du Pulaski et du Frankfort n'affleurent pas le long de l'Hudson. Une étude du Lorraine exposé le long de la Rivière Nicolet amena Clark (1947, 1964c) à diviser le Lorraine en quatre biozones: a) zone à *Pholadomorpha*; b) zone à *Proetus*; c) zone à *Leptaena*; d) zone à *Cryptolithus*.

La zone à *Proetus* fut nommée *Membre de Chambly*. Clark (1947) nomma Formation de la Rivière Nicolet, le Lorraine identifié par Foerste (1916) le long de cette même rivière, et subdivisa cette formation en trois membres distincts en s'inspirant des divisions fauniques de Foerste (1916):

a) zone à *Pholadomorpha*: *Membre de Saint-Hilaire*; b) zone à *Proetus* + partie supérieure de la zone à *Leptaena*: *Membre de Chambly*; c) partie inférieure de la zone à *Leptaena* + zone à *Cryptolithus*: *Membre de Breault*.

Clark *et al.* (1972) ont abandonné ces membres lithiques, car ceux-ci n'étaient reconnaissables qu'à la coupe de la rivière Nicolet. Les biozones, réduites à trois, sont par contre, toujours valables. De plus, Clark *et al.* (1972) ont décidé d'inclure la Formation de Pontgravé dans le Groupe de Lorraine pour similarité lithologique, avec toutefois une plus grande abondance de lits de calcaire dans le Pontgravé.

Globensky (1978) a modifié la nomenclature en Formation de Nicolet et Formation de Pontgravé à inclure dans le Groupe de Lorraine.

Le Lorraine fut interprété par Mason (1967), Bretsky et Bretsky (1975) et par Belt *et al.*, (1979) comme un environnement de dépôt deltaïque; ou prodeltaïque selon Walters (1979).

Lithologie: Les Formations de Nicolet et de Pontgravé qui constituent le Groupe de Lorraine ont la composition suivante: La Formation de Nicolet est composée de shale arénacé, gris foncé, avec interlits de grès et quelques lits ou lentilles de calcaire lumachelliques. La Formation de Pontgravé (sus-jacente à la Formation de Nicolet) est constituée d'un shale calcaireux gris à gris bleuâtre avec de nombreux interlits de calcaire et quelques lits de grès.

Paléontologie: Dans une comparaison entre le Lorraine type de New York et les roches assignées au Lorraine au Québec, Foerste (1916) remarqua qu'au Québec il y avait l'absence du fossile caractéristique du Lorraine de New York, *Modiolopsis modiolaris*; il observa aussi l'absence de *Ischyrodonta curta*, *Orthodesma nasutum*, *Glyptorthis crispata* et *Rafinesquina nasuta*.

Références: Foerste, A.F., 1916; Clark, T.H., 1947, 1955, 1964c; Walters, M., 1979; Beaulieu *et al.*, 1980; Walters *et al.*, 1982.

Y.G.

* * *

Formation de Pontgravé (Groupe de Lorraine)

Auteur: Clark, T.H., 1955

Coupe type: Rive nord de la rivière Pontgravé.

Âge: Ordovicien tardif

Historique: Clark (1955) nomma "Pontgravé" des lits fossilifères appartenant au *Waynesville* (Foerste, 1916) au Québec. Il assigna ces lits au *Groupe de Richmond*. Cependant plusieurs auteurs assignèrent par la suite le Pontgravé au Lorraine vu la très grande similitude lithologique entre les deux formations (Clark *et al.*, 1972).

Lithologie: La Formation de Pontgravé est composée de lits de calcaire dense, silteux et en plaquettes, interlités avec des shales, des grès, de minces lits de calcaire lumachellique, de couleur d'altération chamois à brun pâle qui contraste avec le gris verdâtre du calcaire en plaquettes. Le shale est généralement gris verdâtre et en plusieurs endroits, il est silteux et gréseux. Les lits de grès sont gris verdâtre, généralement à grain fin, et contiennent de nombreuses empreintes de sillons d'érosion.

Épaisseur et distribution: L'épaisseur du Pontgravé, le long de la rivière Nicolet, est selon Clark (1955) de 50 m. En général, elle varie de 30 à 88 m. La formation affleure le long de la rivière des Hurons, autour du mont Saint-Hilaire et entre la rivière Saint-François et la rivière Nicolet, en une mince bande, NE, de 0,5 km de large située au sud de l'axe du synclinal de Chambly – Fortierville. On la trouve aussi dans des bandes de 0,5 à 2 km de large, de part et d'autre de l'axe Chambly – Fortierville entre la rivière Bécancour et la Petite rivière du Chêne.

