

MB 86-56

LEVE GEOTECHNIQUE DE LA REGION DE BEAUHARNOIS - CANDIAC - RAPPORT

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 



SÉRIE DES MANUSCRITS BRUTS

Levé géotechnique de la région de Beauharnois – Candiac

Denis – Jacques Dion
Daniel Cockburn
Pierre Caron

Ce document est une reproduction fidèle du manuscrit tel que soumis par l'auteur sauf pour une mise en page sommaire destinée à assurer une qualité convenable de reproduction.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
AVANT-PROPOS	0
GÉNÉRALITÉS	0
Localisation de la région	0
Méthodologie utilisée	0
Rapport et cartes	0
Physiographie	0
Géologie de la roche en place	0
GÉOLOGIE DES DÉPOTS MEUBLES	0
Formation de Châteauguay	0
Formation de Saint-Jacques	0
Formation de Chambly	0
Dépôts de la mer de Champlain	0
Autres dépôts	0
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET GÉOTECHNIQUES DE LA ROCHE EN PLACE ET DES DÉPOTS MEUBLES	0
Roche en place	0
Dépôts meubles	0
Till	0
Rythmites de la formation de Chambly	0
Argiles de la mer de Champlain	0
Sables de la mer de Champlain	0
Sédiments de plaines alluviales actuelles	0
Sédiments de tourbières	0
RELATION ENTRE LES CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES DES DÉPOTS MEUBLES	0
Pourcentage de particules fines versus teneur en eau naturelle	0
Indice de plasticité versus limite de liquidité	0
Sensibilité versus indice de liquidité	0
Indice de liquidité versus résistance du sol remanié	0
Indice de plasticité versus sensibilité	0
Sensibilité versus résistance du sol remanié	0
DÉTERMINATION DE CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES PAR LA MESURE DE LA TENEUR EN EAU ET DE LA RÉSISTANCE AU CISAILLEMENT	0
PROPRIÉTÉS GÉOCHIMIQUES DE L'EAU INTERSTITIELLE DANS L'ARGILE	0
ZONAGE GÉOTECHNIQUE	0
HYDROGÉOLOGIE	0
GÉOLOGIE ÉCONOMIQUE	0
CONCLUSION ET DISCUSSION	0
REMERCIEMENTS	0
RÉFÉRENCES	0

ANNEXES:

1 - Description des appareils de mesures et aperçu des techniques d'interprétation	0
2 - Position de la faille de Delson sous le couvert des dépôts meubles ..	0
3 - Stratigraphie et caractéristiques géotechniques pour les forages effectués par le service de la Géotechnique dans la région de Beauharnois-Candiac	0
4 - Liste des exploitations (carrières et gravières)	0
5 - Analyse de stabilité du secteur de Notre-Dame-de-l'Ile-Perrot	0
6 - Analyse de stabilité du secteur de Pointe-des-Cascades	0

CARTES (1:50 000) accompagnant le DV 85-05

- A - Aptitude
- B - Géologie des dépôts meubles
- C - Géologie de la roche en place

AVANT-PROPOS

Le but d'une étude géotechnique régionale est de produire un rapport qui rassemble l'information sur les propriétés physiques et mécaniques des sols et sous-sols sur lesquels sont possibles des aménagements urbains et industriels. Il est bien entendu cependant qu'une telle étude régionale ne peut remplacer les études plus spécifiques exigées par des constructions importantes.

Le présent rapport traite des mêmes aspects que le DPV-901 (Dion et Caron, 1982), qui couvre une partie du feuillet SNRC 31 H/6, à l'est de cette étude. Il complète le DV-85-05 (Dion et al., 1986) qui couvre l'aspect cartographique de la région à l'aide des cartes suivantes à l'échelle 1: 50 000:

- La carte d'aptitude, qui est une compilation exhaustive de certaines propriétés mécaniques des sols et plus particulièrement des sols argileux.
- La carte de la géologie des dépôts meubles, qui délimite l'étendue et l'épaisseur de ces dépôts, fournit la stratigraphie observée dans de nombreux sondages et localise les exploitations de sable et/ou gravier.
- La carte de la géologie de la roche en place, qui précise la nature et la topographie de celle-ci et en fournit une brève indication des propriétés mécaniques.

Les annexes 5 et 6 du présent rapport, qui traitent de la stabilité de deux secteurs de la région couverte, ont été complétées par: J. Levasseur et J.D. Allard du Ministère.

GÉNÉRALITÉS

Localisation de la région

Le présent rapport constitue la synthèse et l'analyse des travaux effectués en 1980 et 1981 par le service de la Géotechnique du ministère de l'Énergie et des Ressources dans la région de Beauharnois - Candiac (figure 1).

Cette région, d'une superficie d'environ 530 km², est comprise entre les longitudes 73°30' et 74°00' et les latitudes 45°15' et 45°30'. Elle englobe en tout ou en partie les municipalités et villes de Beauharnois, Candiac, Châteauguay, Delson, Dorion, Ile Perrot, l'Annonciation, La Prairie, Léry, Maple Grove, Melocheville, Mercier, Notre-Dame-de-l'île-Perrot, Pin-court, Pointe-Calumet, Pointe-des-Cascades, Pointe-du-Moulin, St-Constant, St-Edouard, St-Etienne-de-Beauharnois, St-Isidore, St-Joseph-de-Soulanges, St-Lambert, St-Mathieu, St-Michel, St-Paul-de-Châteauguay, St-Philippe, St-Raphaël-de-l'île-Bizard, St-Rémi, St-Timothée, St-Urbain, Ste-Catherine, Ste-Martine, Terrasse-Vaudreuil et Vaudreuil. Les routes d'accès et la collaboration des propriétaires ont rendu possible un échantillonnage quasi systématique de la région.

Sont exclus du territoire couvert, la réserve indienne de Caughnawaga et le territoire urbanisé de l'Ile de Montréal. Cette dernière fait l'objet d'une étude géotechnique comparable (à l'échelle du 1:20 000 et

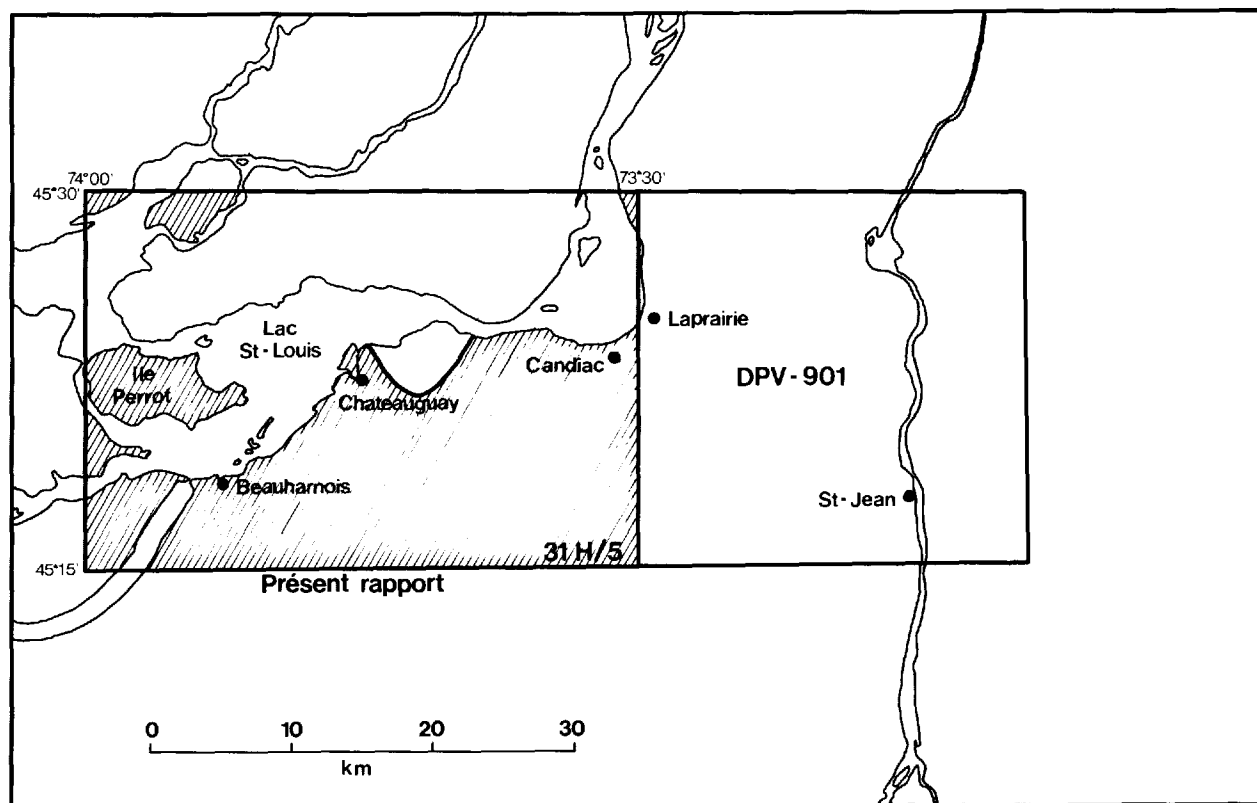


FIGURE 1 - Localisation du présent rapport et de l'étude adjacente (DPV-901).

1:10 000), étude entreprise conjointement par le Ministère et la ville de Montréal.

Méthodologies utilisées

Des explications concernant les différentes étapes suivies lors de cette étude sont fournies dans les paragraphes qui suivent. Elles sont basées sur une publication antérieure du Ministère intitulée: "Établissement des cartes géotechniques au ministère des Richesses naturelles" (Maranda, 1977). La **première étape** a compris:

- La recherche et la consultation de la documentation se rattachant à la géologie des dépôts meubles et à l'hydrogéologie.
- La collecte, auprès des consultants privés, d'informations sur les propriétés des sols et de la roche en place. Ces informations résultent d'études pour l'implantation de ponts, d'écoles, d'usines, d'autoroutes, etc.
- La consultation des résultats d'un grand nombre de forages effectués par le service des Sols du ministère des Transports ou l'examen de données de forage compilées lors d'études régionales par le service des Eaux souterraines du ministère de l'Environnement.
- L'examen de photos aériennes à l'échelle de 1:20 000 (1976) et de cartes topographiques du ministère canadien de l'Énergie, des Mines et des Ressources aux échelles de 1:25 000 et de 1:50 000, ainsi que de cartes topographiques de notre propre Ministère à l'échelle de 1:20 000. Ces photos et ces cartes nous ont servi de documents de travail.

La **seconde étape** a consisté à placer sur les cartes les informations recueillies. La localisation des sondages a été reportée soigneusement sur une carte de documentation; les épaisseurs de dépôts meubles et les côtes de la roche en place ont été portées sur deux autres cartes. A ce stage, les informations comportant un élément de doute ont été démarquées pour vérification ultérieure.

La **troisième étape** a compris des levés sur le terrain, lesquels ont permis d'obtenir de nouveaux renseignements et de contrôler la validité des informations recueillies. Le déroulement s'est articulé comme suit:

- Collecte d'échantillons, en surface ou dans les coupes, des différentes unités de dépôts meubles et de la roche en place, dans le but de définir et de caractériser chacune des unités de la région.
- Analyses géomorphologiques et géodynamiques, axées surtout sur les processus actifs, tels l'érosion, les inondations et les glissements de terrain.
- Exécution de levés géophysiques et dynamiques, lesquels avaient pour but de définir la nature et la puissance des formations et de chiffrer les paramètres physiques et mécaniques des sols et des roches. Les moyens géophysiques employés ont été la résistivité électrique (35 sondages), la sismique réflexion (400 essais), et la conductivité électrique (25 km).

Pour les essais dynamiques, nous avons eu recours au scissomètre Nilcon (105 essais), au pénétromètre mécanique statique Goudsche (120 essais) et à une foreuse Mobil B-50 (20 forages, voir figure 19). Un sommaire du fonctionnement des appareils et des techniques d'interprétation est fourni à l'annexe 1. Les résultats de tous ces essais ont été comparés à ceux obtenus par des firmes ayant oeuvré dans la région.

Rapport et cartes

Le présent rapport couronne les travaux sur le terrain. Dans la notice, nous faisons état plus particulièrement des relations que peuvent avoir entre elles certaines propriétés des sols. Quant aux cartes, toutes à 1:50 000, elles forment une publication séparée (DV 85-05) et consistent en:

- une carte d'aptitude (carte A), qui constitue la synthèse régionale des données; cette carte comprend les informations contenues sur deux documents d'archive: un plan localisant la documentation obtenue de toutes sources et un autre plan faisant état des pentes et dangers naturels;
- une carte de la géologie des dépôts meubles et des coupes géologiques (carte B);
- une carte de la géologie de la roche en place (carte C).

Physiographie

La région étudiée se situe dans les Basses Terres du St-Laurent, à l'intérieur des limites de la mer de Champlain, telles que définies par Gadd (1974). La plaine argileuse s'incline en pente douce vers le lac St-Louis. Plus du tiers du territoire couvert est caractérisé par un affleurement de till qui s'étend du coin sud-est de la carte vers le centre ouest (axe St-Rémi-Châteauguay). D'autres collines de till et des affleurements rocheux se retrouvent principalement autour de Candiac, Melocheville, à l'île Bizard et sur l'île Perrot. L'altitude de la région varie entre 20 m près de Candiac et des terres basses (en contact avec le lac St-Louis) et 65 m dans un secteur à l'est de St-Rémi.

Le relief est peu accentué, hormis les terrasses à Pointe-des-Cascades et à l'île Perrot qui représentent des escarpements d'érosion résultant du passage de l'ancêtre de la rivière des Outaouais (stade Rigaud de MacPherson, 1967).

Les principales masses d'eau sont le lac St-Louis, la partie occidentale du lac des Deux-Montagnes et le fleuve St-Laurent. Les cours d'eau plus mineurs sont les rivières St-Louis, Châteauguay, St-Régis, St-Pierre et de la Tortue. Toutes ces rivières se jettent dans le St-Laurent ou le lac St-Louis. Au moins 80% des pentes de la région ne dépassent pas 1%, ce qui a nécessité l'implantation d'un réseau de drainage pour l'exploitation agricole dans les secteurs à pente faible.

Le socle est constitué de roches sédimentaires sub-horizontales. Une vallée enfouie, sensiblement parallèle à l'axe du fleuve, est présente entre Beauharnois, Châteauguay et la réserve de Caughnawaga (Freeze, 1964). Son altitude minimum est de l'ordre de 15 m au-dessus du niveau actuel de la mer.

De façon générale, les épaisseurs de dépôts superficiels excèdent rarement 15 à 20 m; les épaisseurs les plus importantes se retrouvent dans l'axe de la vallée enfouie, au sud de la région entre St-Rémi et Ste-Martine ainsi qu'en quelques endroits notamment sur le sommet des terrasses (île Perrot, Pointe-des-Cascades, Dorion et à Pointe-Calumet). A ces endroits, la couverture peut atteindre localement 30 m et plus.

Géologie de la roche en place

La première cartographie systématique de la région a été effectuée par Clark en 1952 et reprise en 1972 par celui-ci (Clark, 1972) ainsi que par Globensky (1984). Les noms des unités géologiques mentionnées dans le présent rapport proviennent des travaux de Globensky (tableau 1).

La région se compose essentiellement de couches sédimentaires cambro-ordoviciennes reposant sur un socle précambrien qui n'affleure pas dans la région. Les roches intrusives du Crétacé, telles celles formant les monts Royal et St-Grégoire (situés à proximité de la région) sont limitées à quelques affleurements mineurs en bordure du fleuve.

L'ensemble des formations sédimentaires repose en concordance les unes sur les autres et possède un pendage régional faible vers le nord-est. La base de la séquence est visible dans le secteur ouest de la région alors que le sommet affleure dans la partie est. Généralement, le roc est masqué par la couverture de dépôts meubles de telle sorte que les affleurements rocheux sont peu nombreux.

La base de la séquence, visible notamment sur l'île Perrot, est représentée par le groupe de Postdam composé de grès grossiers et de conglomérats de couleur rougeâtre (Fm. de Covey Hill) sous-jacents à des grès quartzitiques blancs (Fm. de Cairnside). Le groupe de Beekmantown surmonte le Postdam. Il est composé d'une épaisse série de strates comprenant des grès dolomitiques à la base (Fm. de Theresa) et de la dolomie, du calcaire dolomitique ainsi que de faibles quantités de shales au sommet (Fm. de Beauharnois). Ces formations affleurent au centre de la région ainsi que sur l'île Bizard.

Stratigraphiquement au-dessus de Beekmantown, on retrouve les formations à prédominance calcaire. Celles-ci sont rencontrées dans le secteur nord-est de la région (Candiac - St-Constant - réserve de Caughnawaga). La base est représentée par la formation de Laval (groupe de Chazy) constituée essentiellement de calcaire très fossilifère avec de faibles quantités de shale et de grès. Des carrières à St-Isidore et Caughnawaga se sont développées dans cette formation. Le groupe de Black River qui la surmonte est limité à une étroite bande de calcaire avec un peu de dolomie et de shale à la base. Enfin, le Trenton, qui repose sur cette séquence, est formé en majeure partie de lits épais, de calcaire fossilifère interstratifié par de nombreux lits de shale. Les subdivisions qui apparaissent dans la région sont les formations de Deschambault, de Montréal et de Tétreauville.

La dernière séquence ordovicienne se compose de shales argileux de l'Utica et de Lorraine. Ceux-ci se retrouvent en contact normal avec la formation de Tétreauville à l'ouest et en contact de faille avec les autres formations calcaires au sud (carte C).

TABLEAU 1 - Sommaire des formations de la région étudiée.
D'après Globensky (1984).

ÈRE	PÉRIODE	UNITÉ GÉOLOGIQUE	LITHOLOGIE	ÉVÈNEMENTS
MÉSO-ZOÏQUE	CRÉTACÉ	INTRUSIONS MONTÉRÉGIENNES (13)*	Roches ignées sous forme de dykes, filons-couches et brèches.	Activités ignées. Failles Est-Ouest.
PALÉOZOÏQUE	ORDOVICIEN	GROUPE DE LORRAINE - Formation de la rivière Nicolet (12) SHALE D'UTICA (10)	Shale, siltstone et grès. Shale argileux.	Orogénie taconique dans les Cantons de l'Est; plissement des roches sédimentaires.
		GROUPE DE TRENTON - Formation de Tétreauville (9) - Formation de Montréal (8) - Formation de Deschambault (7)	Calcaire fossilifère avec interlits de shale.	La submersion marine se continue et dépose le Beekmantown, le Chazy, le Black River, le Trenton, l'Utica et le Lorraine
		GROUPE DE BLACK RIVER (6)	Calcaire avec un peu de shale et dolomie à la base.	
		GROUPE DE CHAZY - Formation de Laval (5)	Calcarénite, shale et grès.	
		GROUPE DE BEEKMANTOWN - Formation de Beauharnois (4) - Formation de Theresa (3)	Dolomie, calcaire dolomitique et petites quantités de shale. Grès et dolomie.	
		GROUPE DE POTSDAM - Formation de Cairnside (2) - Formation de Covey Hill (1)	Grès quartzitique blanc. Grès et conglomérat rougeâtres.	Envahissement de la mer: dépôts des grès de Potsdam.
	CAMBRIEN			

* Réfère à la symbolisation sur la carte C (DV 85-05).

La faille Delson qui sépare les calcaires et les shales est masquée par des épaisseurs de dépôts meubles de l'ordre de 3 à 10 m. L'annexe 2 présente l'interprétation d'essais de sismique réfraction effectués dans les secteurs de Delson et de St-Philippe (Dion et Caron, 1982). Le contraste entre les vitesses sismiques des calcaires et des shales permet de préciser la position de la faille à cet endroit.

GÉOLOGIE DES DÉPÔTS MEUBLES

LaSalle (1981) a effectué la cartographie des dépôts meubles pour tout le territoire situé au sud du fleuve St-Laurent, alors que l'île Perrot et l'île Bizard ont été cartographiées par Prest et Hode-Keyser (1975). Le tableau 2 fournit le sommaire des formations telles que rencontrées par LaSalle.

La séquence de dépôts glaciaires n'est pas visible en son entier sur le terrain. De même, l'analyse des dossiers de forage de l'entreprise privée ainsi que de nos propres relevés n'a pas permis de reconnaître avec certitude la présence systématique du till de base et de la formation de Châteauguay qui lui est sus-jacente. Cette dernière a été reconnue le long de la crête qui s'allonge entre St-Isidore et Mercier de même que dans le secteur de St-Rémi - St-Mathieu. Ailleurs, sa présence est hypothétique. De façon générale, la séquence stratigraphique dans les dépôts meubles comprend le till de St-Jacques en contact avec le substratum ou le Châteauguay et surmonté par les rythmites du lac Chambly et par les sédiments de la mer de Champlain.

FORMATION DE CHATEAUGUAY

La formation de Châteauguay reposerait sur un till non identifié dans la région mais signalé ailleurs (Dion et Caron, 1982; LaSalle, 1981). A la base, on note un gravier sablonneux et caillouteux (figure 2). Ce gravier, généralement bien stratifié, peut s'apparenter à un dépôt de contact (mal classé). Il est surmonté par une unité de sable moyen à fin (figure 3) bien trié et rythmé de quelques 2 à 3 m d'épaisseur. Les blocs qu'on rencontre ici et là ont vraisemblablement été mis sur place par des icebergs. La dernière unité de la formation est une séquence de varves d'environ 50 cm d'épaisseur, montrant une abondance de petits fragments ainsi que des structures de charges créées par le passage subséquent du glacier (figure 4).

Cette formation est visible dans son entier dans les gravières qui se sont développées sur la crête de Mercier (figures 5 et 6). Dans la gravière, située au sud de St-Mathieu, seuls la séquence de sable, les varves et le till sus-jacent sont visibles (figure 7). La présence des sédiments de Châteauguay dans cette dernière gravière laisse supposer leur caractère régional, du moins dans cette partie de la région (secteur Mercier - St-Rémi).

FORMATION DE SAINT-JACQUES

La formation de Saint-Jacques est un till grisâtre à gris foncé à matrice silteuse déposé sur les sédiments de la formation de Châteauguay (figure 6 et 7) ou directement sur le substratum rocheux. Elle est présente partout dans la région et c'est l'unité de surface prédominante dans la partie centre-est et sud-est (Châteauguay, Mercier, St-Rémi). Dans la partie ouest, elle affleure en quelques endroits, notamment sur l'île Perrot et sur l'île Bizard. Les

11

() Non présent en surface

* Réfère à la symbolisation sur la carte B (DV 85-05)

FIGURE 2 - Séquence de gravier sablonneux à la base de la formation de Châteauguay. Gravière à 2 km à l'est de Mercier (UTM: X: 600500, Y: 5017400).



FIGURE 3 - Sable moyen à fin surmontant le gravier sablonneux avec bloc intercalé dans la séquence médiane de la formation de Châteauguay. Gravière à 2 km à l'est de Mercier.



FIGURE 4 - Varves au sommet de la formation de Châteauguay avec le till de St-Jacques au-dessus. Gravière à 2 km à l'est de Mercier.



FIGURE 5 - Vue générale de la séquence présente dans la gravière située à 2 km à l'est de Mercier (orientation nord-sud).



FIGURE 6 - Vue générale de la séquence présente dans la gravière située à 2 km à l'est de Mercier (orientation est-ouest).



FIGURE 7 - Till de St-Jacques et sommet de la formation de Châteauguay. Gravière à 4 km au sud de St-Mathieu (UTM: X :615500, Y: 5014400).

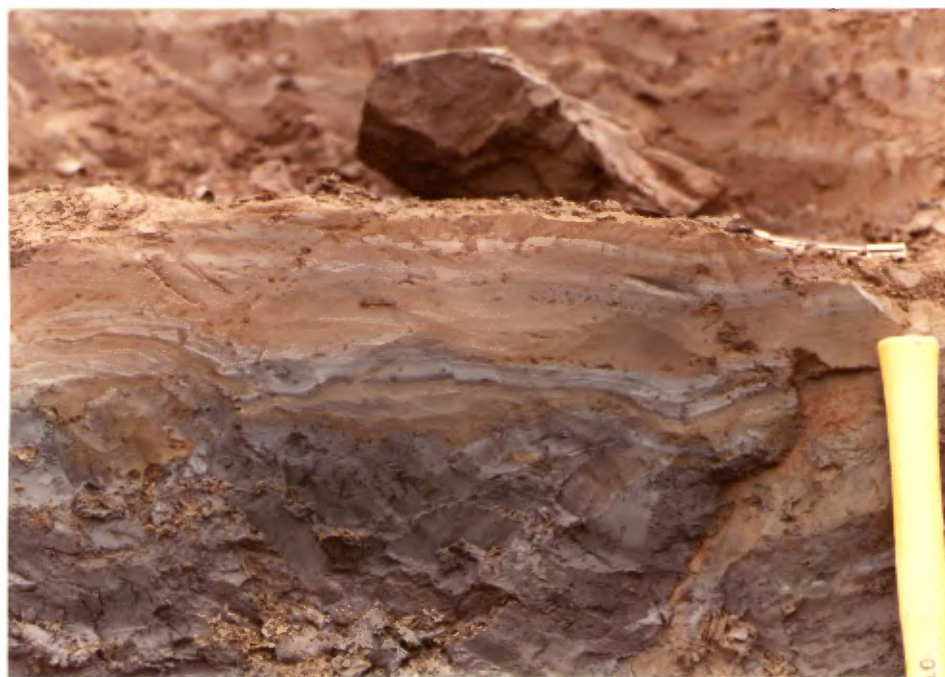


FIGURE 8 - Rythmites de la formation de Chambly, le long du boulevard Châteauguay (UTM: X: 598200, Y: 5021800).

épaisseurs du till varient de quelques mètres à près de 10 m et peuvent atteindre 15 m et plus dans le secteur de St-Rémi.

FORMATION DE CHAMBLY

Une séquence d'argile silteuse, de silt et d'argile surmonte le till de Saint-Jacques. De caractère régional, elle se rencontre en maints endroits dans la région métropolitaine de Montréal mais est généralement masquée en surface par les dépôts de la mer de Champlain. Elle a été signalée au site du parc Olympique (Ballivy et al., 1977), dans la région de l'Epiphanie (Dion, 1978) et de l'aéroport international de Mirabel (Maranda, communication personnelle) de même que dans la région de Laprairie - Saint-Jean (Dion et Caron, 1982; LaSalle, 1981). Cette séquence mise en place dans un lac proglaciaire, a été appelée formation de Chambly par LaSalle (1981). Les figures 8 à 12 illustrent les changements de granulométrie dans les couches sédimentaires qui sont légèrement perturbées et qui contiennent par endroits des clastes de silt et sable ainsi que des cailloux. Les épaisseurs de cette formation oscillent entre 2 et 5 m mais atteignent plus de 18 m au forage 8100507 et plus de 6 m au forage 8100514, tous deux situés entre Ste-Martine et St-Rémi. Au site de ce dernier forage ainsi que le long du boulevard Châteauguay à Châteauguay, la formation de Chambly est exceptionnellement près de la surface n'étant recouverte que par 2 m de dépôts marins.

DÉPÔTS DE LA MER DE CHAMPLAIN

Les dépôts de la mer de Champlain comprennent tous les sédiments mis en place lors de l'épisode marin. Ce sont:

- à la base, en contact avec les dépôts du lac Chambly, une séquence de sédiments argileux fossilifères dont on reconnaît trois (3) principaux faciès; soit de la base au sommet:
 - a) une couche d'argile tachetée de substances noires et sans structures sédimentaires visibles (figures 13 et 14);
 - b) une couche d'argile massive rouge rosée (code couleur 2,5 Yr 5/2 ou 5 Yr 6/2) dont l'épaisseur varie de 15 cm à 1 m avec un horizon d'argile tachetée présent par endroits au-dessus de l'argile massive;
 - c) une couche d'argile rubanée grise, gris foncé et gris noir (figures 15 et 16).
- au sommet, des dépôts non argileux, rencontrés sporadiquement: (1) des sédiments de rivage comprenant des sables et graviers ainsi que des aires de till remanié, très fossilifères par endroits (figure 17) et (2), des sables bien triés, déposés en eau peu profonde et localement fossilifères (figure 18).

Les sédiments argileux affleurent sur plus de la moitié du territoire cartographié. Les épaisseurs sont relativement faibles dans le secteur nord-est (3 à 8 m) et plus importantes dans toute la partie ouest (10 à 20 m).

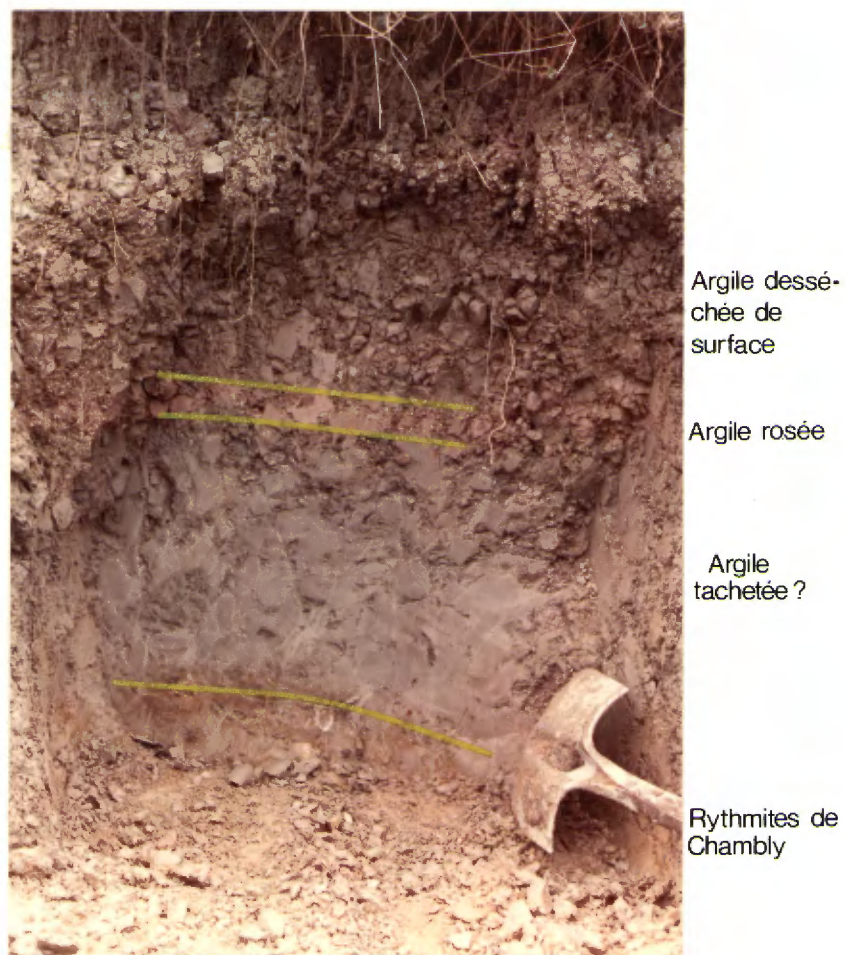


FIGURE 9 - Rythmites de la formation de Chambly en contact avec les argiles marines sus-jacentes. Boulevard Châteauguay, Châteauguay (UTM = X: 599200, Y = 5021750).



FIGURE 10- Photographie au détubage d'échantillon de la formation de Chambly. Forages 8100510 et 8100524.

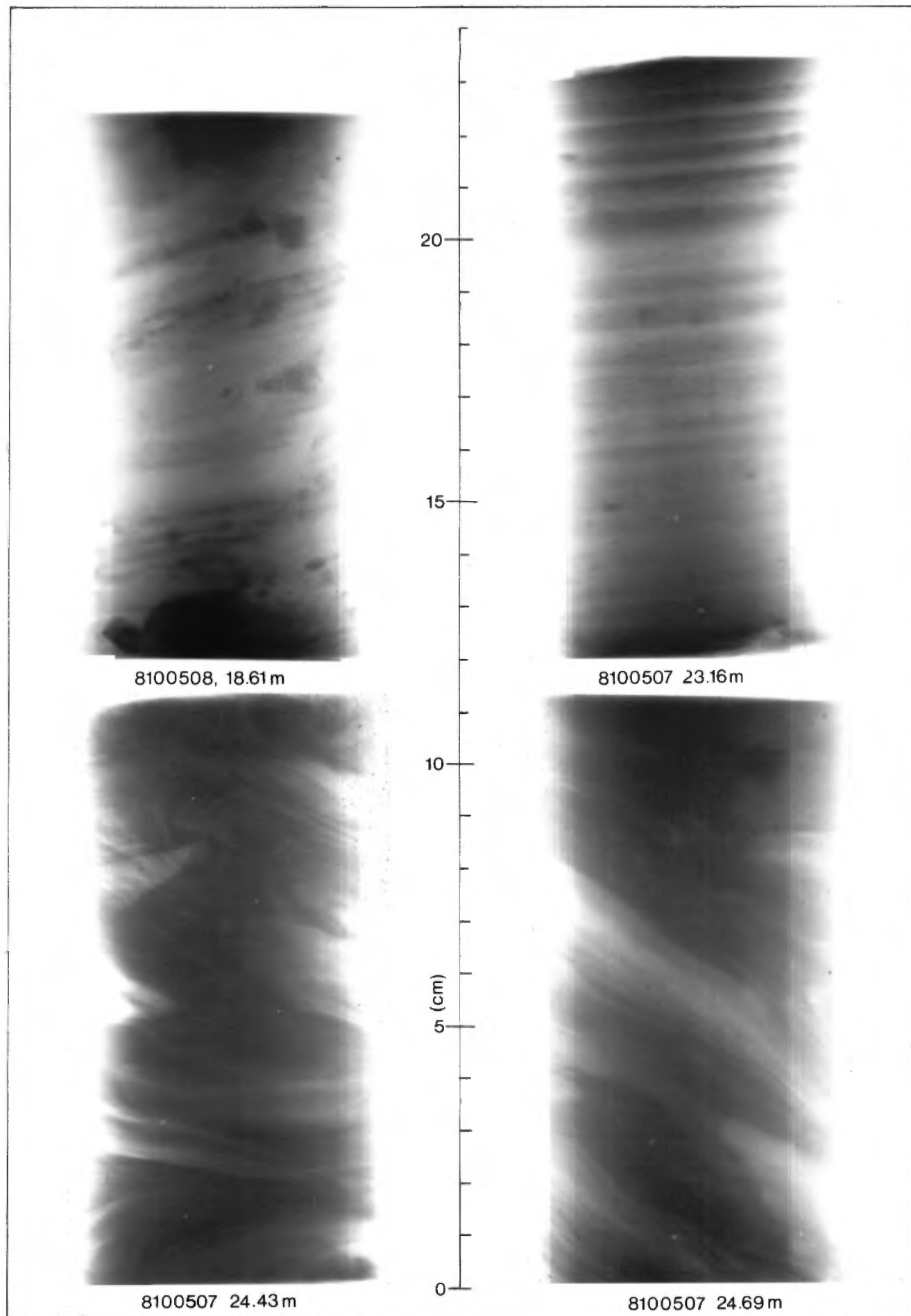


FIGURE 11 - Rayons-X d'échantillons de la formation de Chambly. La teinte pâle représente des horizons plus argileux et la teinte foncée des horizons plus silteux. Forages 8100507 et 8100508.



8100508 - 18,75

FIGURE 12 - Photographie d'échantillon de la formation de Chambly (après séchage à l'air libre) avec rayons-X correspondant. Forage 810050 à 18,75 m de profondeur.

8100522



FIGURE 13 - Photographie au détubage d'échantillons d'argile tachetée de la mer de Champlain. Forage 8100522.

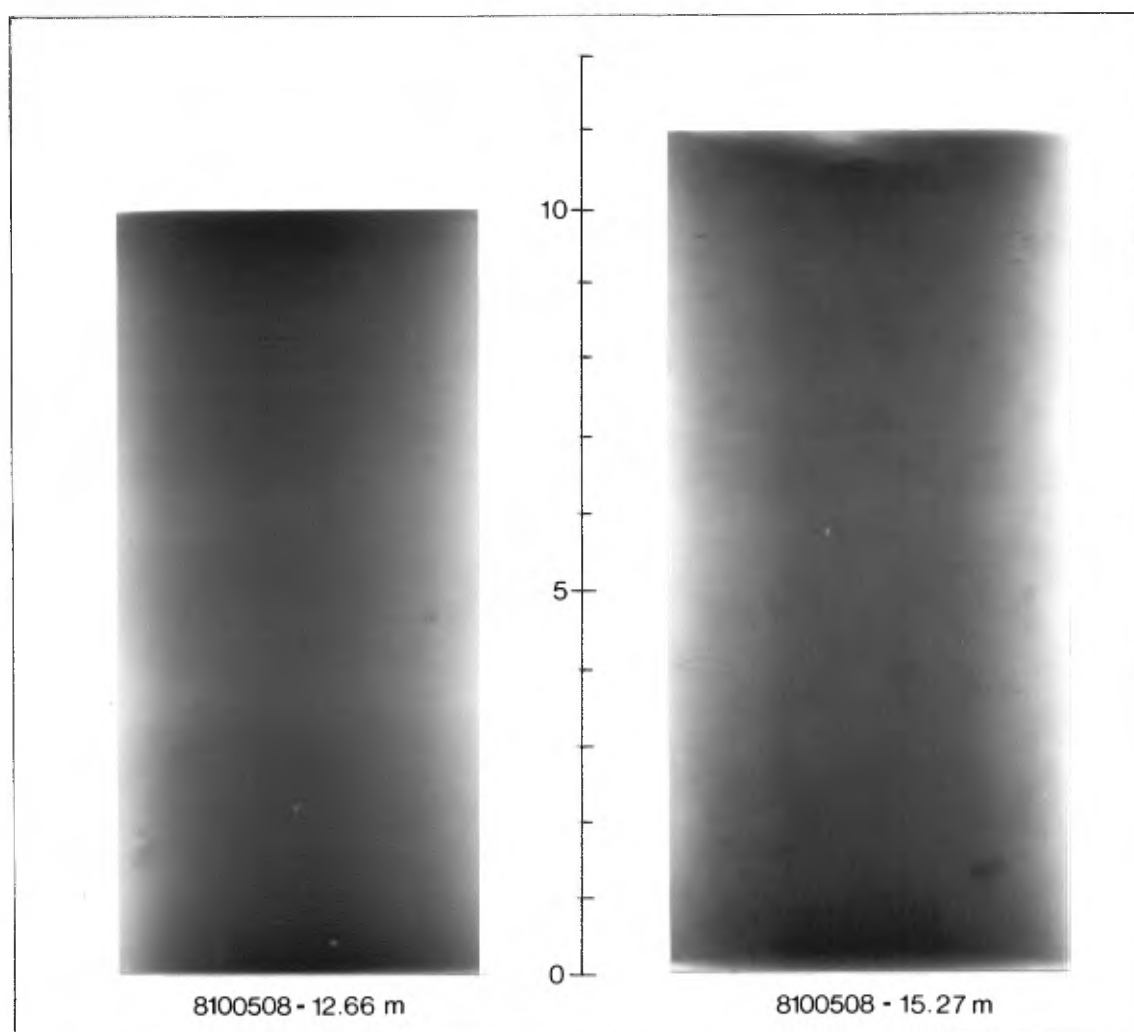


FIGURE 14 - Rayons-X d'échantillons d'argile tachetée de la mer de Champlain. Forage 8100508.

8100512



FIGURE 15 - Photographie au détubage d'échantillons d'argile rubanée de la mer de Champlain. Forage 8100512.

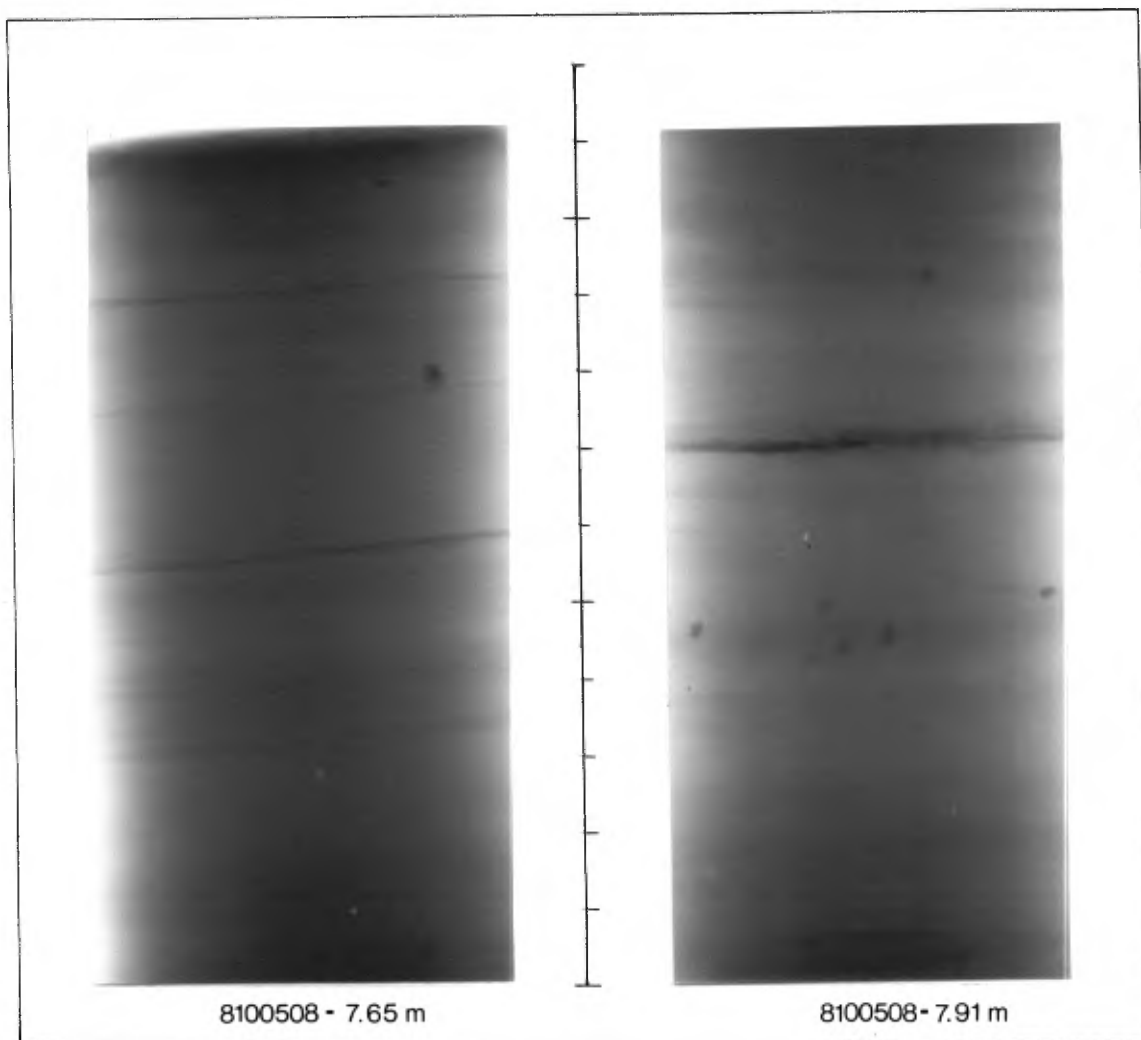


FIGURE 16 - Rayons-X d'échantillons d'argile rubanée de la mer de Champlain. Forage 8100508.



FIGURE 17 - Sédiments de rivage de la mer de Champlain très fossilifères. Gravière à 2 km à l'est de Mercier (UTM: X = 600550, Y = 5017400).



FIGURE 18 - Sables bien triés de la mer de Champlain, très fossilifères. Gravière à 2 km à l'est de Mercier (UTM: X = 600550, Y = 5017400).

Les dépôts de rivage affleurent sur le sommet de la crête de Mercier (figure 6) sur des épaisseurs de 2 à 4 m tandis que les sables bien triés affleurent en bordure (4 à 7 m). Ailleurs, ils sont limités à des placages de surface peu épais (< 2 m) sauf à Pointe-Calumet où les épaisseurs varient entre 4 à 10 m avec un maximum de 19 m atteint au site du pénétromètre 1509 (figure 43).

AUTRES DÉPÔTS

Les autres dépôts de la région sont des matériaux de tourbières dont les tourbes à sphaignes et à éricacées, et les matériaux de plaines alluviales: sable, silt, argile et débris organiques, généralement érodés d'unités plus anciennes et redéposés aux abords des cours d'eau actuels.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET GÉOTECHNIQUES DE LA ROCHE EN PLACE ET DES DÉPÔTS MEUBLES

Les paragraphes qui suivent présentent une courte revue des propriétés de la roche en place suivie d'une discussion plus élaborée des propriétés des divers dépôts meubles et des dépôts argileux en particulier. La connaissance des paramètres géotechniques de ces derniers est de toute première importance; l'argile constitue en effet l'unité géologique la plus susceptible de présenter des difficultés lors d'un aménagement: tassements importants, rupture de fondation, glissement lors d'excavation, etc.