Relations stratigraphiques: Il est difficile d'établir une distinction entre la Formation de Pontgravé et le Lorraine supérieur parce que ces deux unités sont lithologiquement équivalentes et qu'elles passent graduellement de l'une à l'autre. Le contact avec le Membre de Carmel sus-jacent est difficile à établir lithologiquement; il est placé au dessus du dernier horizon fossilifère du Pontgravé.

Paléontologie: La Formation de Pontgravé appartient à la Zone à *Climacograptus manitoulenensis* et à la partie inférieure de la Zone à *Diplograptus complanatus* (Beaulieu *et al.*, 1980). Elle contient les fossiles *Zigospira kentuckiensis*, *Strophomena sulcata*, *Herbetella occidentalis*, *Pholadomorpha pholadiformis* (Clark, 1947).

Références: Clark, T.H., 1947, 1955, 1964a, c; Clark, T.H. *et al.*, 1972; Beaulieu, J. *et al.*, 1980; Hubert, C. *et al.*, 1977; Hofmann, H.J., 1972.

Y.G.

* * *

Shale d'Utica

Auteur: Emmons, E., 1842

Coupe type: Vallée de la Rivière Mohawk, État de New York.

Âge: Ordovicien moyen tardif

Historique: Le terme d'Utica fut employé par Emmons (1842) pour désigner un shale noir compris entre le Trenton et le Lorraine, dans le bassin de l'Utica aux États-Unis. Au Canada, Logan (1863), Ami (1900) et Raymond (1913b) désignèrent du nom de "shale d'Utica" une séquence analogue. Clark (1947) introduisit le terme "Groupe d'Utica", dans lequel il plaça la Formation de Lotbinière, située entre le Groupe de Trenton et la Formation de Leclercville, à la base du Lorraine. Clark et Globensky (1973) appelèrent Lotbinière l'ensemble des shales d'âge Utica de la région de Portneuf. Clark et Globensky (1976a), en accord avec la redéfinition du Shale d'Utica à la localité type dans l'État de New York, proposèrent que le terme de Lotbinière soit dorénavant restreint aux roches flyschiques reliées à la sédimentation appalachienne, et que le nom d'Utica s'applique au shale typique de la sédimentation de plate-forme (Basses-Terres du Saint-Laurent).

Lithologie: Le Shale d'Utica est calcaire brun foncé et associé à un calcaire argileux ayant une odeur de pétrole. On trouve aussi de minces interlits de calcilutite et de dololutite grise à jaune grisâtre dispersés dans la séquence. Au NE de Québec et dans la région de Neuville, on remarque des lits entiers et des blocs qui ont glissé à l'intérieur du Shale d'Utica. Ces lits et blocs se composent de calcaire massif argileux.

Épaisseur et distribution: L'épaisseur du shale d'Utica demeure assez constante à 30 m dans la région de Québec; elle atteint 80 m à Neuville. Au sud de Montréal, dans la région de Saint-Jean-Lacolle, l'épaisseur de l'Utica est estimée à 1 300 m. Le Shale d'Utica se rencontre principalement dans la région immédiate de Montréal, ainsi que de la ville de Sainte-Anne-de-la-Pérade jusqu'à la rivière Sainte-Anne du Nord et la région de Baie-Saint-Paul, au NE de Québec. Il affleure aussi au NE de Terrebonne, à l'île des Soeurs, aux environs de la municipalité de Candiac, et au nord du lac Champlain, le long d'une bande NE s'étendant jusqu'au mont Yamaska.

Relations stratigraphiques: Le Shale d'Utica constitue l'exemple classique d'une unité lithologique diachrone. Dans la région de la vallée de la rivière Mohawk inférieure et du lac Champlain, il repose à peu près sans discordance sur les unités inférieures du Groupe de Trenton et, vers le NW, dans la région de la vallée de la Rivière Mohawk supérieure et de la région de Montréal, il devient progressivement de plus en plus jeune et séparé des unités supérieures du Trenton par une discordance. Dans la région de la ville de Québec, l'Utica repose sans discordance sur le calcaire de Trenton. (Riva, J. et al., 1977).

Paléontologie: Les fossiles du Shale d'Utica consistent surtout en graptolites; on rencontre également des conulaires, orthocones, nautiloïdes, le trilobite *Triarthrus becki* et un brachiopode inarticulé *Leptobolus insignis*. La base du Shale d'Utica appartient à la Zone à *Orthograptus ruedemanni*, alors que le reste appartient à la Zone à *Climacograptus spiniferus*, ainsi qu'à la Zone à *C. pygmaeus*.

Références: Emmons, E., 1842; Belt, E.S. et al., 1979; Riva, J. et al., 1977; Clark, T.H., 1947, 1952; Clark, T.H., Globensky, Y., 1973, 1975, 1976a; Clark, T.H., Strachan, I., 1959; Bussièrès, L. et al., 1977; Walters, M., 1979; Rondot, J., 1972b.

Y.G.

* * *

Groupe de Trenton

Auteur: Vanuxem, L., 1838

Coupe type: Trenton Falls, comté de Oneida, État de New York.

Âge: Ordovicien moyen.

Historique: Vanuxem (1838) utilisa le terme Trenton pour désigner une succession stratigraphique située entre le calcaire du Black River et les shales noirs de l'Utica à Trenton Falls, N.Y. Johnson (1912, 1914), en se basant sur la faune rencontrée, subdivisa le Trenton comme suit: a) Lits à *Hortoma* et *Rafinesquina deltoidea*; b) lits à *Prasopora*; c) lits à *Crinoïdes*; d) lits à *Dalmanella* (maintenant *Paucicrura*).

Raymond (1912) apposa des noms géographiques à cette subdivision pour la région d'Ottawa: a) Cobourg; b) Trenton, (s. st.); c) Hull; d) Rockland.

Wilson (1946) définit la *Formation d'Ottawa* et elle reconnaît les unités Pamélie, Lowville et Leray pour le Black River, et les Membres de Rockland, de Hull, de *Sherman Fall* et de *Cobourg* pour le Trenton.

Clark (1944b) divise le Trenton de la région de Montréal en formations comme suit: a) Formation de Terrebonne; b) Formation de Tétreauville; c) Formation de Montréal; d) Formation de Mile End.

Cependant, cette division manquait d'équivalent aux lits à *Dalmanella* de la Formation de Rockland. Par la suite, Clark (1972) effectue une révision du Trenton de la région de Montréal, réduit la Formation de Terrebonne au "faciès de Tétreauville" et ajoute la Formation de Deschambault, entre les Formations de Mile End et de Montréal. Par la suite, les différents travaux effectués dans les Basses-Terres du Saint-Laurent ont permis de compléter la nomenclature du Trenton.

Lithologie: Le Groupe de Trenton est constitué surtout d'un calcaire noir ou gris bleuâtre foncé, riche en fossiles, avec minces lits schisteux séparant le calcaire en bancs dont l'épaisseur varie de 3 à 30 cm. À mesure que l'on s'approche du haut, la proportion d'intercalations schisteuses augmente. On observe aussi des zones de calcaire recristallisé, ordinairement dépourvues d'intercalations schisteuses; ces zones sont minces et localisées à la base du groupe. Le calcaire de Trenton est parfois fortement bitumineux.

Épaisseur et distribution: La puissance du Trenton va de 86 à 246 m, le maximum ayant été rencontré dans la région de Montréal. Les affleurements du Trenton les plus méridionaux se retrouvent près de Saint-Jean-d'Iberville, puis on les trouve dans une bande SE – NW jusqu'à Montréal où le Trenton atteint sa plus grande extension. Le Trenton se retrouve aussi au nord de Montréal, de Joliette jusqu'à la région de La Malbaie. On en retrouve également dans l'écaille de Saint-Dominique.

Relations stratigraphiques: Le contact entre le Trenton et le Groupe de Black River, sous-jacent, est marqué par une zone schisteuse ou argileuse sans apparence de discordance angulaire. Le contact supérieur avec l'Utica sus-jacent est généralement discordant. Ainsi, à Grondines, Clark et Globensky (1975) observent une discordance résultant probablement d'une érosion subaérienne marquée par une mince couche de matériel pyriteux séparant les deux groupes. Cependant, dans la région de Québec, le contact Trenton – Utica est graduel et placé au sommet du dernier banc de micrite grise.