Roche en place

Lors de notre étude, il a été possible de vérifier par sismique réfraction l'étendue des roches à prédominance calcaire en regard des shales argileux malgré les épaisseurs importantes de dépôts meubles qui prévalent dans la région (voir annexe 2 pour un exemple de part et d'autre de la faille Delson). Le seul affleurement qui montre le contact est situé hors-région, dans une carrière à St-Jean d'Iberville.

Les vitesses sismiques moyennes rencontrées dans les principales unités géologiques sont illustrées au tableau 3 et sur la figure 19. Les vitesses, calculées sur la base de nos propres essais, sont de l'ordre de $3\,500 \pm 375$ m/s pour les shales argileux, $5\,000 \pm 650$ m/s pour les calcaires et dolomies et $4\,400 \pm 500$ m/s pour les grès de Postdam. Le contraste de vitesse entre les deux premiers groupes est notable.

Une compilation des données de forages ponctuels effectués par diverses firmes d'études géotechniques révèle des valeurs de récupération* de l'ordre de 70 à 100% pour les shales, 75 à 100% pour les calcaires et dolomies et 85 à 100% pour les grès.

* Rapport entre la longueur de l'échantillon et la longueur de la course d'échantillonnage.

TABLEAU 3 - Vitesses des ondes sismiques longitudinales dans les unités géologiques de la région.

MATERIAUX	VITESSE (m/s)
Sol et partie desséchée de l'argile	250-750
Argile	1300-1500
Till et fluvio-glaciaire	1650-2100
Shales argileux	3500 \pm 375
Calcaire, dolomie	5000 \pm 650
Grès	4400 \pm 500

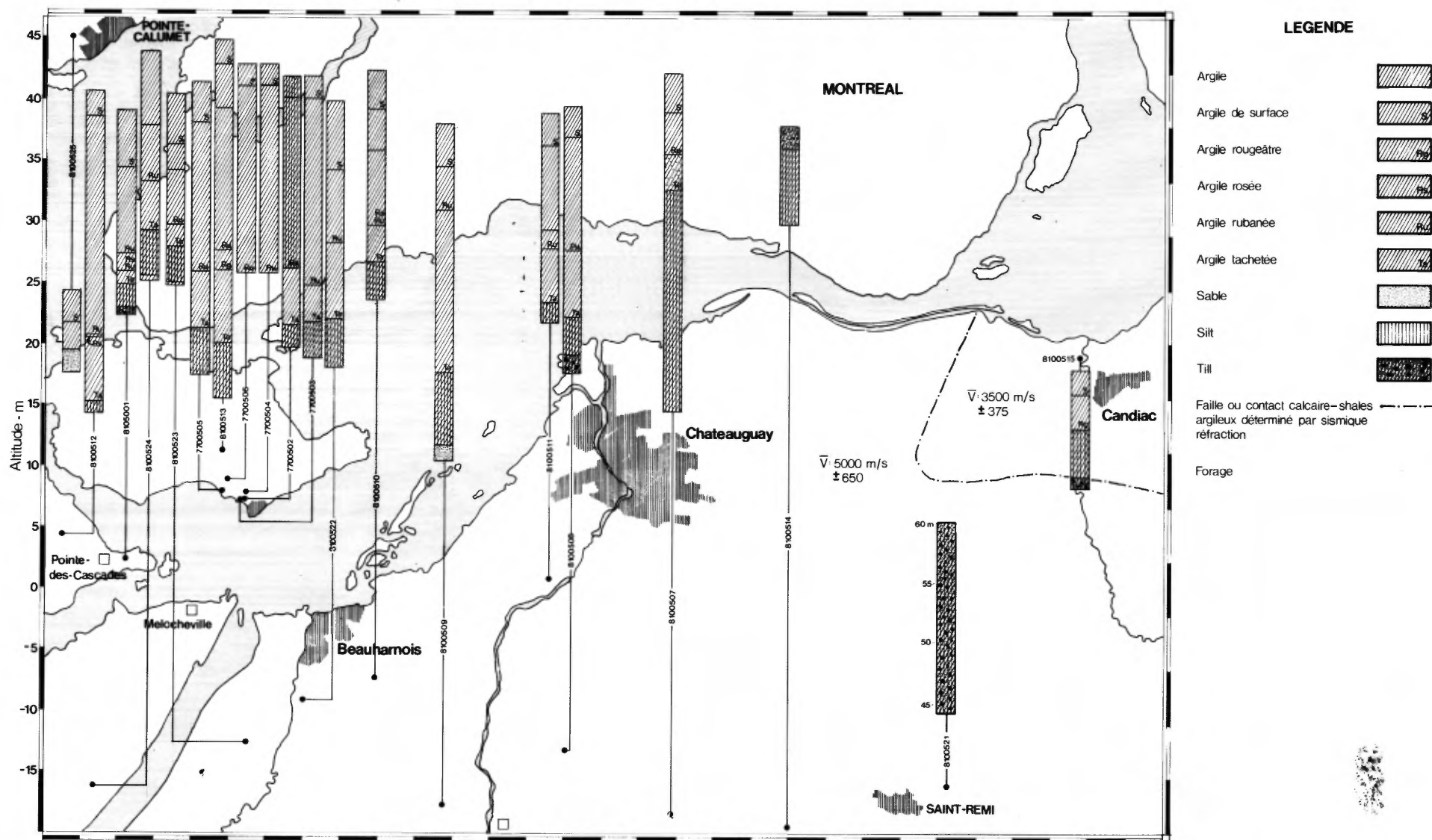


FIGURE 19 - Localisation des forages effectués par le service de la géotechnique dans la région étudiée, avec indication des vitesses dans le socle, de part et d'autre de la faille de Delson.

L'indice de qualité du roc (R.Q.D. ou Rock Quality Designation)* oscille entre 74 et 90% pour les grès. Ces chiffres sont toutefois établis à partir d'un nombre limité de données et des variations locales peuvent survenir.

Les shales argileux sont en général friables et fracturés et se présentent en lits de quelques centimètres d'épaisseur. Des excavations verticales y sont aisées sur au moins 5 m avec une machinerie de capacité moyenne, sans le recours aux explosifs. Ils se dégradent rapidement lorsqu'ils sont exposés à l'air libre et aux intempéries.

Les grès, calcaires et dolomies sont généralement sains et peu fracturés. Une étude effectuée sur le calcaire d'une carrière à St-Constant révèle que la zone perméable et fracturée de surface n'excéderait pas 2 m d'épaisseur. La résistance en compression de ce massif serait de l'ordre de 70 à 130 MPa. Le calcaire se débite plus ou moins facilement selon le plan horizontal représenté par la stratification et son exploitation dans cette direction y est grandement facilitée. Par contre, toute excavation verticale nécessite l'emploi d'explosifs.

Les roches intrusives telles le gabbro et la syénite à néphéline ont une extension très limitée et n'ont pas été échantillonnées. Ces massifs seraient sains et d'excellente qualité et le recours aux explosifs s'avèrerait nécessaire pour tout type d'excavation.

Dépôts meubles

Les propriétés de ces dépôts sont établies à partir des résultats d'analyses des firmes privées mais nous nous basons surtout sur les essais effectués par notre service de la géotechnique. Les dépôts qui ont fait l'objet d'analyses particulières sont: les tills, les rythmites de la formation de Chambly et les argiles de la mer de Champlain. Les principaux travaux comprennent les essais au scissomètre Nilcon et au pénétromètre mécanique statique et le prélèvement d'échantillons par forage.

Till**

La majorité des forages répertoriés ont traversé un matériau identifiable à un till et dont les propriétés, à l'échelle régionale, sont homogènes. Par contre, la présence des sédiments de la formation de Châteauguay, ailleurs qu'aux environs de la crête de Mercier et dans la partie sud-est et, encore plus, du till de base est hypothétique. Certains forages ont rencontré sous le till un matériau corrélatif avec le Châteauguay alors que des forages voisins ne l'ont pas rencontré. Force est de considérer ce matériau indistinctement du till de la formation St-Jacques.

* Rapport entre la somme des fragments naturels de carotte d'une longueur égale ou supérieure à 4 pouces et la longueur totale forée dans le roc.

** Cette unité comprend aussi bien le matériel dans son état originel de dépôt que le matériel remanié. Celui-ci comprend des sables et graviers sur généralement moins de 2 m en surface.

La matrice du till comprend du sable et du silt avec des traces de matériel argileux. De nombreux cailloux (du calcaire mais quelques-uns d'origine ignée) y sont semés; certains sont très gros quoique la moyenne soit de 5 à 20 cm de diamètre. Le till se compose en moyenne de 9% de particules inférieures à 2 microns, de 36% de silt, 30% de sable et 25% de gravier. La figure 20 donne le fuseau granulométrique pour 77 échantillons provenant de forages des firmes privées ainsi que du forage 8100521 effectué par notre service.

La figure 21 présente quatre profils d'essais au pénétromètre effectués dans le till. Le profil C provient d'un essai réalisé au site du forage 8100521 qui a échantillonné 15,7 m de till. La résistance de pointe (Q_c) varie de 1 000 à 20 000 kPa. Elle est généralement très forte au-dessus de la nappe d'eau et augmente avec la profondeur.

Le rapport F_s/Q_c varie de 2 à 5%, celui-ci étant élevé lorsque des niveaux très cohérents sont rencontrés. L'indice de pénétration standard (N)*, obtenu des forages de l'industrie privée est généralement supérieur à 30 et le matériel est dans un état dense au sommet et très dense à la base.

Le sable et le gravier de la formation de Châteauguay, sous-jacente au till, ont une compacité équivalente. D'après nos observations, dans les gravières où ces deux unités sont rencontrées, le sable et le gravier possèdent une compacité élevée lorsque le till est très dense et plus faible lorsque le till est dans un état compact à dense.

La vitesse des ondes sismiques longitudinales mesurée pour l'ensemble des tills et des matériaux granulaires varie de 1 650 à 2 100 m/s.

Rythmites de la formation de Chambly

La formation de Chambly a été décelée dans la majorité des forages que nous avons effectués pour la présente étude (figure 19). Son caractère régional ne fait aucun doute (Dion et Caron, 1982; Dion 1978 et LaSalle 1981); seule son extension à l'intérieur du bassin de la mer de Champlain reste à préciser. Sur les photos rayons-X d'échantillons de cette unité (figure 11), la teinte pâle représente des horizons plus argileux alors que la teinte foncée signale la présence plus abondante de silt ou de sable. L'épaisseur des parties pâles et foncées est variable comme nous pouvons en juger sur les photos des figures 10 et 11. L'épaisseur totale de la formation varie de 1,5 à 18 m (annexe 3). La plus grande épaisseur a été détectée dans le forage 8100507, à l'est de la traînée fluvio-glaciaire de Mercier (figure 19). La teneur moyenne en eau naturelle est de $39,9 \pm 11,8\%$ (histogramme de la figure 22), alors que la moyenne pour la limite de liquidité est de $45,3 \pm 10,4\%$ (moyenne établie pour 10 échantillons).

Dans le diagramme de Casagrande (figure 23), ces dépôts se répertorient dans les parties correspondant à une argile de plasticité moyenne (7 valeurs)

* Nombre de coups requis pour enfoncer d'un pied dans le sol, un échantillonneur standardisé (type carottier fendu). L'enfoncement est obtenu par battage avec un mouton de 140 livres tombant en chute libre, d'une hauteur de 30 pouces.

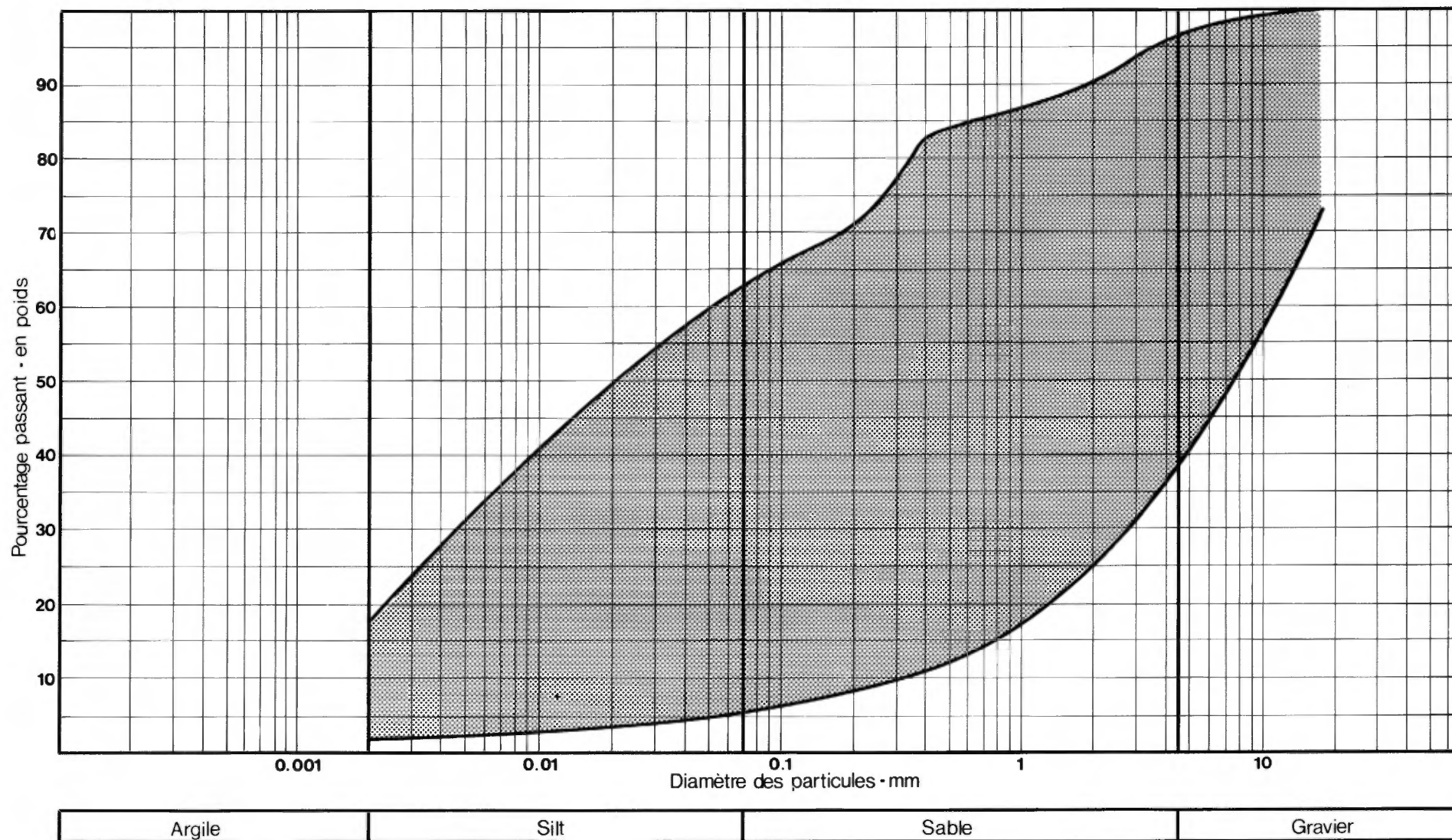


FIGURE 20 - Fuseau granulométrique pour le till de la région étudiée.

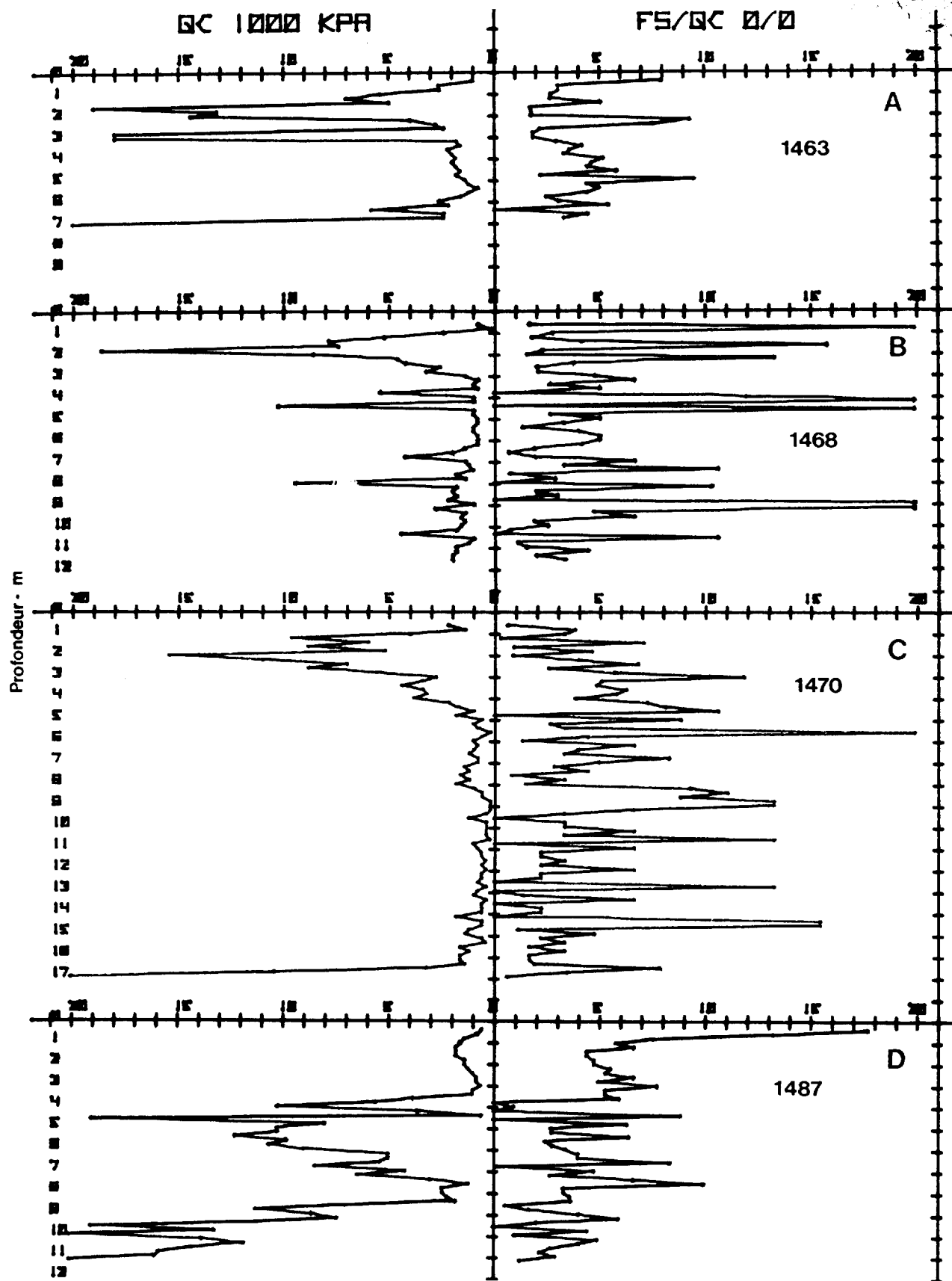


FIGURE 21 - Essais au pénétrömètre mécanique statique dans le till.

A: St-Isidore

C: St-Rémi

B: St-Rémi

D: St-Isidore

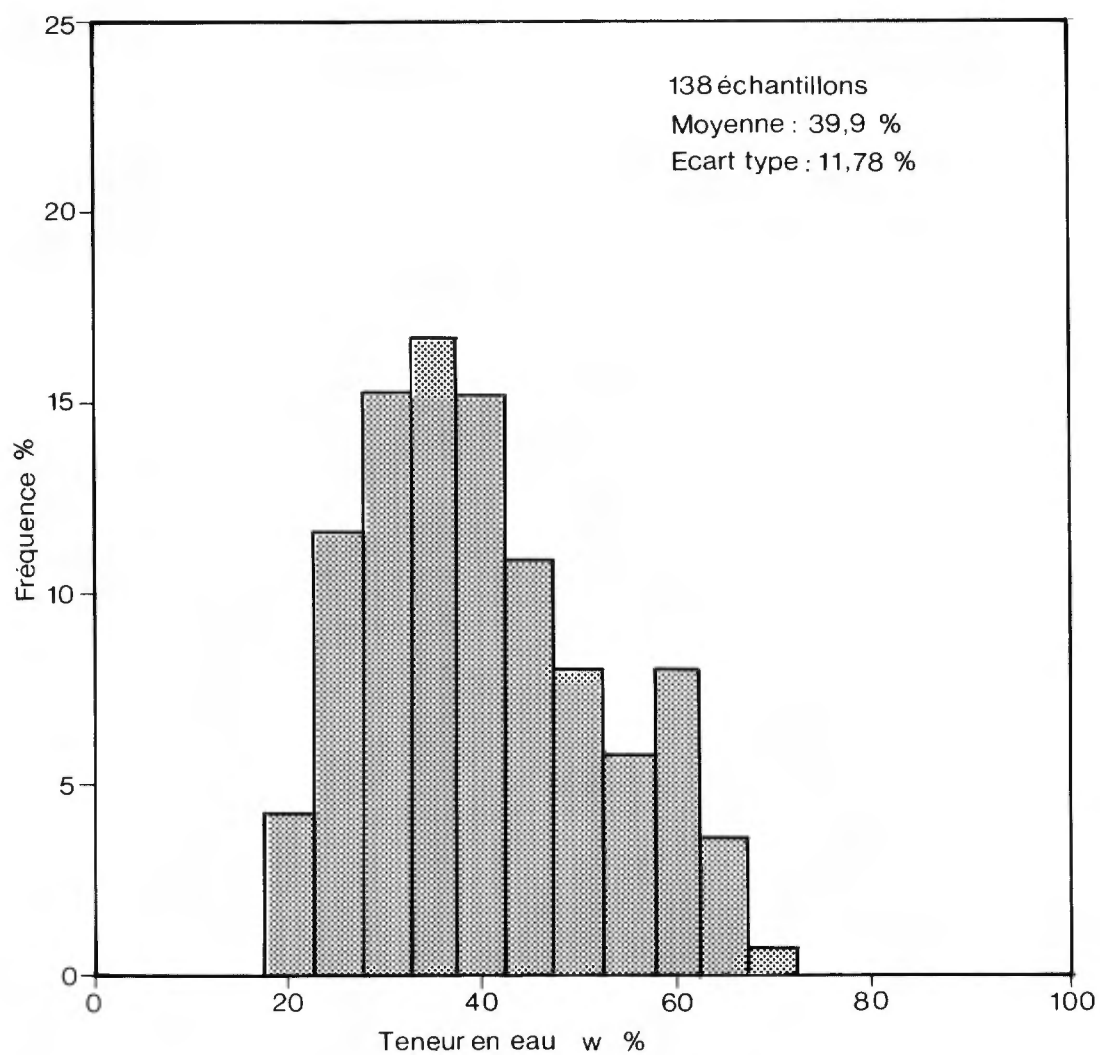


FIGURE 22 - Histogramme des teneurs en eau pour les rythmites de la formation de Chambly.

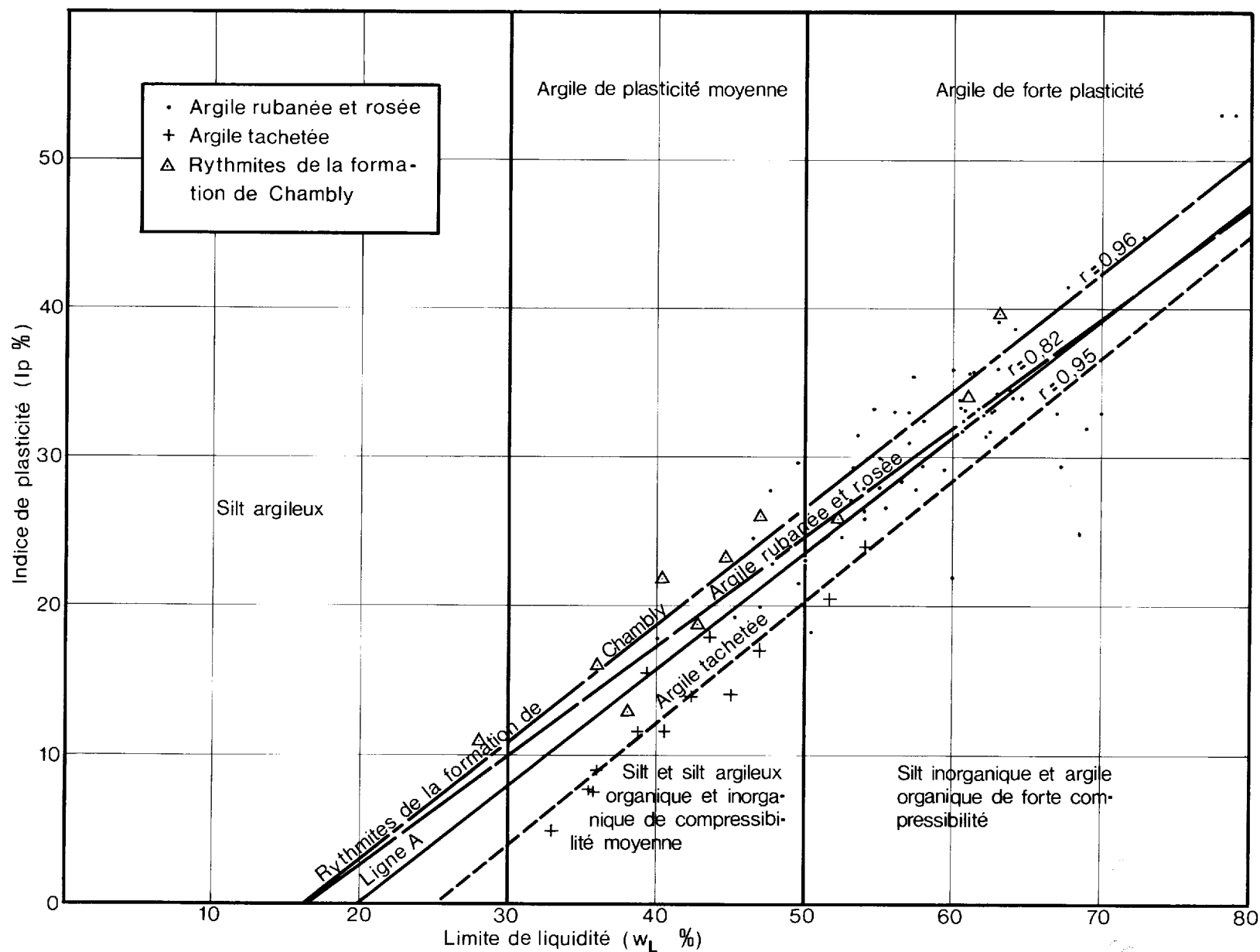


FIGURE 23 - Diagramme de Casagrande. Classification des sédiments fins de la région étudiée.

et de forte plasticité (3 valeurs). L'équation de la relation qui résume ces deux propriétés s'écrit:

$$I_p = 0,788 w_L - 12,8$$

pour un coefficient de corrélation de 0,96. L'équation se situe nettement au-dessus de la ligne "A" de Casagrande et relie bien les analyses effectuées sur le même type de dépôt pour la région adjacente (Dion et Caron, 1982). Les quelques analyses granulométriques effectuées sur ces rythmites révèlent que celles-ci contiennent entre 50 et 76% de particules inférieures à 2 microns et moins de 10% de sable.

La résistance à la pointe (figures 24, 25 et 26) donne des valeurs supérieures à celles enregistrées pour les argiles. Le rapport F_s/Q_c (partie droite des figures) se caractérise par de nombreux pics. Sur les trois figures, nous avons placé les valeurs lues à des essais au scissomètre Nilcon effectués à proximité des essais au pénétromètre mécanique statique. Une analyse complète de l'association entre les résultats obtenus au pénétromètre, au scissomètre et par forage en regard de l'identification stratigraphique sera faite ultérieurement dans le texte.

Argiles de la mer de Champlain

Cette séquence argileuse est décrite en page 15 (dépôts de la mer de Champlain). Les graphiques présentés à l'annexe 3 donnent en fonction de la profondeur et de l'altitude (exprimée en mètre) la répartition granulométrique des échantillons, l'indice de liquidité, les teneurs en eau (avec limites de plasticité et de liquidité), la résistance au cisaillement du sol intact et remanié obtenue au cône suédois, la valeur de la sensibilité (C_u/C_{ur}), la teneur en sel de l'eau interstitielle et les données relatives aux cations mesurés.

La résistance au cisaillement du sol remanié (figure 27) et la teneur en sel de l'eau interstitielle (figure 28) sont faibles. Ces considérations nous amènent à conclure que l'argile est sensible au remaniement. Les exceptions à cette règle sont visualisées sur la figure 29, où la résistance du sol remanié est montrée pour 5 forages (3 effectués à l'île Perrot et 2 à Pointe-des-Cascades) et où nous pouvons constater les variations de cette propriété en fonction de la proximité d'un talus d'érosion. Le forage 8100513 montre une dégradation plus rapide de cette caractéristique, comparé au forage 7700503 (effectué en bordure de l'escarpement d'érosion).

Le potentiel que possède l'argile marine de la région à se remanier, varie de grand à très grand (annexe 3). Cette caractéristique, de nature régionale, ressort de la grande majorité des analyses effectuées sur celle-ci. Le seul forage qui montre un comportement différent pour l'ensemble marin est le forage 8105001. Les forages 8100514 et 8100515 présentent peu ou pas d'argile marine dans la colonne stratigraphique.

La teneur moyenne en eau naturelle pour les argiles est de $66,2 \pm 10,3\%$ (figure 30) alors que la moyenne pour la limite de liquidité (figure 31) est de $55,5 \pm 9,4\%$. Ceci se traduit dans l'ensemble par un indice de liquidité

BEAUHARNOIS

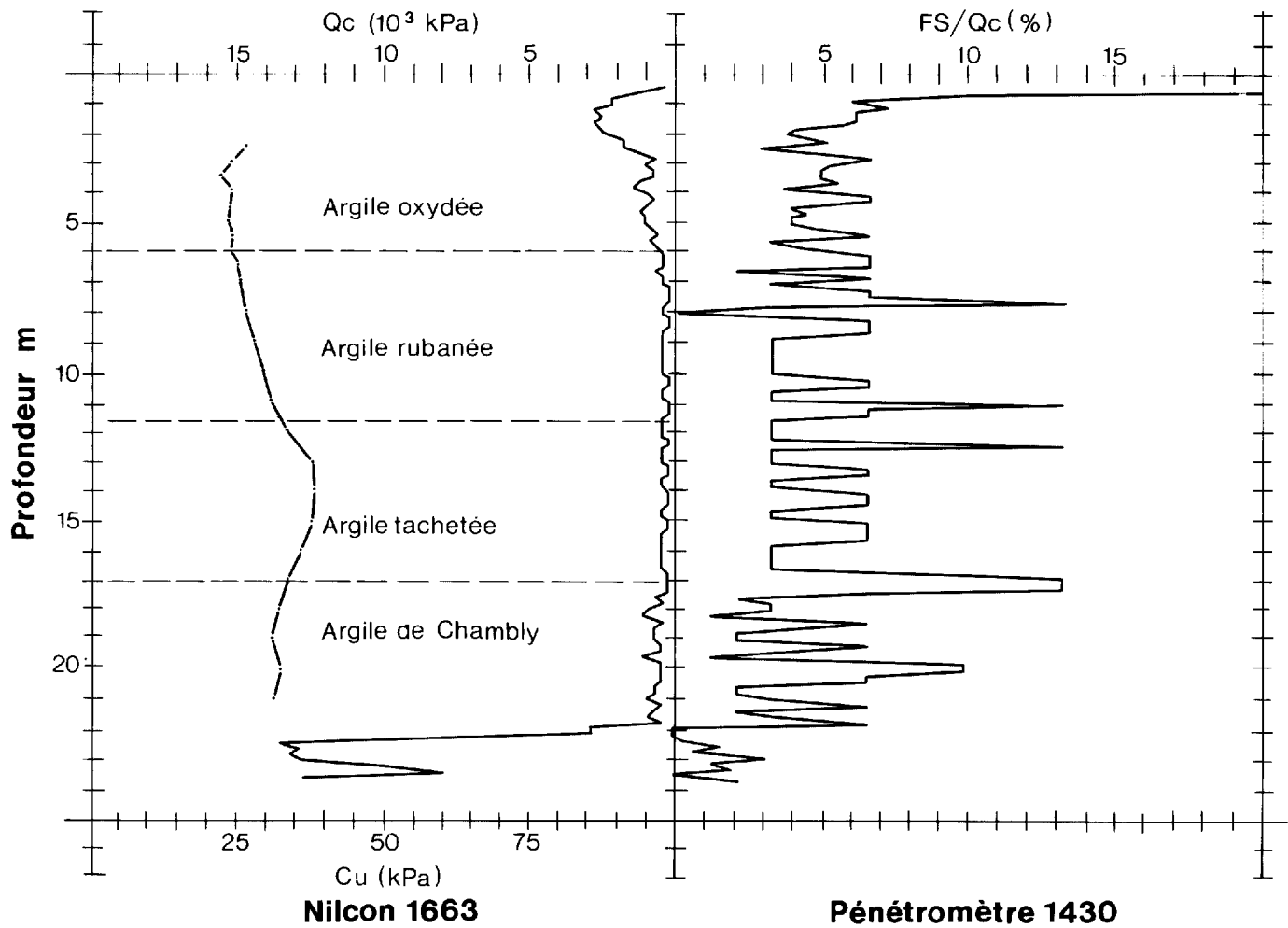


FIGURE 24 - Essai au pénétrömètre mécanique statique et au scissomètre Nilcon dans les sédiments fins de la région de Beauharnois.

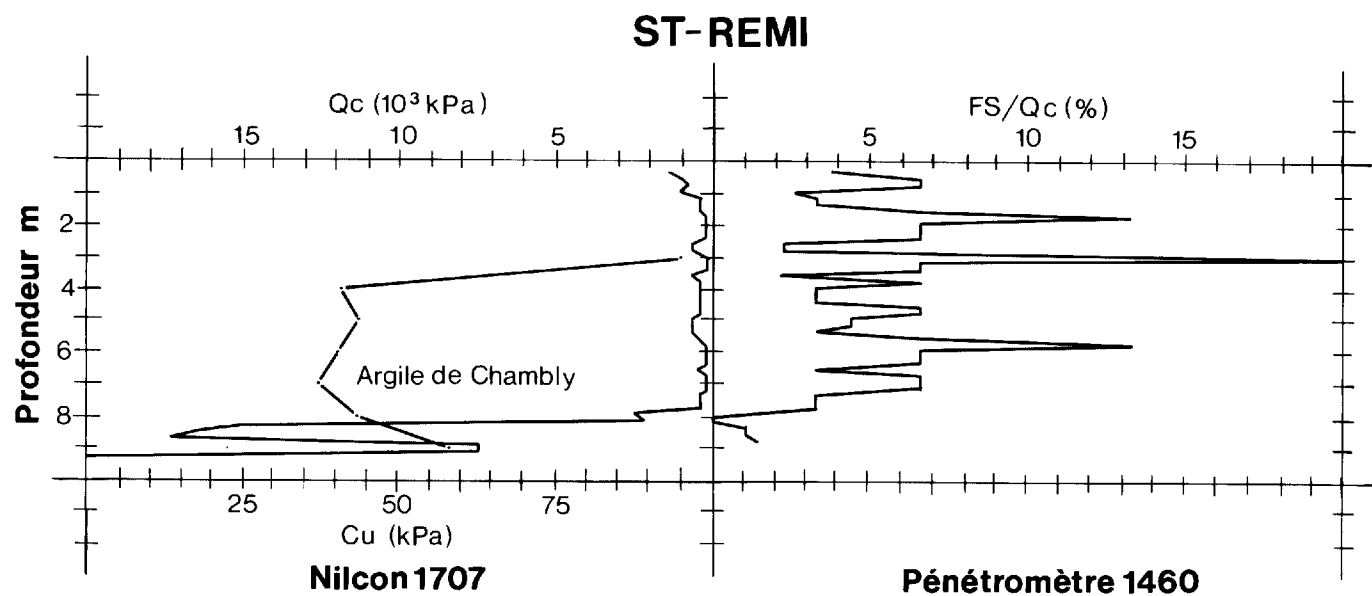


FIGURE 25 - Essai au pénétromètre mécanique statique et au scissomètre Nilcon dans les sédiments fins de la région de St-Rémi.

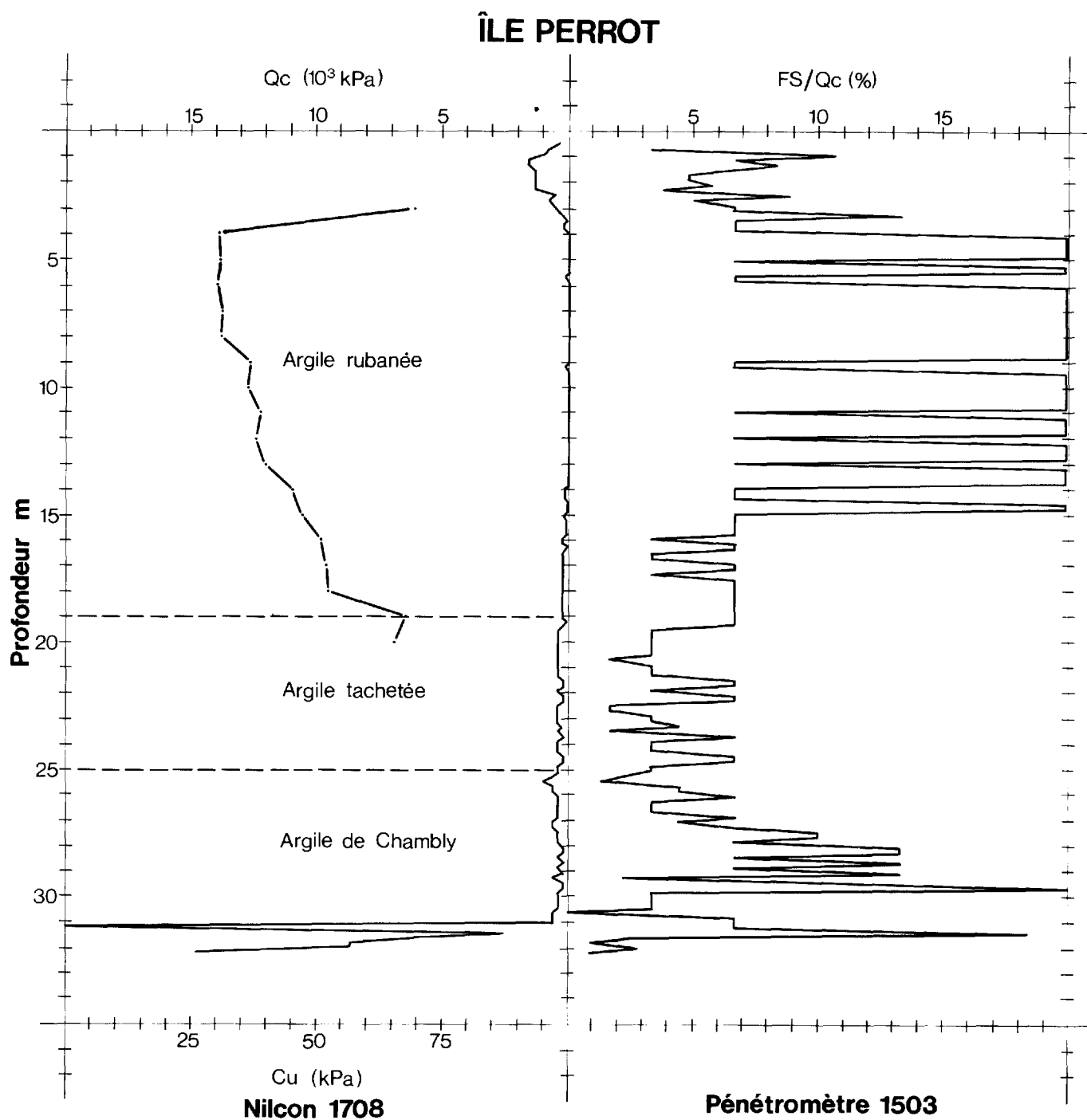


FIGURE 26 - Essai au pénétromètre mécanique statique et au scissomètre Nilcon dans les sédiments fins de la région de l'île Perrot.

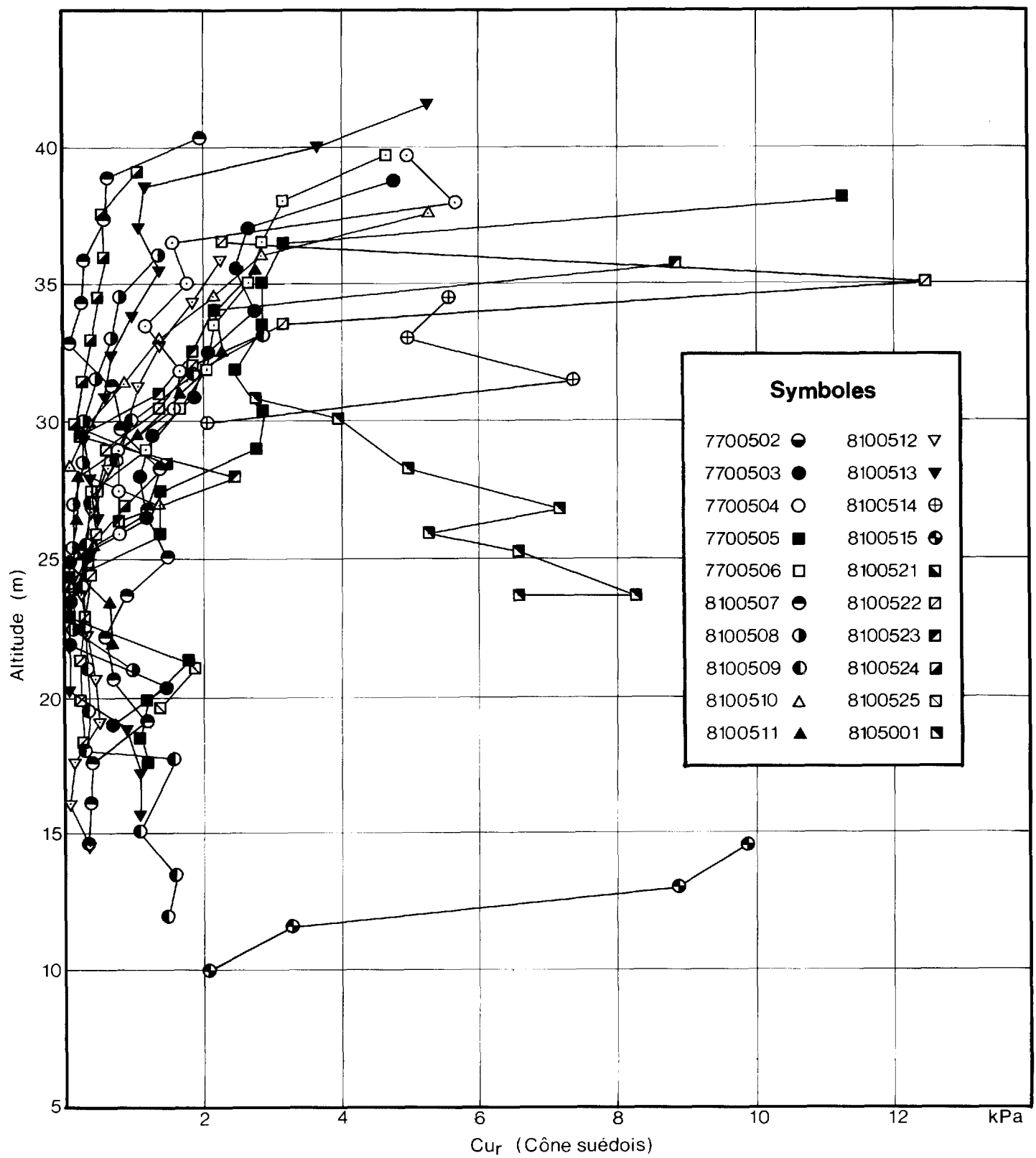


FIGURE 27 - Sol remanié: Altitude versus résistance au cislement mesurée au cône suédois.