Paléontologie: Clark (1972), dans une étude de la région de Montréal, donne une liste complète des fossiles du Trenton. Les fossiles les plus caractéristiques sont: *Prasopora orientalis* Ulrich, *Platystrophia amoena* McEuan, *Paucicrura rogata* Raymond, *Strophomena filitexta* Hall, *Zygospira recurvirostris* Hall, *Rafinesquina alternata* (Conrad), *Flexicalymene senaria* Conrad et *Cryptolithus tessellatus*

Références: Vanuxem, L., 1842; Raymond, P.E., 1912, 1914a, b; Clark, T.H., 1944b, 1952, 1972; Beleya, H.R., 1952; Wilson, A.E., 1946; Clark, T.H., Globensky, Y. 1973, 1975, 1976a, c; Kay, G.M., 1937; Belt, E.S. et al., 1979. Y.G.

Formation de Tétreauville (Groupe de Trenton)

Auteur: Clark, T.H., 1941

Âge: Ordovicien moyen tardif

Lithologie: La Formation de Tétreauville se compose d'un calcaire dense, gris bleuâtre foncé, se présentant en lits de 2 à 15 cm alternant avec des lits de shales de 2 à 6 cm. Le calcaire est argileux, propre et renferme, par endroits, des lentilles cristallines de quelques centimètres d'épaisseur. Ordinairement, les lits de shale et de calcaire sont très nettement séparés les uns des autres ce qui permet de distinguer cette formation des autres unités du Trenton. Exposé à l'air, le calcaire prend une teinte chamois jaunâtre. En plusieurs endroits, une forte odeur de pétrole se dégage de la roche.

Épaisseur et distribution: La puissance du Tétreauville a été évaluée à 121 m à Montréal, et à 168 m à la rivière l'Assomption. Ailleurs, l'épaisseur se situe autour de 144 m. Le Tétreauville occupe une bande de direction NE - SW, entre la rivière Maskinongé et l'île de Montréal. On en retrouve aussi au sud du fleuve Saint-Laurent dans la région de la ville de Delson.

Relations stratigraphiques: La présence de *Conotreta rusti* et de *Conularia trentonensis* permet d'apparenter la partie inférieure du Membre de Grondines à la partie inférieure de la Formation de Tétreauville, et l'ensemble de la formation est corrélée avec la Formation de Cobourg (Clark et Globensky, 1976c).

Paléontologie: Les graptolites de cette formation appartiennent à la partie basale de la Zone à *Climacograptus spiniferus* de l'Utica. Parmi les autres fossiles, on retrouve: *Cheirocrinus logani*, *Conularia trentonensis* et *Leptaena rhomboidalis*.

Références: Clark, T.H., 1941, 1952, 1959, 1972; Clark, T.H., Globensky, Y., 1976c; Clark, T.H. *et al.*, 1979.

Y.G.

* * *

Formation de Montréal (Groupe de Trenton)

Auteur: Clark, T.H., 1944b

Coupe type: Montréal et environs.

Âge: Ordovicien moyen tardif

Historique: Cette formation définie par Clark, (1944, 1952) se subdivise en deux membres: a) le Membre de Saint-Michel, à la base; b) le Membre de Rosemont, au sommet; cette subdivision est basée surtout sur la différence faunique entre les deux membres.

Lithologie: La formation se compose surtout de calcaire avec lits minces de shale. Le calcaire est argileux, en lits minces et irréguliers et très bioturbé. Vers le haut, on observe une augmentation progressive des lits de micrite foncée, ainsi que des lits de calcaire fragmentaire.

Épaisseur et distribution: La puissance de cette formation varie de 30 à 115 m. Elle affleure surtout entre Joliette et Montréal. Les meilleures coupes se rencontrent aux carrières de Montréal. L'unité est aussi présente dans la région de Saint-Jean-d'Iberville.

Relations stratigraphiques: Dans la région des Laurentides, la Formation de Montréal repose en discordance sur la Formation de Deschambault, alors que dans la région de Sorel, ce contact apparaît peu net, bien qu'il n'existe aucun indice de passage graduel. Là où le contact est visible, le passage du Deschambault à la Formation de Montréal est corrélé, par Clark (1952), au *Sherman Fall*. Clark et Globensky (1973), corrélaient une partie du Membre de Grondines de la Formation de Neuville à la Formation de Montréal.

Paléontologie: *Prasopora simulatrix orientalis* (Ulrich), *Paucicrura rogata*, (Sardeson), *Sowerbyella sericea* (Sowerby), *Zygospira recurvirostris* (Hall), *Cryptolithus tessellatus* (Green).

Références: Clark, T.H., 1944b, 1952, 1972; Clark, T.H., Globensky, Y., 1973, 1976a; Harland, T.L., Pickerill, R.K., 1982.

Y.G.

* * *

Formation de Neuville (Groupe de Trenton)

Auteur: Clark, T.H., 1959

Coupe type: Neuville, rive du Saint-Laurent en amont et en aval du quai de Neuville.

Âge: Ordovicien moyen tardif

Historique: Clark (1959) introduisit les noms de Neuville et de "Saint-Casimir" pour définir une coupe du Trenton reposant sur le Deschambault, dans la région de Neuville. Ainsi présentée, la "Formation de Saint-Casimir" repose sur celle de Deschambault et est suivie par la Formation de Neuville. Il suggère, advenant une division de Neuville, que ce terme soit gardé pour le Trenton Moyen et que le terme Grondines s'applique au Trenton Supérieur. Clark et Globensky (1975) utilisèrent le terme Neuville pour définir la lithologie entre le Deschambault et l'Utica, et divisèrent le Neuville en Membre de Saint-Casimir (inférieur) et en Membre de Grondines (supérieur). Globensky et Jauffred (1971), dans une révision du Neuville, abaissent de 21 m le contact entre le Saint-Casimir et le Grondines à la coupe type.

Lithologie: Le Neuville se présente en lits de calcaire de 1 à 15 cm séparés par des lits minces de shale argileux. Le calcaire, en général compact, est semi-lithographique dans la partie inférieure, avec seulement quelques lits à texture cristalline. La formation est divisée en deux membres: a) Membre de Saint-Casimir (base); b) Membre de Grondines (sommet).

Le premier se caractérise par un plus grand pourcentage de calcaire semi-lithographique, et le deuxième, par un plus fort pourcentage d'interlits de shale.

Épaisseur et distribution: L'épaisseur de la formation varie de 86 m à 187 m, le maximum étant situé dans la région de Trois-Rivières. Cette formation peut être observée de Trois-Rivières jusqu'à les régions de Beupré. Elle est présente aussi dans les régions de Baie-Saint-Paul et de La Malbaie.

Relations stratigraphiques: La présence de *Cryptolithus lorettensis* et de *Rafinesquina deltoidea* à la base du Membre de Grondines indique que celui-ci fut entièrement déposé durant le Cobourg. Le Membre sous-jacent de Saint-Casimir est ainsi d'âge Sherman Fall, (Clark et Globensky, 1973).

Paléontologie: Les fossiles les plus significatifs sont le *Rafinesquina deltoidea* et le *Cryptolithus lorettensis*. D'autres fossiles sont abondants et peuvent être observés le long du rivage de Neuville. Ce sont: *Prasopora orientalis*, *Isotelus gigas*, *Ceraurus pleurexanthemus*, *Sowerbyella sericea*, *Paucicrura rogata*. De plus, Globensky et Jauffred (1971) ont identifié quatre assemblages de conodontes:

- 1) Assemblage *Phragmodus undatus*;
- 2) Assemblage *Panderodus gracilis*;
- 3) Assemblage *Drepanodus suberectus*;
- 4) Assemblage *Periodon grandis*.

Références: Clark, T.H., 1959; Clark, T.H., Globensky, Y., 1973, 1975, 1976c; Globensky Y., Jauffred, J.C.N., 1971; Brun, J., Globensky, Y., 1977.

Y.G.

Membre de Saint-Casimir (Formation de Neuville)

Auteurs: Proposé par Clark, T.H., 1959; défini par Clark, T.H. et Globensky, Y., 1973

Coupe type: En aval du quai de Neuville et le long de la voie ferrée.

Âge: Ordovicien moyen tardif

Historique: Voir Formation de Neuville.

Lithologie: Ce membre consiste en calcaire gris pâle, moyen et foncé, montrant tous les degrés de cristallinité: de lithographique à agrégats de cristaux de calcite. Les lits de calcaire sont séparés par des passages de shale très minces, noirs et luisants.

Épaisseur et distribution: L'épaisseur du Saint-Casimir varie de 9 à 60 m. À Neuville, elle est de 32 m alors qu'à la rivière Sainte-Anne on compte 57 m. Les meilleurs affleurements se retrouvent le long de la rivière Sainte-Anne près du village de Saint-Casimir ainsi que dans la région de Neuville et Deschambault. Ce membre se rencontre aussi dans la région de la ville de Beauré.