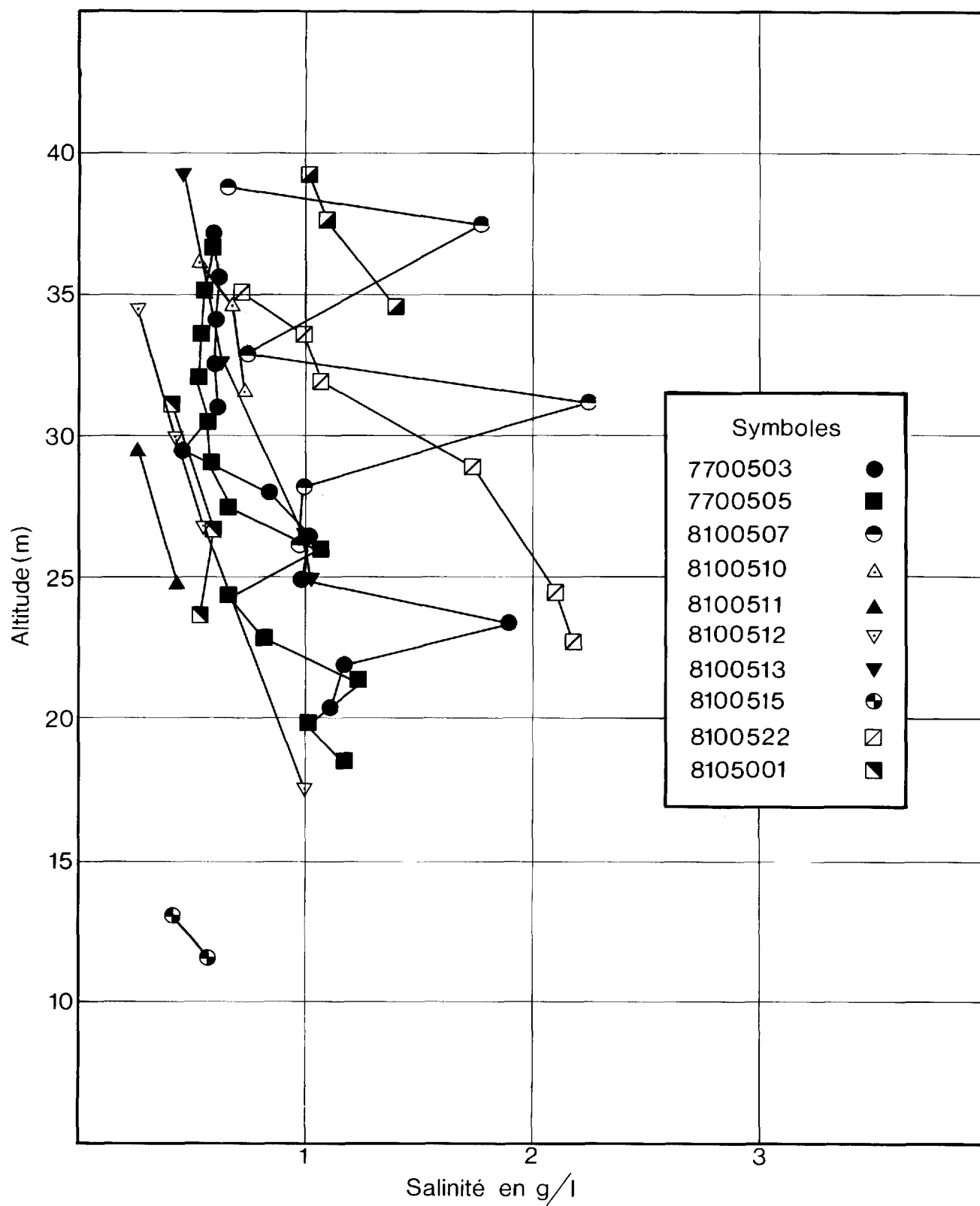


FIGURE 28 - Altitude versus salinité de l'eau interstitielle.

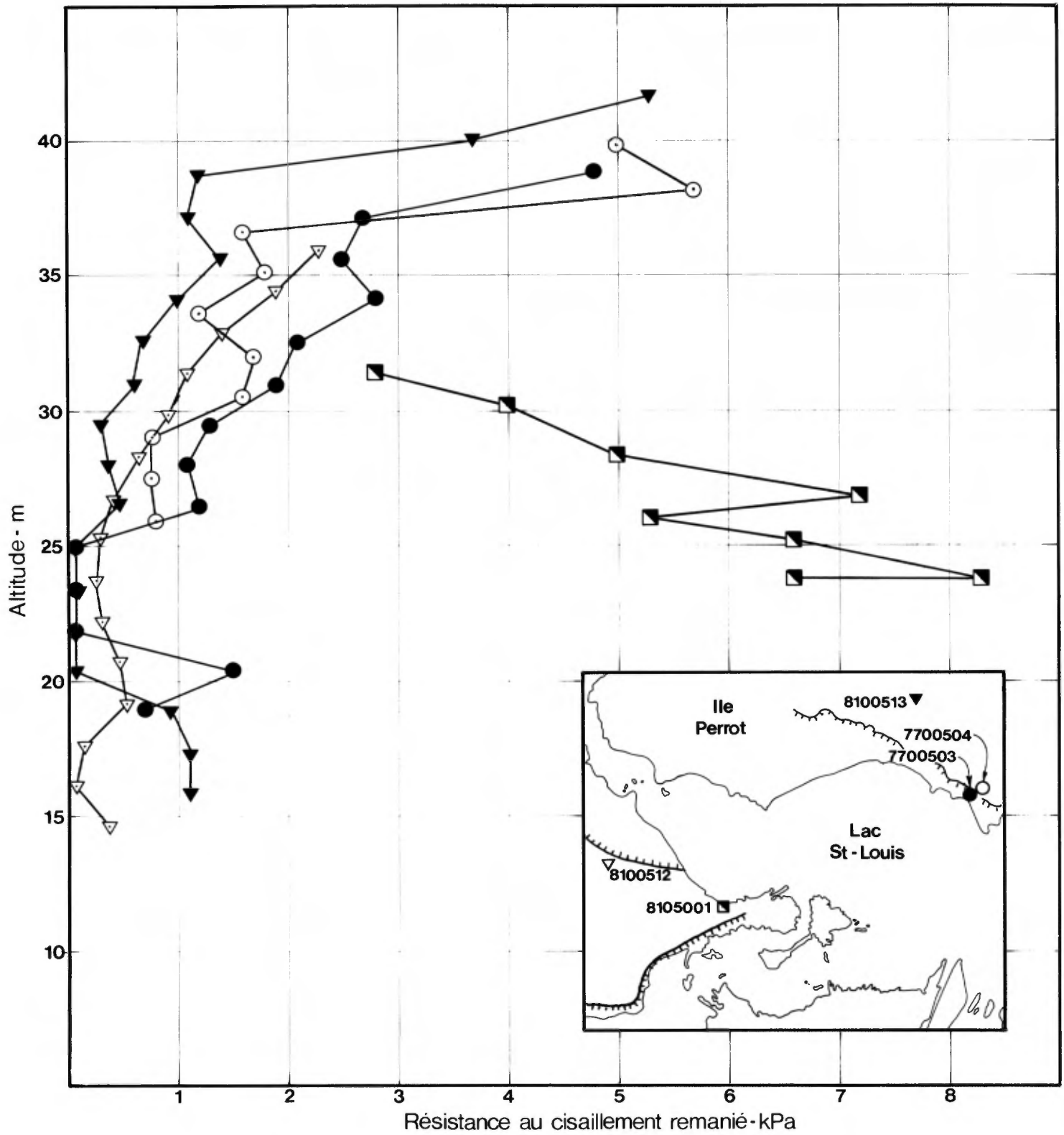


FIGURE 29 - Sol remanié: Altitude versus résistance au cisaillement mesurée au cône suédois sur des échantillons d'argile prélevés à différentes distances d'un talus d'érosion.

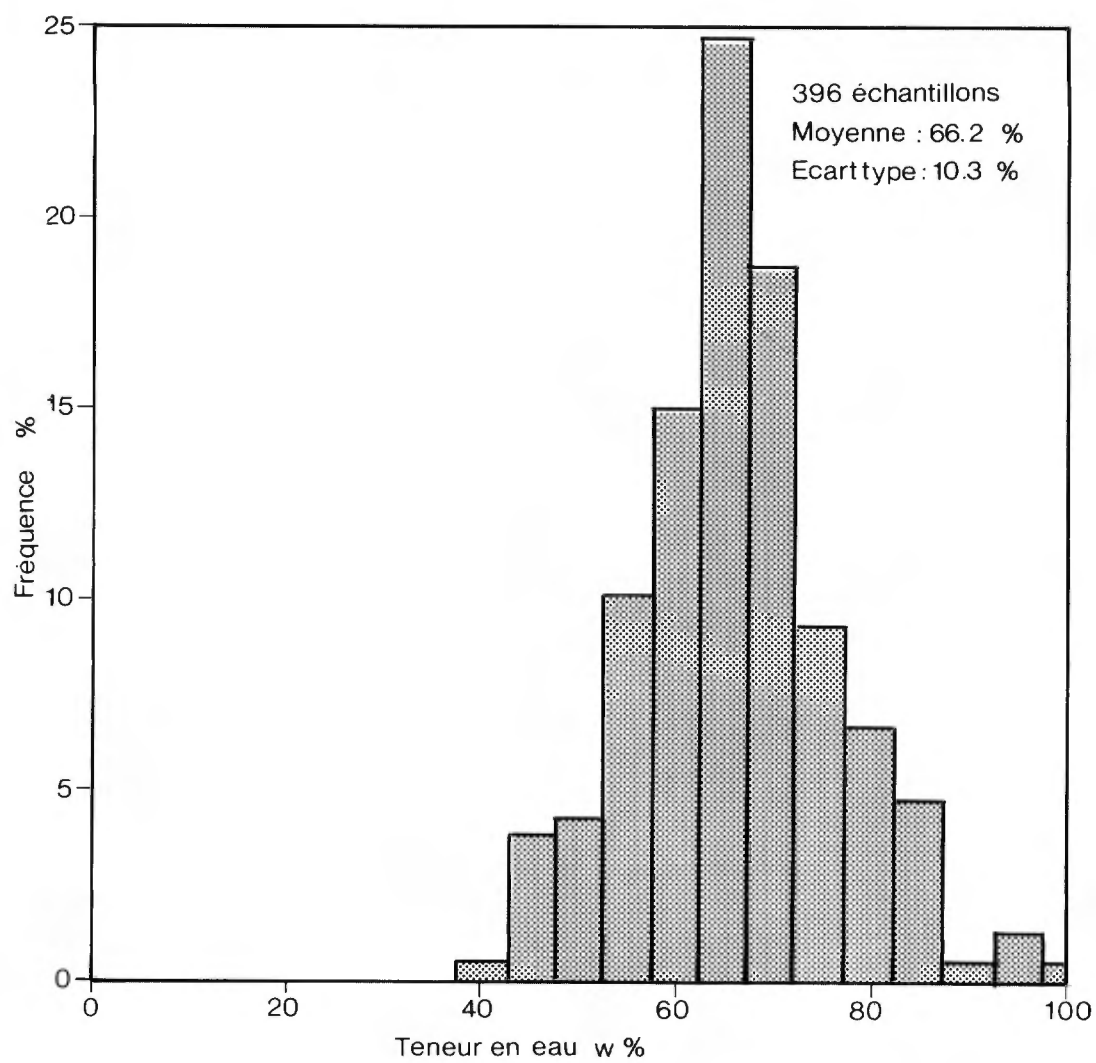


FIGURE 30 - Histogramme des teneurs en eau pour les argiles de la mer de Champlain.

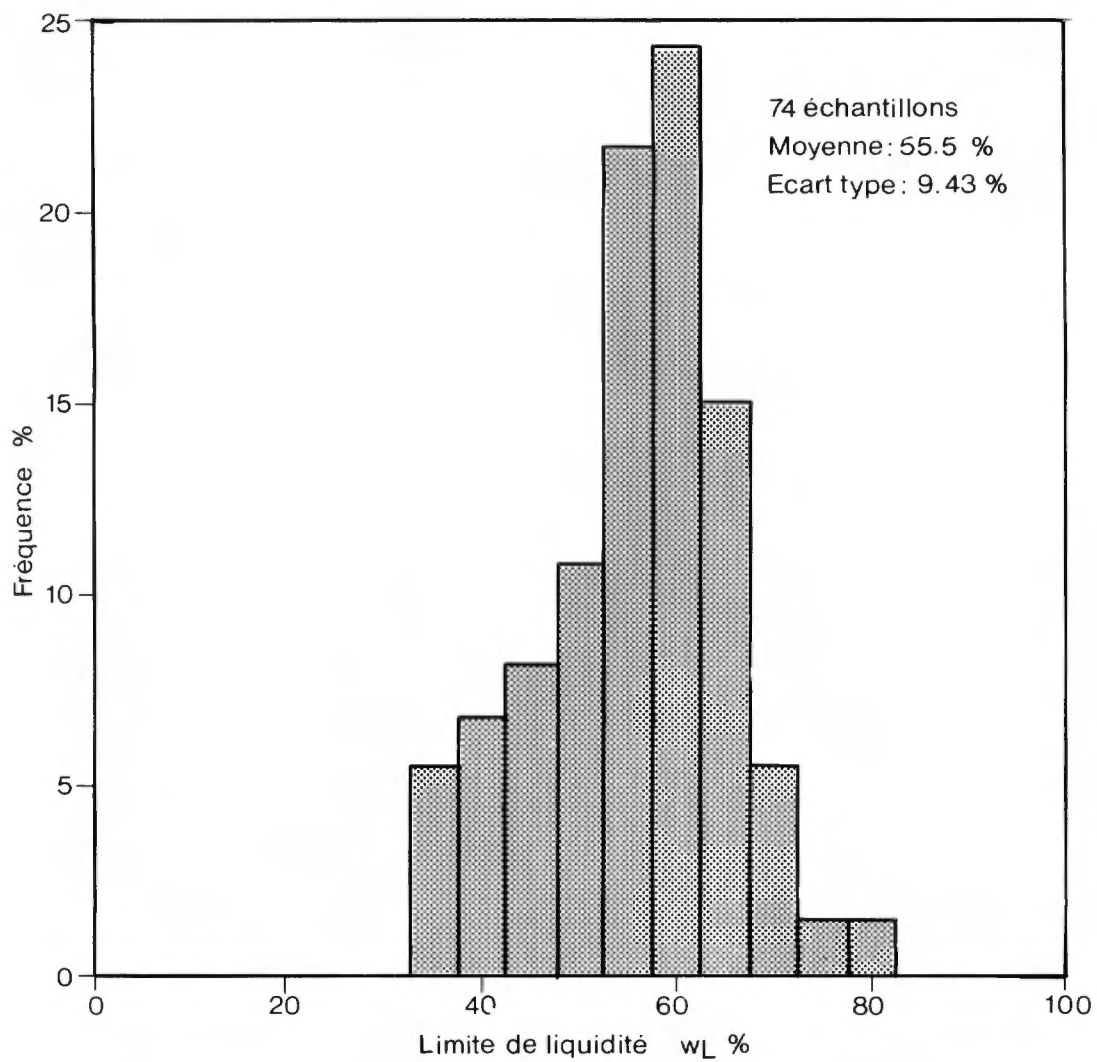


FIGURE 31 - Histogramme des limites de liquidité pour les argiles de la mer de Champlain.

supérieur à 1, représentatif d'une argile sensible, susceptible au remaniement (voir figures 27 et 32).

Les argiles tachetées se situent à la limite des silts et silts argileux et des silts de haute compressibilité et des argiles organiques (diagramme de Casagrande, figure 23). L'équation qui résume ces données s'écrit:

$$I_p = 0,818w_L - 20,7 \quad (r = 0,95)$$

Les argiles rubanées, pour leur part, se résument par l'équation:

$$I_p = 0,733w_L - 12,04 \quad (r = 0,82)$$

et la régression qui relie toutes les mesures s'écrit:

$$I_p = 0,821w_L - 17,37 \quad (r = 0,91)$$

voisine de l'équation de la ligne "A" de Casagrande.

Comme cité auparavant dans le texte (dépôts de la mer de Champlain) la formation argileuse de la mer de Champlain se subdivise sur une base de différenciation visuelle en plusieurs sous-unités, argile desséchée, rubanée, rouge-rosé et tachetée. Sous certaines conditions (épaisseur de l'argile tachetée de 5 m et plus, présence de l'argile rubanée sur quelques 10 m, voir annexe 3, forage 7700503, 7700505, 8100508 et 8100512, l'argile tachetée peut être identifiée par comparaison entre les valeurs de la résistance au cisaillement non-remanié des deux sous-unités. Le passage de l'une à l'autre se répercute sur le profil des résistances au cisaillement par un gain sensible (de cette propriété) par rapport aux valeurs enregistrées pour l'argile rubanée (voir figures de l'annexe 3 citées plus haut et figure 33). Les premières mesures, effectuées dans l'argile tachetée ou à son contact, se détachent nettement de la régression linéaire calculée pour le profil sus-jacent (figure 33). Par contre, lorsque l'argile tachetée est épaisse, les résistances au cisaillement mesurées plus profondément se rapprochent de la droite de régression linéaire calculée pour l'argile rubanée (figures 33 et 34).

De la même façon, les mesures de la résistance à la pointe obtenues par le pénétromètre mécanique statique montrent cette tendance. La résistance augmente de façon sensible au contact argile rubanée - argile tachetée (figures 26 et 34). Les propriétés de résistance au cisaillement notées pour l'argile tachetée (augmentation au contact et diminution par la suite), l'absence de structures sédimentaires de déposition et la présence de l'horizon rouge rosé au-dessus de l'argile tachetée pourraient être expliqués, croyons-nous, en supposant que cet ensemble représente un horizon qui, à un certain moment, a été en contact avec l'air. L'horizon rouge rosé serait l'empreinte du début de formation d'un sol. L'absence de structures sédimentaires et l'abondance de matières noires (qui disparaissent lorsque exposées à l'air libre) seraient le résultat d'une déposition en milieu peu profond, propice à la formation d'algues et subissant l'effet de la perturbation des vagues (convolutions de la matière noire, observées lors du détubage).

La résistance au cisaillement du sol intact a été mesurée sur place à l'aide du scissomètre de chantier Nilcon (figure 35). Elle l'a aussi été en



FIGURE 32 - Exemple de liquéfaction d'une argile très sensible au remaniement. Forage 8100512, échantillon à 24,5 m.

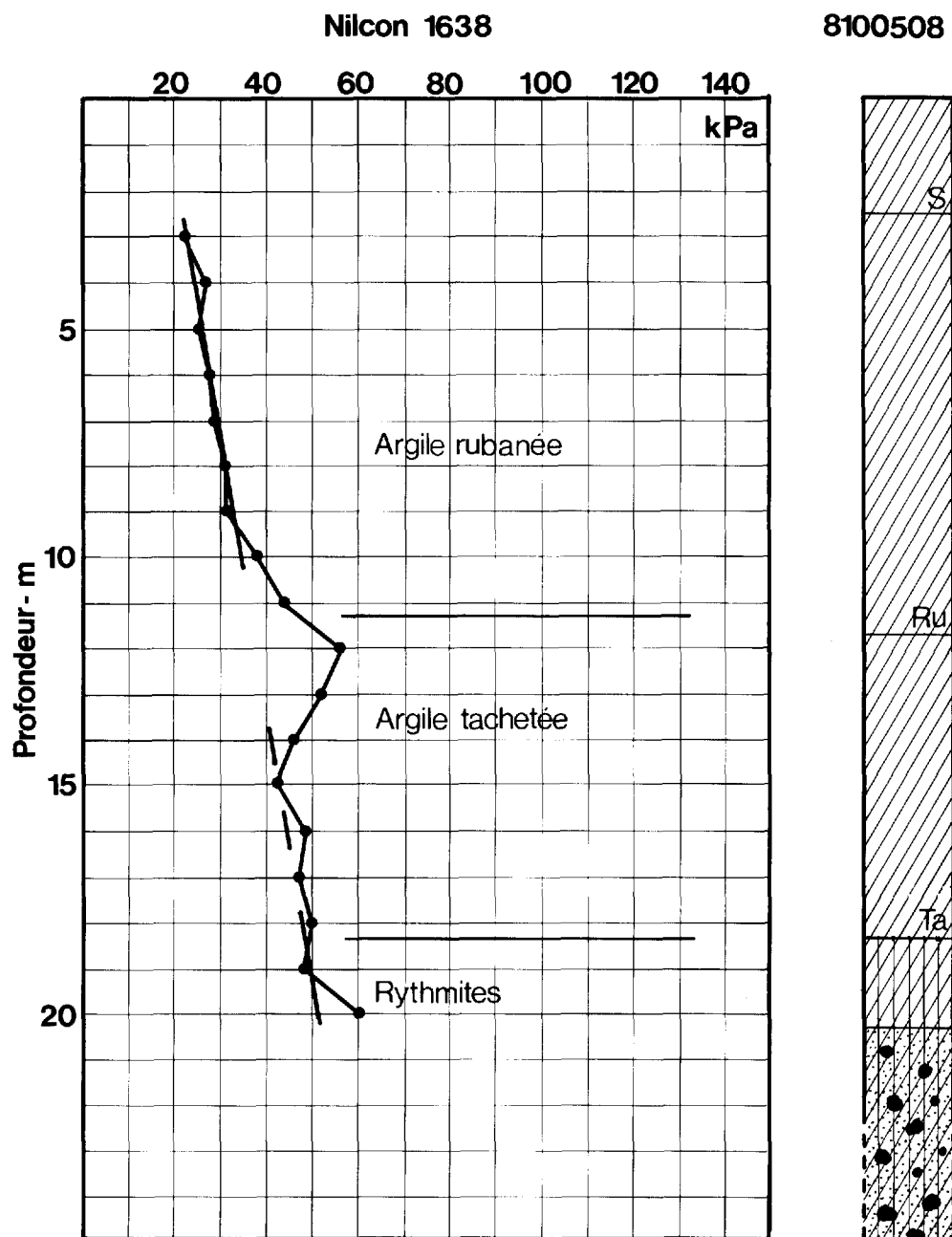


FIGURE 33- Essai au scissomètre Nilcon (no 1638) et forage (8100508) dans l'argile de la mer de Champlain. Mesures effectuées au même site.

BEAUHARNOIS

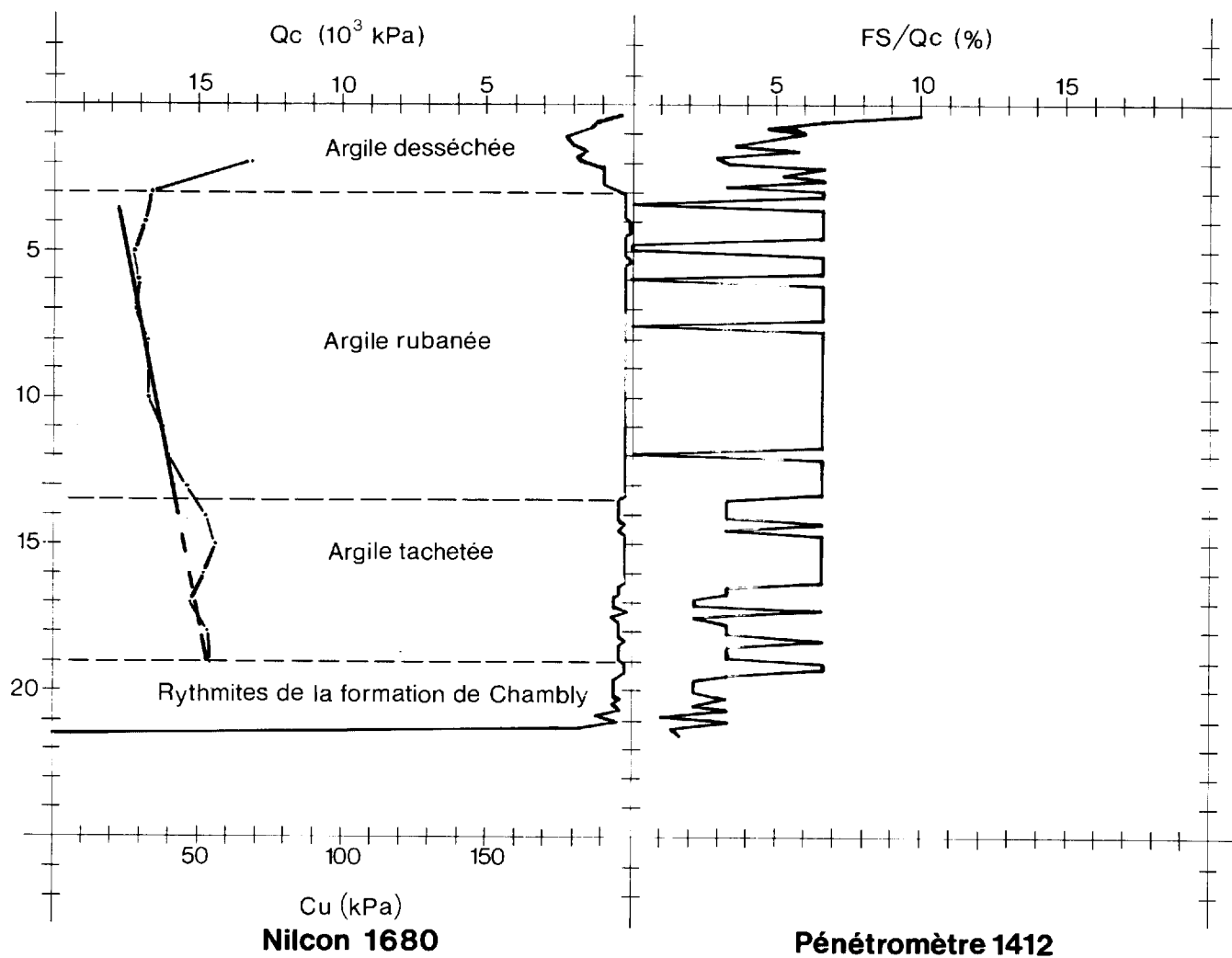


FIGURE 34- Essais au pénétrömètre mécanique statique (no 1412) et au scissomètre Nilcon (no 1680) dans l'argile de la mer de Champlain. Mesures effectuées au même site.

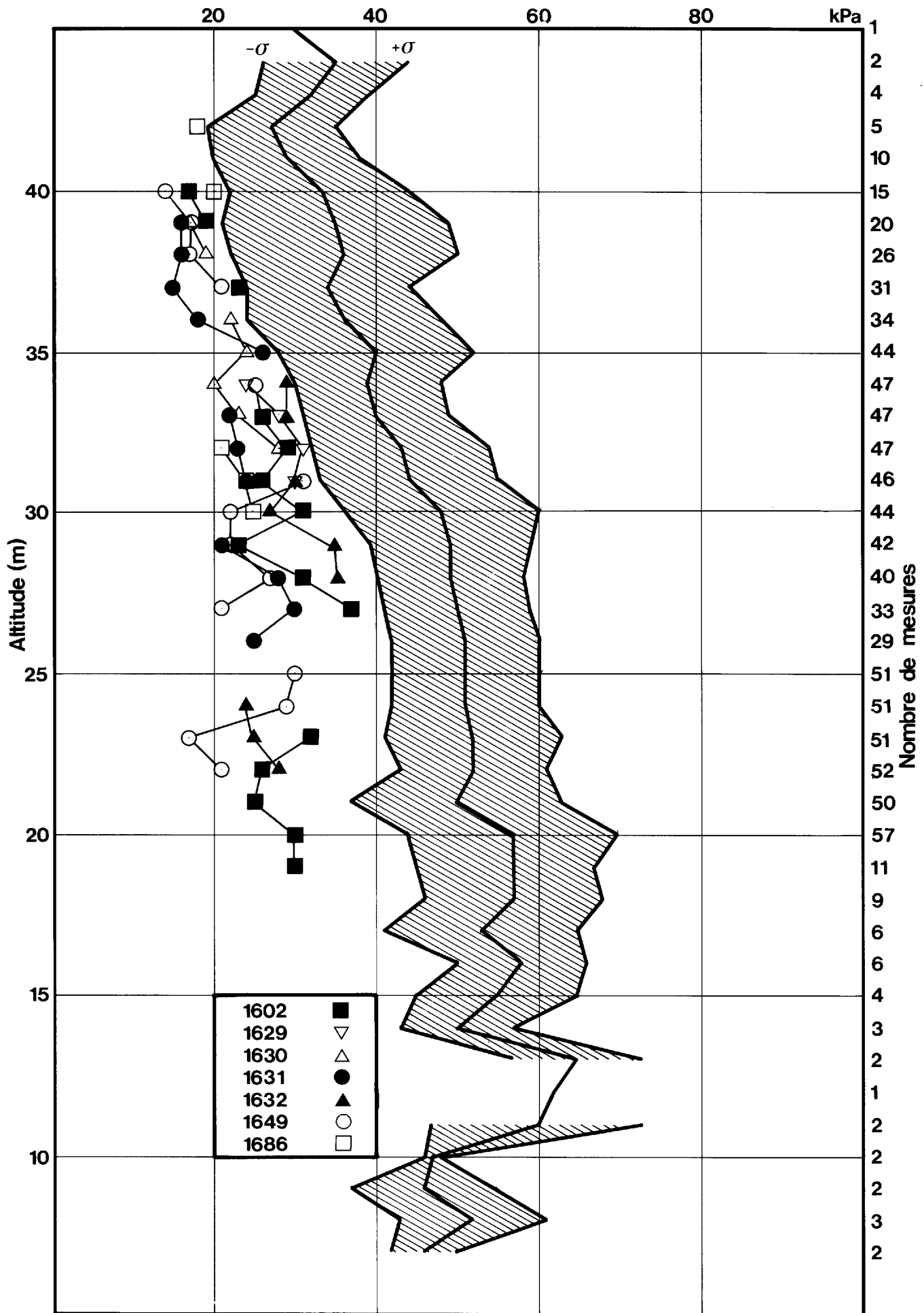


FIGURE 35 - Moyenne et écart-type pour les mesures de la résistance au cisaillement in-situ.

laboratoire, sur les échantillons prélevés dans les forages, à l'aide du cône suédois. Le graphique de la figure 35 montre, en fonction des altitudes comprises entre 45 et 7 m et du nombre de mesures, les moyennes et les écarts types* pour la résistance en place. Ces calculs ont été effectués pour chaque mètre d'altitude et impliquent 755 mesures. Environ 9% des mesures se situent sous la courbe (moyenne - écart type). Les essais au scissomètre qui montrent cette caractéristique sont regroupés, pour la majorité, dans le secteur compris entre Sainte-Martine et Saint-Rémi (voir carte A du DV 85-05) et sont identifiés sur le graphique. Dans ce secteur, les rythmites de la formation de Chambly se situent vers l'élévation 33 m. Une partie des mesures faites sur l'argile marine (au-dessus de Chambly) se situe légèrement sous la courbe (moyenne - écart type) alors que celles effectuées sous cette altitude (dans les rythmites) sont très nettement sous cette même courbe.

La régression linéaire établie sur les moyennes pondérées pour toutes les mesures (la moyenne fut calculée en omettant les valeurs de la croûte desséchée et les valeurs trop fortes de fin d'essais) donne l'équation:

$$Cu \text{ (kPa)} = 79,5 - 1,15 \text{ al.}^{**}$$

La régression linéaire pour les 126 mesures de la résistance au cisaillement effectuées à l'aide du cône suédois s'exprime par:

$$Cu \text{ (kPa)} = 61,9 - 1,08 \text{ al.}$$

Cette équation ne tient pas compte des mesures effectuées sur l'argile desséchée de surface et des rythmites de Chambly.

La pression de consolidation, telle que mesurée sur 22 de nos échantillons a été reportée sur la figure 36. Nos analyses ont couvert presque exclusivement les altitudes comprises entre 25 m et 35 m. La concentration des analyses à ces altitudes est due au fait que la présence de l'argile de Champlain à des altitudes différentes est plus limitée (voir aussi la figure 35). Pour sa part, la figure 37 présente les courbes de consolidation oedométrique obtenues pour cinq échantillons d'argile.

La résistance au cisaillement mesurée en place peut faire l'objet d'une analyse sur une base individuelle. On sait que dans un dépôt d'argile normalement consolidée, la résistance au cisaillement non drainé Cu , mesurée en place, croît linéairement en relation avec σ'_{vo} et donc avec la profondeur. Si le dépôt est surconsolidé par érosion, l'observation de la variation de Cu en fonction de l'altitude permet, par extrapolation à $Cu = 0$, de définir l'altitude probable de la surface du terrain en fin de déposition et de surconsolidation, avant érosion. L'analyse qui suit porte sur cinquante six (56) profils qui incluent une portion de l'étude de la région adjacente, située à l'ouest de celle-ci (Dion et Cockburn, en préparation) et finalement sur quarante et un (41) profils effectués pour l'étude de La Prairie - Saint-Jean (Dion et Caron, 1982).

* L'enveloppe moyenne \pm écart type vaut aussi bien pour les argiles que les rythmites de la formation de Chambly.

** Altitude en mètres.

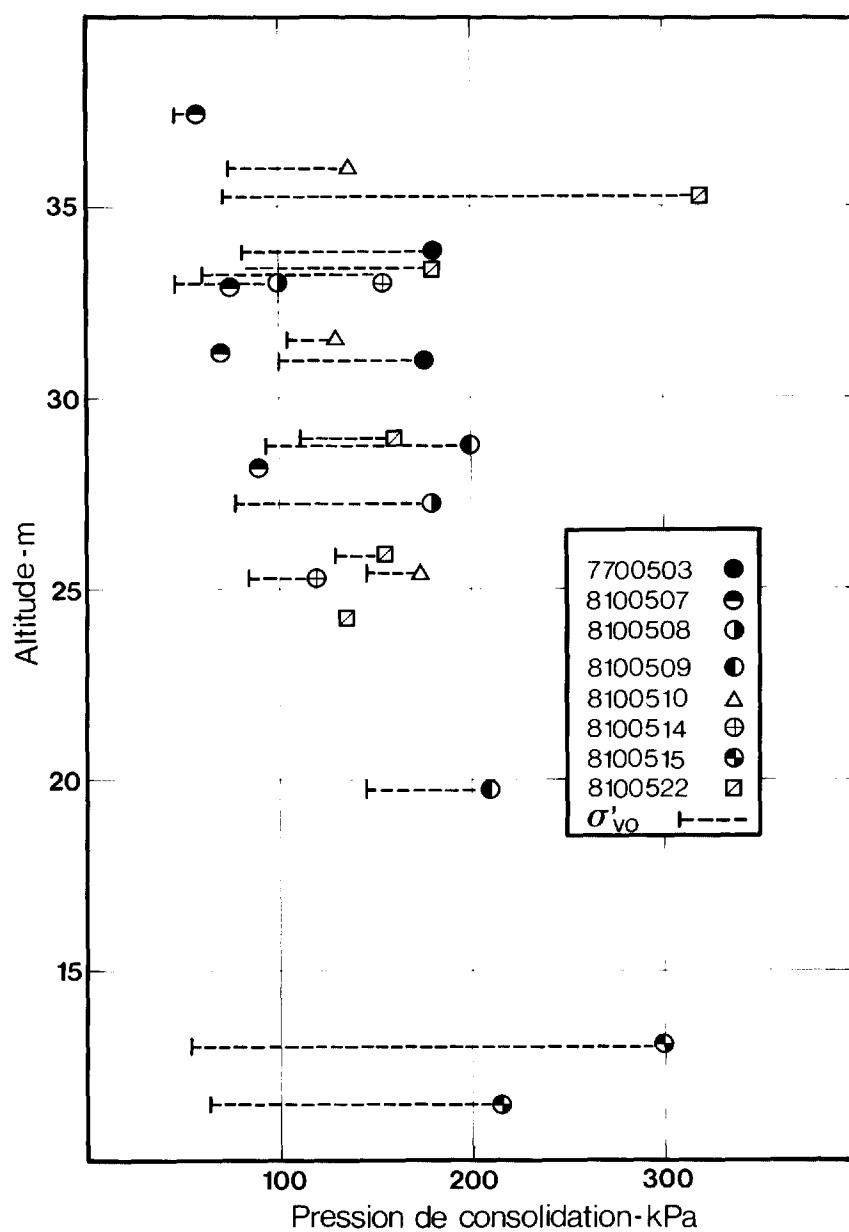


FIGURE 36 - Presson de consolidation et effective (σ'_p , σ'_{vo}) pour les argiles, en fonction de l'altitude.

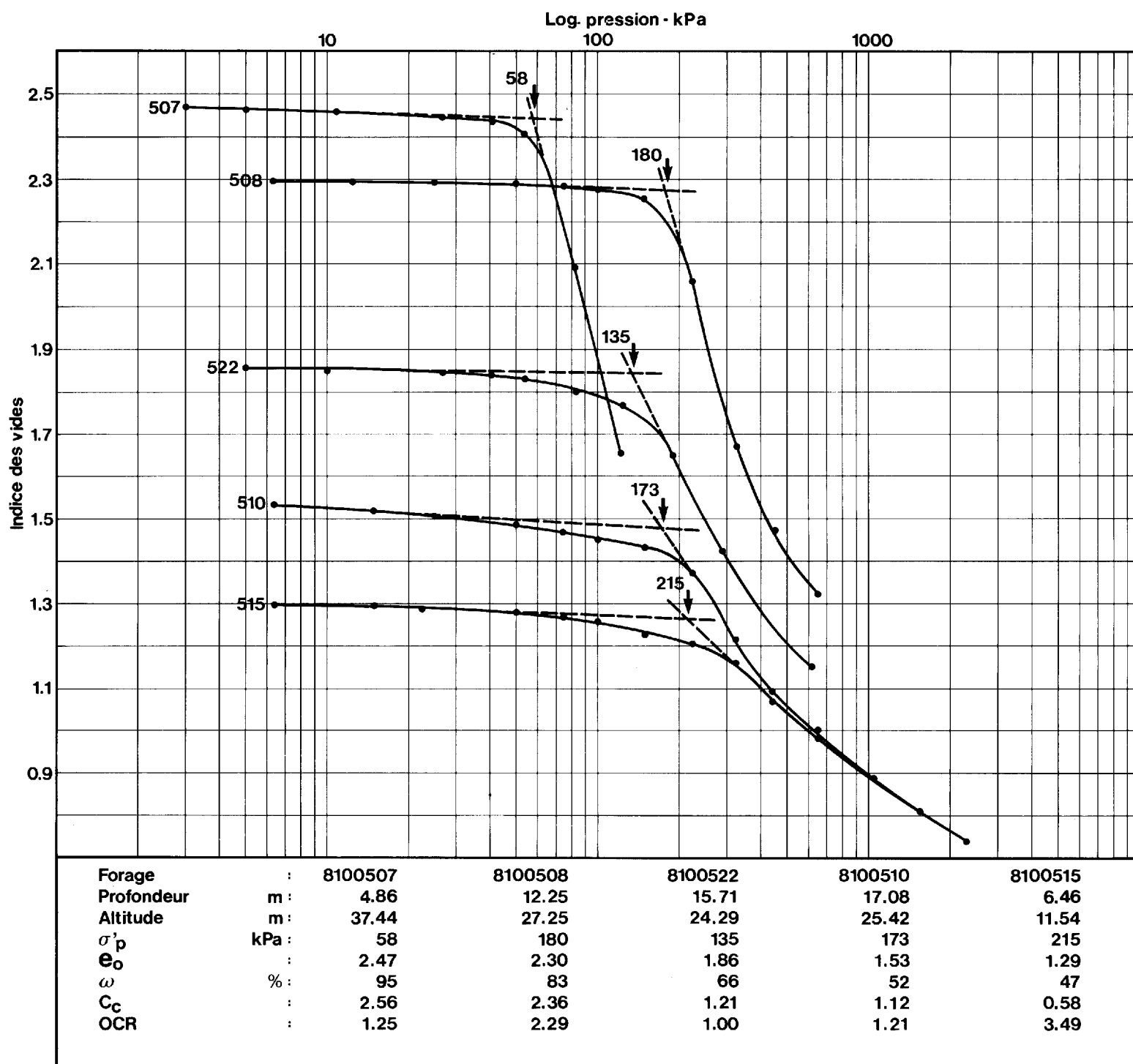


FIGURE 37 - Courbes de consolidation oedométriques.

L'examen des résultats des essais de résistance au cisaillement effectués sur les échantillons prélevés par forage, montre dans la majorité des cas (lorsque la séquence marine est présente sur plus de 10 m d'épaisseur, voir annexe 3) pour la ou les premières mesures effectués sur l'argile tachetée, une augmentation sensible de cette propriété par rapport aux résultats enregistrés pour l'argile rubanée sus-jacente. Ce comportement est similaire à celui que nous pouvons également observer pour la région adjacente de La Prairie - Saint-Jean (Dion et Caron, 1982). Cette caractéristique se reflète également sur les essais en place (scissomètre Nilcon). L'analyse des profils scissométriques exclut les valeurs de la résistance au cisaillement mesurées dans la partie desséchée de surface (les 2 à 4 premières mesures), les résultats obtenus pour les rythmites de la formation de Chambly et également la ou les premières mesures faites dans l'argile tachetée. Ces considérations font que les seuls profils que nous pouvons interpréter de façon adéquate sont ceux où l'épaisseur de dépôts meubles est supérieure à 15 m et où l'argile est affleurante. Ceci restreint nos aires d'analyse à celles présentées à la figure 38 et confirmées par les cotes à $C_u = 0$.

La figure 39 présente quatre (4) profils de C_u en fonction de l'élévation. L'essai 1644 a été effectué sur l'Ile Perrot, l'essai 1602 provient de la région comprise entre Ste-Martine et St-Rémi alors que les essais 1676 et 1710 furent exécutés dans le secteur sud-ouest de Châteauguay (figure 38).

Pour ce qui est du secteur de l'Ile Perrot, l'altitude moyenne à $C_u = 0$ est de 49 ± 2 m pour une pente moyenne des régressions de $3 \pm 0,4$ kPa/m (secteur A de la figure 38). Dans le secteur B, qui inclut la portion comprise entre Ste-Martine et St-Rémi, nous retrouvons une altitude moyenne à $C_u = 0$ de 53 ± 3 m pour une pente moyenne des régressions de $1,6 \pm 0,4$ kPa/m. La pente des régressions pour l'étude adjacente de La Prairie - St-Jean nous donne $2 \pm 0,35$ kPa/m pour des altitudes variables à $C_u = 0$ (voir figure 38). La portion ouest de la figure 38, incluant la portion orientale de l'étude adjacente (Dion et Cockburn, en préparation), nous montre pour les essais localisés dans le voisinage de Dorion - Vaudreuil, des pentes de régression moyenne de l'ordre de $3,1 \pm 0,4$ kPa/m (secteur C, figure 38) tandis que pour les sites plus à l'ouest, tous situés à des altitudes du terrain naturel supérieures à 50 m, les pentes des régressions sont de l'ordre de $1,9 \pm 0,2$ kPa/m (secteur D, figure 38). Dans ces secteurs, les altitudes à $C_u = 0$ sont variables. Finalement, le secteur compris au sud de Beauharnois et au sud-ouest de Châteauguay présente des altitudes moyennes à $C_u = 0$ de $50,5 \pm 3$ m avec une pente de régression moyenne de $2,0 \pm 0,4$ kPa/m.

Toutes les altitudes ainsi trouvées furent portées sur la figure 38, les aires où les dépôts meubles possèdent une épaisseur supérieure à 15 m (argile affleurante) ainsi que les escarpements d'érosion sont également montrés sur celle-ci. A partir de l'ensemble des résultats, les courbes de niveau du terrain original probable ont été établies, telles qu'illustrées à la figure 38.

Les figures 40 et 41 montrent, en fonction des pourcentages de particules inférieures à 2 microns, la limite de liquidité et la limite de plasticité pour nos échantillons d'argiles de la mer de Champlain ainsi que pour les rythmites de Chambly. Les droites qui y sont présentées correspondent aux

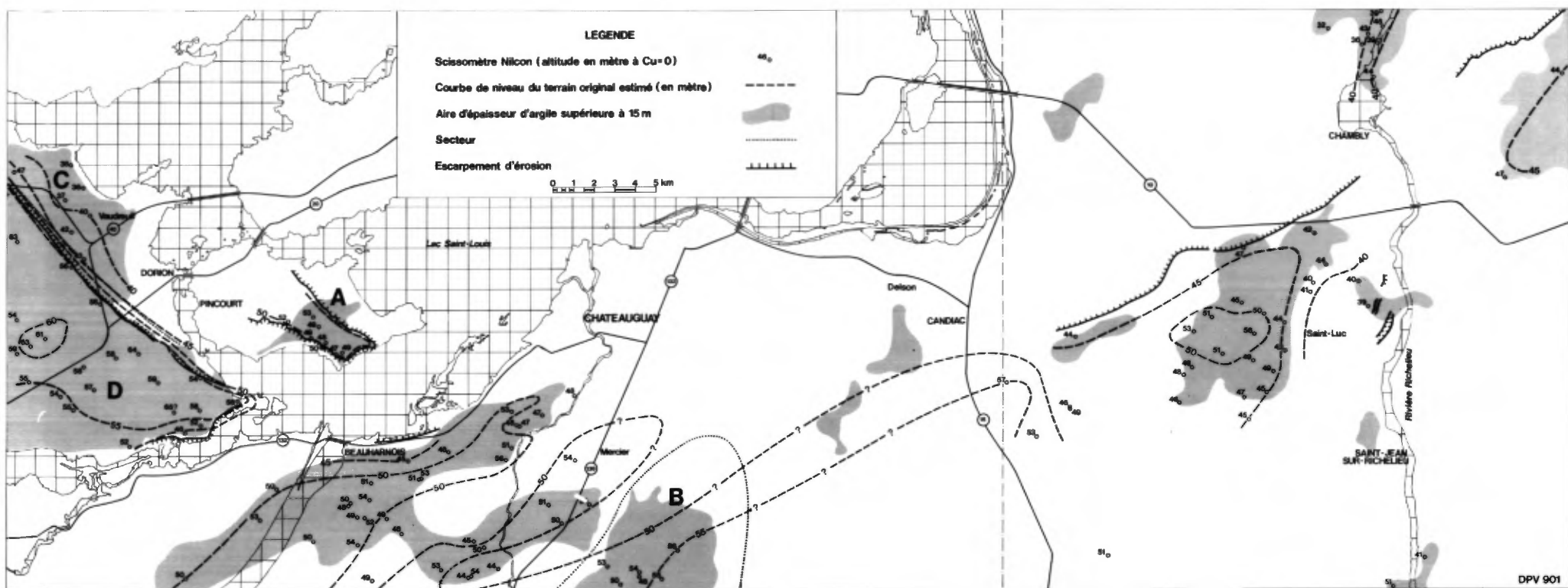


FIGURE 38 - Courbes de niveau du terrain original estimé.