Relations stratigraphiques: Le Membre de Saint-Casimir appartient à la Formation de Neuville. L'étude des conodontes a permis à Globensky et Jauffred (1971) d'émettre l'hypothèse que le Saint-Casimir est l'équivalent du *Shermann Fall* visible à la coupe type du Trenton, à Trenton Falls.

Paléontologie: *Bryantodina abrupta* (conodonte) est limité au Saint-Casimir et peut servir de critère biostratigraphique pour distinguer le Saint-Casimir du Grondines.

Références: Clark, T.H., 1959; Clark, T.H., Globensky, Y., 1973, 1976c; Globensky, Y., Jauffred, J.C.N., 1971.

Y.G.

* * *

Groupe de Black River

Auteur: Vanuxem, L., 1842

Coupe type: Affleurement de la rivière Black River, Jefferson County, N.Y.

Âge: Ordovicien moyen tardif

Historique: Vanuxem (1842) inclut dans le Black River les calcaires compris entre le Beekmantown et le Trenton, c'est-à-dire les calcaires de *Mohawk*, le calcaire gris, le calcaire "Birdseye" et aussi le Chazy. Hall (1843) introduit le terme de Groupe de Black River. Hall (1847), exclut le calcaire "Birdseye" du Black River. Raymond (1912) remet le "Birdseye" dans le Black River. Ruedeman (1910) divise le Groupe de Black River en calcaire d'*Amsterdam*, calcaire de *Watertown*, et calcaire de *Lowville*. Cette dernière formation est par la suite divisée en *Membre de Lowville* (s. str) et en *Membre de Leray*. Logan, (1863), décrit le Trenton et le Black River de la région de Montréal, sans distinction, bien que sur sa carte apparaisse une séparation entre les Formations de Birdseye et Black River et celle de Trenton. Okulich (1936), en s'inspirant des travaux de Ruedeman, divise le Black River de Montréal en Pamélia, Lowville et Leray, nomenclature reprise par Clark (1952).

Lithologie: Le Black River au Québec, comprend trois formations:

- a) Formation de Pamélia (à la base): celle-ci est composée de lits épais de dolomie verdâtre ou gris bleu pâle, s'altérant chamois, et dépourvus de fossiles; lits de shale vers la base.
- b) Formation de Lowville, formée en majeure partie de calcaire en lits minces, de 5 à 25 cm d'épaisseur, micritiques (calcilutites) de couleur gris pigeon, séparés en certains endroits par des horizons de shale.
- c) Formation de Leray (au sommet), composé de calcaire gris sombre, à produits d'altération blanc et brunâtre, en lits de 60 cm. La partie supérieure est caractérisée par une abondance de nodules de chert; par endroits, le calcaire est gréseux.

Épaisseur et distribution: Dans la région d'Ottawa, l'épaisseur est d'environ 40 m, alors que vers Montréal, elle varie de 10 et 20 m. Au nord du fleuve Saint-Laurent dans la région de Montréal, les couches du Black River débutent à Pointe-Claire. Une bande de 2 km de largeur se prolonge vers le NW jusqu'à l'île Bizard où elle est déplacée vers l'est par une série de failles. Elle réapparaît au flanc nord du Mont-Royal. De là, elle se dirige vers le nord, s'incurve pour recourber vers l'ouest à Saint-Michel pour suivre la rive ouest de la rivière des Prairies jusqu'à la faille de Sainte-Rose où elle est déviée pour réapparaître à l'est de Sainte-Thérèse où elle s'incurve vers le nord puis le NE jusqu'à la faille de Saint-Cuthbert. Le Black River est par la suite rejeté vers le NE par une série de failles normales en échelon et ce jusqu'à la région de Neuville.

Relations stratigraphiques: Le contact inférieur du Black river avec le Chazy, est situé par Hofmann (1963) à l'intérieur de la Formation de Pamélia. Okulich (1936), l'avait placé à la base du Pamélia.

Fossiles: *Tetradium fibratum*, *Tetradium cellulatum*, *Tetradium clarki*, *Lambeophyllum profundum*, *Stromatocentrum rugosum*, *Lophospira bicincta*, *Lophospira perangulata*, *Actinoceras billingsi*, *Orthoceras multicameratum*, *Rhynchotrema* sp., *Strophomena* sp., *Foerstephyllum halli*.

Références: Okulich, V.J., 1936, 1939; Clark, T.H., 1952, 1972; Clark, T.H., Globensky, Y., 1975; Denis, T.C., Dresser, J.A., 1946; Harris, J.J., 1933; Raymond, P.E., 1913b.

Y.G.

Groupe de Chazy

Auteur: Emmons, E. 1842

Coupe type: Village de Chazy, État de New York.

Âge: Ordovicien

Historique: Le terme Chazy fut utilisé pour la première fois par Emmons (1842) pour désigner un ensemble de strates calcaires entre le Beekmantown et le Black River. Logan (1863) les a décrits pour la région de Montréal. Ellis (1886), Ami 1900, Adams et Leroy (1904) en firent aussi des descriptions sans rien ajouter de nouveau. Raymond (1905) proposa le nom de Formation d'Aylmer pour le Chazy de la région d'Ottawa, alors que Cushing (1905) subdivisa le groupe visible dans la vallée du lac Champlain, en: *Calcaire de Valcour*, *Calcaire de Crown Point* et *Calcaire de Daypoint*. Wilson (1937) proposa les noms de *Formation de Rockcliffe* et de *Formation de Saint-Martin* pour les deux divisions reconnues par Raymond (1905) dans le Aylmer. Pour la région de Montréal, Clark (1952) introduisit les noms de Formation de Laval et les Membres de Sainte-Thérèse et de *Saint-Martin* pour le Groupe de Chazy. Hofmann (1963) a reconnu dans la Formation de Laval, au sud du Québec, deux zones biostratigraphiques: zone à *Rostricellula plena*; et zone à *Bolboporites americanus*.

Lithologie: Au Québec, la Formation de Laval du groupe de Chazy est composée surtout de calcaire pur à impur avec une quantité variable de shale, de grès et de dolomie.

Épaisseur et distribution: L'épaisseur du Chazy est très variable. Dans la région de Trois-Rivières, elle varie de 0 à 226 m alors qu'à Montréal elle oscille entre 136 et 203 m. Selon Hofmann (1963), cette variation est due à des irrégularités du socle précambrien ou à une mauvaise identification de grès du Potsdam rencontrés dans les forages, et attribués à tort au Chazy. Le Chazy affleure à l'extrémité ouest du Québec, au nord de la rivière Ottawa, dans la région de Greece's Point. Une bande de 5 à 10 km de largeur est délimitée entre la région de Napierville et Joliette. Elle débute au nord de Napierville et se dirige en ondulant jusqu'à Caughnawaga, traverse à l'ouest des îles de Montréal et de Bizard où elle se trouve déplacée vers l'est par une série de failles est-ouest. Elle réapparaît au centre de l'île de Montréal, traverse l'île Jésus en son centre, pour être déplacé vers l'ouest par une autre faille. De Sainte-Thérèse, la bande amincie se dirige vers le nord puis le NE, jusqu'à la région de Joliette.

Relations stratigraphiques: Hofmann (1963) releva la présence d'une coupure biostratigraphique entre le Chazy et le Beekmantown. Ainsi, le Beekmantown contient des *Lecanospira* et des *Hormotoma* qui n'ont pas été reconnus dans le Chazy. De plus, il existe une différence marquée entre les faunes des deux groupes.

Quant à la limite supérieure avec le Groupe de Black River, Hofmann (1963) a noté une discordance à l'intérieur du Pamélia dont il a fait le contact Chazy-Black River, c'est-à-dire à l'intérieur même du Pamélia.

Paléontologie: Zone à *Bolboporites americanus*, *Mimella borealis* (Billings), *Rostricellula raymondi* (Cooper), *Sphenotreta acutirostris* (Hall), Zone à *Rostricellula plena* (Hall), *Lingulella* ? sp., *Cyclora* ? sp.

Références: Logan, W.F. 1863; Emmons, E., 1842; Wilson, A.E., 1946; Clark, T.H., 1952, 1972; Hofmann, H.J., 1963; Roliff, W.A., 1967.

Y.G.

* * *

Formation de Batiscan (Groupe de Chazy)

Auteurs: Clark, T.H., Globensky, Y., 1976d

Coupe type: Puits n° 4 – Bald Mountain

Âge: Ordovicien moyen

Historique: Cette formation fut introduite par Clark et Globensky (1976d) pour différencier un grès à l'intérieur du Groupe de Chazy, sous-jacent à la Formation de Laval. Ils identifièrent ce grès dans trois forages différents effectués au nord du Saint-Laurent, dans la région de Bécancour. Les épaisseurs dans les forages (nos 74, 4 et 5,) sont respectivement de 146 m, 203 m et 76 m.