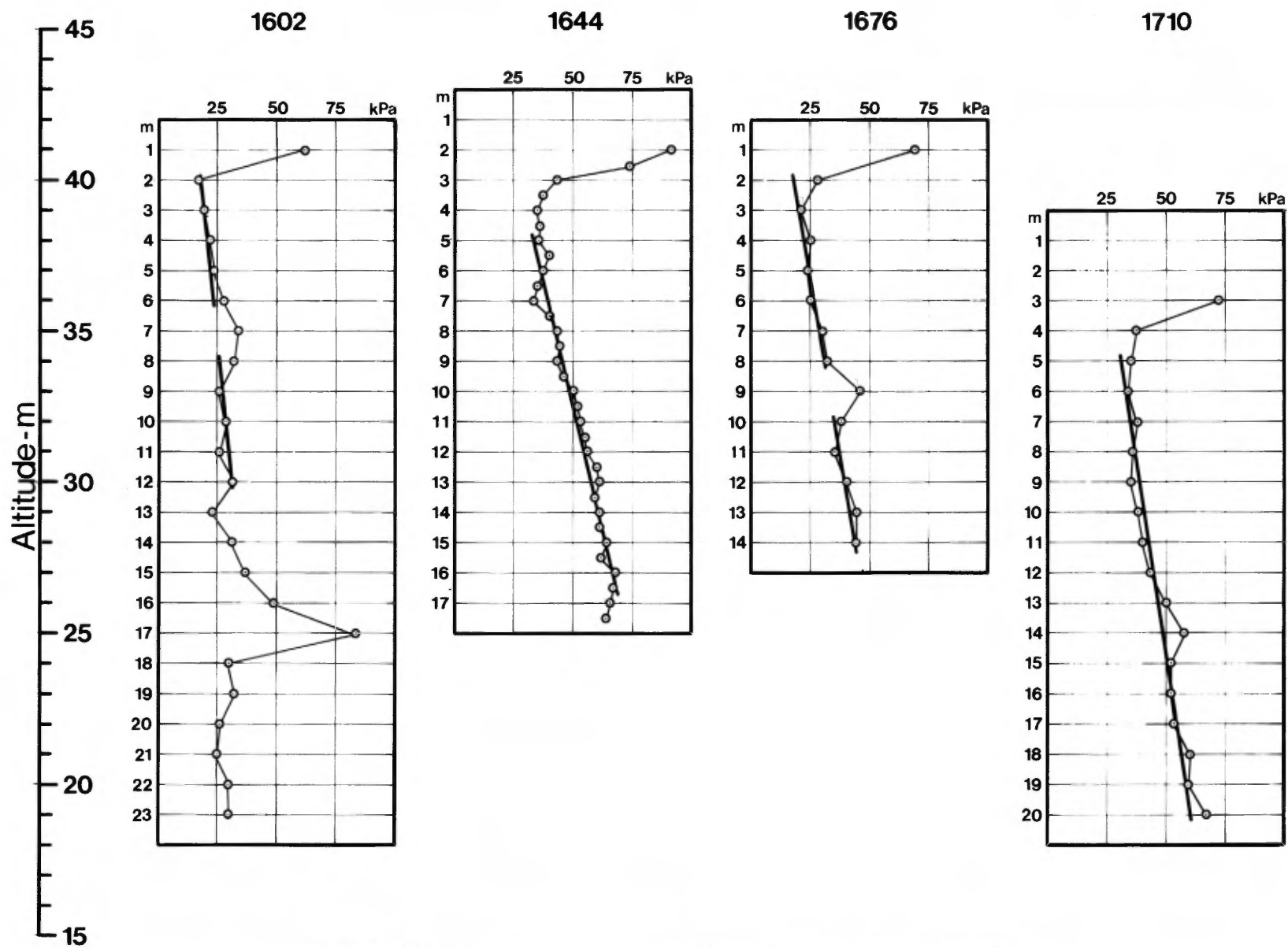


FIGURE 39 - Essais au scissomètre Nilcon et régressions linéaires calculées pour chacun.

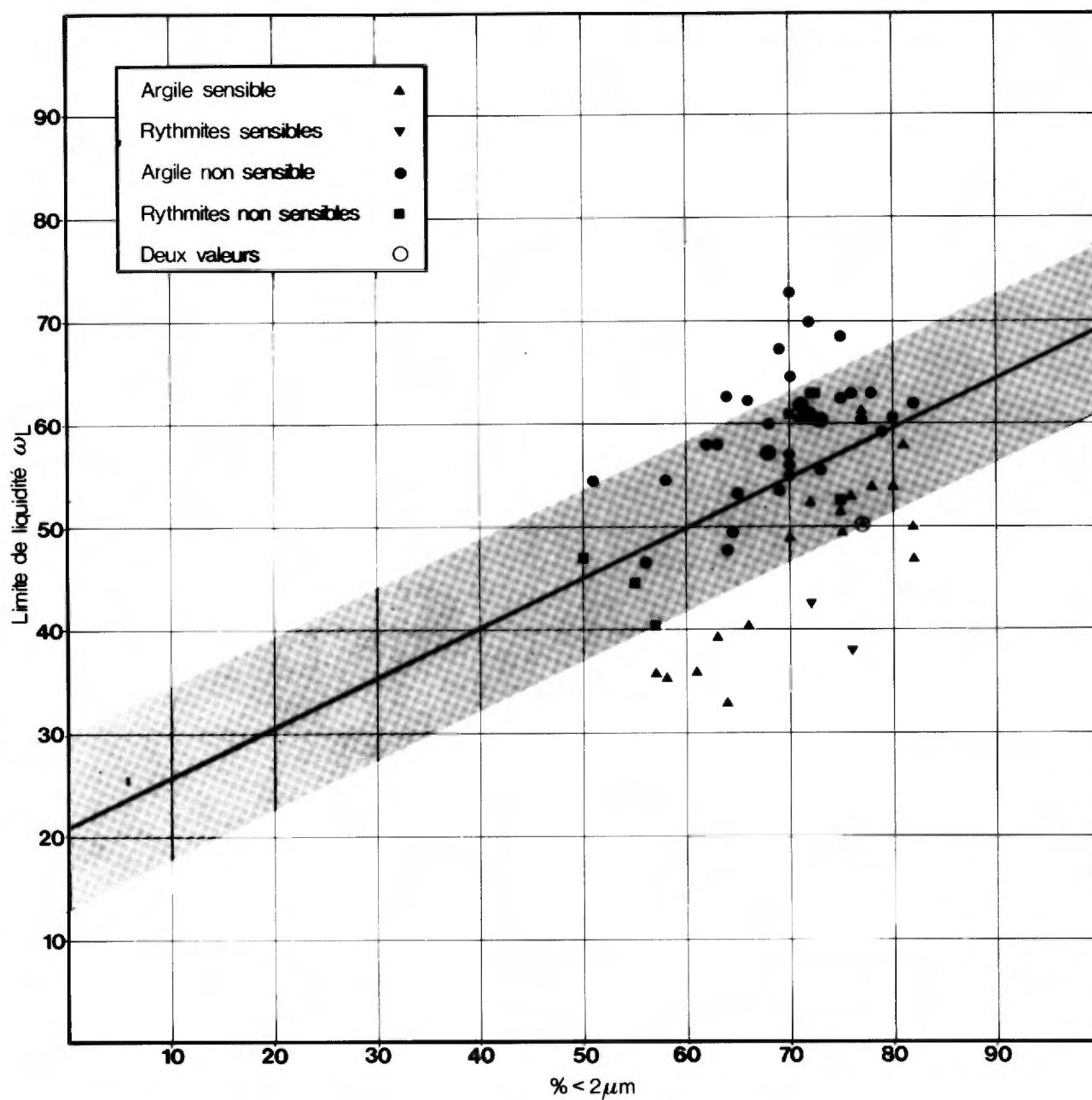


FIGURE 40 - Limite de liquidité versus pourcentage de particules inférieures à 2 microns (rythmites de Chambly et argiles de la mer de Champlain).

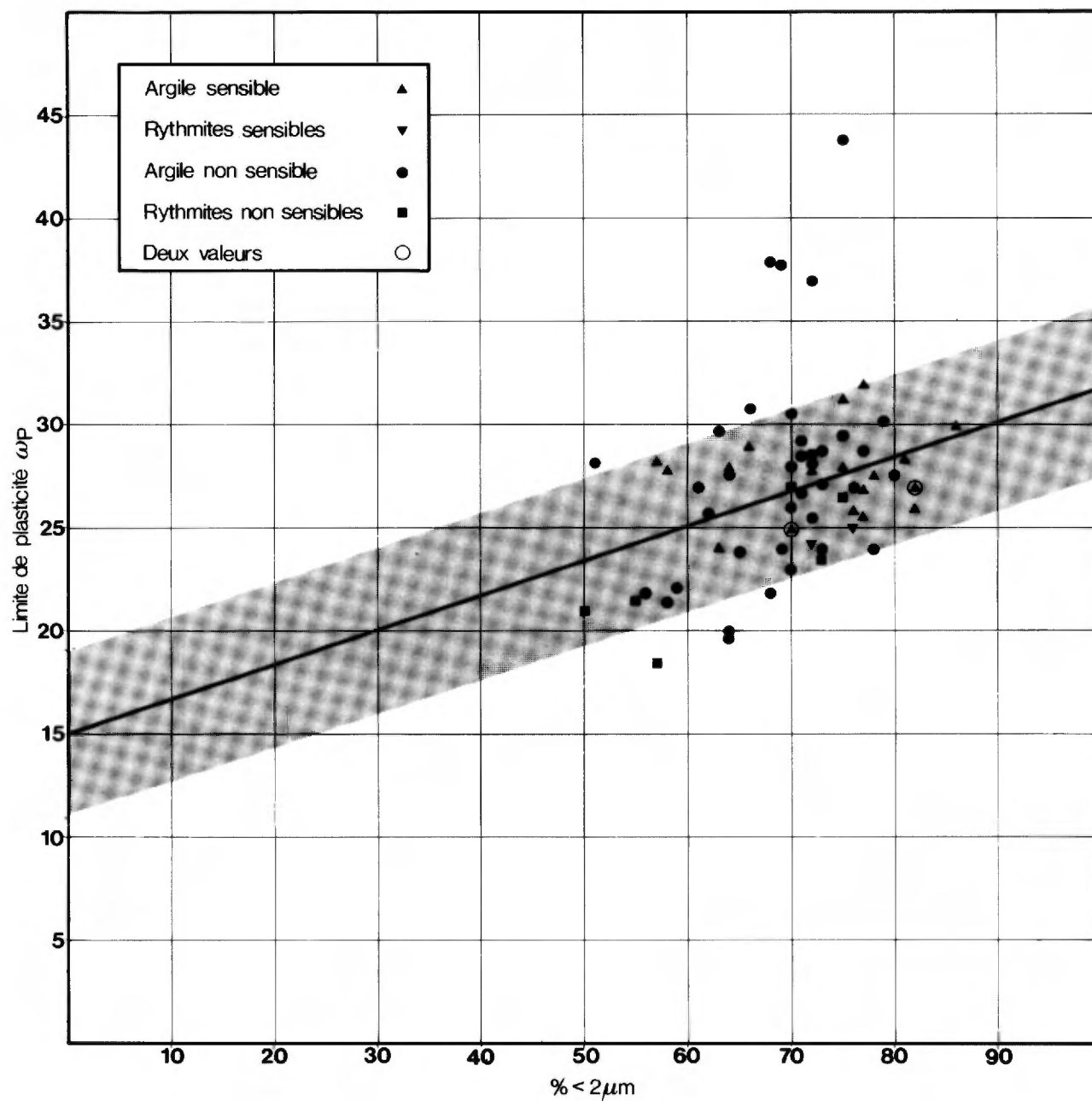


FIGURE 41 - Limite de plasticité versus pourcentage de particules inférieures à 2 microns (rythmites de Chambly et argiles de la mer de Champlain).

régressions linéaires qui satisfont le mieux les deux propriétés; la zone tramée correspond à l'écart type d'évaluation enregistrée pour la relation. Il ressort de ces figures que la proportion de particules inférieures à 2 microns dans un échantillon n'a pas beaucoup d'effets sur la limite de plasticité alors que la limite de liquidité tend à augmenter avec le contenu en ces particules. Les échantillons dont la sensibilité est élevée possèdent une limite de liquidité plus faible que les échantillons peu ou pas sensibles.

La figure 42 présente l'indice de plasticité en fonction du pourcentage de particules plus petites que 2 microns avec une différenciation pour les échantillons d'argile et de rythmites sensibles et peu sensibles (voir annexe 3). Les échantillons peu sensibles donnent un indice de plasticité moyen de 31,4 et une activité* moyenne de 0,455; les points représentés s'écartent généralement très peu de la droite. Les échantillons à sensibilité élevée donnent un indice de plasticité 19,3 et une activité moyenne de 0,264. Par contre, les écarts de la droite sont plus prononcés, pour ce dernier cas, même si le pourcentage de particules inférieures à 2 microns est équivalent. Les relations concordent avec les résultats obtenus pour la région voisine de La Prairie - St-Jean (Dion et Caron, 1982).

La densité relative (D_r) n'a pas été déterminée pour les argiles marine. Une valeur moyenne de 2,77 a été trouvée pour la région adjacente (Dion et Caron, 1982) et cette dernière valeur est sans doute applicable pour la présente étude.

Sables de la mer de Champlain

Cette unité couvre quelques petites étendues dans la région. Les épaisseurs maximums se retrouvent aux abords de la crête de Mercier et à Pointe-Calumet. Les analyses granulométriques effectuées sur le sable de Pointe-Calumet révèlent un sable fin à moyen uniforme avec des traces de silt. Des niveaux plus argileux peuvent être intercalés à l'intérieur de la séquence sableuse. Les valeurs "N" sont voisines de 10, caractéristiques d'un sable de compacité moyenne à lâche.

La figure 43 présente quelques essais au pénétrromètre mécanique statique effectués dans cette unité. La résistance en pointe (Q_c) varie de 3 000 à 10 000 kPa et augmente avec la profondeur alors que le rapport F_s/Q_c se maintient vers 2%.

Sédiments des plaines alluviales actuelles

Cette unité, associée aux cours d'eau actuels, se compose de sable, de silt, d'argile et de débris organiques. Là où elle a pu être mesurée, son épaisseur est faible. L'exploitation de ces sédiments est réduite à cause de la présence de la nappe d'eau libre près de la surface, la possibilité d'inondation en période de crue et la grande compressibilité de ces dépôts.

* L'activité est définie par le rapport $I_p/\% < 2 \mu m$.

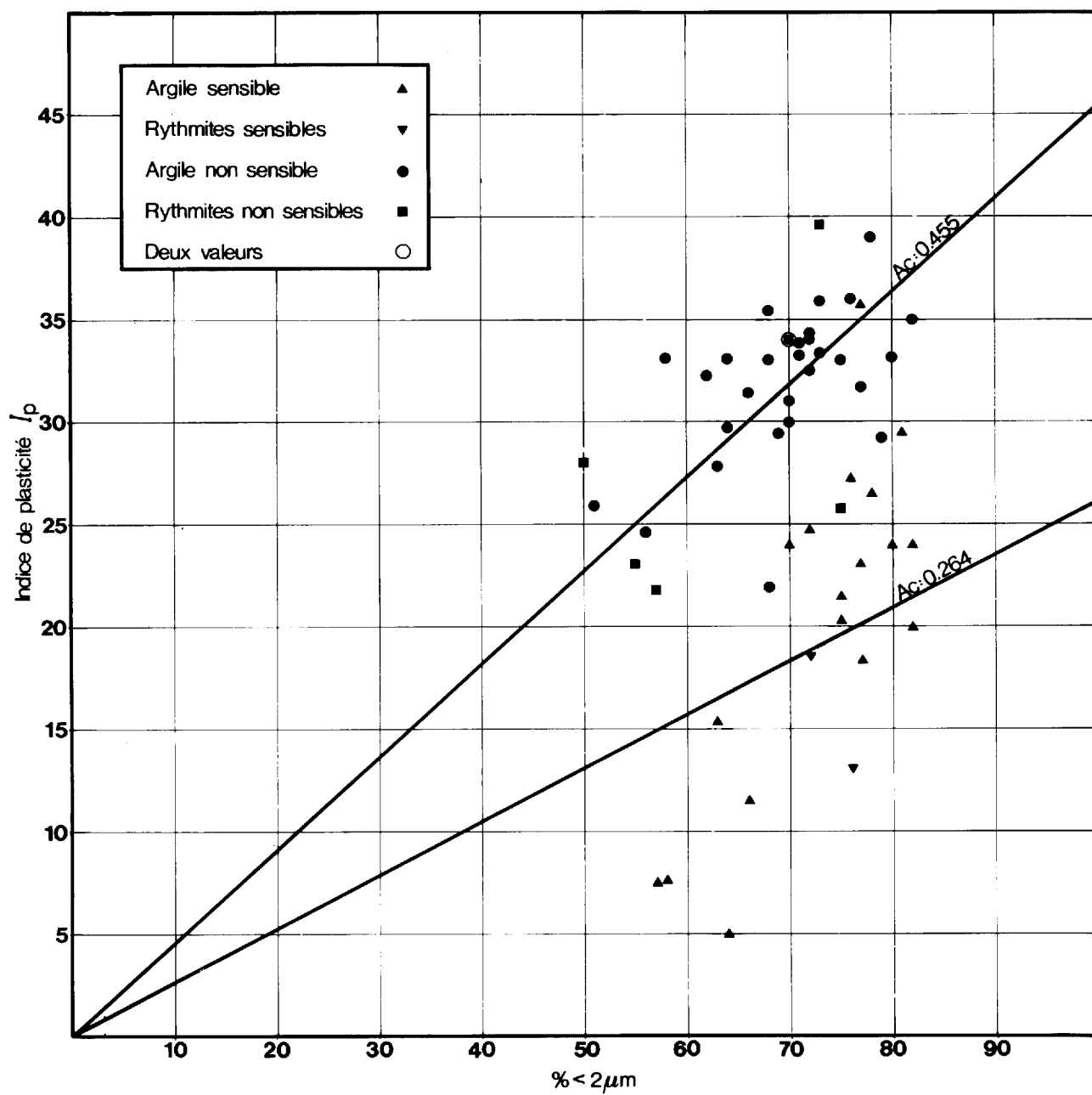


FIGURE 42 - Indice de plasticité versus pourcentage de particules inférieures à 2 microns (rythmites de Chambly et argiles de la mer de Champlain).

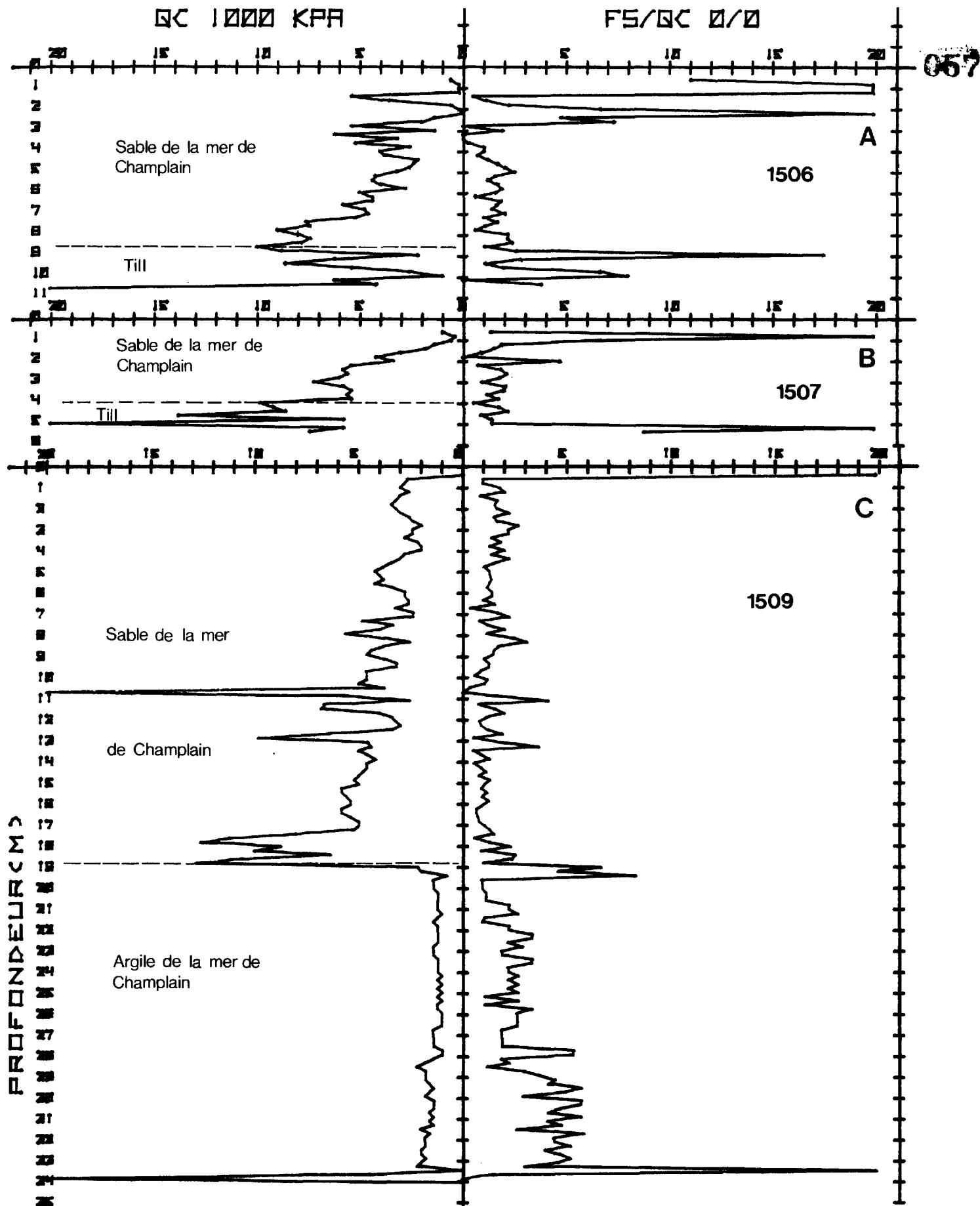


FIGURE 43 - Essais au pénétrömètre statique dans les sables de la mer de Champlain. A: Mercier, B. Mercier, C: Pointe-Calumet.

Sédiments de Tourbières

Quelques tourbières se sont développées dans la région notamment près de Châteauguay, en bordure du fleuve. Ces accumulations organiques de faibles épaisseurs reposent en général sur un matériel imperméable. Ces dépôts sont très compressibles et le drainage y est très mauvais, rendant difficile tout type d'aménagement.

RELATION ENTRE LES CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES DES DÉPÔTS MEUBLES

La section qui suit traite de relations entre certaines propriétés géotechniques pour un même échantillon. Ces relations permettent la détermination par analyses courantes (facilité et court temps d'exécution), de propriétés qui, autrement, exigent un travail de laboratoire long et soutenu.

Pourcentage des particules fines versus teneur en eau naturelle

Un total de 79 analyses granulométriques ont été effectuées sur les diverses unités contenant des particules inférieures à 2 microns. A ces analyses, correspond une mesure de la teneur en eau naturelle (figure 44).

La relation obtenue pour les argiles marines de la mer de Champlain s'écrit:

$$\% < 2 \mu m = 0,38 w + 48$$

Les moyennes de particules inférieures à 2 microns et de teneur en eau associées pour l'argile marine sont respectivement de $71\% \pm 7$ et $61\% \pm 6$.

Indice de plasticité versus limite de liquidité

Le diagramme de Casagrande (figure 23) présente les limites de liquidité et les indices de plasticité pour les matériaux de la région. Tous les sédiments fins se retrouvent sensiblement le long de la ligne "A" de Casagrande, avec les argiles tachetées légèrement sous la courbe et les autres sédiments au-dessus de la courbe. La plasticité des rythmites de Chambly est moyenne à forte alors que les argiles marines ont une plasticité généralement forte. La limite de liquidité des argiles sensibles est plus faible que celles des argiles peu sensibles qui sont concentrées dans la partie droite de la figure, dépassant souvent $w_L = 60\%$. La droite qui décrit la relation pour l'ensemble des argiles de la mer de Champlain s'exprime par:

$$I_p = 0,821 w_L - 17,36 \quad (r = 0,91)$$

ce qui cadre bien avec les analyses effectuées pour la région de La Prairie - St-Jean (Dion et Caron, 1982) et pour le contexte des basses terres en général (Lefebvre et Grondin, 1978).

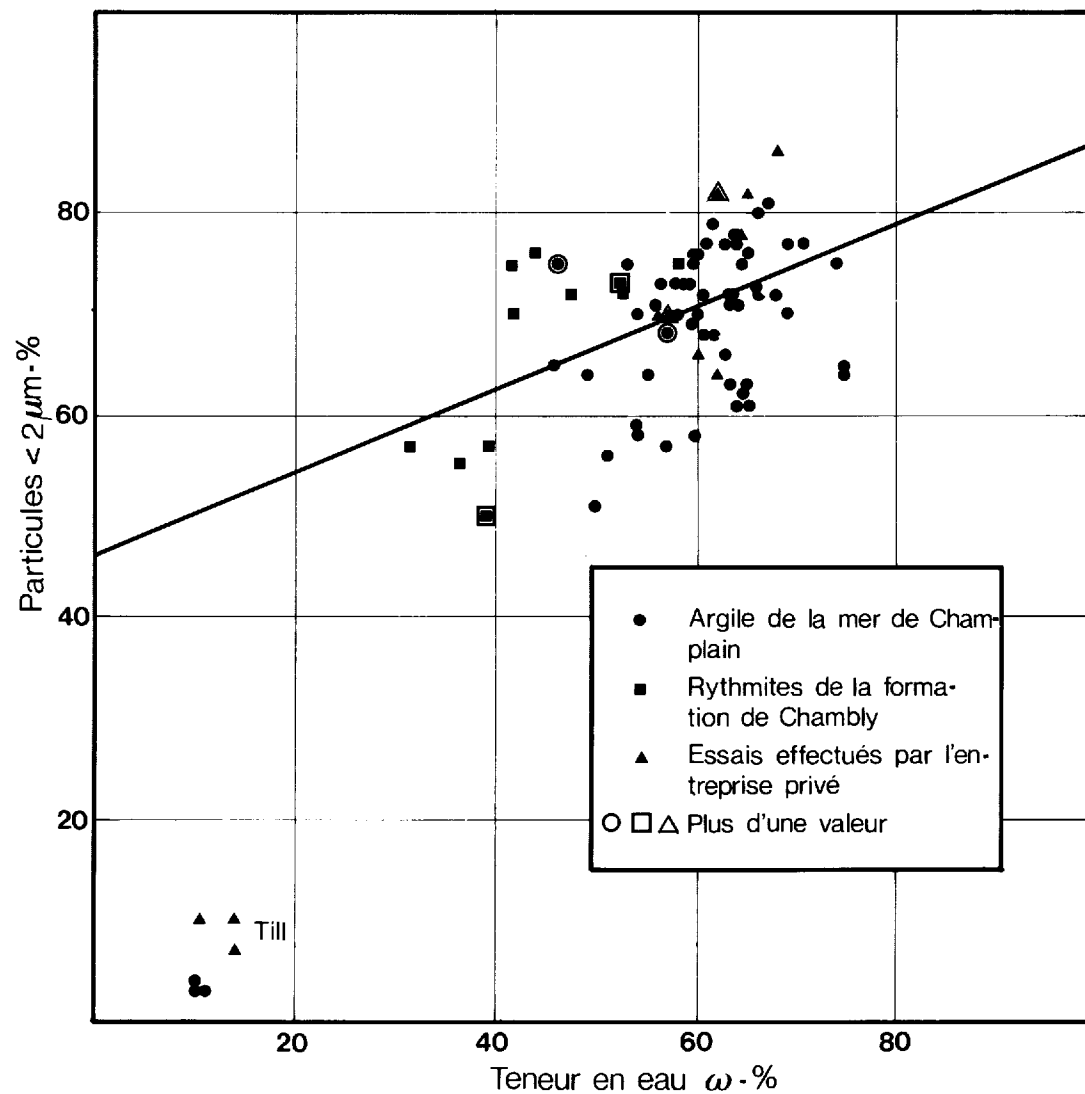


FIGURE 44 - Pourcentage de particules inférieures à 2 microns versus teneur en eau naturelle pour les argiles, les rythmites et le till.

Sensibilité versus indice de liquidité

L'indice de liquidité a été calculé pour 74 échantillons provenant des forages réalisés par le service. La relation entre l'indice de liquidité et la sensibilité (Bjerrum, 1954) est présentée à la figure 45. La régression linéaire pour toutes les mesures est $\log St = 0,051 + 0,987 I_1$, pour un coefficient de corrélation de 0,79. La pente est plus prononcée que celle établie pour la région La Prairie - St-Jean (Dion et Caron, 1982) mais est en accord avec les travaux de Lefebvre et Grondin (1978). Les indices de liquidité associés à des sensibilités supérieures à 100 montrent une plus grande dispersion par rapport à ceux associés à des sensibilités inférieures à 100.

La dispersion des valeurs pour les échantillons de rythmites de Chambly peut s'expliquer par la granulométrie de ce matériel (alternance d'argile, de silt et de sable) qui affecte grandement les mesures de la résistance au cisaillement, de la limite de liquidité et, par conséquent, du calcul de l'indice de liquidité. Par contre, les différences dans l'argile de la mer de Champlain, d'un échantillon à l'autre ou d'une région à l'autre, doivent être en partie occasionnées par des facteurs tels la salinité, la composition granulométrique et minéralogique. Les effets de ces facteurs sur les deux propriétés en cause ne sont pas bien connus.

Indice de liquidité versus résistance du sol remanié

Les 74 valeurs de l'indice de liquidité employées pour tracer le graphique précédent, ont été reprises en fonction de la résistance au cisaillement du sol remanié. Le résultat est présenté à la figure 46. L'équation qui satisfait l'ensemble des mesures s'exprime par: $Cu_r = 1/(I_1 \text{ percussion} - 0,35)^2$. Elle est voisine de celle proposée par LeBihan et Leroueil (1981) pour l'indice de liquidité mesuré au cône suédois. Sur la figure, les points qui représentent des échantillons de rythmites de Chambly cadrent relativement bien avec les mesures effectuées sur les argiles marines. On notera également que, pour une valeur faible de la résistance, l'indice de liquidité varie d'une façon assez importante; il varie moins lorsque les valeurs de résistance sont supérieures à 1 kPa.

Indice de plasticité versus sensibilité

A l'instar des relations précédentes, les sensibilités et indices de plasticité des 74 échantillons ont été portés sur graphiques (figure 47). La sensibilité a été mesurée au cône suédois; l'indice de plasticité a été calculé à partir de la limite de plasticité (effectuée selon la norme ASTM D 424-59). Nous avons porté sur cette figure, le fuseau de Bjerrum (1954), pour une sensibilité établie au scissomètre de laboratoire.

Une grande dispersion caractérise les valeurs dans les argiles marines, quoique les sensibilités élevées s'accompagnent d'indice de plasticité faible ($I_p < 20$). La différence entre nos résultats et le fuseau de Bjerrum peut être attribuable, en partie, à la façon de mesurer la sensibilité.

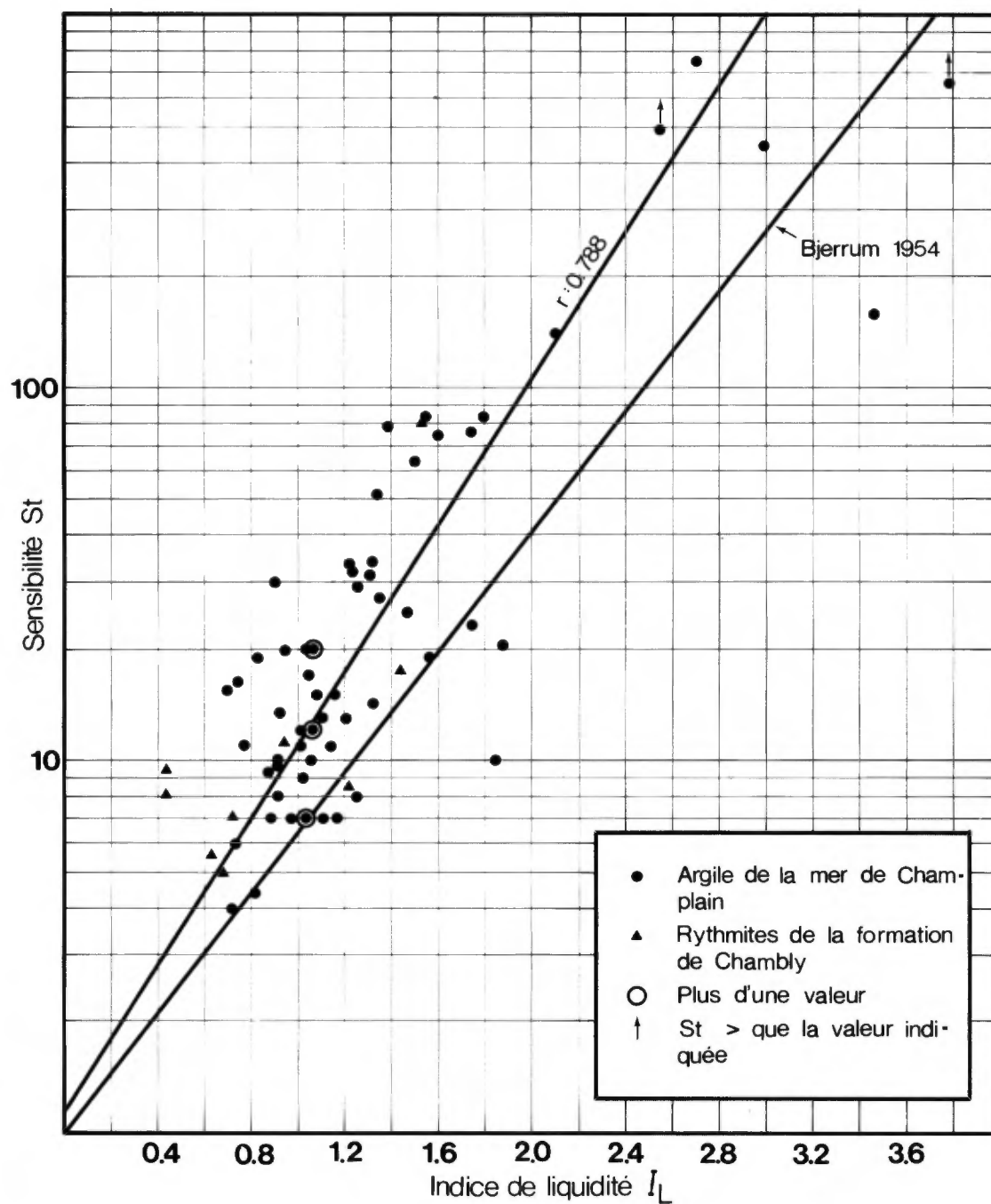


FIGURE 45 - Sensibilité (mesurée au cône suédois) versus indice de liquidité (établi à la coupelle de Casagrande) pour les argiles et les rythmites.

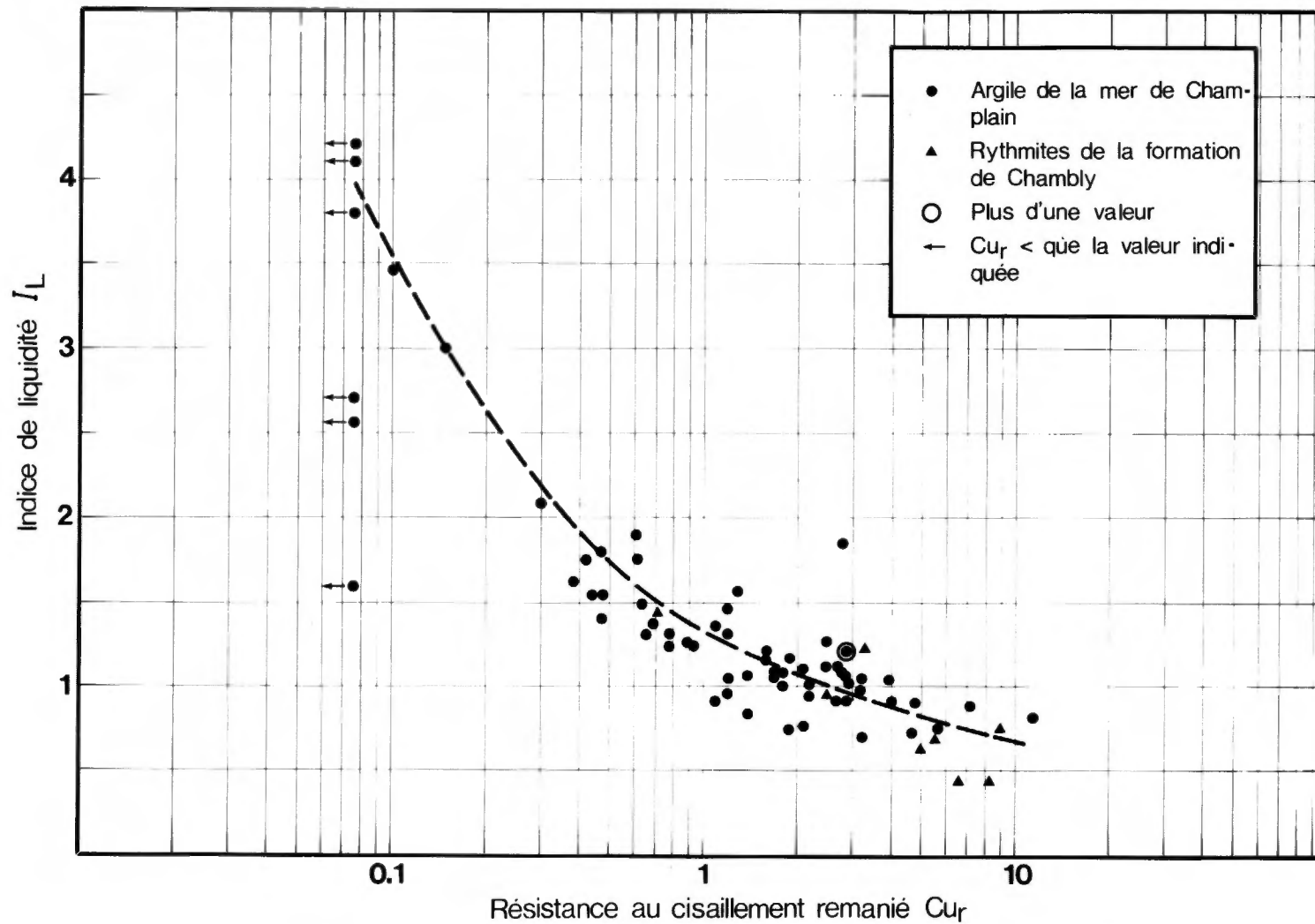


FIGURE 46 - Indice de liquidité (établi à la coupelle de Casagrande) versus résistance au cisaillement du sol remanié (mesurée au cône suédois) pour les argiles et les rythmites.

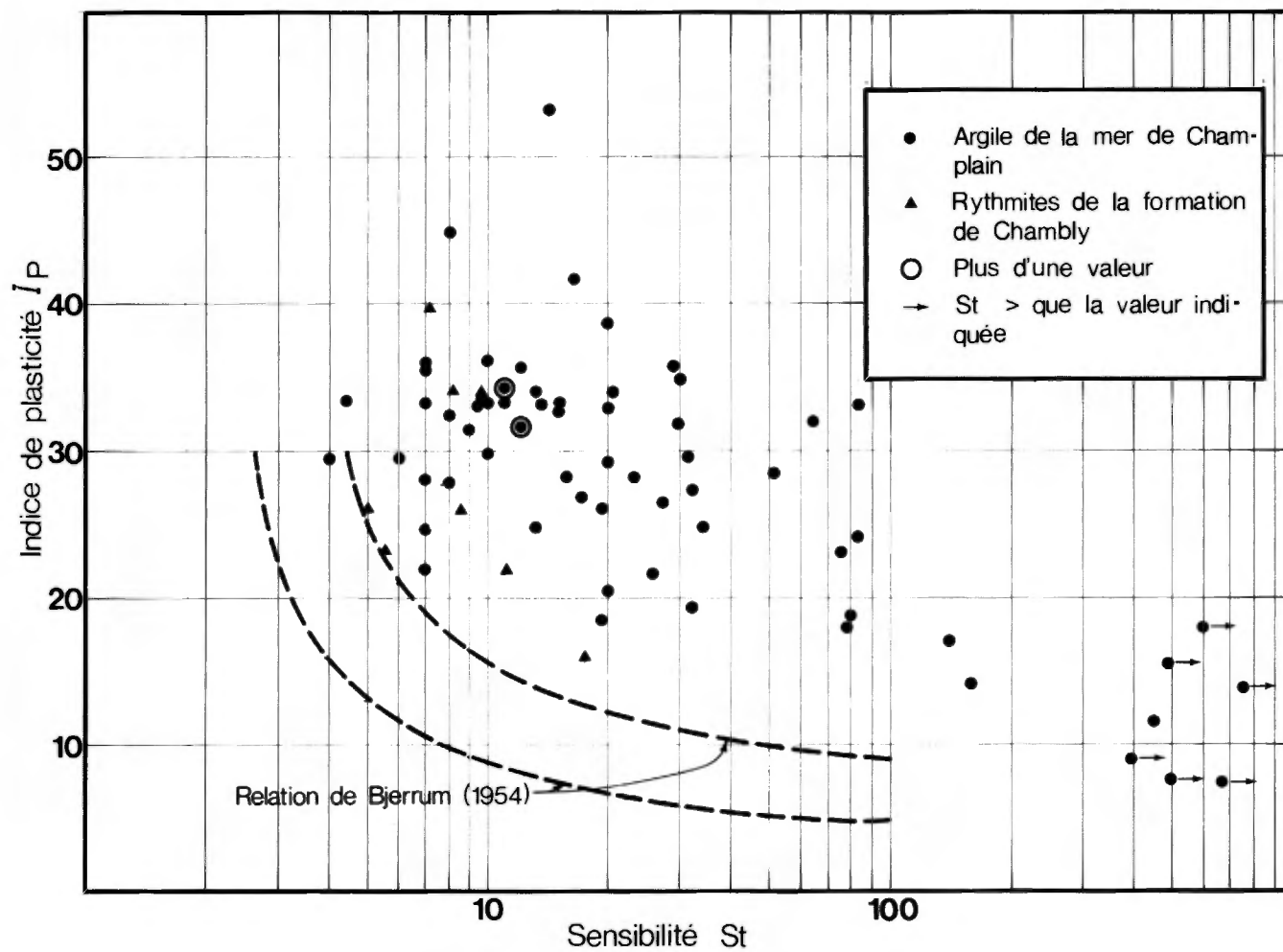


FIGURE 47 - Indice de plasticité versus sensibilité (mesurée au cône suédois).

Sensibilité versus résistance du sol remanié

Pour les argiles de la région cartographiée, il existe une relation de non-proportionnalité entre la sensibilité et la résistance du sol remanié (figure 48). Cette relation est en tout point similaire à celle de Lefebvre et Grondin (1978) pour les argiles du Québec (toute provenance) ainsi que pour la région de La Prairie- St-Jean (Dion et Caron, 1982). Pour des sensibilités supérieures à 30, la résistance du sol remanié varie de 0,1 à 1,5 kPa; pour les valeurs inférieures à 30, elle varie de 0,5 à plus de 10 kPa. Notons que les sensibilités et les résistances au cisaillement du sol remanié ont toutes été établies au cône suédois.

Ceci tend à démontrer que la sensibilité, à elle seule, n'est pas un critère suffisant pour classifier les argiles. Ainsi, pour des sensibilités totalement différentes, on peut retrouver la même valeur de résistance du sol remanié.

L'analyse des graphiques des figures 27 et 48, ainsi que des figures présentées à l'annexe 3, tend à démontrer que les dépôts seront sensibles pour des résistances inférieures à 1 kPa environ. Cette limite correspond à celle établie par Lefebvre et Grondin (1978) et Lebus et Rissmann (1979), pour les argiles du Québec.

La courbe calculée pour le graphique de la figure 48 tient compte de 197 mesures effectuées sur l'ensemble des argiles et rythmites de la région. Son expression est $St = 29,5 Cu_r^{-0,9}$, pour un coefficient de corrélation de 0,88.

DÉTERMINATION DE CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES PAR LA MESURE DE LA TENEUR EN EAU ET DE LA RÉSISTANCE AU CISAILLEMENT

Le calcul de l'amplitude des tassements peut être établi avec succès à partir de l'indice des vides originels (e_o), de l'indice de compression (C_c) et de la pression de consolidation (σ'_p). La première caractéristique est déterminée par la mesure de la teneur en eau ou calculée lors de la mise en graphique des essais de consolidation. La détermination des deux autres repose sur les essais de consolidation effectués sur des échantillons non remaniés.

Les relations présentées sur les deux prochaines figures permettent de déterminer, en fonction de la teneur en eau, l'indice de compression (figure 49) et le rapport de compression (figure 50). L'équation de la droite pour l'indice de compression est $C_c = 0,039 w - 1,087$, pour un coefficient de corrélation (r) de 0,905; pour sa part, l'équation pour le rapport de compression s'écrit: $C_c/1 + e_o = 0,0130 w - 0,172$, pour un coefficient de corrélation de 0,87.

La pression de préconsolidation peut être connue avec beaucoup de succès par la mesure de la résistance au cisaillement du sol non remanié, déterminée au scissomètre de chantier. La façon habituelle de présenter le rapport entre

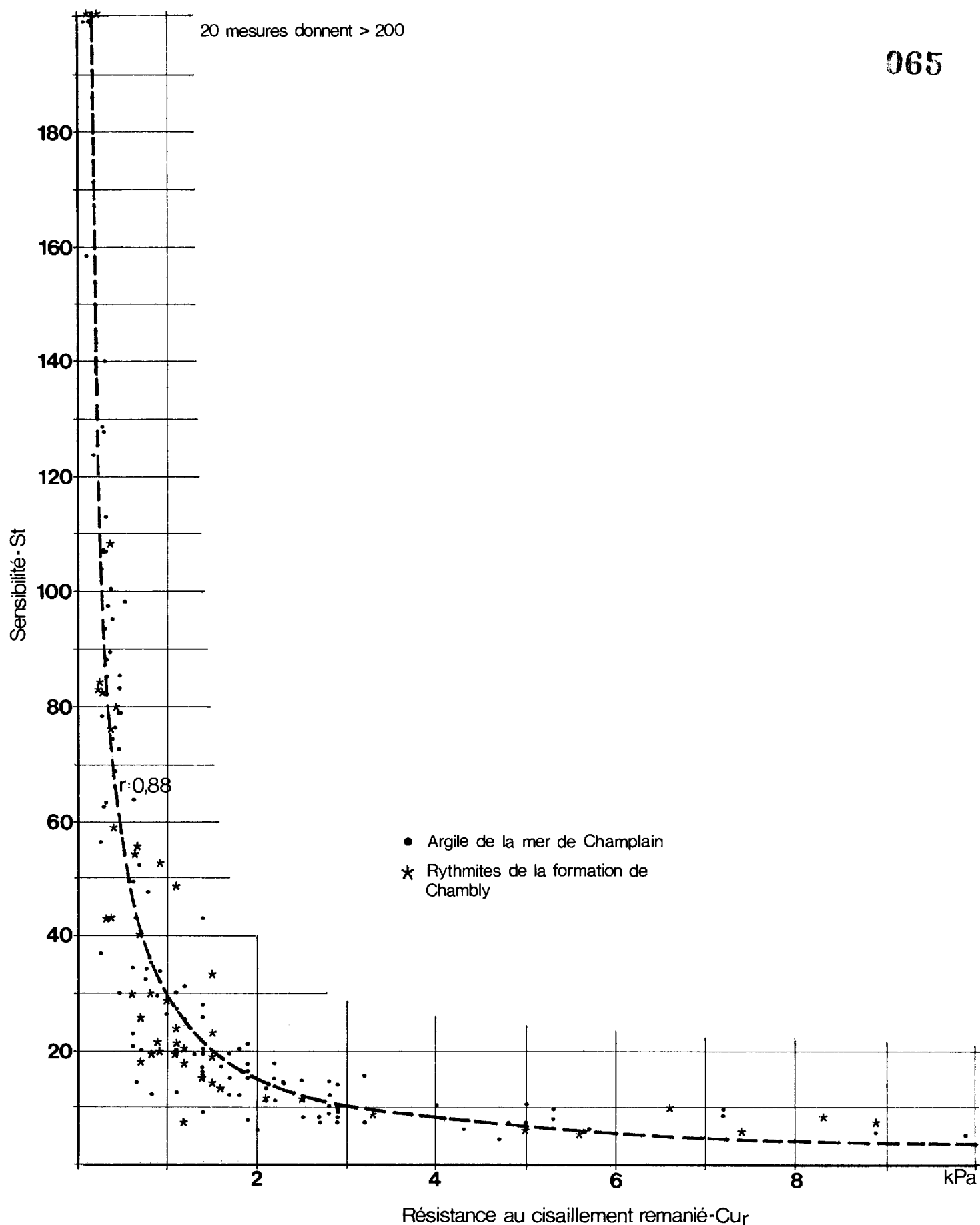


FIGURE 48 - Sensibilité (mesurée au cône suédois) versus résistance du sol remanié (mesurée au cône suédois).

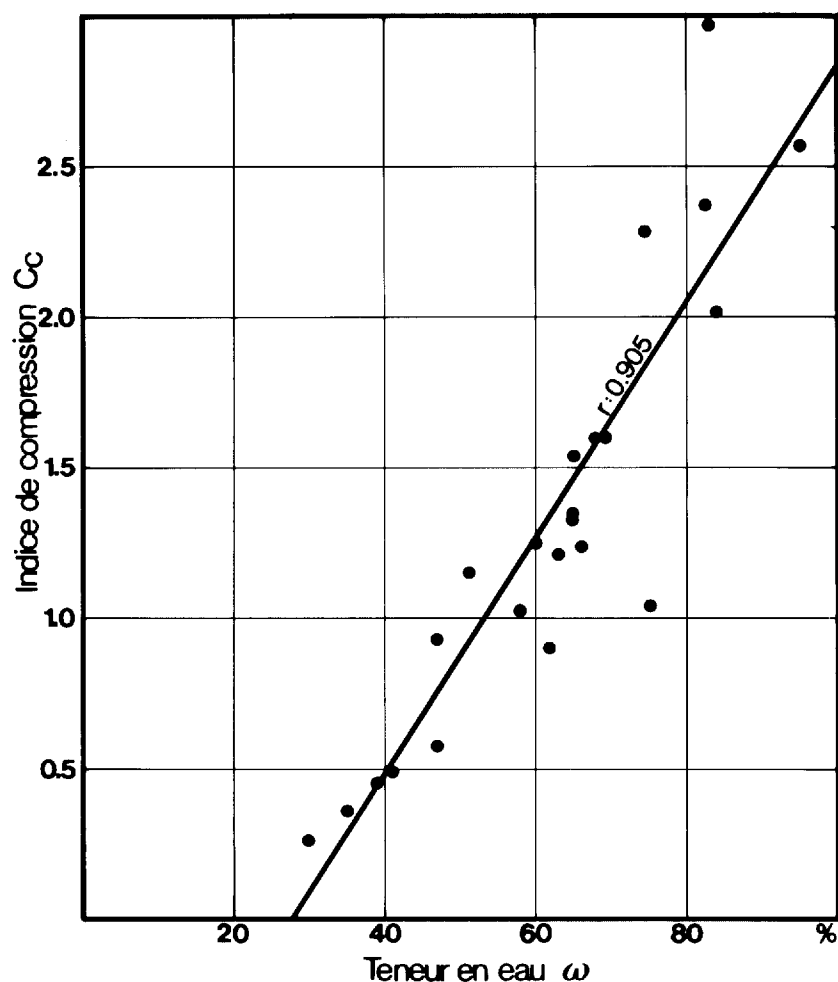
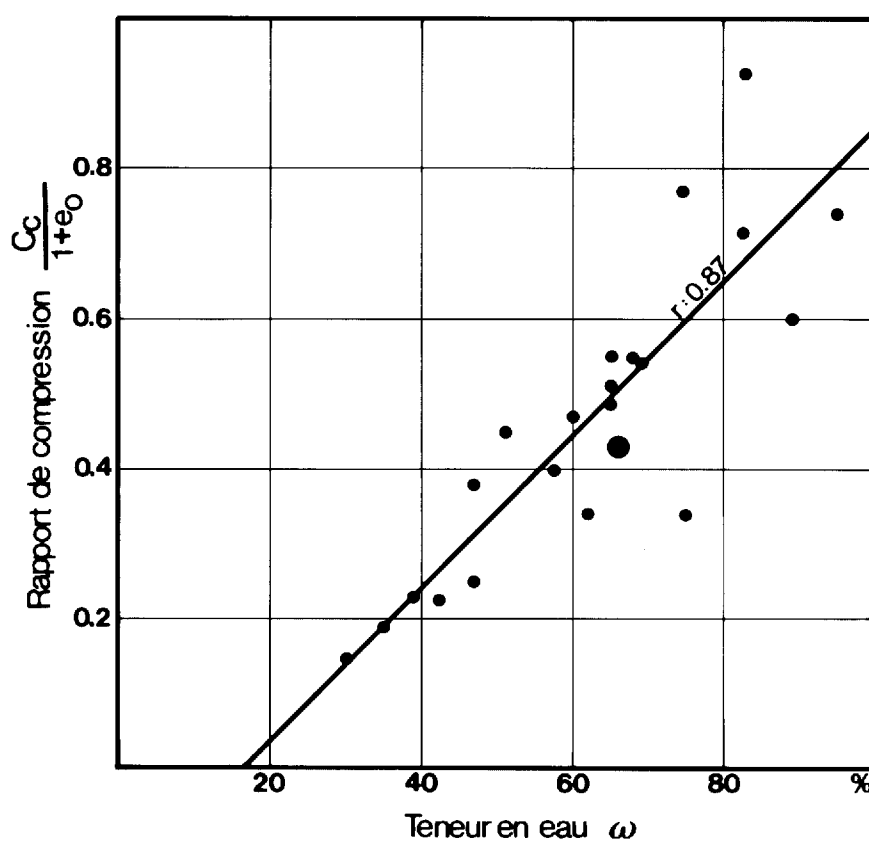


FIGURE 49 - Indice de compression versus teneur en eau naturelle. Argiles de la mer de Champlain (sous la nappe d'eau libre).

FIGURE 50 - Rapport de compression versus teneur en eau naturelle. Argiles de la mer de Champlain (sous la nappe d'eau libre).



la résistance au cisaillement et la pression de préconsolidation est celle de Bjerrum (1973), en fonction de l'indice de plasticité (figure 51). Les points portés sur la figure sont à tout le moins relativement bien groupés; la valeur moyenne des rapports s'établit à 0,315, sans tenir compte de l'indice de plasticité. Si nous ajoutons les valeurs obtenues pour la région adjacente, située à l'est de la présente étude, (Dion et Caron, 1982), nous nous retrouvons avec un rapport voisin de 0,30.

La figure 52, pour sa part, donne, en fonction de la pression de consolidation, la mesure de la résistance au cisaillement (essais au scissomètre Nilcon à proximité du forage concerné). Cette relation, qui prend en considération 21 des 22 déterminations de la pression de préconsolidation versus résistance au cisaillement, s'exprime par: $\sigma'_p = 3,32 \text{ Cu}$. Le fuseau (zone tramée sur la figure) qui regroupe la quasi-totalité des rapports, est compris entre les limites 2,7 Cu et 3,9 Cu (valable également pour la région adjacente de La Prairie-St-Jean (Dion et Caron, 1982). Cette relation est intéressante car elle nous permet d'obtenir une valeur de la pression de consolidation, en regard de la détermination de la résistance au cisaillement sur le chantier, laquelle est facilement obtenue par un essai routinier et rapide.

Une dernière façon de résumer la résistance au cisaillement et la pression de préconsolidation est celle proposée par Lacasse et al (1978), où nous retrouvons en abscisse, le rapport de surconsolidation et en ordonnée, le rapport résistance au cisaillement sur la pression effective des terres (figure 53). La zone tramée, présentée sur celle-ci, encadre très bien la majorité des points de cette étude ainsi que ceux retrouvés pour la région adjacente (Dion et Caron, 1982).

Ces relations, combinées avec la charge appliquée par les fondations sur le massif, peuvent, à notre avis, être employées avec succès afin d'évaluer le tassement pouvant affecter une structure érigée sur les argiles de la région.

PROPRIÉTÉS GÉOCHIMIQUES DE L'EAU INTERSTITIELLE DANS L'ARGILE

Au total, 55 échantillons d'argile ont été soumis à des pressions de 1 200 kPa pour une période de 3 heures, afin d'en extraire une quantité d'eau suffisante (minimum de 10 g) pour la détermination de Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} et Cl^- . Les résultats sont présentés pour les quatre premiers éléments à l'annexe 3.

La salinité (calculée par rapport au contenu moyen de ces éléments dans l'eau de la mer actuelle) de l'eau interstitielle est faible ($< 2,5 \text{ g/l}$) pour tout l'ensemble argileux de la région. Le comportement de celui-ci (voir annexe 3) nous révèle que la salinité augmente très légèrement en fonction de la profondeur, pour des échantillons provenant d'un même forage. Basé sur le seul fait de la salinité peu élevée, nous pouvons avancer que la susceptibilité au remaniement est grande pour tout l'ensemble argileux de la région. Par contre, la confirmation de cet énoncé doit être supportée par un rapport, cations monovalents sur la somme des cations mesurés, voisin de 0,85 et plus (figure 54). Le rapport observé pour la région adjacente de La Prairie - St-Jean (Dion et Caron, 1982) est de l'ordre de 0,9.

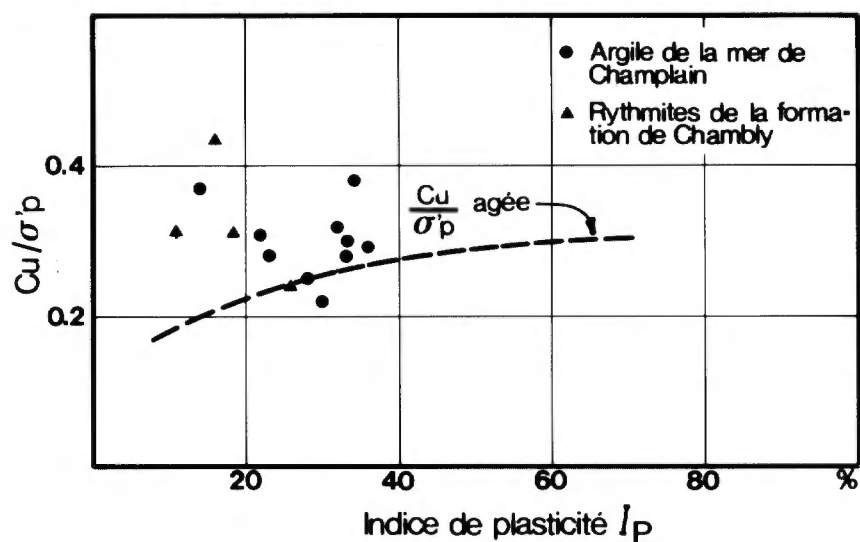


FIGURE 51 - Rapport résistance au cisaillement, pression de consolidation versus indice de plasticité pour les argiles de la mer de Champlain et les rythmites de Chambly.

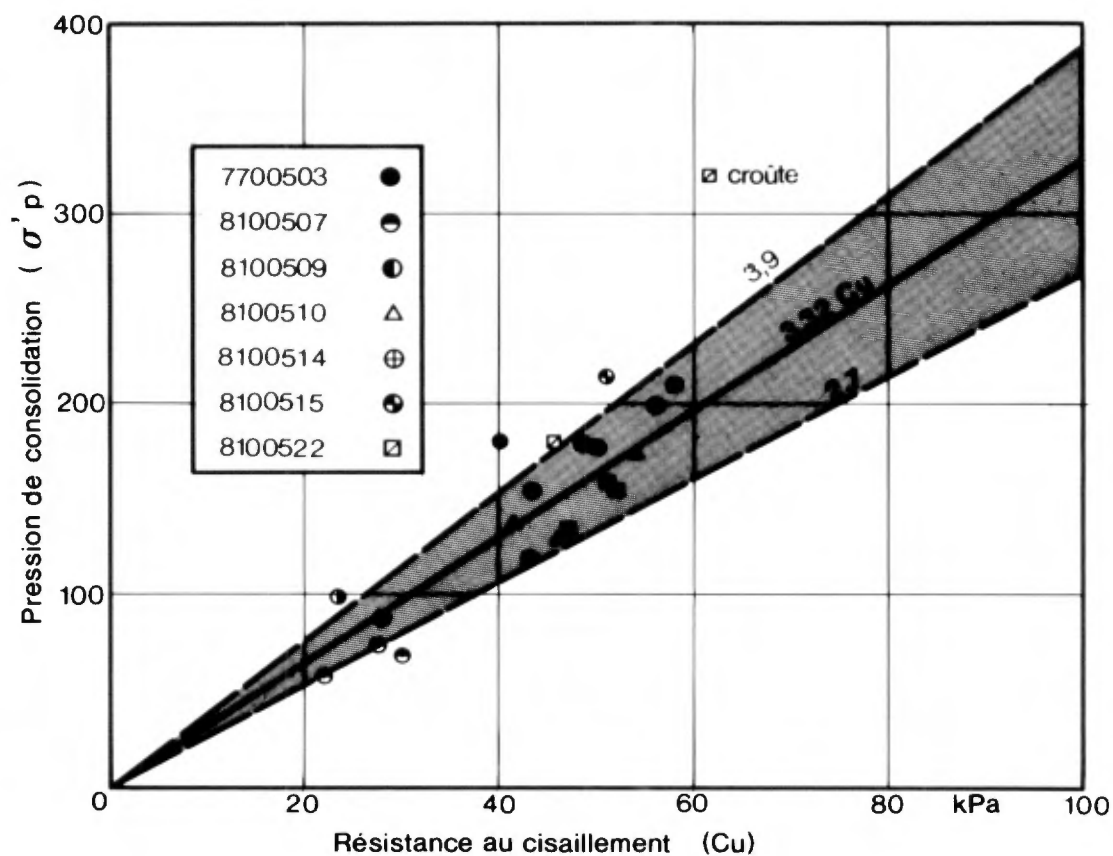


FIGURE 52 - Pression de consolidation versus résistance au cisaillement pour les argiles de la mer de Champlain et les rythmites de Chambly.

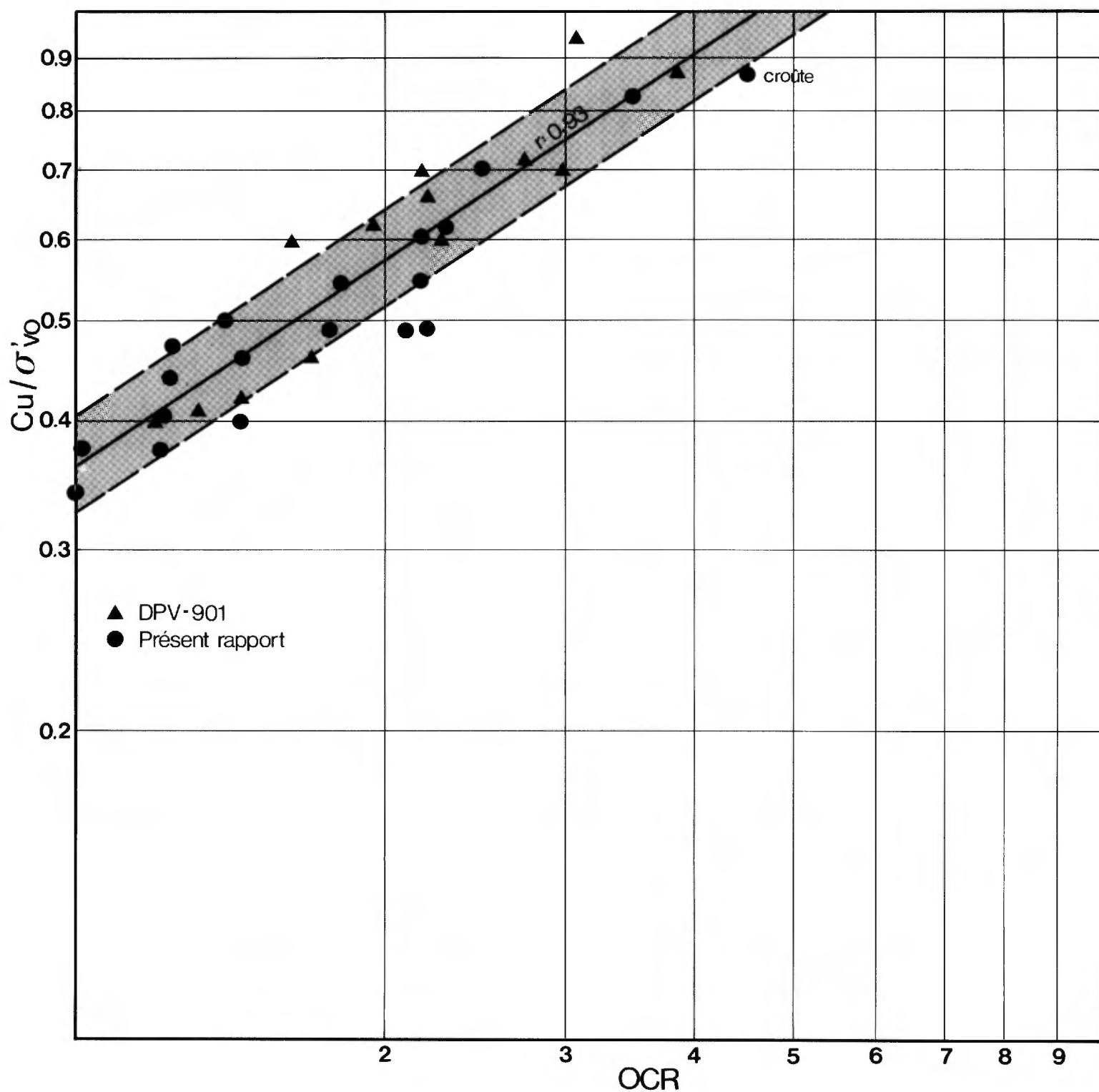


FIGURE 53 - Rapport résistance au cisaillement, pression effective des terres existantes versus rapport de surconsolidation pour les argiles de la mer de Champlain.

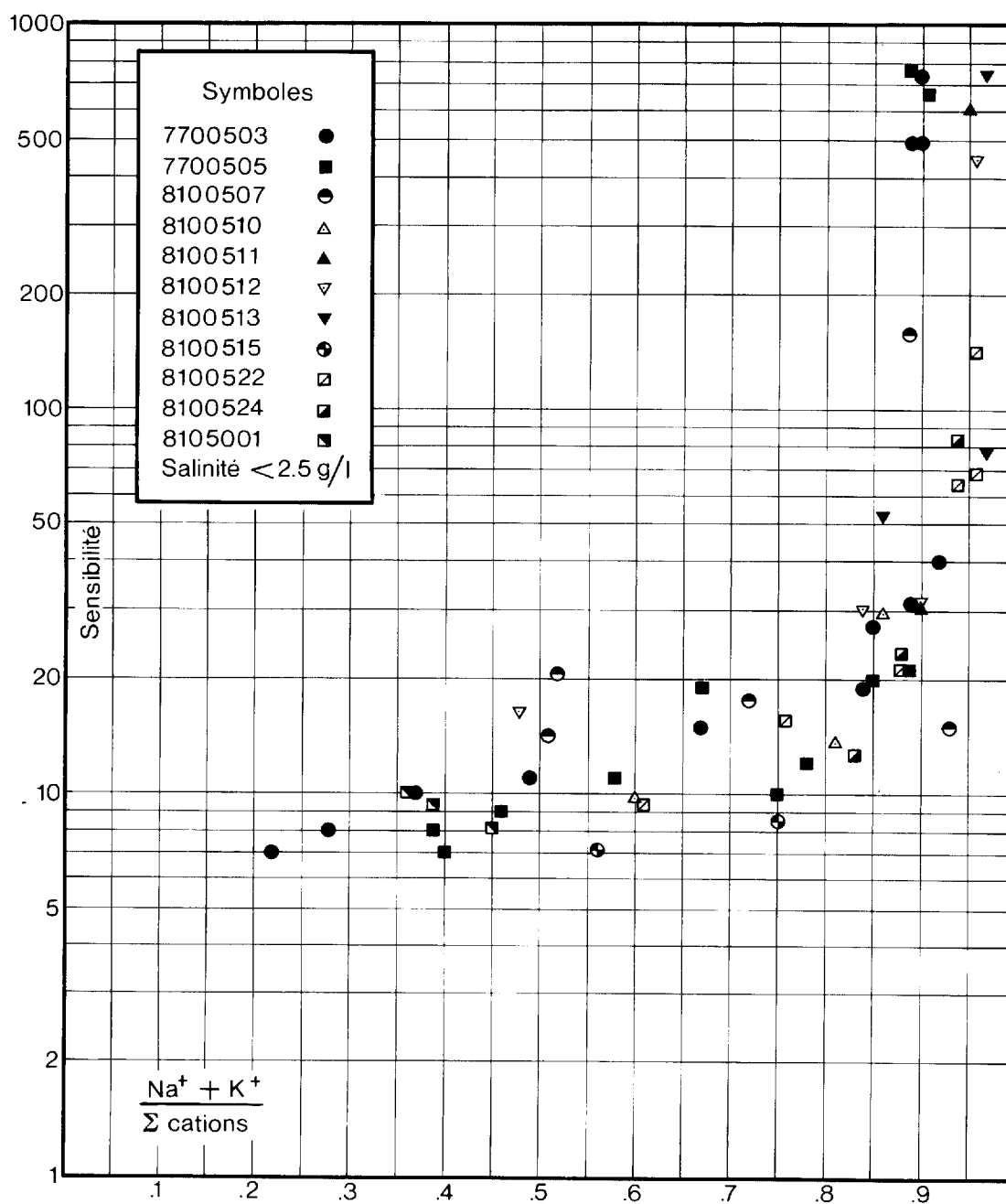


FIGURE 54 - Sensibilité (mesurée au cône suédois) versus rapport des cations monovalents sur la somme des cations.

ZONAGE GÉOTECHNIQUE

La région se caractérise par les dépôts meubles suivants: till d'origine et till remanié, argiles et sables de la mer de Champlain, sédiments alluvionnaires et dépôts de tourbières. La subdivision du terrain en unités géotechniques est basée principalement sur la nature et l'épaisseur des formations superficielles, la profondeur de la roche en place ou d'une couche dense (till ou sédiment fluvioglaciaire), les propriétés physiques et mécaniques des dépôts, la pente et le drainage du terrain.

Le zonage géotechnique basé sur ces considérations apparaît sur la carte A (APTITUDES) du DV 85-05. Les aires qui présentent le plus d'avantages à l'exploitation (faible coût d'excavation, pas de tassement, roc atteint facilement) sont celles où affleurent des tills reposant sur un socle entre 3 et 6 m de profondeur. Viennent ensuite les surfaces où l'épaisseur du till (ou de la couche dense) est supérieure à 6 m et celles où la profondeur du socle est inférieure à 3 m.

La légende qui accompagne la carte d'aptitudes présente les zones en ordre décroissant d'avantages pour l'exploitation à des fins de construction.

HYDROGÉOLOGIE

L'étude de Freeze (1964), qui porte sur l'hydrogéologie du secteur situé au sud du fleuve St-Laurent, révèle que le potentiel en eau souterraine de la région est suffisant, au point de vue quantité et qualité, pour répondre aux besoins domestiques, agricoles et industriels de la population. Malgré la présence en surface d'argile relativement imperméable, Freeze interprète le système aquifère de la région comme étant libre. La principale zone d'alimentation se trouve dans le secteur de St-Rémi et l'eau souterraine s'écoule globalement vers la rivière Châteauguay et le fleuve.

L'eau renferme en certains endroits des concentrations élevées de fer, notamment aux abords de la rivière St-Louis et près du fleuve à Melocheville et entre Beauharnois et Châteauguay. De plus, quelques zones, au sud de Mercier, présentent de fortes teneurs en sel. La dureté, la quantité de matière solides en solution et la nature des principaux constituants chimiques dépendent des roches (ou des sols) avec lesquels la nappe est en contact. Ainsi, l'eau de puits creusés dans les shales argileux a une dureté comprise entre 10 et 150 ppm. Les eaux de milieux carbonatés sont par ailleurs fortement minéralisées alors que celles des shales argileux ont une forte teneur en sulfure d'hydrogène.

Les grandes épaisseurs de dépôts granulaires rencontrées notamment dans les secteurs de Mercier - St-Isidore et de St-Rémi (sous le till de surface) ainsi que les nombreuses dépressions dans la roche en place (voir carte C du DV 85-05) constituent vraisemblablement de bonnes réserves d'eau souterraine. D'après Freeze (1964) et suite également à nos travaux, on peut conclure que la nappe libre se présente à moins de 3 m sous la surface et ce, sur la presque totalité du territoire étudié.

GÉOLOGIE ÉCONOMIQUE

Presque toutes les formations géologiques ont été exploitées à un moment ou à un autre; actuellement les principales carrières et gravières sont concen-

trées dans des secteurs bien délimités (voir carte B du DV 85-05 et l'annexe 4 pour la liste).

Les sociétés Ciments Canada Lafarge ltée (St-Constant) et Sintra ltée (St-Isidore-Jonction) exploitent les calcaires de Trenton et de Chazy pour la production d'agrégats à béton, de pierre concassée et de la chaux agricole. Les autres formations rocheuses sont très peu exploitées; leurs utilisations passées comprenaient la pierre de construction, la production de silice à haute teneur (grès de Covey Hill) et la fabrication de la brique (Shale de l'Utica).

D'importants dépôts de sable et gravier sont exploités sur la crête de St-Isidore. Les dépôts meubles qui fournissent le matériau sont les sables marins, le till et les dépôts fluvioglaciaires de la formation de Châteauguay. Ces derniers sont également exploités sous le till de surface dans le secteur St-Isidore - St-Mathieu.

CONCLUSION ET DISCUSSION

L'utilisation de moyens géophysiques et dynamiques, avant la collecte d'échantillons par forage, a fourni, malgré le nombre limité de ceux-ci, une image précise de la stratigraphie et des caractéristiques physiques et géotechniques des dépôts argileux de la région. La prise d'échantillons à environ tous les 1,5 m a permis de retracer certains horizons que nous considérons comme marqueurs et qui ont déjà été signalés ailleurs dans la région métropolitaine par Balivy et al., (1977), Dion (1978), Maranda et Dion (1979) et Dion et Caron (1982).

Le chapitre qui traite des relations entre les caractéristiques géotechniques des dépôts meubles a fait ressortir le fait que l'on peut utiliser, pour la déduction de certaines propriétés, des essais de chantier ou de laboratoire faciles à reproduire et qui prennent le relai d'un travail de laboratoire long et soutenu. Nous devons cependant souligner le fait que ces relations doivent être établies pour chaque région étudiée; elles ne peuvent vraisemblablement pas être généralisées pour l'ensemble des dépôts argileux de la mer de Champlain. Par contre, plusieurs relations établies lors de l'étude adjacente (Dion et Caron, 1982) sont très voisines de celles données dans ce rapport.

Pour la région étudiée, les relations et les moyennes données dans ce rapport peuvent, à notre avis, fournir des valeurs acceptables pour la teneur moyenne en eau des sédiments argileux, la répartition des valeurs de la résistance du sol remanié, la valeur de la résistance au cisaillement, calculée par les équations fournies dans le texte et les cotes d'élévation à $C_u = 0$ (figure 38), l'indice de compression et le rapport de compression donné en fonction de la mesure de la teneur en eau, et la correspondance établie entre C_u et σ'_p (telle que définie dans le texte).

Tel que souligné par Lefebvre et Grondin (1978), la mesure de la résistance au cisaillement du sol remanié (cône suédois) est suffisante pour déterminer si l'argile est sensible. Elle est également celle qui identifie le mieux une argile.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tous nos confrères de travail, plus particulièrement Rémy Maranda et Jean-Denis Allard pour leurs conseils et leur aide lors de l'interprétation et l'analyse de certaines données de terrain. Nous voulons également souligner le travail des membres de l'équipe: D. Francoeur, J.-P. Daigle, S. Larrivée, D. Ouellet, M. Fournier et M. Dion.

RÉFÉRENCES

- BALLIVY, G. - LOISELLE, A. - DURAND, M.- POIRIER, M., 1977 - **Caractéristiques géotechniques du secteur du Parc Olympique, Montréal**. Revue canadienne de Géotechnique; volume 14, no 2, pages 193 à 205.
- BJERRUM, L., 1954 - **Geotechnical properties of Norwegian marine clays**. Géotechnique, volume 4, pages 49 à 69.
- 1973 - **Problems on soil mechanics and construction on soft clays: State of the art report**. Proceedings; 8th international conference on soil mechanics and foundation engineering; volume 3, pages 111 à 159.
- CLARK, T.H., 1972 - **Région de Montréal**. Ministère des Richesses naturelles, Québec; RG-152; 244 pages.
- DION, D.J., 1978 - **Levé géotechnique de la région de Terrebonne - L'Assomption**. Ministère des Richesses naturelles, Québec; DPV-552; 28 pages.
- DION, D.J., CARON, P., 1982 - **Levé géotechnique de la région de LaPrairie - St-Jean**. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; DPV-901; 66 pages.
- DION, D.J., COCKBURN, D., en préparation - **Levé géotechnique de la région de Valleyfield - Vaudreuil- Rigaud**. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec.
- FREEZE, R.A., 1964 - **Hydrogéologie de la région de Lachine - St-Jean, Québec**. Commission géologique du Canada; bulletin 112, 19 pages.
- GLOBENSKY, Y., 1981 - **Région de Lacolle - St-Jean**. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; RG-197; 197 pages.
- GLOBENSKY, Y., 1984 - **Région de St-Chrysostôme - Lachine sud**. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; MM-84-01.
- HAWKINS, L.V., 1961 - **The reciprocal method of routine shallow seismic refraction investigations**. Geophysics; 26, pages 806 à 819.
- LACASSE, M.S., LADD, C.C., BALIGH, M.M., 1978 - **Evaluation of field vane, Dutch cone penetrometer and piezometer probe testing devices**. US Department of Transportation; R 78-26; 375 pages.

- LASALLE, P., 1981 - **Géologie des dépôts meubles de la région de Saint-Jean - Lachine.** Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; DPV-780; 13 pages.
- LEBIHAN, J.P., LEROUÉIL, S., 1981 - **Rapport interne; Terratech Ltée.**
- LEBUIIS, J., RISSMANN, P., 1979 - **Les coulées argileuses dans les régions de Québec et de Shawinigan.** Association géologique du Canada; livret-guide B-1; pages 19 à 40.
- LEFEBVRE, G., GRONDIN, G., 1978 - **Caractéristiques des argiles du Québec et critères d'identification des argiles extra-sensibles.** Ministère des Richesses naturelles, Québec; DP-610; 292 pages.
- MacPHERSON, Brown, J., 1967 - **Raised shoreline and drainage evolution in the Montreal Lowland.** Presses de l'Université Laval, Québec; cahiers de géographie de Québec, no 23, septembre 1967, pages 343 - 360.
- MARANDA, R., 1977 - **Établissement des cartes géotechniques au ministère des Richesses naturelles.** Ministère des Richesses naturelles, Québec; DPV-488; 19 pages.
- MARANDA, R., DION, D.J., 1979 - **Utilisation du pénétromètre statique dans les Basses terres du Saint-Laurent.** Revue canadienne de Géotechnique; volume 16, no 3, pages 591 à 604.
- PREST, Y.K., HODE KEYSER, J., 1977 - **Geology and engineering characteristics of surficial deposits, Montréal island and vicinity, Québec.** Commission géologique du Canada; paper 75-27; 29 pages.

ANNEXE I

DESCRIPTION DES APPAREILS DE MESURE ET APERCU
DES TECHNIQUES D'INTERPRÉTATION

SISMIQUE RÉFRACTION

Les méthodes sismiques employées en géophysique des dépôts meubles se fondent sur le fait que les matériaux étudiés présentent des différences de densité et d'élasticité et que les ondes se propagent dans ces matériaux à des vitesses qui leur sont propres.

Une impulsion (explosion de dynamite, chute d'une masse, coup de marteau, etc.) exercée à la surface du sol induit un train d'ondes. Celui-ci, après réfractions aux interfaces des formations de densités diverses, est détecté en surface, à des stations voisines de l'endroit de l'impulsion, au moyen de géophones.

La mesure des intervalles de temps, entre le moment de l'impulsion et celui de la détection des ondes réfractées par les géophones localisés à diverses distances, permet de calculer la vitesse de propagation de l'onde dans les divers matériaux et de trouver la position des interfaces ou discontinuités sur lesquelles les ondes ont été réfractées. Ces interfaces peuvent être des changements de milieu, des discontinuités (failles) ou des structures telles des vallées enfouies ou des chenaux d'érosion proglaciaires.

La figure 1-1 est présentée à titre d'exemple caractéristique de notre région. Les dromochroniques (courbes espace-temps), qui fournissent les vitesses et les distances nécessaires pour les calculs, sont illustrées en regard de leur interprétation sous forme de coupe.

Pour l'essai à proximité de G_1 on a: $V_1 = 500$ m/s; $V_2 = 1325$ m/s; $X_{c1x} = 4,2$ m, $V_3^+ = 4900$ m/s; $X_{c2x} = 38,7$ m. Pour l'essai à proximité de G_{12} , on a: $V_1 = 500$ m/s; $V_2 = 1325$ m/s; $X_{c1y} = 6,01$ m; $V_3^- = 4400$ m/s; $X_{c2y} = 33,3$ m. De ces vitesses, on peut déduire les angles nécessaires au calcul:

$$\sin(i_{23} - \phi) = V_2/V_3^+: 1325 / 4900 \text{ donc } i_{23} - \phi: 15,69$$

$$\sin(i_{23} + \phi) = V_2/V_3^-: 1325 / 4400 \text{ donc } i_{23} + \phi = 17,53^\circ \text{ et } V_3 = 4500 \text{ m/s}^*$$

$$\sin i_{12}: V_1/V_2: 500/1325$$

$$\sin \alpha: V_1/V_3^+: 500/4900$$

$$\sin \beta: V_1/V_3^-: 500/4400$$

$$\sin i_{13}: V_1/V_3: 500/4500$$

Les angles ont les valeurs suivantes:

-

$$i_{12}:22,17^\circ; i_{13}:6,30^\circ; i_{23}:16,61^\circ$$

$$\alpha: 5,86^\circ; \beta: 6,52^\circ; \phi: 0,92^\circ \text{ (pendage général du réfracteur profond).}$$

Pour le premier terrain, les épaisseurs en bout de ligne sont de 1,41 et 2,02 m.

$$H_{1x}: \frac{Xc_{1x}}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}} = 1,41 \text{ m}$$

$$H_{1y}: \frac{Xc_{1y}}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}} = 2,02 \text{ m}$$

Pour le second rapport de terrain, elles sont de 14,46 à 11,76 m.

$$H_{2x} = \frac{Xc_{2x}^+ (1 - \sin(i_{23} - \phi)) -}{2 \cos \phi \cos i_{23}}$$

$$H_{1x} \frac{(\cos \beta + \cos \alpha - 2 \cos i_{12})}{2 \cos \phi \cos i_{23} \sin i_{12}} = 14,46 \text{ m}$$

$$H_{2y}: \frac{Xc_{2y}^- (1 - \sin(i_{23} + \phi)) -}{2 \cos \phi \cos i_{23}}$$

$$H_{1y}: \frac{(\cos \beta + \cos \alpha - 2 \cos i_{12})}{2 \cos \phi \cos i_{23} \sin i_{12}} = 11,76 \text{ m}$$

Le pendage ϕ peut être vérifié de la façon suivante, en sachant que $\Delta H = H_{Tx} - H_{Ty} = 2,09 \text{ m}$ et que la longueur de l'essai vaut 140 m:
 $\text{arc tan } \frac{2,09}{140} = 0,86^\circ$

Ce pendage se compare bien avec celui de $0,92^\circ$ calculé par les vitesses.

Il est également possible de calculer la topographie de la surface rocheuse sous chacun des points de détection par la méthode proposée par Hawkins (1961). La formule générale pour les trois terrains s'exprime de la façon suivante:

* Vitesse moyenne du troisième milieu.

V_1, V_2 = Vitesses vraies du premier et du second milieu.

V_3^+, V_3^- = Vitesses apparentes pour le troisième milieu (sens amont et sens aval).

Xc_{1x}, Xc_{1y} = Distances critiques mesurées entre le premier et le second milieu.

Xc_{2x}^+, Xc_{2y}^- = Distances critiques mesurées entre le second et le troisième.

i_{12} = Angle de réfraction totale entre le premier et le second milieu.

i_{23} = Angle de réfraction totale entre le second et le troisième milieu.

$$H_2(Gn) = \frac{[\Delta T_2(Gn) * - H_1(Gn) \cos i_{23}] V_2}{V_1 \cos i_{23}}$$

Le calcul des épaisseurs du second terrain pour les essais en bout de ligne donne:

$$H_{2x}: (.0128 - .0028) 1382.6 = 13,83m$$

$$H_{2y}: (.0122 - .0040) 1382.6 = 11,24m$$

Sur la figure 1-1, nous présentons, sous-jacent aux dromochroniques, les différences de temps pour chaque géophone ainsi que les épaisseurs associées à ces différences de temps. Cette façon d'évaluer les épaisseurs entre les essais en bout de ligne est fort utile pour détecter des accidents topographiques importants: abrupts de faille, chenaux d'érosion glaciaire, vallées enfouies, etc.

RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE

Cette méthode géophysique permet, en fonction de la profondeur auxquelles elles se situent, de caractériser les unités géologiques par leurs différences de résistivité électrique apparente. Le quadripôle Schlumberger (figure 1-2) est le dispositif le plus employé. Un courant est émis entre les électrodes A et B et la différence de potentiel créée est mesurée entre M et N. La distance entre les électrodes émettrices est augmentée progressivement (de 1,5 à plus de 100 m, si nécessaire), pour atteindre les unités géologiques les plus profondes.

Lorsque la tension devient trop faible en regard d'une trop grande distance (AB), on augmente l'écart entre M et N pour la suite des mesures. On poursuit le travail en faisant une mesure de raccord; on garde le même AB pour la seconde longueur MN avant de faire le changement. Cette opération s'appelle un embrayage. Les résultats des mesures sont présentées sur un graphique bi-logarithmique (figure 1-3) où la résistivité apparente (ρ_A) est placée en ordonnée et la distance AB/2 en abscisse. Ceci donne une courbe dont l'interprétation est faite par comparaison avec les courbes théoriques d'un catalogue d'abaques. Comme il est souvent difficile, en pratique, de faire coïncider ces courbes, il faut souvent interpoler les résultats en regard de deux courbes calculées.

La courbe de terrain de la figure 1-3 est un exemple d'un cas qui ne coïncide pas parfaitement avec une courbe théorique. Le point 1 étant trouvé à partir de l'abaque "deux terrains", il suffit de chercher la courbe "deux terrains" qui donne la meilleure coïncidence pour la partie gauche de la courbe de terrain. Sa coordonnée donne l'épaisseur du premier terrain ainsi que sa résistivité; elle permet aussi d'établir le rapport de la résistivité entre le premier et le second terrain ($\rho_2/\rho_1 = 0,025$). Du point 1, une courbe auxiliaire est étalonnée et tracée en fonction du rapport des résistivités. Le point 2, qui permet de trouver l'épaisseur du second terrain, est obtenu en déplaçant l'origine des courbes de l'abaque "deux terrains" sur la courbe auxiliaire et en pointant celle qui offre la meilleure coïncidence avec la

* $\Delta T_2(Gn)$ est le temps de délai mesuré pour le second milieu associé au géophone n.