Références: Clark, T.H., Globensky, Y., 1976d.

Y.G.

* * *

Membre de Sainte-Thérèse (Groupe de Chazy)

Auteur: Clark, T.H., 1952

Coupe type: Puits Mallet n° 1, près de Sainte-Thérèse.

Âge: Ordovicien moyen précoce

Lithologie: Alternance de shales, de siltstones et de grès gris foncé et verdâtres.

Épaisseur et distribution: Dans la région de Montréal, différents puits révèlent une épaisseur variant de 12 à 20 m pour le grès de base. Le Sainte-Thérèse affleure dans la région de Greece's Point sur la rive nord de la rivière Outaouais, ainsi que dans la région immédiate de Montréal, à l'intérieur de certaines carrières, comme la carrière Rivermont à Kahnawake.

Relations stratigraphiques: Ce membre représente la base de la Formation de Laval. Il repose en discordance sur le Beekmantown (Hofmann, 1963). La limite supérieure est mal définie et représente un passage graduel entre ce membre et le Laval.

Paléontologie: Ce membre fait partie de la Zone à *Bolboprites americanus*, telle que définie par Hofmann (1961). Celui-ci y nota aussi la présence de *Lingulella*, de *Planolites* sp. et de *Caugichnus caughnawagensis*.

Références: Clark, T.H., 1952; Hofmann, H.J., 1961, 1963; Globensky, Y., 1981b.

Y.G.

* * *

Groupe de Potsdam

Auteur: Emmons, E., 1838

Coupe type: Saint-Lawrence County, État de New York

Âge: Cambrien tardif

Historique: Emmons (1838) donna le nom de Potsdam à un grès de l'État de New York reposant en discordance sur le Précambrien et surmonté de couches ordoviciennes. Cushing (1901) exclut les couches de transition formées de grès et de dolomie pour ne garder que le grès et le conglomérat de la base. Chadwick (1915) subdivisa le Potsdam en grès rouge de Potsdam et en *grès blanc de Keeseville*, tout comme Emmons (1842). Au Canada, Logan (1863) et Ells (1895) firent des descriptions des grès du Potsdam. Clark, (1942) assigna la Formation du Potsdam au Cambrien, alors qu'en 1966, trouvant la correspondance difficile entre le Potsdam de l'État de New York et celui du Québec, il nomma Formation de Covey Hill le grès à la base et *Formation de Châteauguay* la séquence de grès et de dolomie sus-jacente. Il distingua également le Membre de Rivière-aux-Outardes à l'intérieur du Covey Hill et les Membres de "Cairnside" et de *Ruisseau Norton* dans le *Châteauguay*. Globensky (1982b) révisa le Potsdam de Clark en élevant le Membre de Cairnside au rang de formation et élimina la *Formation de Châteauguay*. Le Membre du *Ruisseau Norton* devint la Formation de Theresa, telle que définie par Cushing (1908), et celle-ci fut assignée au Groupe de Beekmantown.

Lithologie: Le Potsdam se compose à la base, d'un grès quartzofeldspathique, rose à rouge grisâtre, à faible grano-classement et à granulométrie fine à conglomératique, et au sommet, d'un grès quartzitique blanc, quelquefois gris, à ciment siliceux et patine crème beige, rosée et rouille.

Épaisseur et distribution: Les grès du Potsdam atteignent une épaisseur de 600 m dans la région de Vaudreuil et 760 m dans la région de Châteauguay. Le Potsdam se retrouve principalement à l'ouest de Montréal. La plupart des affleurements se situent dans la région de Lachute, dans la partie nord de la région de Vaudreuil, dans la partie ouest de Huntingdon et dans une bonne partie de la région de Châteauguay. Des affleurements furent également cartographiés le long d'une bande SW - NE s'étendant du nord de l'aéroport de Mirabel jusqu'au nord de Joliette.

Paléontologie: Ces grès contiennent très peu de fossiles. Les fossiles identifiés sont: *Climacichnites wilsoni*, *Skolithos* sp., *Protichnites octonatus*, *Lingulepis acuminata*, *Arenicolites* sp.,

Références: Clark, T.H., 1966, 1972; Lewis, D.W., 1963; Globensky, Y., 1981a, 1982b; Wilmarth, G., 1956; Emmons, E., 1838, 1842.

Y.G.

* * *