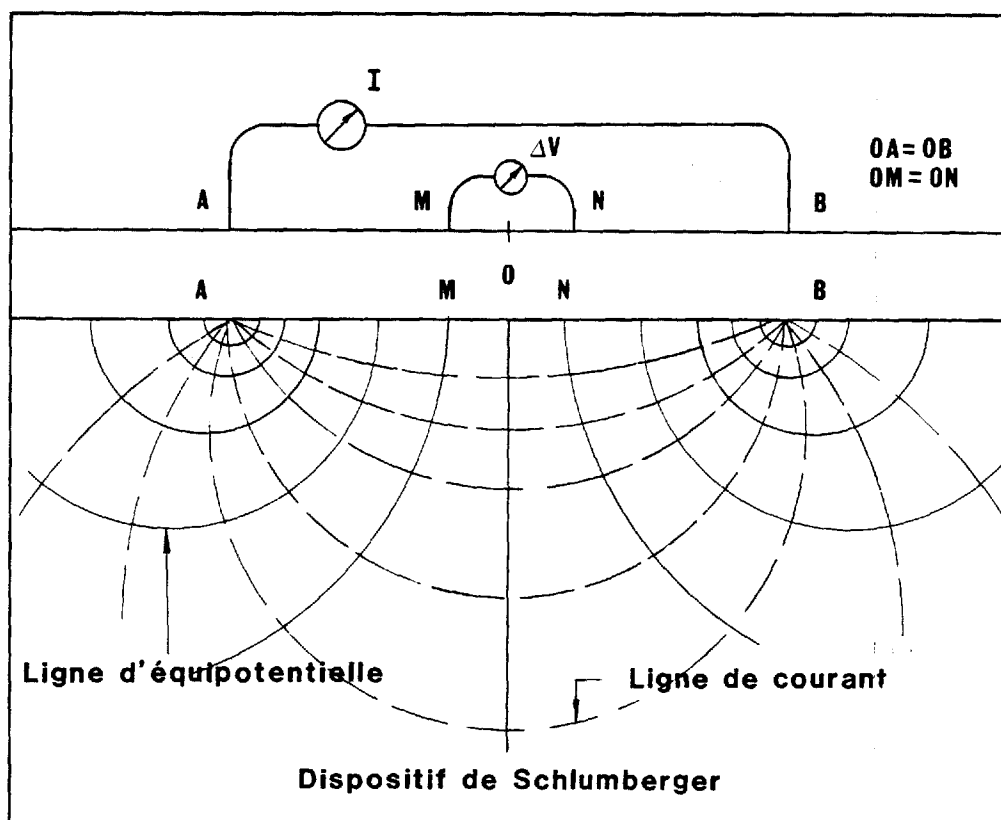


Figure 1-2: Schéma représentant la trace des surfaces équipotentielle et des filets de courant dans un sol homogène.

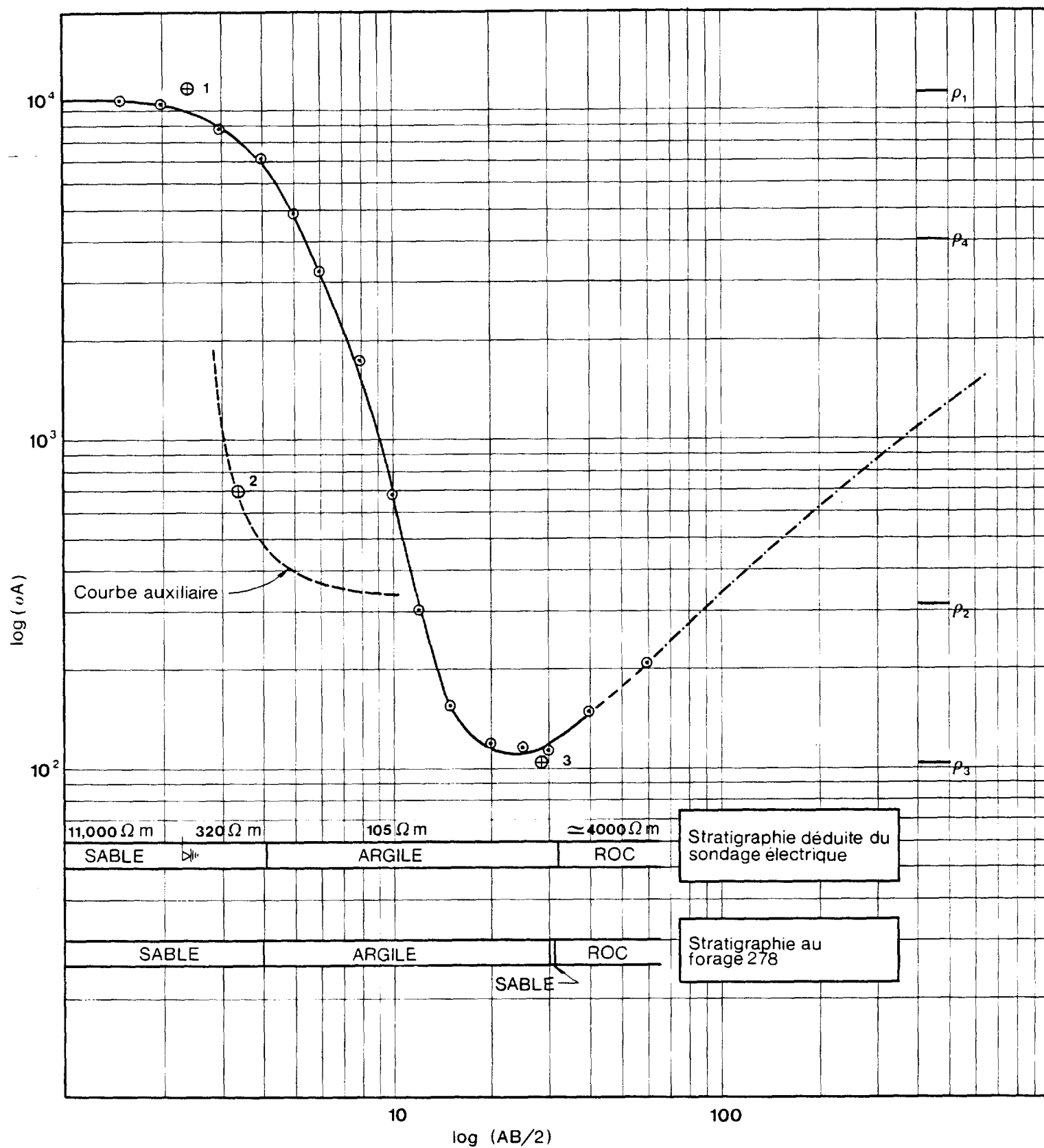


Figure 1-3: Courbe de résistivités apparentes et interprétation d'un essai.

partie droite de la courbe de terrain. En replaçant l'origine de l'abaque des courbes auxiliaires au point 1, on obtient, pour le point 2, un rapport des épaisseurs des deux premiers terrains ($E_2/E_1 = 0,7$) et la résistivité du troisième terrain, laquelle est évaluée grâce à la courbe "deux terrains". La solution de ce cas est résumée sur la figure.

L'emploi de cette technique en cartographie géotechnique permet donc de définir géométriquement un site à partir de la résistivité de chaque faciès. La stratigraphie géologique de la région étant connue par quelques sondages, on peut subséquemment associer une correspondance lithologique acceptable aux faciès déterminés par la résistivité électrique.

CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE

L'appareil employé dans cette technique de mesure de la conductivité électrique des sols et du roc est le EM-31. Son principe d'opération est simple. Une station émettrice localisée en un bout de l'appareil induit des boucles de courant dans le sol (courants de Foucault). A l'intérieur de conditions bien définies dans le concept du EM-31, l'intensité de chacune de ces boucles de courant est directement proportionnelle à la conductivité du terrain à proximité de la boucle. Chacune de ces boucles de courant génère un champ magnétique, lequel est proportionnel à la valeur du courant voyageant à l'intérieur de la boucle. Une partie du champ magnétique de chaque boucle étant interceptée par la bobine réceptrice, il en résulte une production de courant, qui est conséquemment reliée linéairement à la conductivité du terrain.

L'appareil est calibré pour lire la conductivité vraie dans un sol homogène. Mais comme le sol est stratifié en plusieurs endroits et que chaque strate a sa conductivité spécifique, l'appareil donnera une lecture moyenne. L'unité de conductivité utilisée est le millimho par mètre. Pour obtenir la résistivité en ohm/m, on prend l'inverse de la conductivité multiplié par un facteur 10^3 ; ainsi, 4 millimho/m correspond à 250 ohm/m. La profondeur maximum d'investigation de l'appareil EM-31 se chiffre approximativement à 6 m.

Cette technique a été employée avec succès pour préciser des contacts géologiques (sable-argile et argiletill) et pour évaluer la teneur en sel de l'eau interstitielle dans l'argile.

La figure 1-4a représente un profil qui fut effectué dans le cadre de la présente étude, celui-ci met en évidence deux types principaux de dépôts qui sont: l'argile (avec des plateaux à 45-40 et 30 millimho/m) et le till (10 millimho/m). Pour sa part, la figure 1-4b présente le montage stéréoscopique pour le cheminement représenté à la figure précédente. L'examen de cette figure nous permet de distinguer très nettement les contacts géologiques et le contexte général de cette région (secteur Saint-Rémi).

ESSAI AU SCISSOMÈTRE NILCON

L'essai au scissomètre Nilcon consiste à enfoncer un croisillon dans un sol cohérent non remanié et à mesurer, à partir de la surface, la force de rotation (le couple) nécessaire pour cisailer une surface cylindrique. Cette force est ensuite convertie pour déterminer la résistance au cisaillement

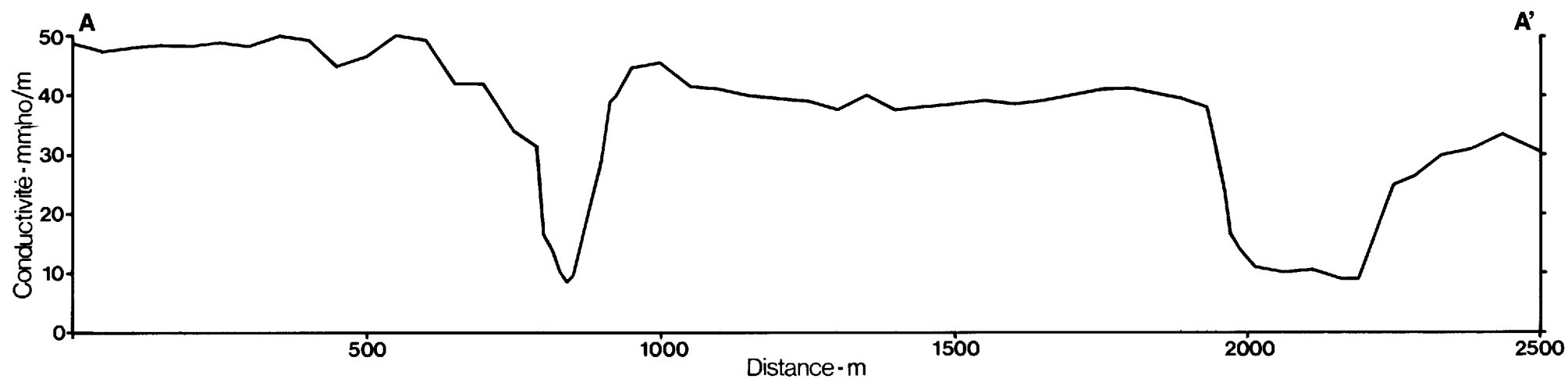


FIGURE 1-4a - Courbe des conductivités pour un cheminement perpendiculaire à des contacts géologiques

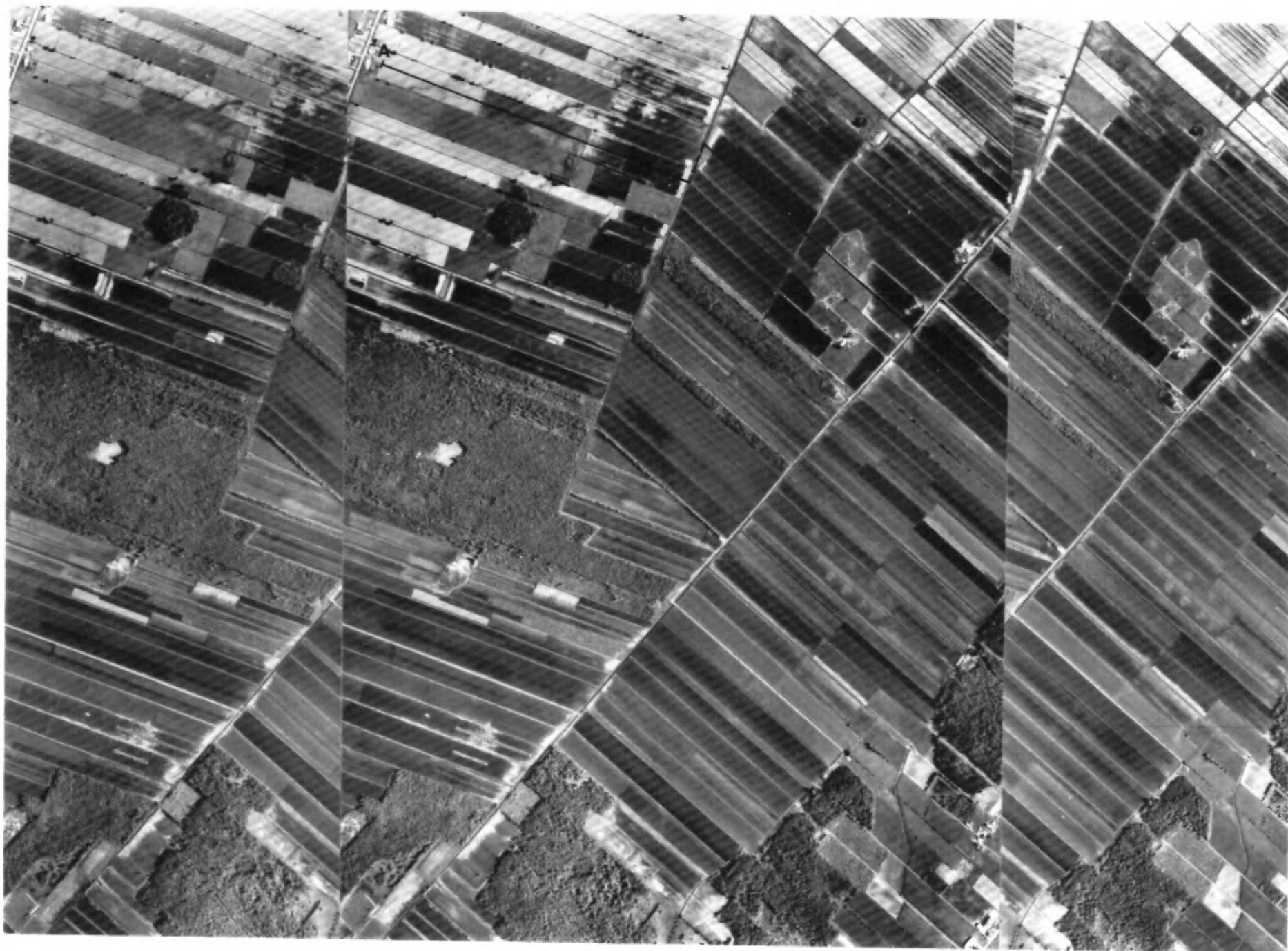


FIGURE 1-4b - Montage stéréoscopique pour le cheminement de
la figure 1-4b (échelle 1: 20 000) dans le secteur de
Saint-Rémi.

unitaire sur la surface du cylindre. Un croquis de l'appareil est montré à la figure 1-5.

L'analyse des résultats débute par l'interprétation des courbes tracées sur les disques en papier ciré, dans l'unité d'enregistrement. Un exemple typique est montré à la figure 1-6. Le système d'enregistrement est construit de façon à ce que la distance radiale (a_s) entre la ligne de référence et un point de la courbe soit proportionnelle au couple (M) appliqué aux tiges hors terre. La relation linéaire entre la distance et le couple est $M = Ka_s$, où K est la constante de calibrage.

L'arc de cercle F correspondant à la friction mesurée sur le train de tiges et l'arc S représentant le couple requis pour cisailier le sol avec le croisillon, ou peut poser que la résistance au cisaillement en kPa est $C_u = 9,82CK(a_s - a_f)$, où C est une constante reliée à la dimension du croisillon (palette moyenne = 1), K , une constante de calibrage, a_s , la distance radiale maximum mesurée sur le disque (en cm) et a_f , la distance radiale de la friction mesurée sur le disque (en cm).

Les essais au scissomètre ont été effectués jusqu'à un maximum de 20 m. Nous avons réussi à obtenir un profil des valeurs de la résistance au cisaillement compris entre 44 m et 15 m d'altitude. L'analyse de ce profil est commenté dans le texte.

ESSAI AU PÉNÉTROMÈTRE STATIQUE GOUDSCHE

Le pénétromètre utilisé pour les travaux possède une capacité de 100 kN. L'essai consiste à enfoncer une pointe dans le sol, à l'aide d'un vérin hydraulique, à la vitesse constante de 2 cm/sec. La pointe est entraînée par un train de tiges d'une longueur de 1 m chacune.

La pointe, qui forme un angle de 60° et présente une surface de 10 cm^2 , est surmontée d'un manchon de 150 cm^2 qui permet de mesurer le frottement latéral (figure 1-7). En position 1, la pointe est enfoncée sur une longueur de 4 cm et la résistance en pointe est mesurée dans la position 2. De la position 2, la pointe, entraînant le manchon cette fois, est de nouveau enfoncée d'une longueur de 4 cm et le frottement latéral est mesuré en position 3.

Les résistances à la pointe et au manchon sont transmises à la surface par un train de tiges intérieures qui agissent, par l'entremise d'un système hydraulique, sur deux manomètres de lectures. Les mesures, faites à tous les 20 cm, sont traitées par mini-ordinateur pour la production de graphiques, dont l'interprétation permet de connaître avec assez de précision la stratigraphie du sol. Nous avons reproduit à la figure 1-8 l'abaque proposé par Schmertmann (1967) pour l'interprétation des mesures, en ajoutant quelques valeurs types rencontrées lors d'études antérieures du service de la Géotechnique (Maranda & Dion, 1979).

FORAGES ÉCHANTILLONNÉS

La foreuse utilisée, une Mobil B-50, comporte une tarière hélicoïdale creuse permettant la descente d'un échantillonneur de 7,6 cm de diamètre. Ce

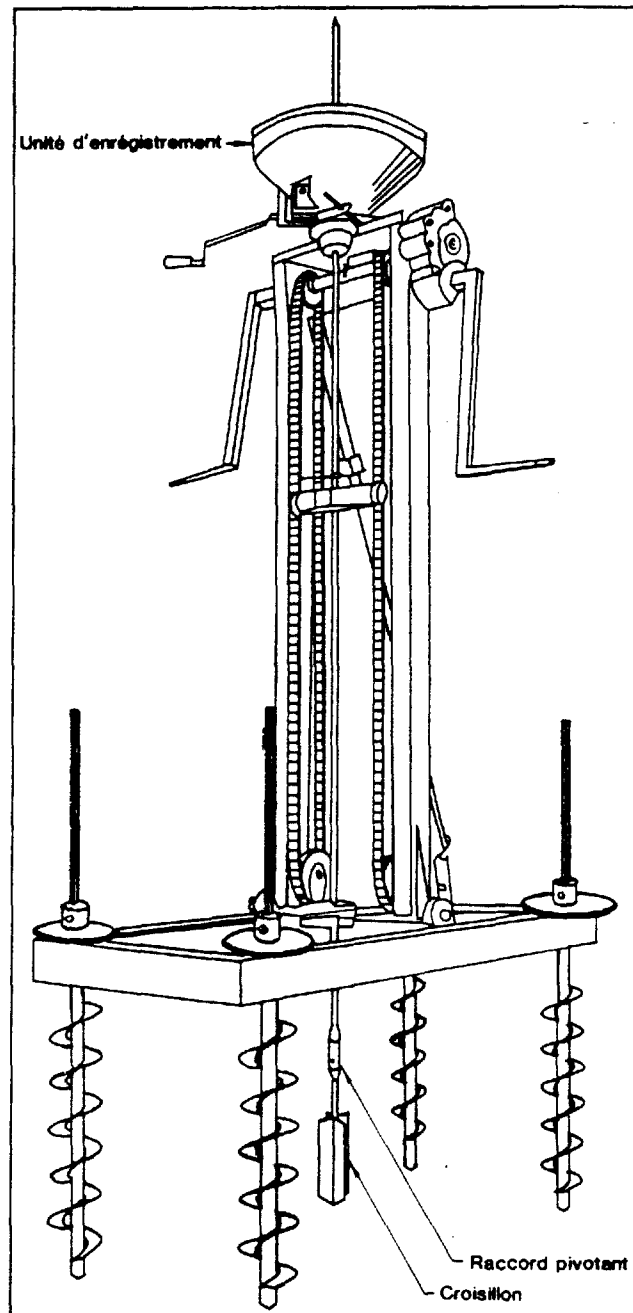


Figure 1-5: Illustration de l'appareil Nilcon.

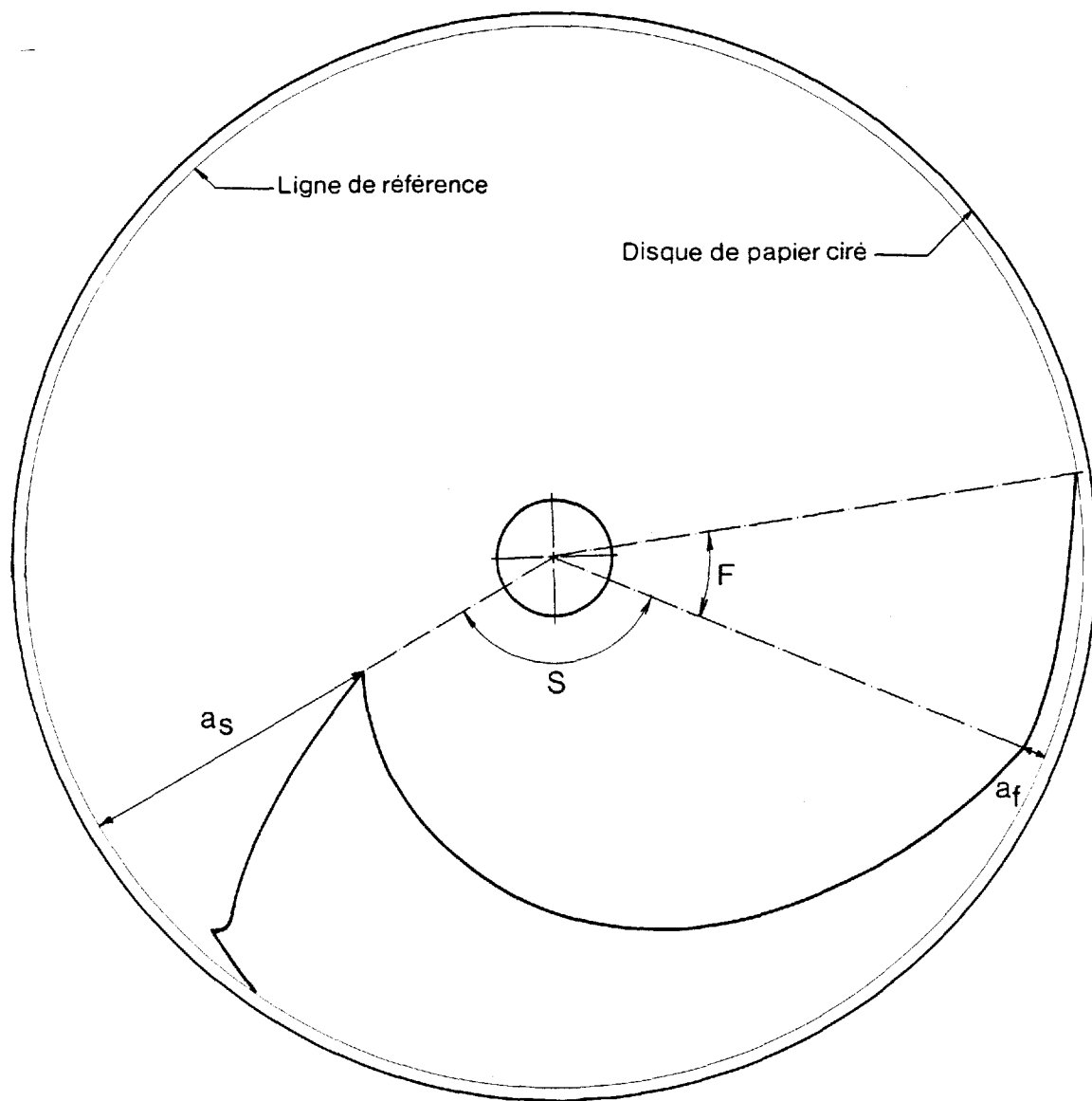


Figure 1-6: Enregistrement typique d'essai non-remanié.

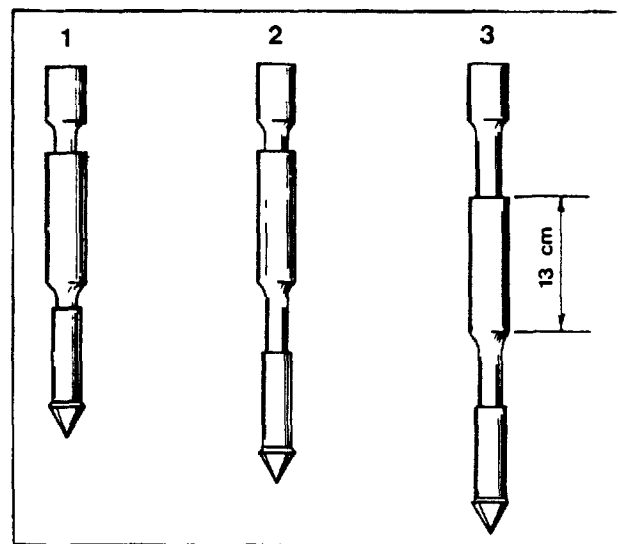


Figure 1-7: Position de la pointe lors des essais au pénétrromètre.

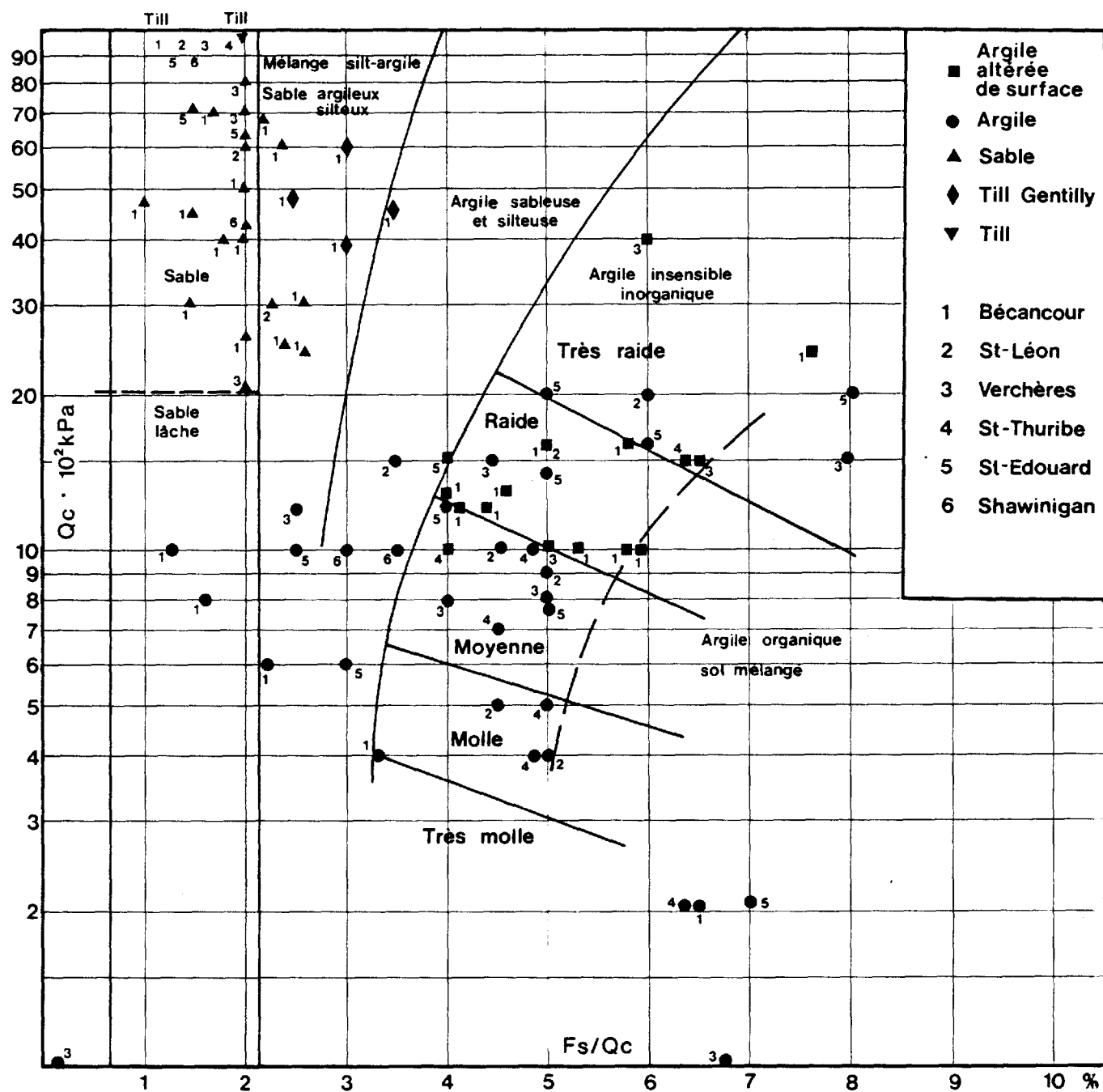


Figure 1-8: Relation Q_c VS F_s/Q_c obtenue pour des sites dans les Basses Terres du Saint-Laurent; d'après l'abaque de Schmertmann (1967). Selon une compilation de Moranda & Dion (1979).

type de foreuse permet de prélever des échantillons non remaniés et remaniés des diverses unités géologiques d'une région donnée. Les échantillons sont ensuite acheminés au laboratoire pour identification et photographies.

Les sols cohérents font systématiquement l'objet de mesures de la teneur en eau et de la résistance au cisaillement au cône suédois. Des mesures plus élaborées, comme celles des limites de liquidité et de plasticité, de la granulométrie par sédimentation, de la consolidation unidimensionnelle et de l'extraction d'eau (pour l'établissement de la salinité de l'eau interstitielle) sont effectuées sur des échantillons provenant d'élévations diverses afin d'obtenir une image aussi précise que possible de leurs caractéristiques physiques et mécaniques.

ANNEXE 2

POSITION DE LA FAILLE DE DELSON
SOUS LE COUVERT DES DÉPÔTS MEUBLES

Lors de la cartographie géotechnique, nous avons été à même de vérifier l'étendue des roches schisteuses en regard des autres formations géologiques. La limite généralement admise pour démarquer cette formation est la faille de Delson (Globensky, 1984 et Clark, 1972). La position de celle-ci est figurée sur un document de Globensky (1984) et présentée sur la carte C du DV 85-05. Dans le secteur de St-Philippe, la faille a été identifiée par Dion et Caron (1982) sous une couverture de 15 m de dépôts et se situe à quelques 250 m au sud de la position donnée par Globensky (1981). Le même genre de travaux (sismique réfraction) a pu être entrepris à proximité de l'exploitation de Ciment Canada Lafarge ltée (carte C) afin de positionner cette discontinuité sous les dépôts de surface, à l'est d'une série de forage (Globensky (1984).

La figure 2.1, à l'échelle 1:50 000, (pour le secteur de St-Philippe (Dion et Caron, 1982) et de Delson), la position de la faille selon notre interprétation et la nomenclature des différentes formations rocheuses. Les travaux de sismique réfraction ont consisté en deux tirs complets avec une longueur de recoupement de 30 m (ou de 7 géophones). Les dromochroniques et l'interprétation de l'essai sont montrés à la figure 2.2. L'analyse qui y est présentée est celle du calcul de la demi-vitesse vraie du réfracteur. Il suffit de mettre en graphique, à partir d'une ligne arbitraire de temps zéro, les différences des temps d'arrivée pour les réfractions provenant d'un même horizon et pour la région de chevauchement.

Cette façon rapide de procéder a permis de mettre en évidence, pour l'essai de la figure 2.2, deux réfracteurs à vitesse vraie de 3300 m/s (schistes argileux) et 5400 m/s (calcaires).

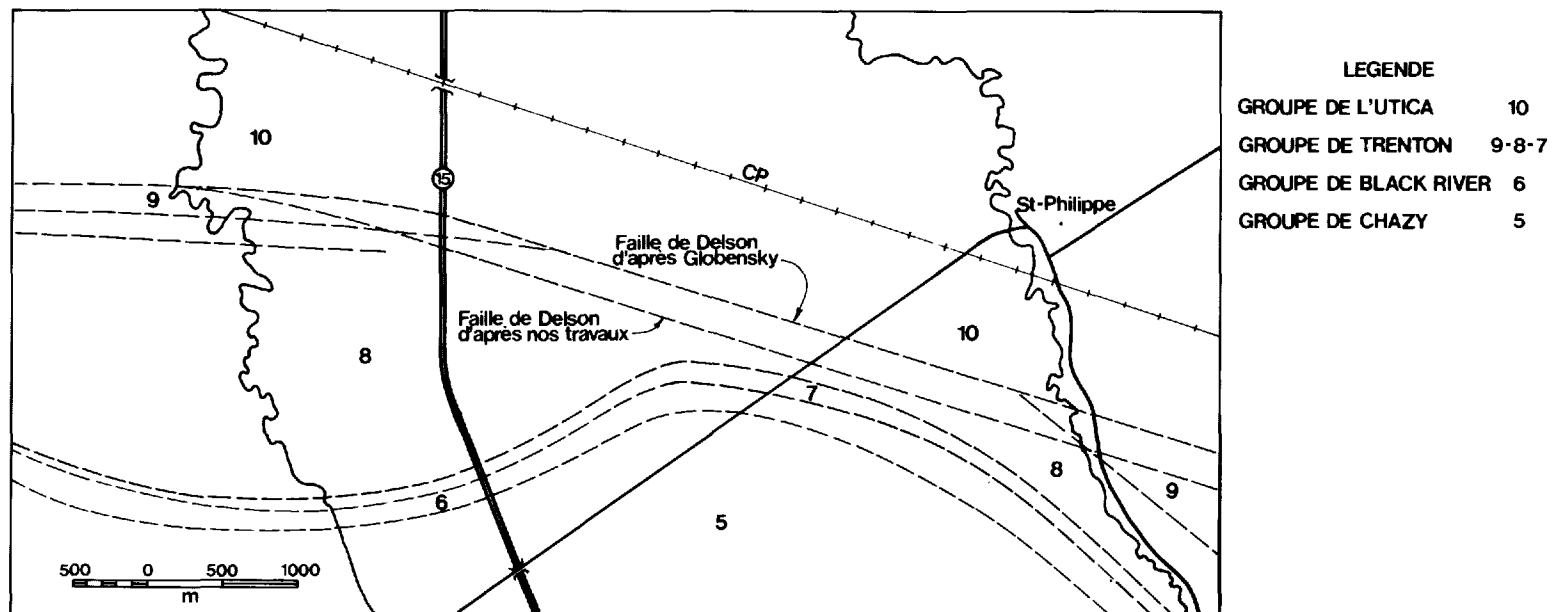


FIGURE 2-1 - Géologie des formations rocheuses dans le secteur de Delson - St-Philippe et position de la faille d'après les travaux géophysiques.

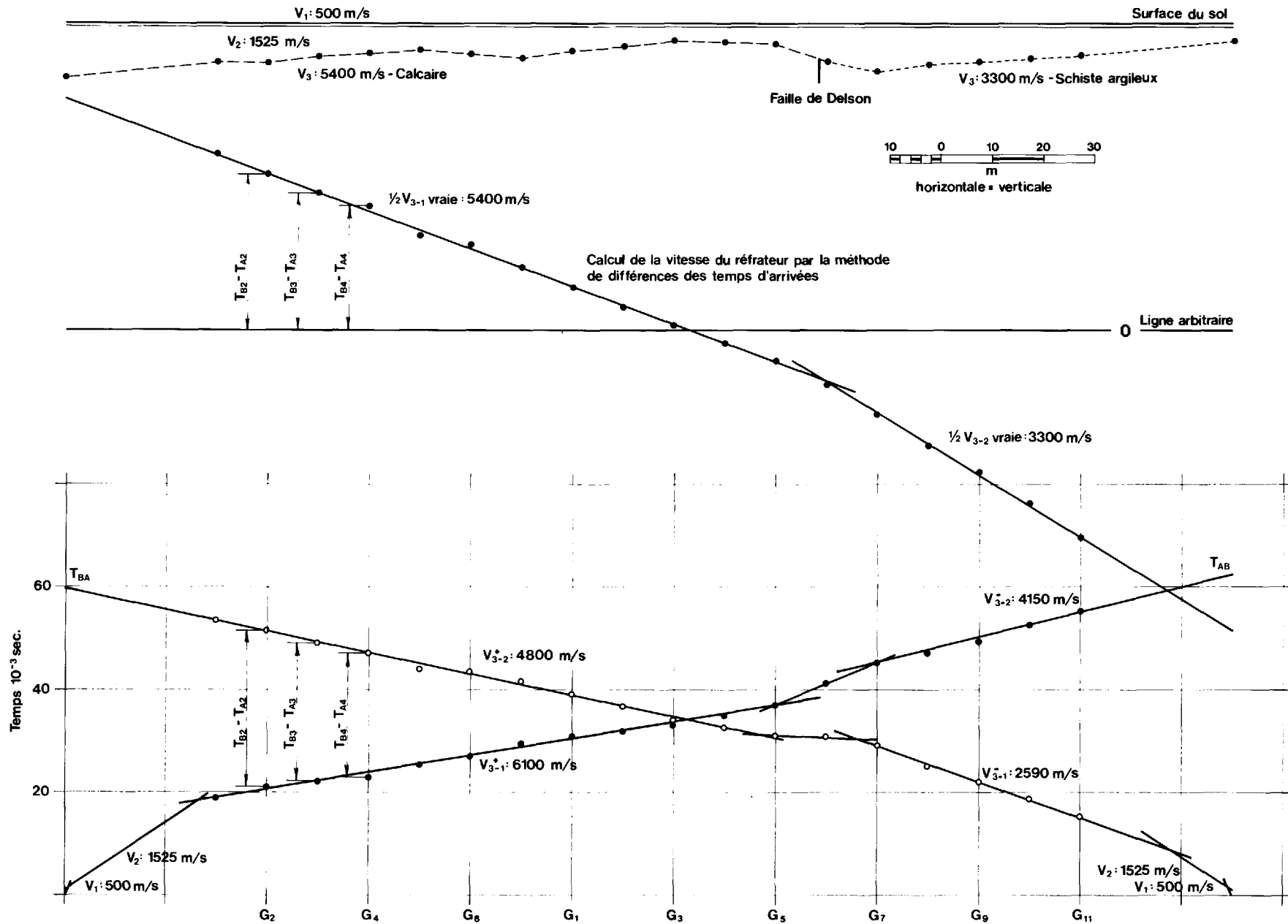


FIGURE 2.2 - Dromochroniques et interprétation de l'essai sismique sur le contact de faille.

**STRATIGRAPHIE ET CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES POUR LES FORAGES EFFECTUÉS
PAR LE SERVICE DE LA GÉOTECHNIQUE DANS LA RÉGION DE BEAUHARNOIS-CANDIAC**

NOTE: Les forages (figures 3-1 à 3-20) sont présentés dans leur ordre d'apparition sur la figure 19, i.e. d'ouest en est. Les symboles lithologiques utilisés sur les figures 3-1 à 3-20 sont les suivants:

GRAVIER (4.75mm)



SABLE (de 4.75 à 0.075mm)



SILT (de 0.075 à 0.002mm)



ARGILE (0.002mm)



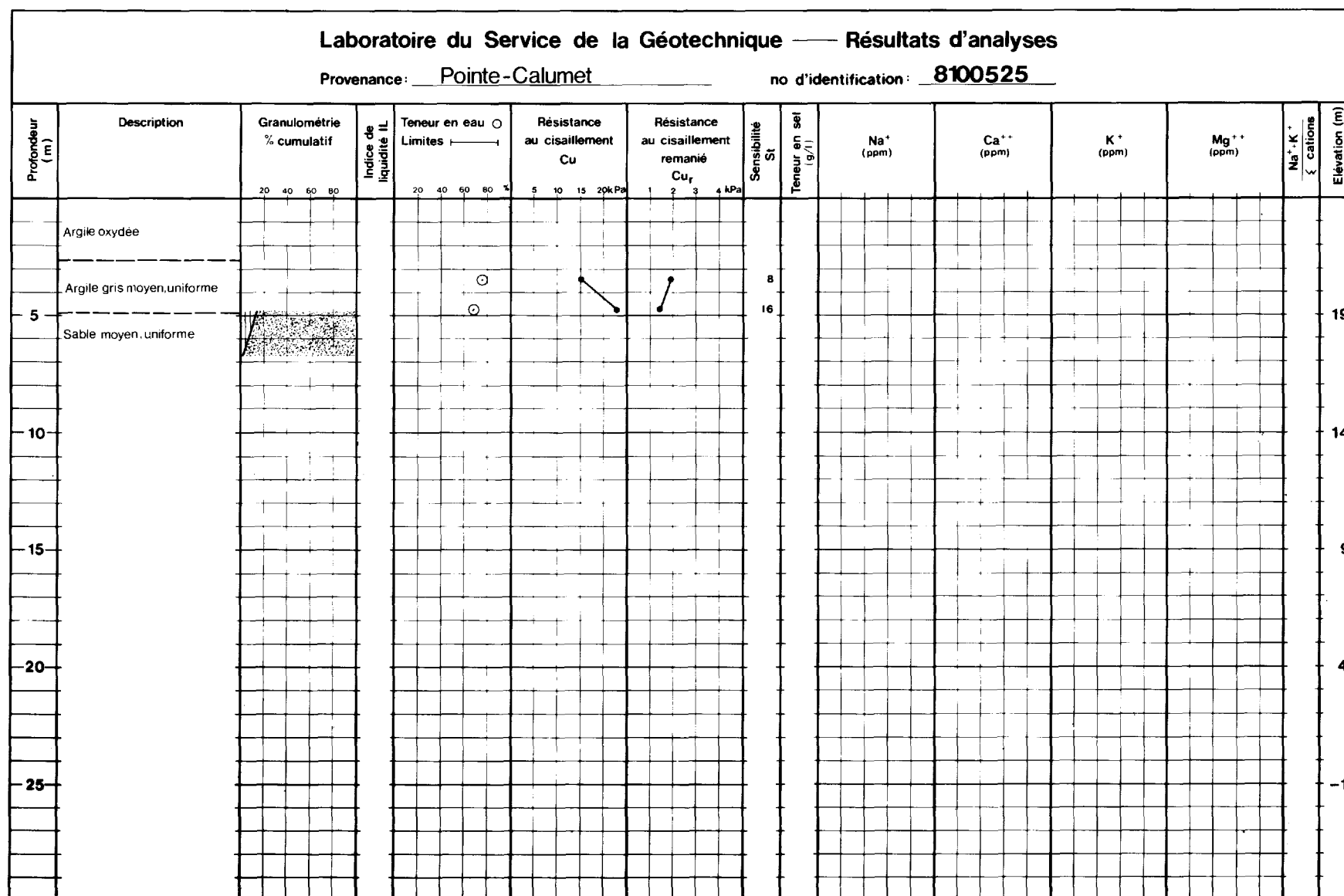


FIGURE 3.1 - Caractéristiques du forage 8100525 (Ponte-Calumet)

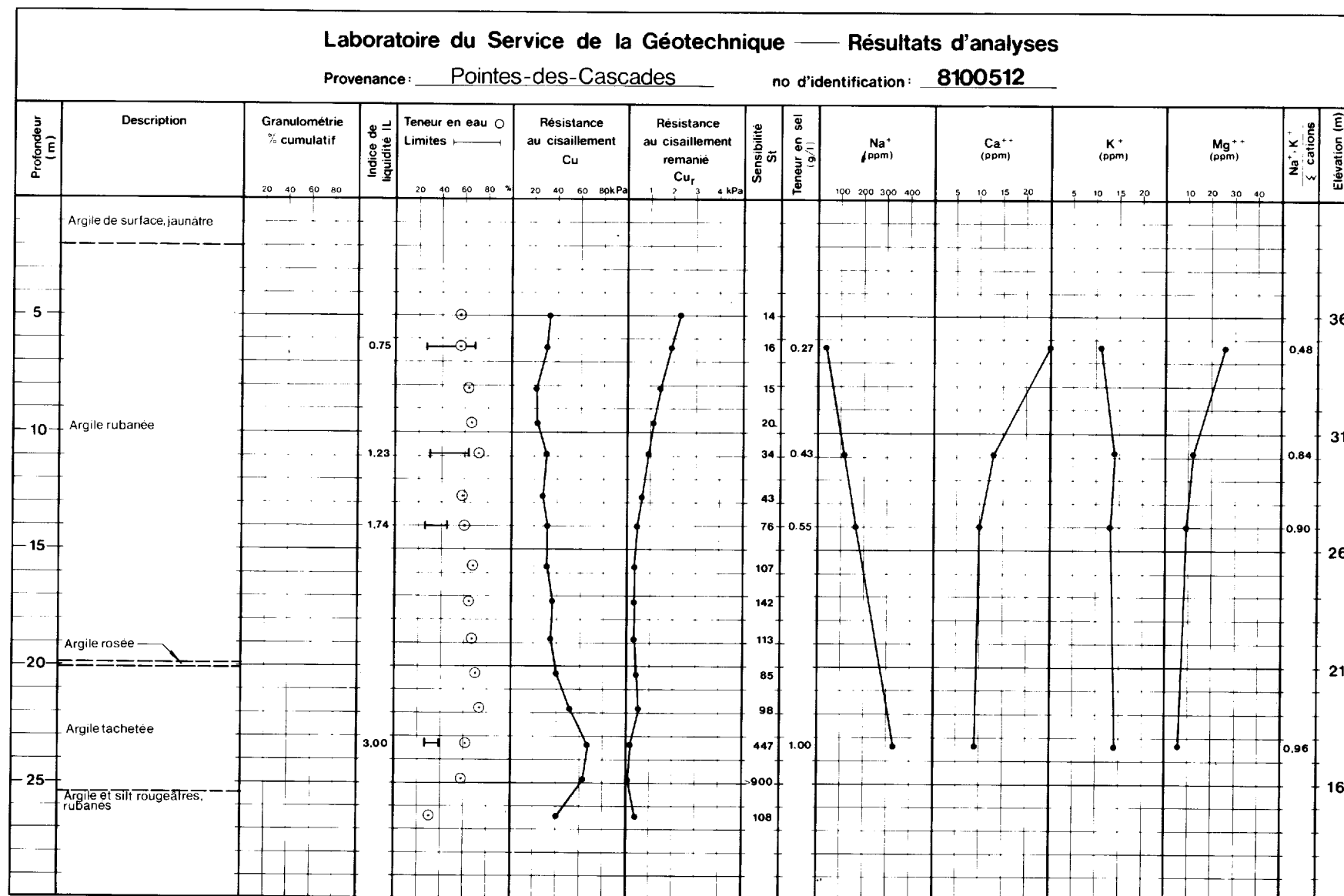


FIGURE 3.2 - Caractéristiques du forage 8100512 (Pointe-des-Cascades)

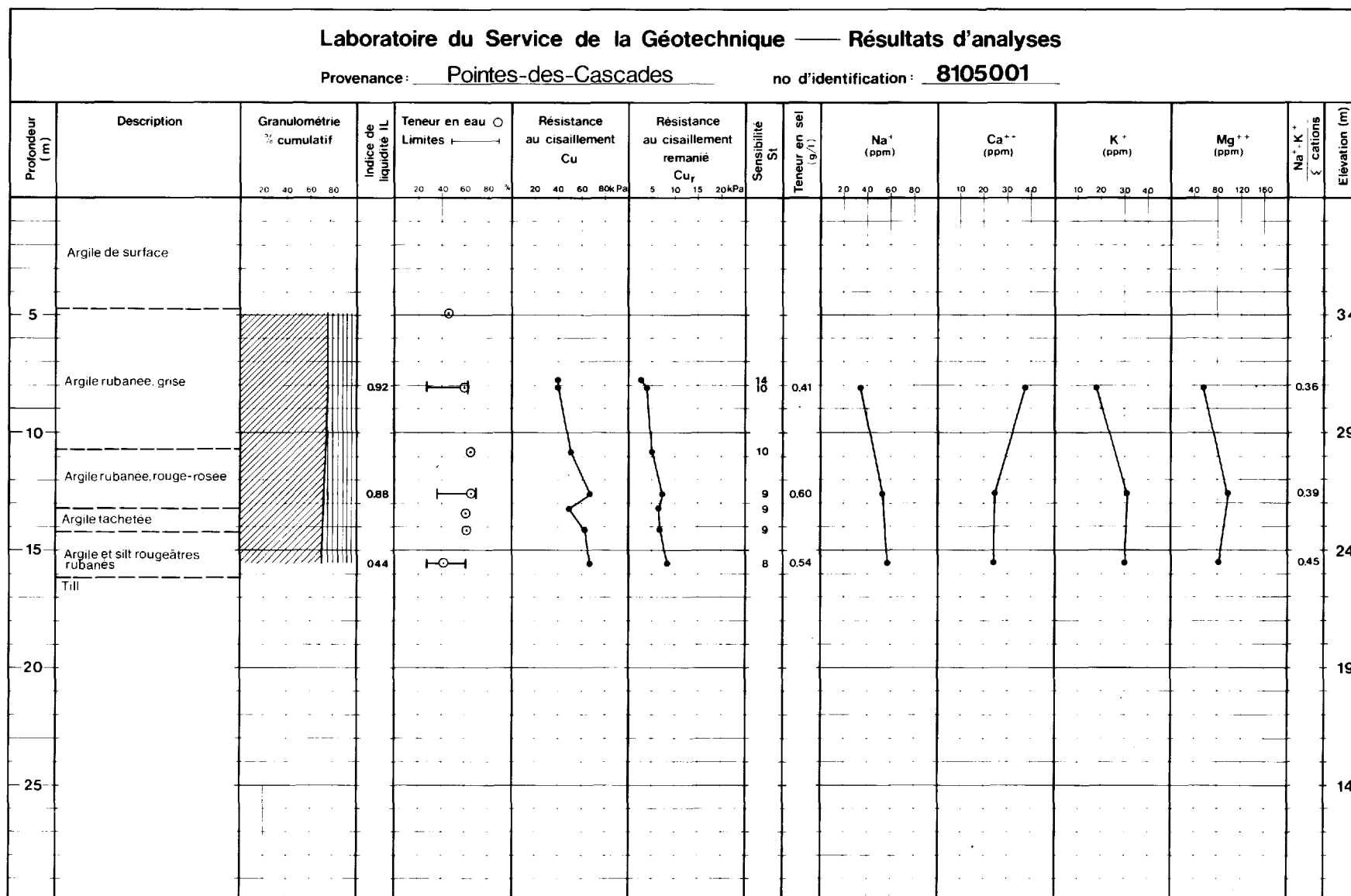


FIGURE 3.3 - Caractéristiques du forage 8105001 (Pointe-des-Cascades)

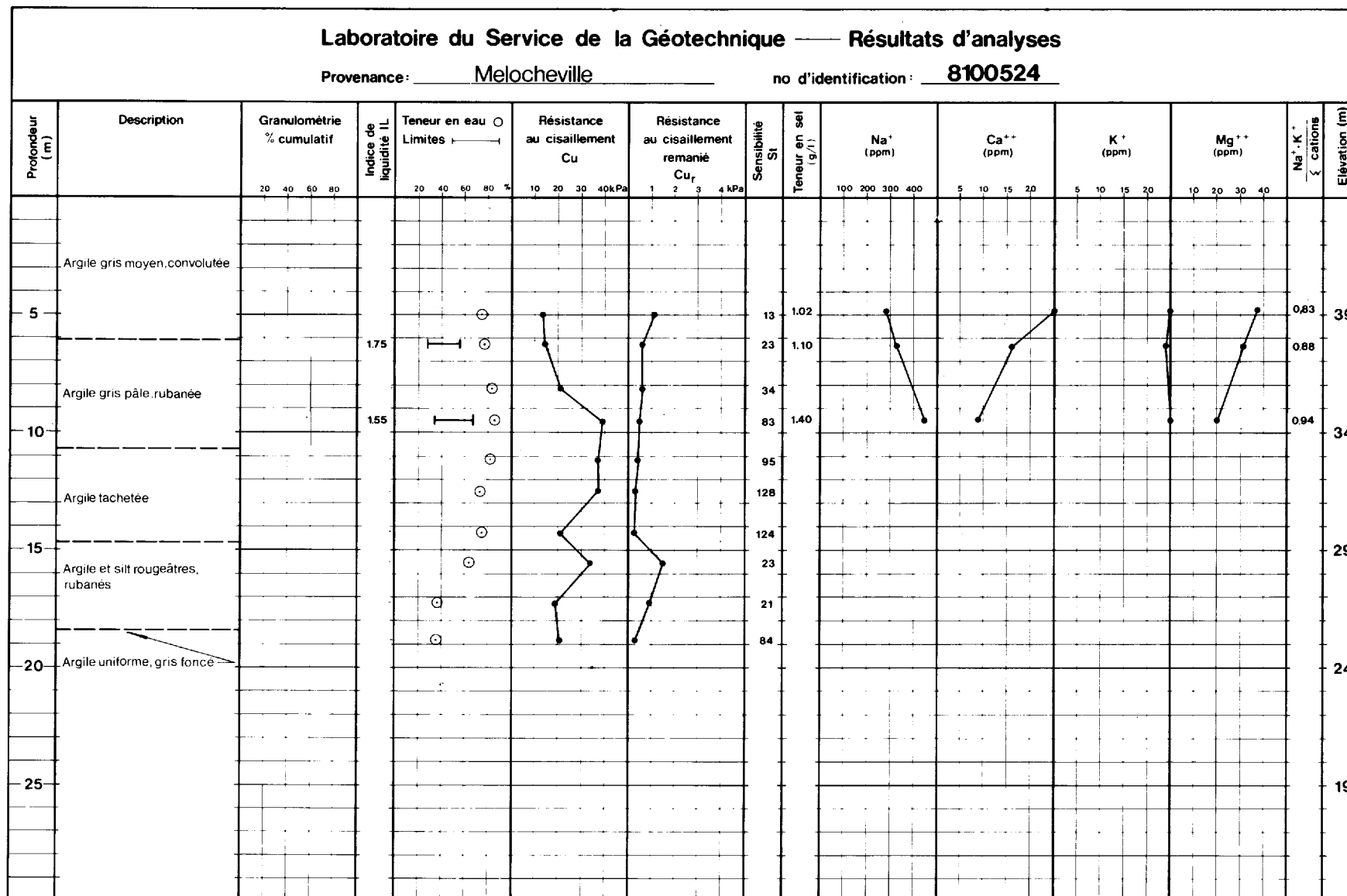


FIGURE 3.4 - Caractéristiques du forage 8100524 (Melocheville)

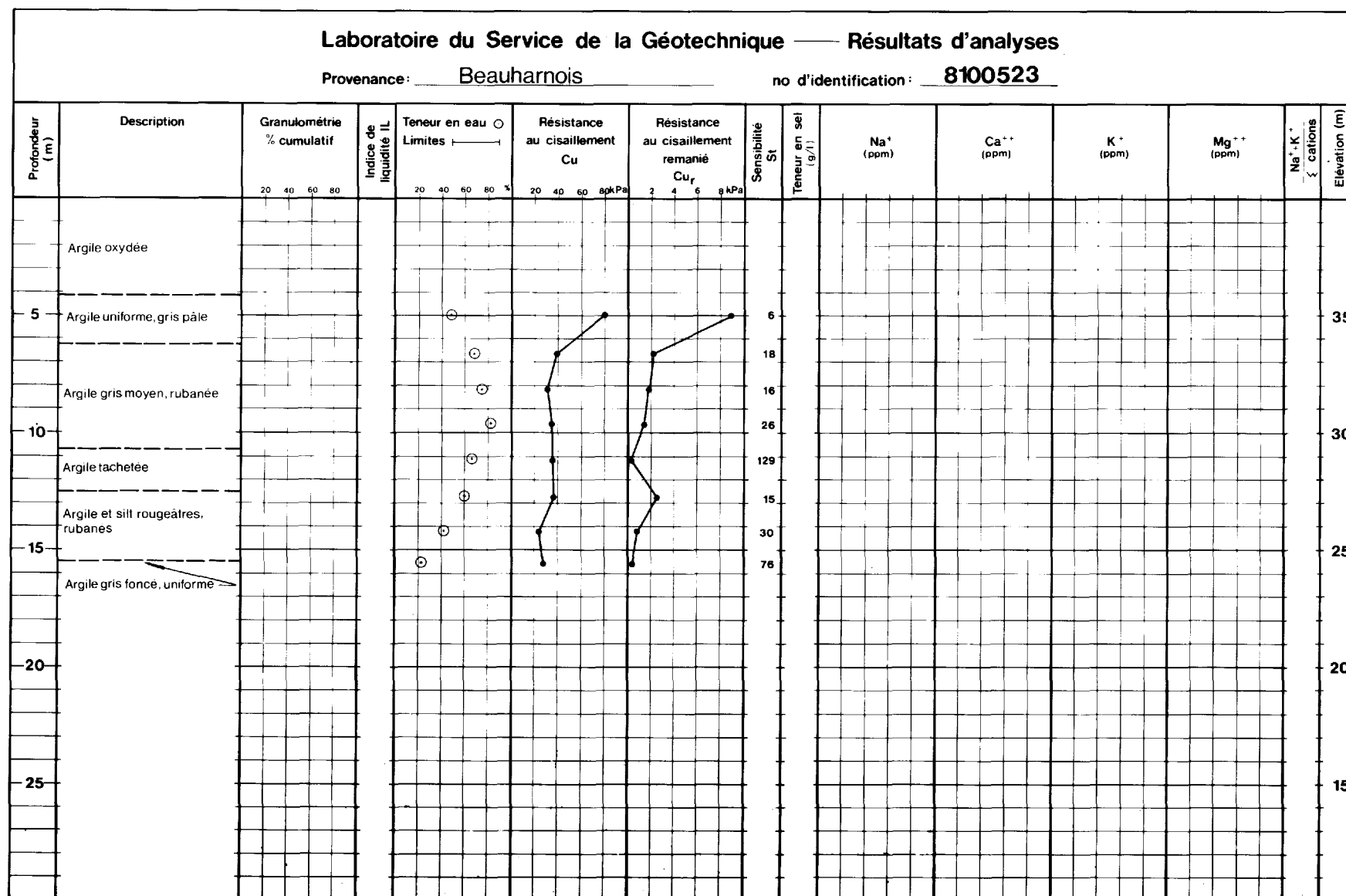


FIGURE 3.5 - Caractéristiques du forage 8100523 (Beauharnois)

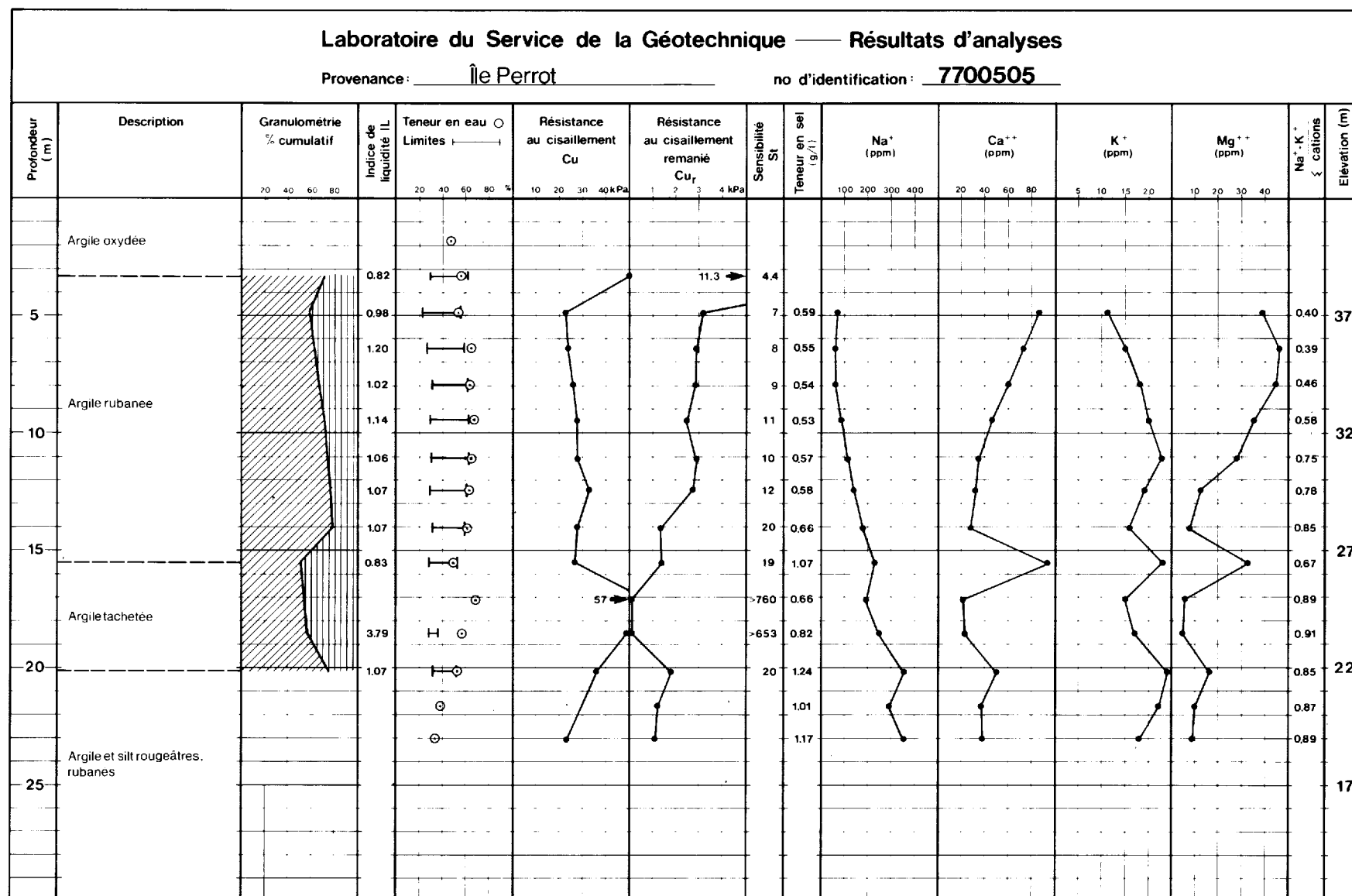


FIGURE 3.6 - Caractéristiques du forage 7700505 (Île Perrot)

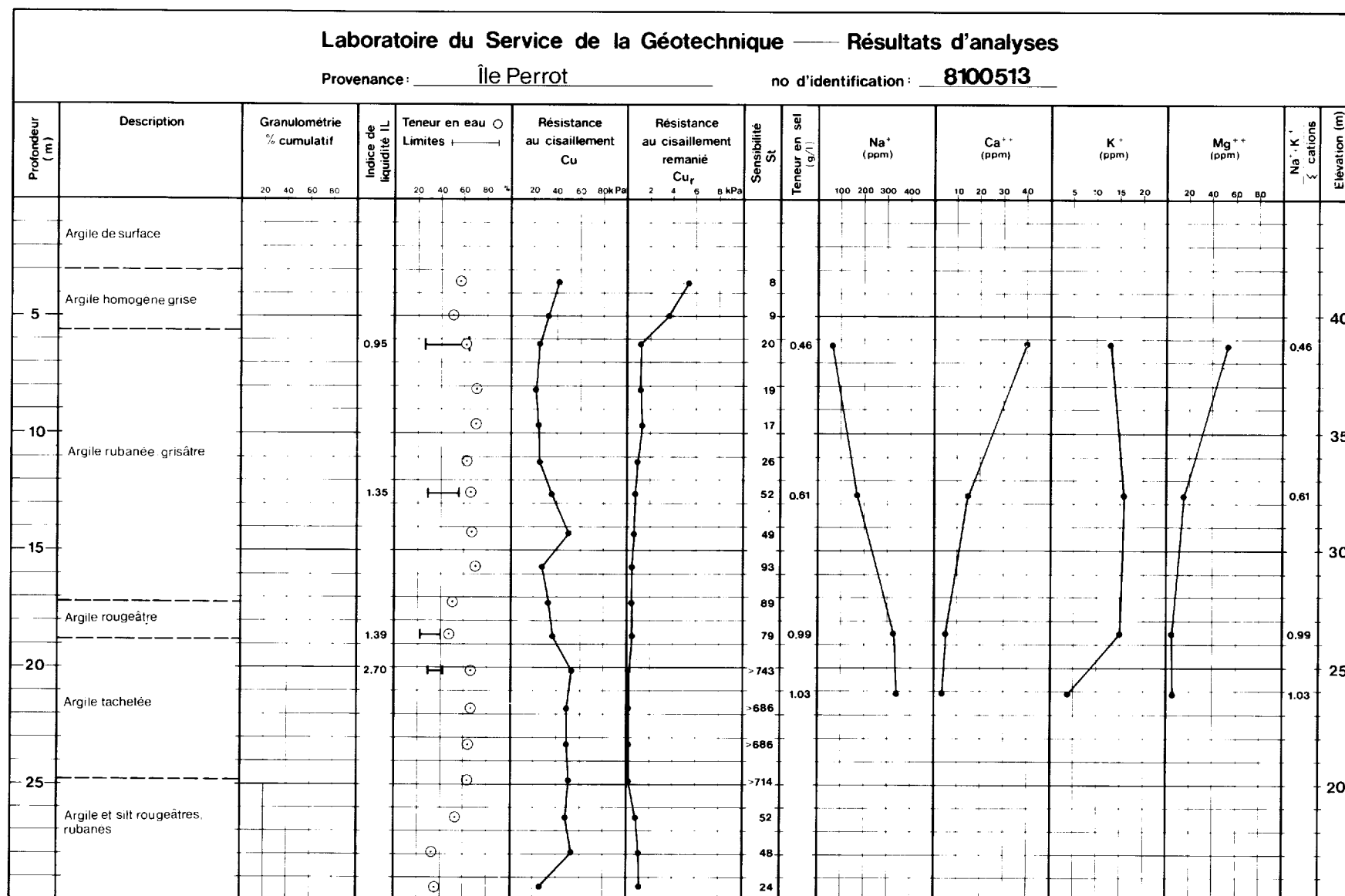


FIGURE 3.7 - Caractéristiques du forage 8100513 (Île Perrot)

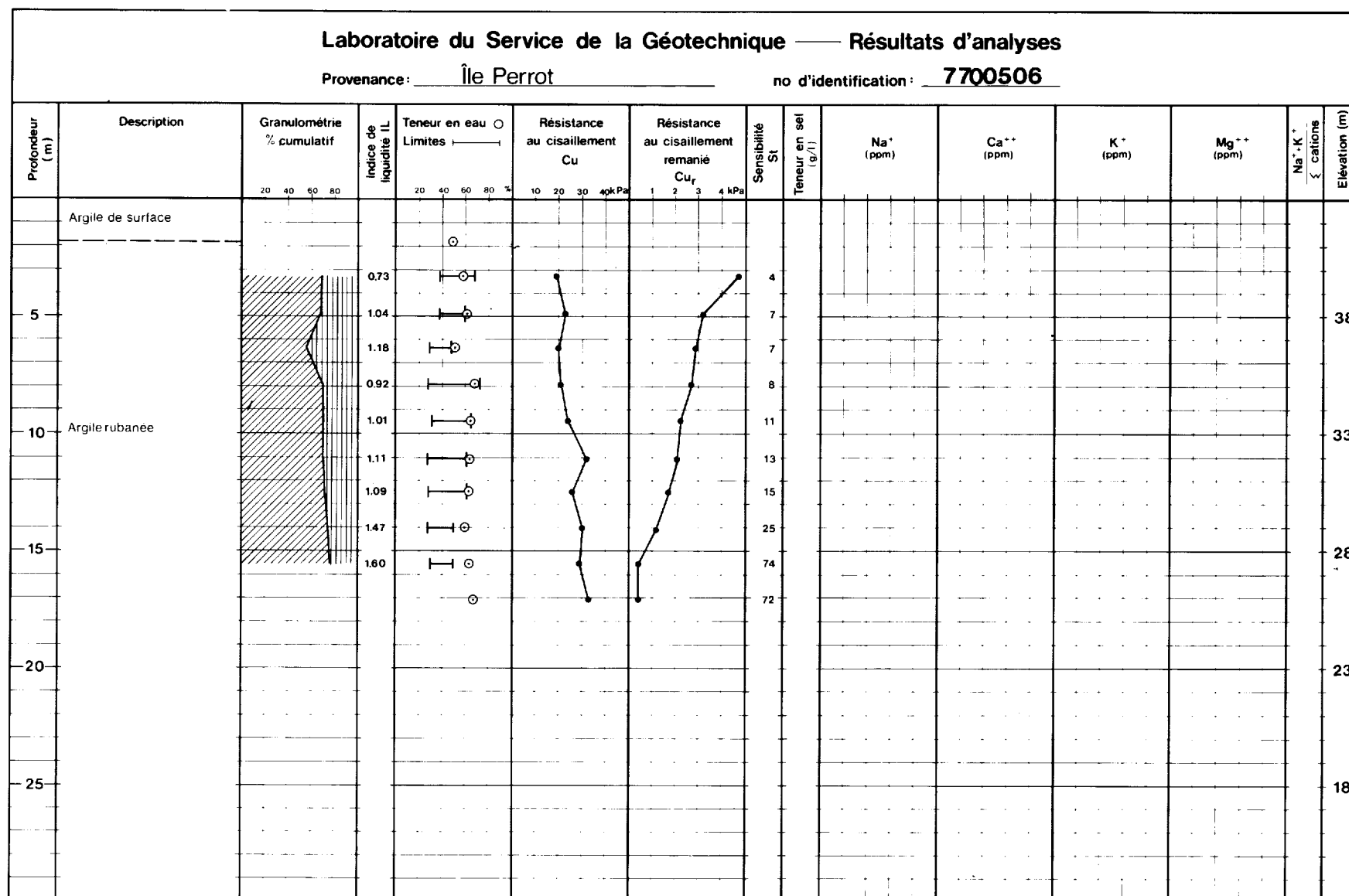


FIGURE 3.8 - Caractéristiques du forage 7700506 (Île Perrot)

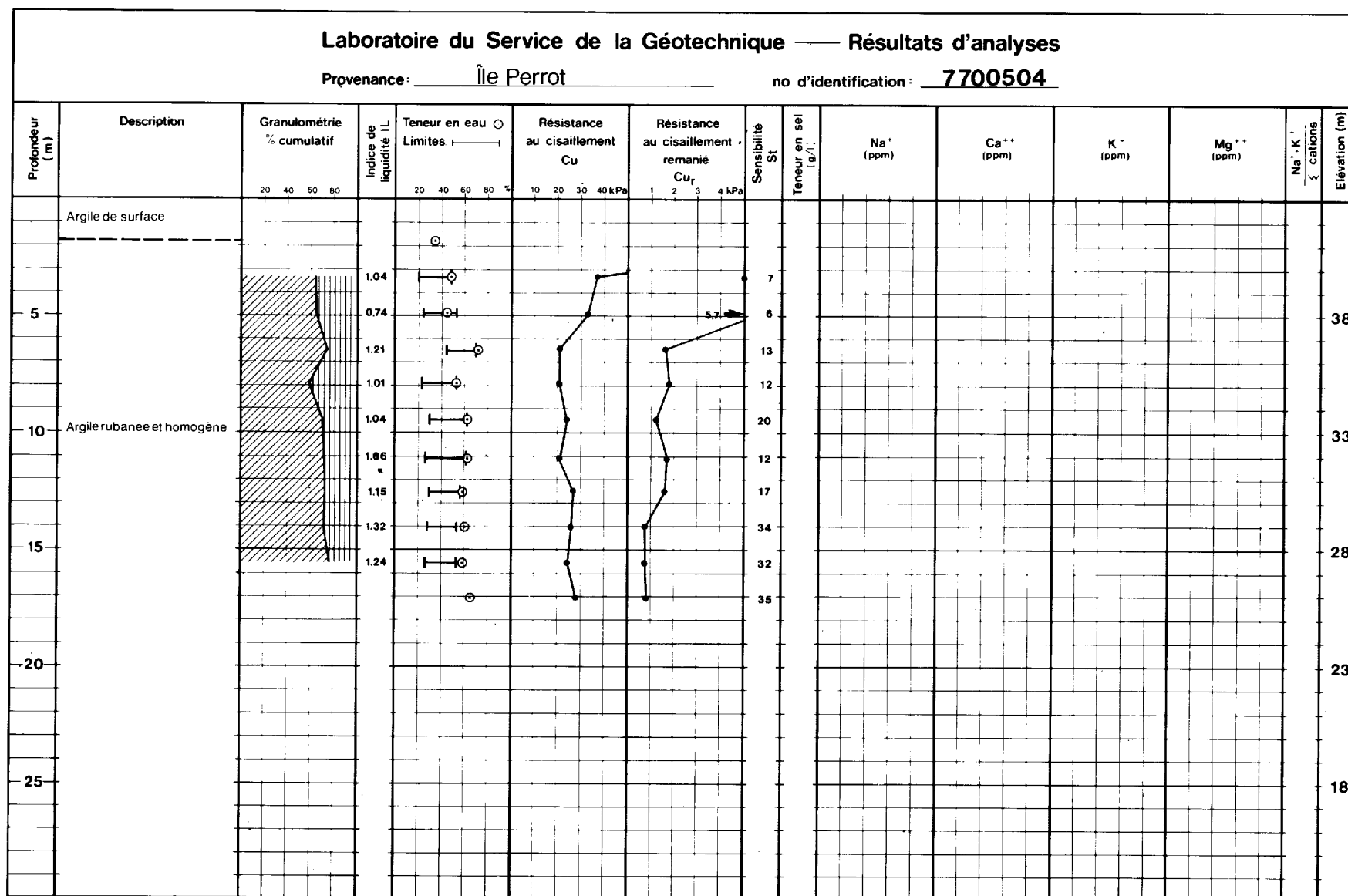


FIGURE 3.9 - Caractéristiques du forage 7700504 (Île Perrot)

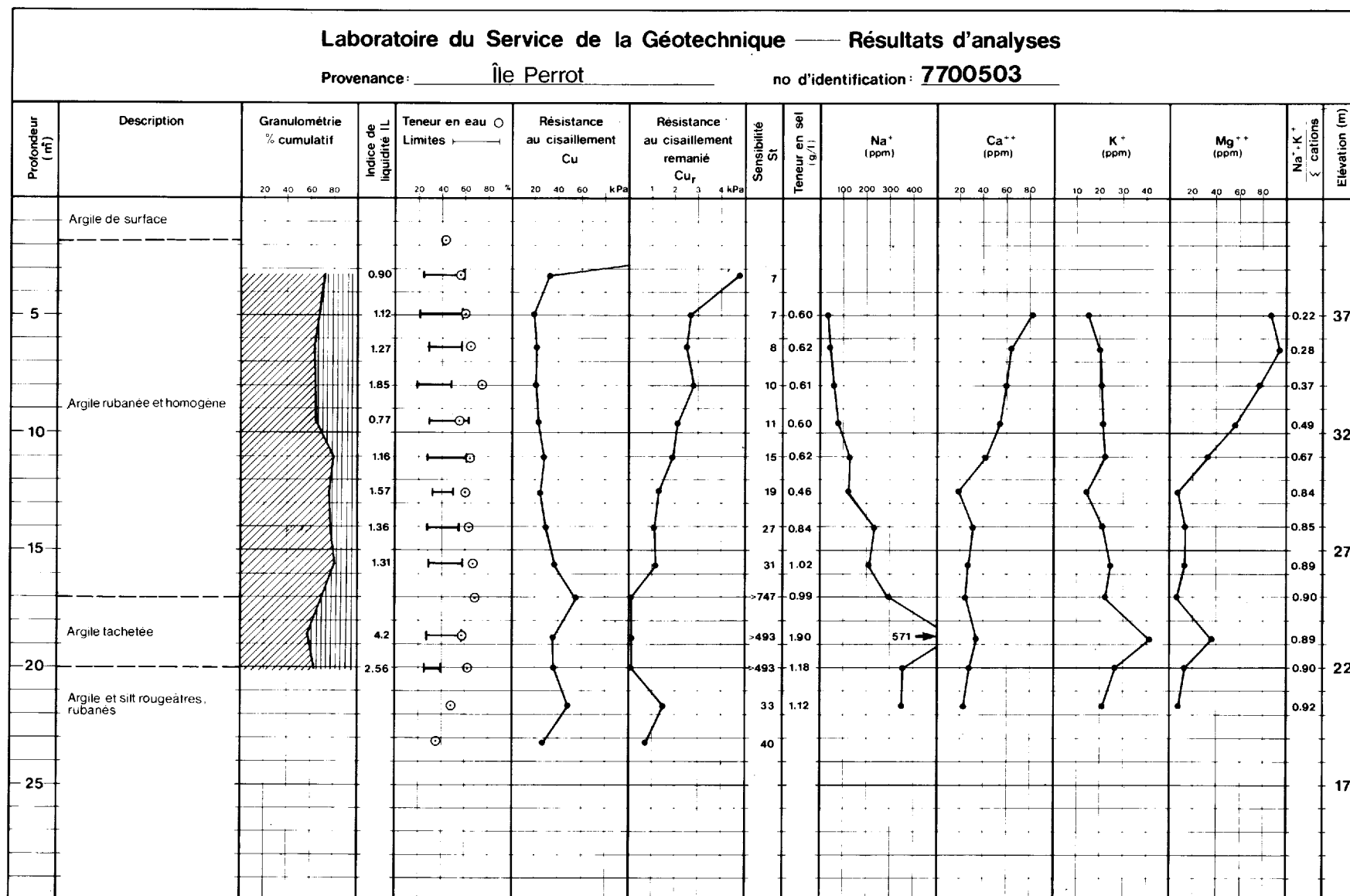


FIGURE 3.10 - Caractéristiques du forage 7700503 (Île Perrot)

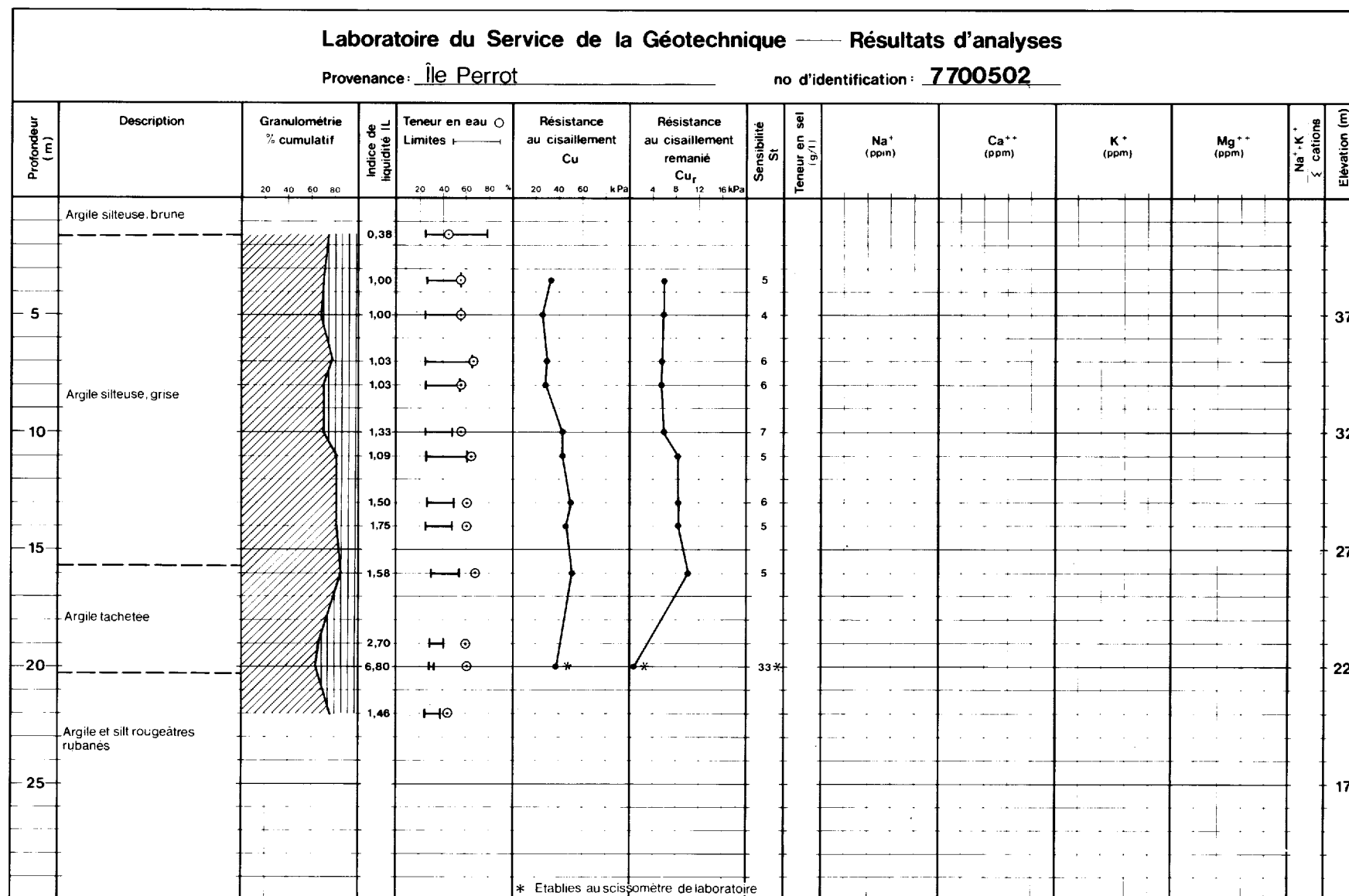


FIGURE 3.11 - Caractéristiques du forage 7700502 (Ile Perrot)

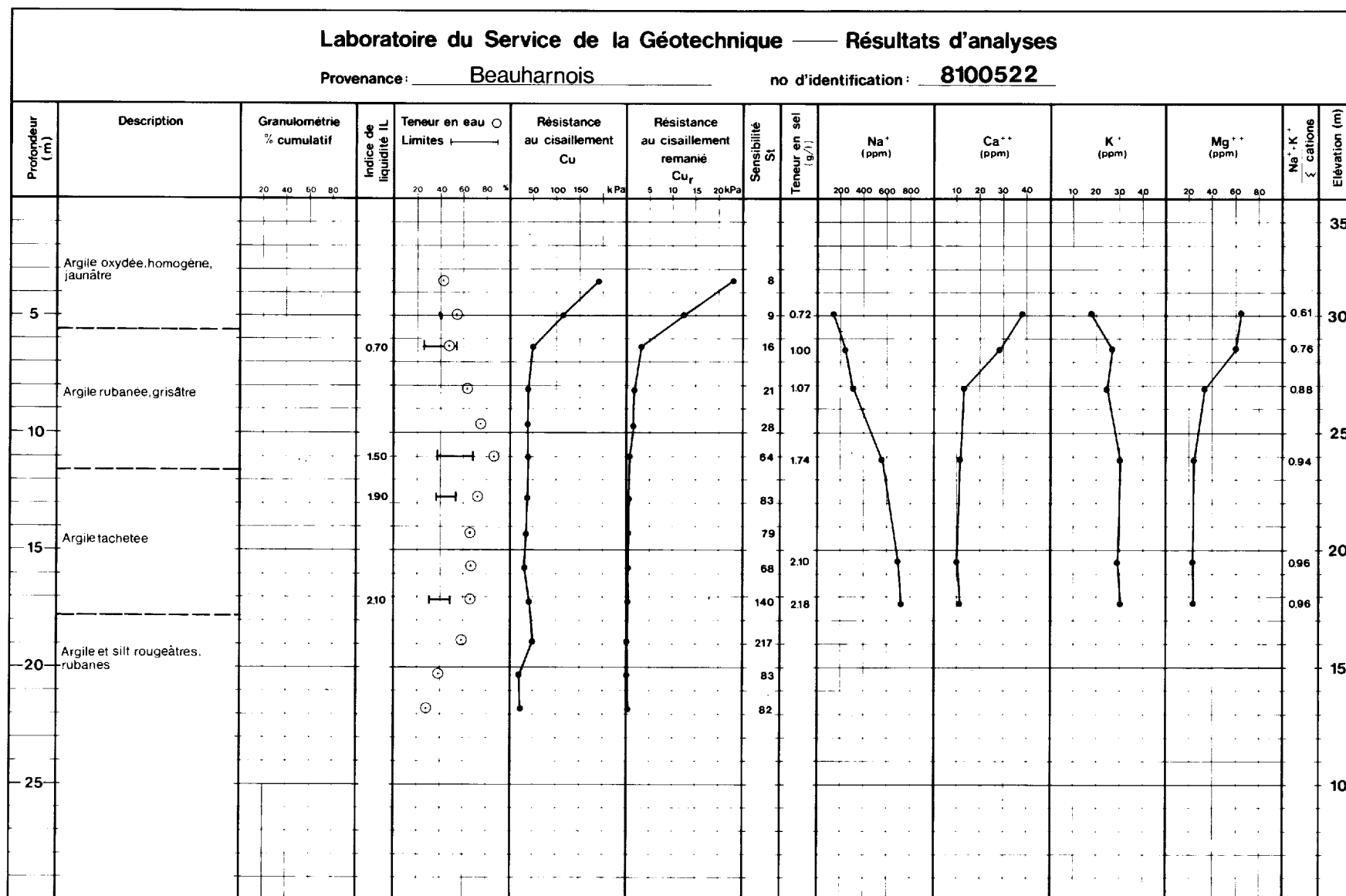


FIGURE 3.12 - Caractéristiques du forage 8100522 Beauharnois)

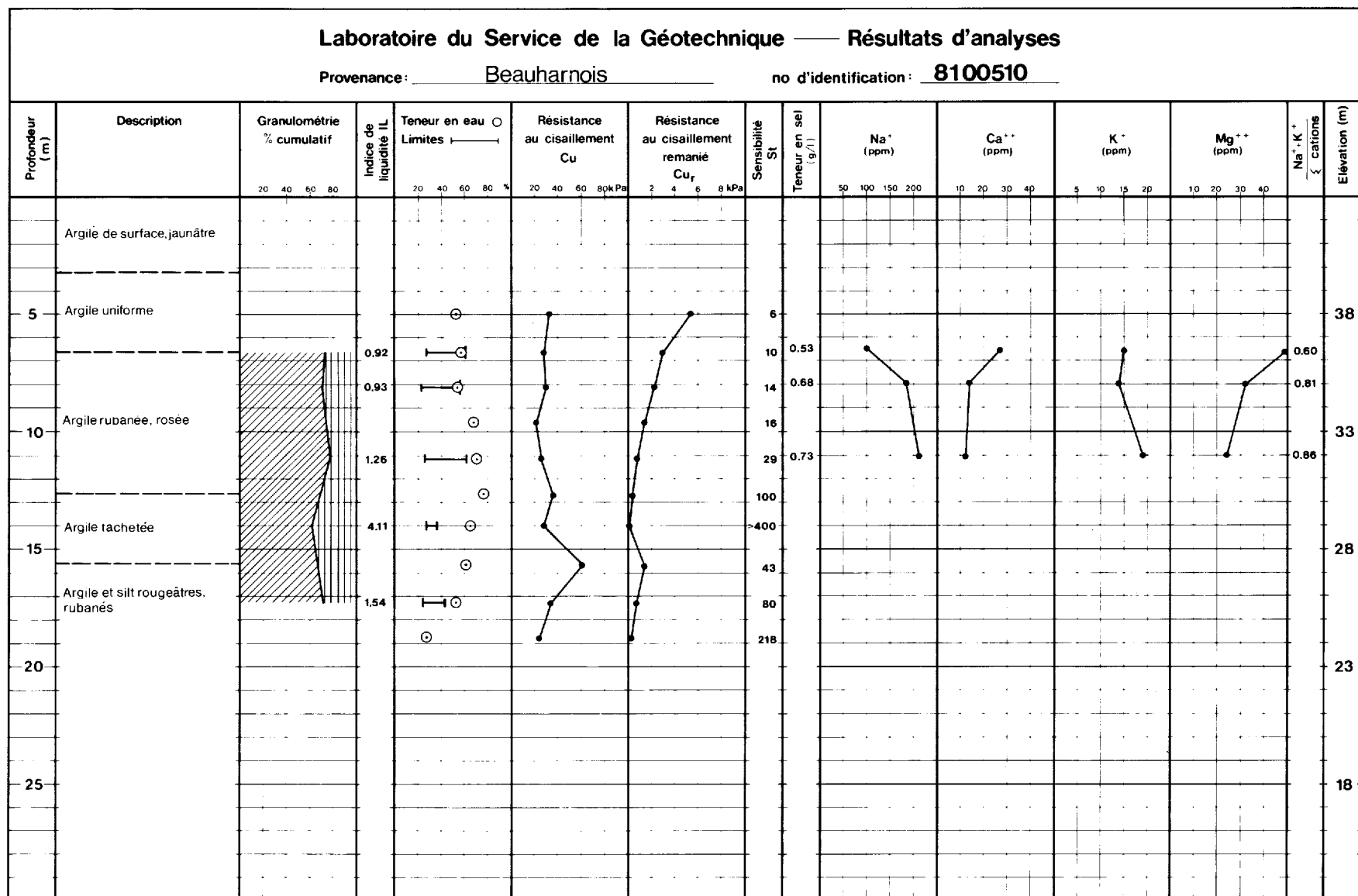


FIGURE 3.13 - Caractéristiques du forage 8100510 (Beauharnois)

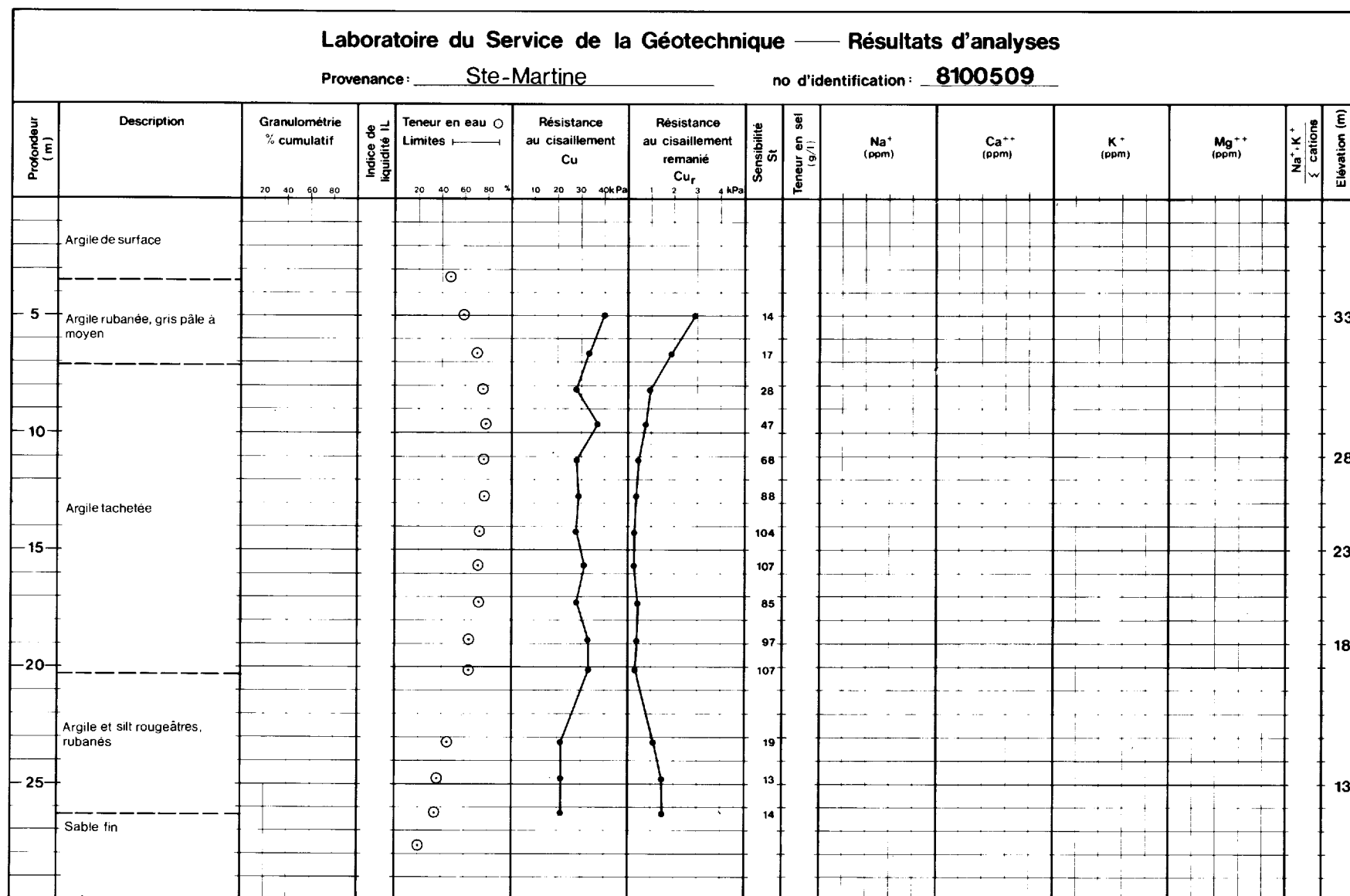


FIGURE 3.14 - Caractéristiques du forage 8100509 (Sainte-Martine)

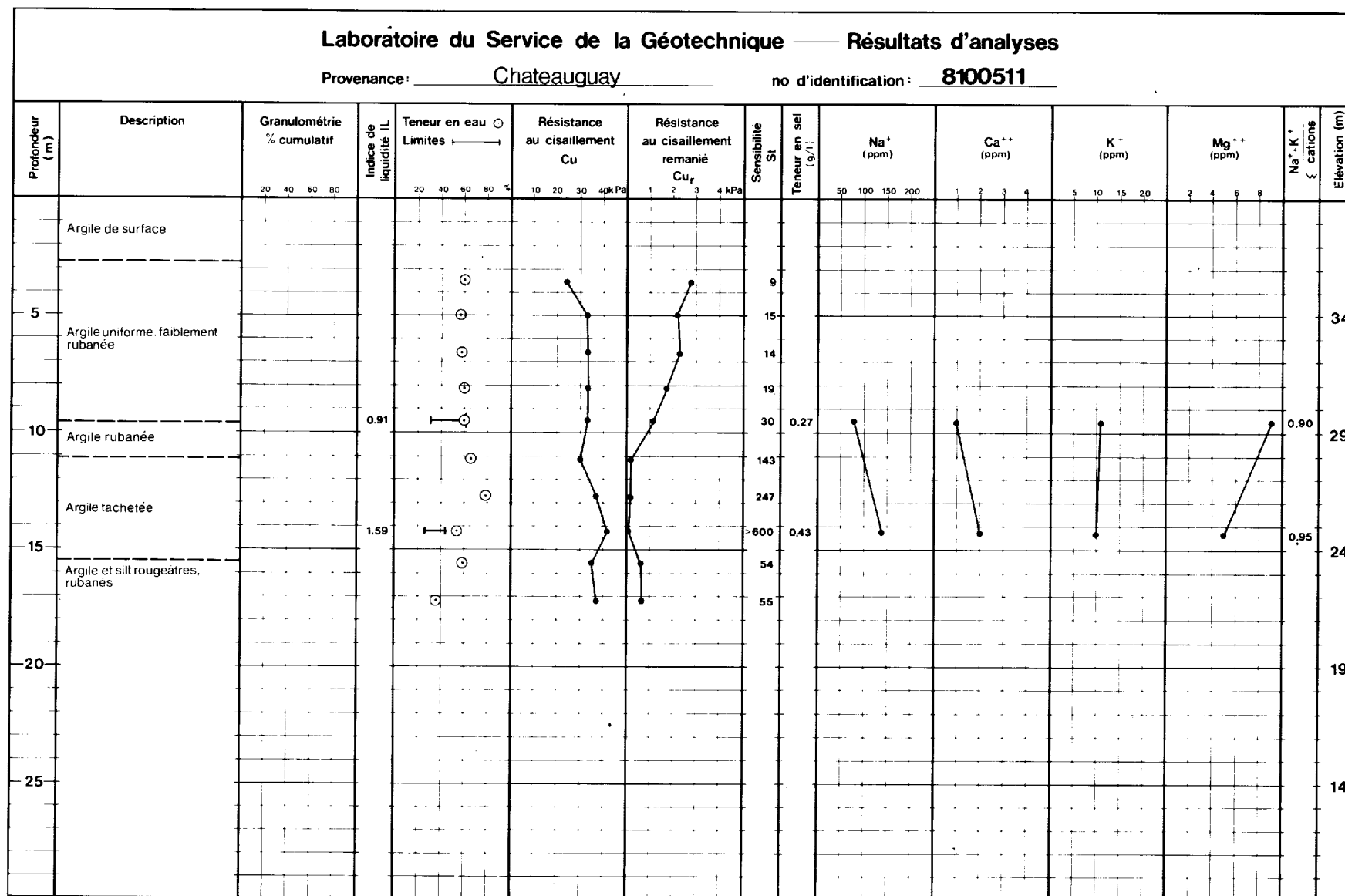


FIGURE 3.15 - Caractéristiques du forage 8100511 (Chateauguay)

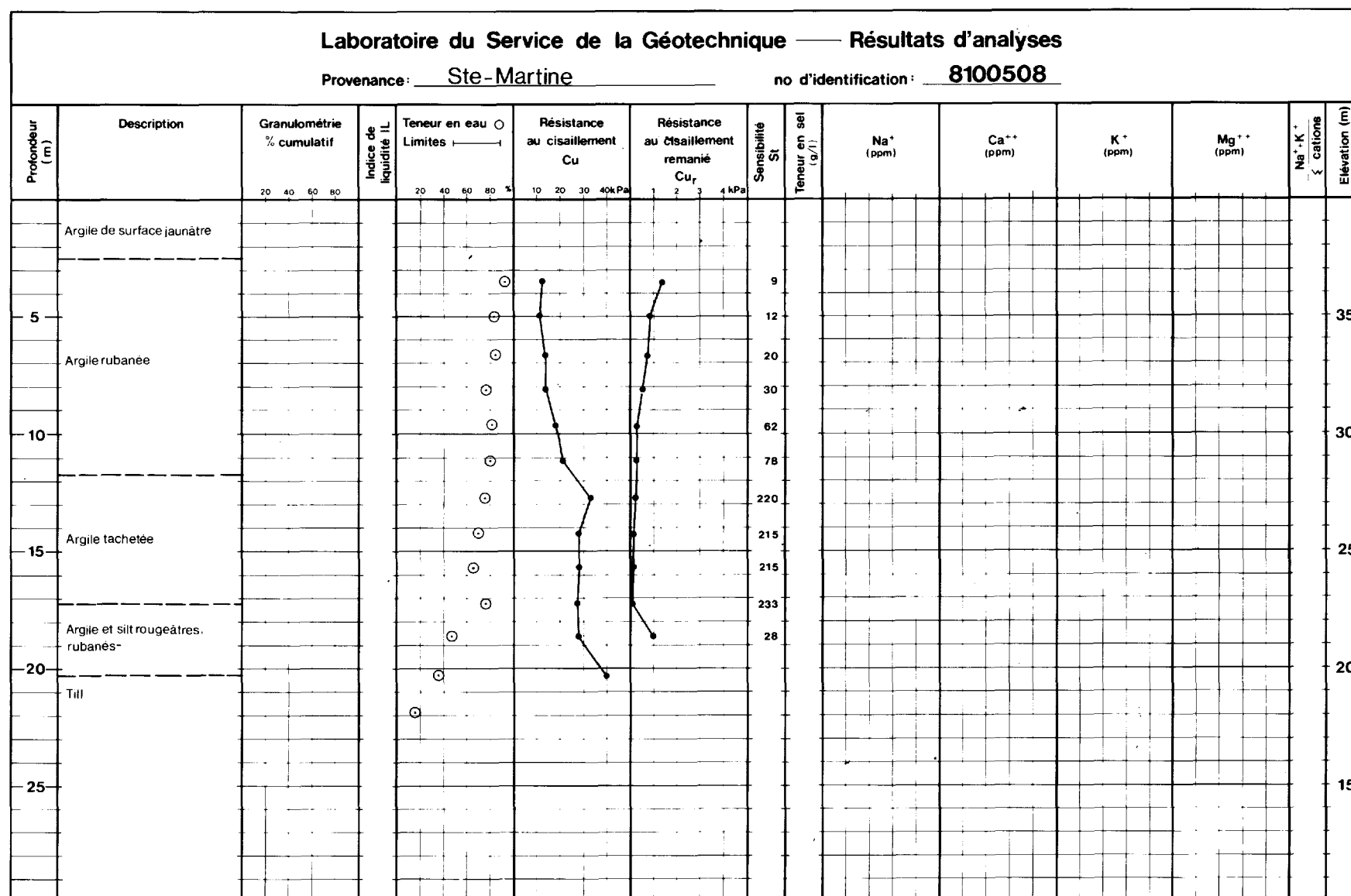


FIGURE 3.16 - Caractéristiques du forage 8100508 Sainte-Martine)

Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses

Provenance: St-Isidore

no d'identification: 8100507

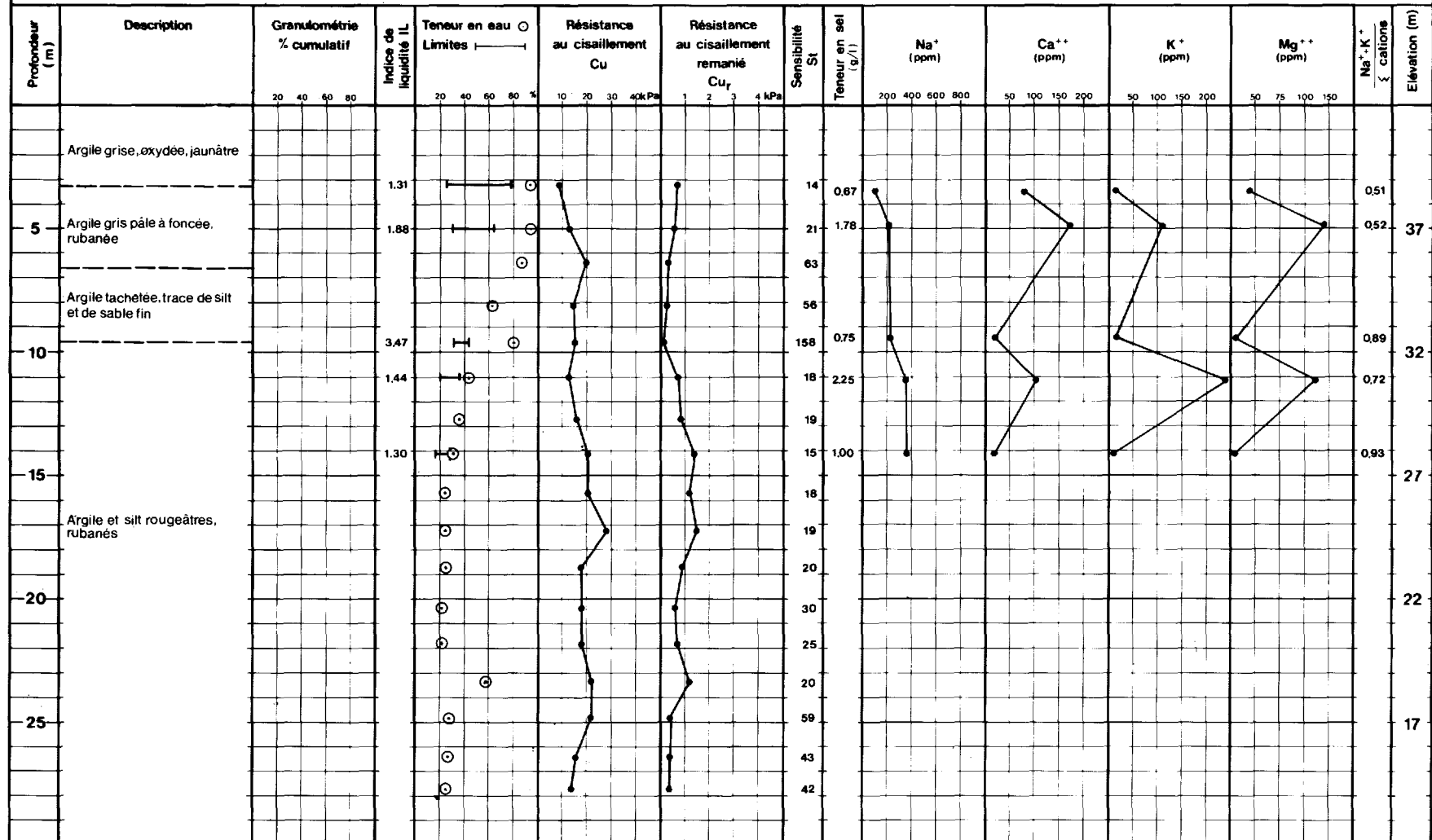


FIGURE 3.17 - Caractéristiques du forage 8100507 (Saint-Isidore)

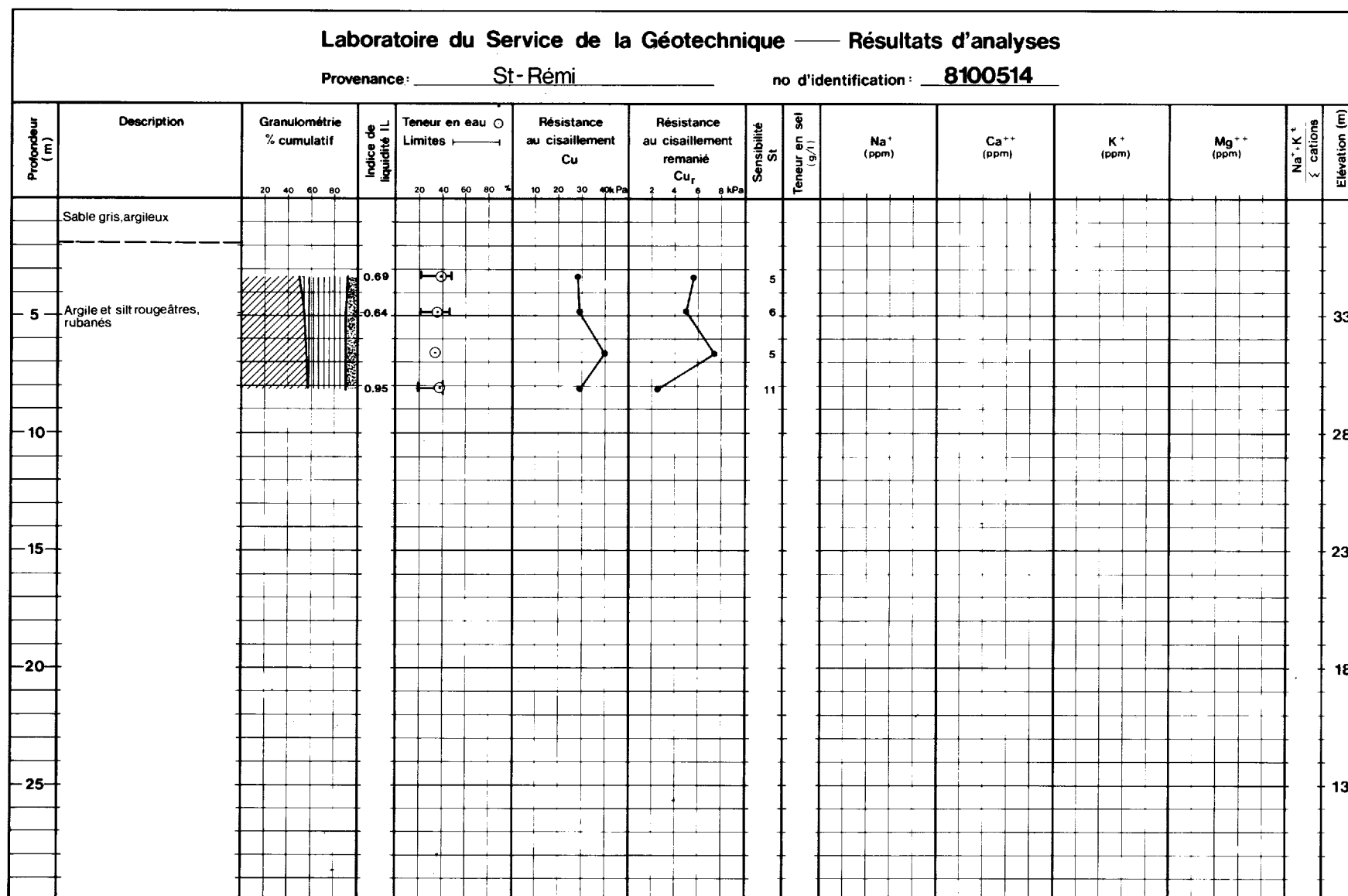


FIGURE 3.18 - Caractéristiques du forage 8100514 (Saint-Rémi)

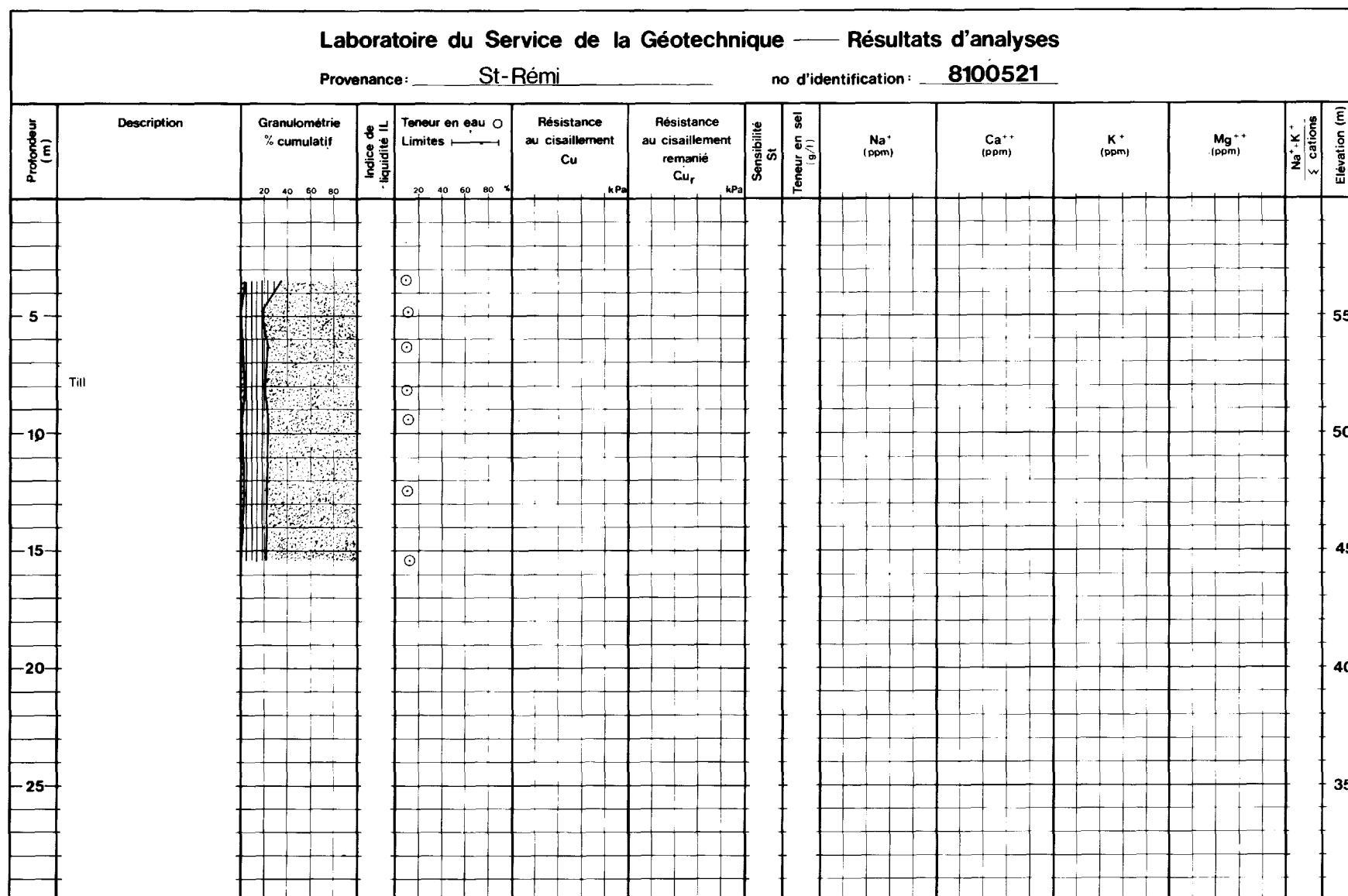


FIGURE 3.19 - Caractéristiques du forage 8100521 (Saint-Rémi)

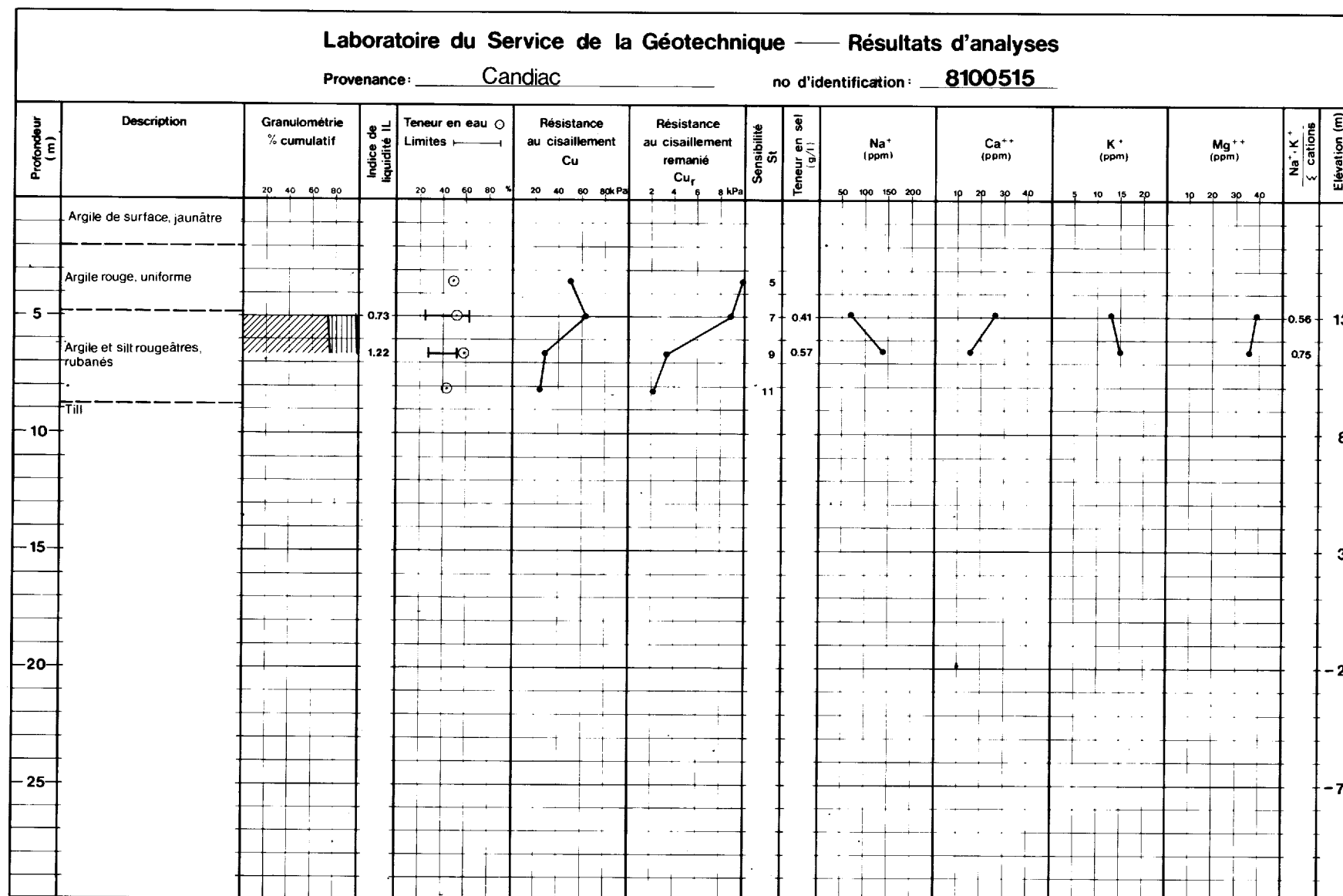


FIGURE 3.20 - Caractéristiques du forage 8100515 (Candiac)

ANNEXE 4

LISTE DES EXPLOITATIONS (carrières et gravières)

No et Localisation		X	Y	Lithologie	Remarques
1	Pointe des Cascades	581800	5020250	Roc et till	Probablement abandonnée
2	Melocheville	583250	5018100	Carrière	Active
3	"	584200	5018000	Carrière	
4	"	583000	5017400	Till	Abandonnée
5	Maple Grove	590900	5018750	Sable de surface	"
6	"	591800	5019400	"	"
7	"	592400	519850	"	"
8	"	593000	5020600	Carrière	"
9	Caughnawaga	602700	5028500	"	"
10	"	601300	5026100	"	"
11	"	606700	5024800	Till	
12	Candiac	617000	5027500	Carrière	Shales de l'Utica
13	Delson	615000	5024500	"	Abandonnée Shales de l'Utica
14	St-Constant	614200	5022200	Carrière	Active Calcaire Trenton
15	St-Isidore-Jonction	606600	6021600	Carrière	Active
16	Mercier-St-Isidore	601000	5018700	Sablière-gravière	Active
17	"	600750	5018000	"	Active
18	"	600500	5017000	"	"
19	"	599600	5016200	"	Abandonnée
20	"	599300	5015600	"	Active
21	"	599300	5015000	"	Abandonnée
22	"	599100	5014600	"	Active
23	"	599050	5014300	"	Abandonnée
24	"	598750	5013800	"	"
25	"	598700	5013250	"	"
26	St-Mathieu	614700	5014400	Gravière	Abandonnée
27	"	615300	5014400	Sablière-gravière	Active
28	St-Rémi	616600	5011550	Sablière-gravière	Abandonnée
29	"	610750	5012850	"	"

ANALYSE DE STABILITÉ DU SECTEUR DE NOTRE-DAME-DE-L'ILE-PERROT*

INTRODUCTION

Cette annexe a pour objectif de déterminer le degré de stabilité des talus non protégés, dans le secteur de Notre-Dame-de-l'Ile-Perrot, et ce, à partir des données recueillies lors de la campagne de terrain de 1977. Elle s'intègre au programme de cartographie géotechnique de la région de Beauharnois-Candiac. Les profils de six sections topographiques ont été retenus pour fins d'analyse de stabilité.

TRAVAUX DE TERRAIN

Les travaux de terrain effectués au cours de l'été et de l'automne 1977, se résument à:

- 5 forages échantillonnés;
- 9 sondages pénétrométriques;
- 8 sondages scissométriques;
- 9 piézomètres de type ouvert, à pierre poreuse, installés dans les forages

Le tableau 5A résume les principales caractéristiques géotechniques de l'argile. Ce tableau fait ressortir la présence d'un horizon d'argile extrêmement liquéfiable vers 17 mètres de profondeur. L'indice de plasticité (I) passe de 30% à 13% (environ), l'indice de liquidité (I_L) a des valeurs supérieures à 2 et la résistance au cisaillement remanié est plus faible que 0,07 kPa (voir figure 5-1).

TABLEAU 5A - Résumé des propriétés de l'argile aux sites d'étude

Forage	Prof. (m)	w%	I %	I_L	%silt/% 2 m	Cu (kPa)	St
7700502	0-17	60	34	1,2-1,6	25/75	30-50	6
	17+	50	11	2,0+	35/65		30+
7700503	0-17	70	29	0,8-2,0	25/75	30-50	7-30
	17+	60	12	2,0+	50/50		100+
7700504	0-17	60	29	0,8-1,4	30/70	20-50	7-30
	17+						
7700505	0-17	65	31	1,0	30/70	20-30	0-30
	17+	50	14	2,0+	50/50	50	100+
7700506	0-17	60	29	0,9-1,6	30/70	20-40	5-50
	17+						

* Analyse faite par Jacques Levasseur.

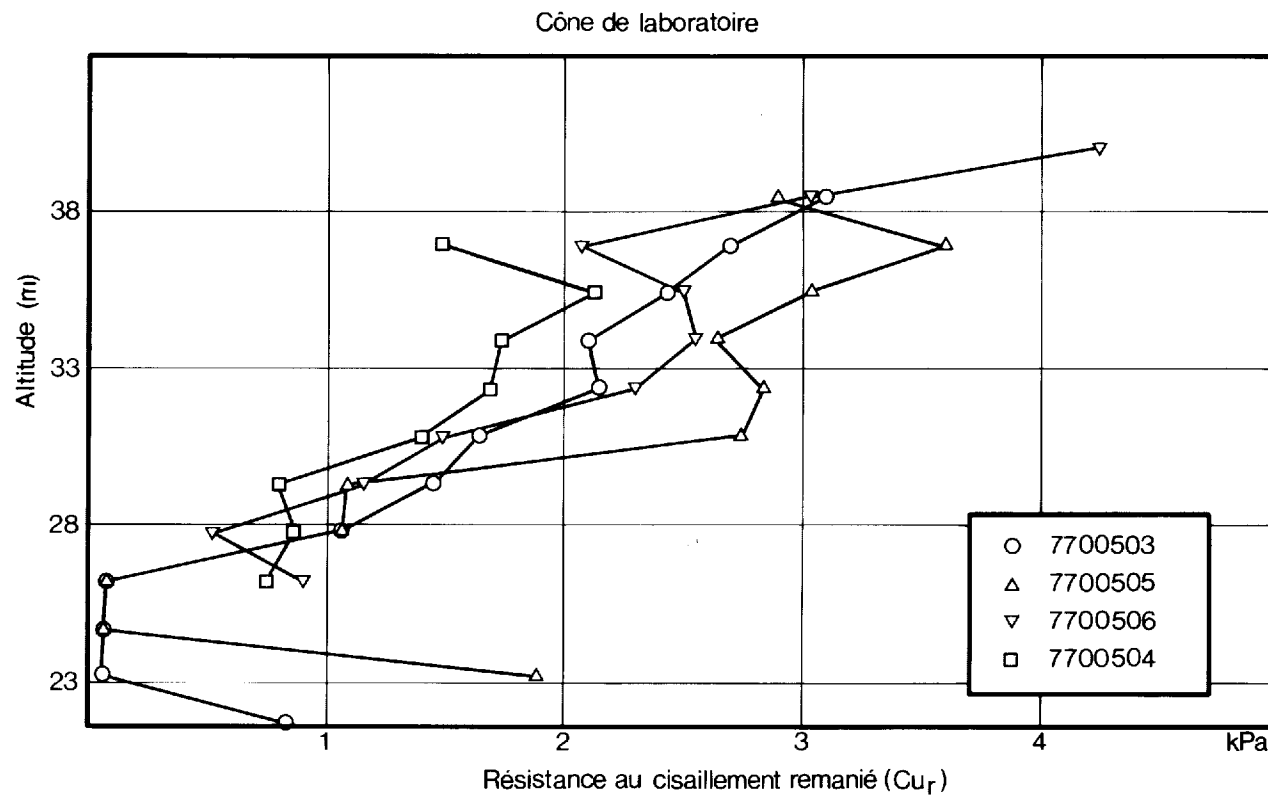


FIGURE 5.1 - Profil de la résistance au cisaillement remanié en fonction de la profondeur et de l'altitude pour le secteur de l'Ile Perrot.

GÉOMORPHOLOGIE ET STRATIGRAPHIE

L'examen des photographies aériennes, combiné à une visite des lieux, révèle la présence de deux anciennes coulées argileuses dont les dimensions sont d'environ 8,2 et 5,8 hectares (figure 5-2). Les cicatrices de coulée sont localisées en bordure du fleuve St-Laurent. Les talus bordant le fleuve ont une hauteur d'environ 18 m et une pente moyenne de l'ordre de 25°. Des signes évidents d'instabilité au pied du talus, en bordure de la grève, ont été notés. De petits glissements se produisent régulièrement dans ce secteur et ceux-ci sont en partie causés par l'érosion à la base du talus. Les dépôts meubles se résument à quelques mètres d'argile fissurée et altérée, susjacent à une argile silteuse grise et rubanée. La puissance du dépôt d'argile est supérieure à 20 m.

ANALYSE DE STABILITÉ

MÉTHODE

La méthode utilisée pour l'évaluation de la stabilité des talus naturels est celle de "Bishop modifié" dont les surfaces de rupture sont considérées circulaires. Un programme informatisé de calcul pour traiter l'équation de Bishop a été mis au point par Guy Lefebvre en 1971. Cette équation a été déterminée à partir du critère de Mohr-Coulomb, telle que définie par:

$$s = c + \sigma \tan \phi \quad (\text{Mohr-Coulomb}),$$

qui peut s'exprimer en termes de contraintes effectives par:

$$T_f = c' + \sigma' \tan \phi'$$

où;

- T_f : résistance au cisaillement à la rupture (le long d'un plan hypothétique)
- c' : cohésion effective
- ϕ' : angle de frottement effectif
- σ' : contrainte normale effective (sur un plan de rupture hypothétique) ($\sigma' = \sigma - u$)

Cette méthode d'analyse repose essentiellement sur la détermination du coefficient de sécurité (F). Ce dernier peut se définir comme étant le rapport entre la résistance mobilisable le long d'un plan de rupture circulaire et la contrainte appliquée sur ce même plan (figure 5-3). Par réitération, on obtient le coefficient de sécurité minimum et, par conséquent, le plan de rupture le plus probable. Le calcul est effectué statiquement à partir des données insérées sous forme de coordonnées et il se résume à:

$$F = \frac{\text{Moment résistant}}{\text{Moment moteur}} = \text{coefficient de sécurité}$$

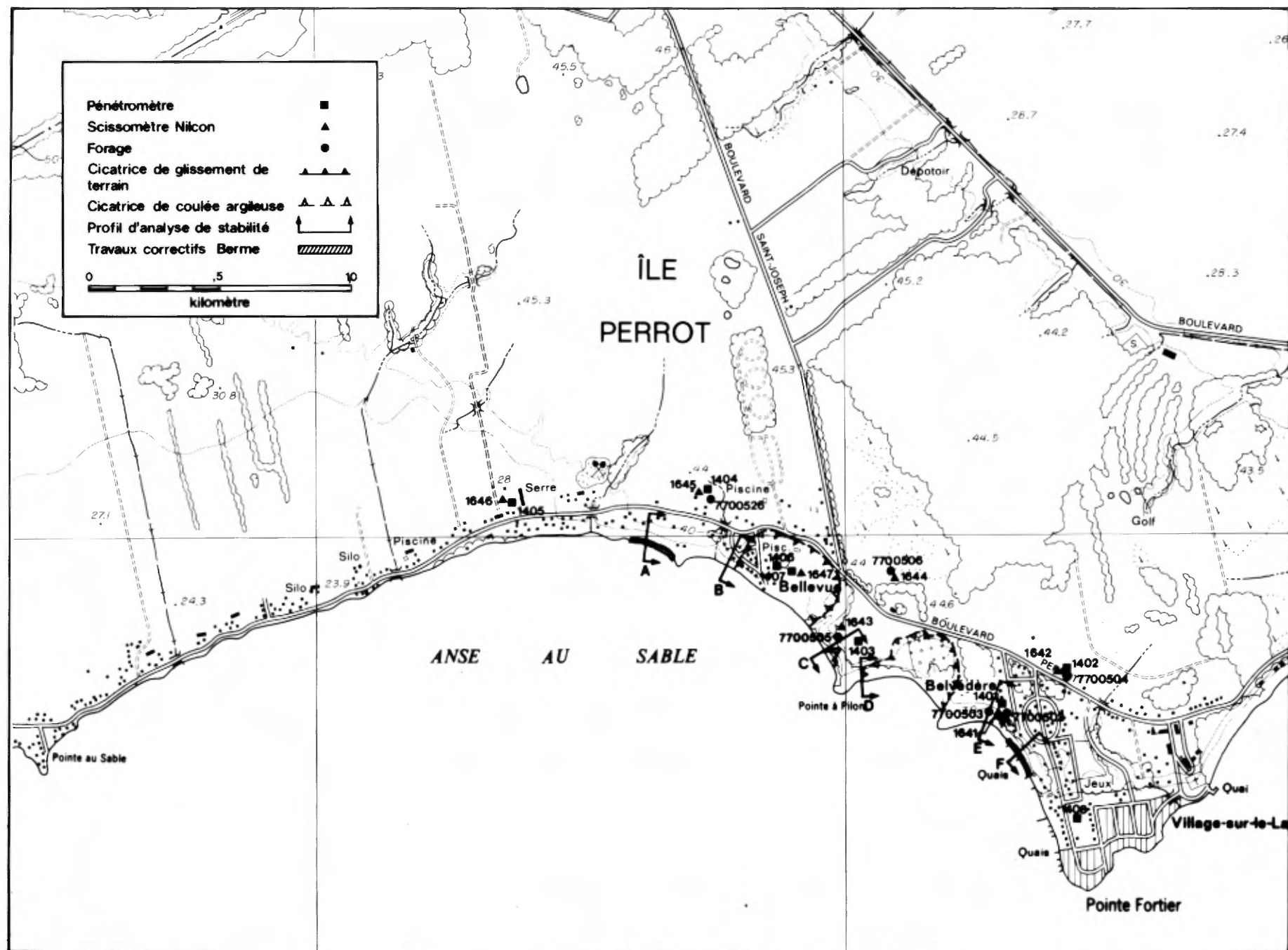


FIGURE 5.2 - Localisation de l'étude de stabilité pour le secteur de l'île Perrot.

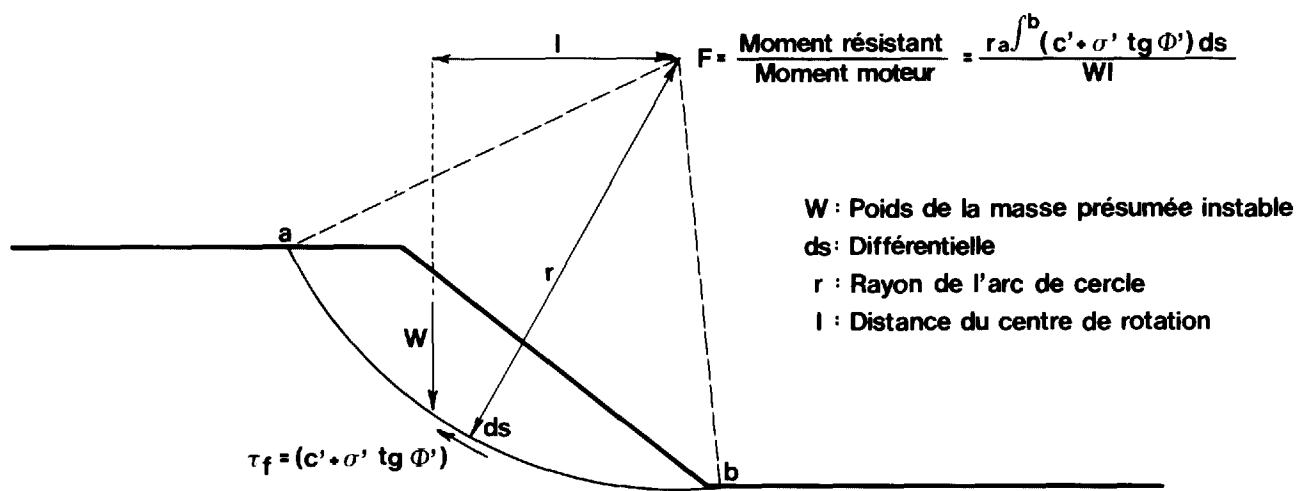


FIGURE 5.3 - Schématisation de la méthode d'analyse de la stabilité des pentes.

Conséquemment, on comprend qu'en théorie, un talus peut être considéré comme:

- en équilibre, si $F = 1$
- stable, si $F > 1$
- instable, si $F < 1$

Pratiquement, cela signifie que la stabilité d'un talus est caractérisée par son coefficient de sécurité. Si ce dernier est inférieur à 1,0, il y a alors un risque élevé de glissement de terrain, alors que si les valeurs de ce coefficient oscillent entre 1,0 et 1,1, la stabilité d'un site est plutôt précaire. Par contre, si ce coefficient se situe entre 1,1 et 1,3, nous pouvons considérer le talus comme stable à court terme mais potentiellement susceptible de glisser. Enfin, le talus devrait être stable à long terme si ce coefficient est supérieur à 1,3.

Toutefois, on doit toujours tenir compte de la contribution des processus géodynamiques et des altérations de nature anthropique conduisant à une dégradation du talus, lorsqu'on analyse la stabilité de ce dernier. Plus explicitement, la stabilité d'un talus pourrait avoir tendance à se modifier en fonction du temps à cause de différents facteurs déstabilisants pouvant intervenir à plus ou moins long terme. Ces principaux facteurs sont: l'érosion en pied de pente, l'augmentation des pressions interstitielles par modification du drainage, la surcharge au sommet d'un talus ou les vibrations à proximité. Bref, tout ce qui entraînerait une augmentation de contraintes ou une diminution de la résistance. Inversement, la stabilité pourrait s'améliorer par une diminution de contraintes ou une augmentation de la résistance.

DONNÉES UTILISÉES

De façon générale, les données nécessaires au calcul, sont:

- le profil topographique,
- la stratigraphie pour connaître la nature et l'épaisseur des couches sédimentaires,
- les propriétés mécaniques du sol, traduites sous la forme de cohésion effective (c'), d'angle de frottement effectif (ϕ') et du poids unitaire total (γ),
- le niveau de la nappe (la répartition de pressions d'eau est considérée hydrostatique).

Tel que mentionné précédemment, la stratigraphie se résume à une argile silteuse que nous avons différenciée en deux unités. Soit, une première unité argileuse d'environ 17 m d'épaisseur dont les cinq premiers mètres sont présumées fissurées et altérées. Et à partir de 17 m, une argile beaucoup plus sensible, aux propriétés géotechniques différentes (tableau 5A).

Les paramètres de résistance utilisés furent déterminés en partie par la méthode d'analyse à rebours de Kenney (1967) et en partie par des essais de cisaillement direct sur des échantillons provenant du forage 7700502. Les paramètres obtenus par analyse à rebours ont été déterminés sur le profil d'un glissement survenu en 1973, et localisé à l'extrémité de la 147¹^e Avenue. Les valeurs obtenues sont résumées au tableau 5B.

TABLEAU 5B - Paramètres géotechniques

Unité Stratigraphique	cohésion (c') effective (kPa)	angle (ϕ') de friction effectif (degré)	poids () unitaire total (KN/m ³)
1) Argile de 0 à 17 m	7,5 par analyse à rebours	31°	17,6
2) Argile sensible 17 m et plus	4,9 par cisaillement direct	27°	17,6

RÉSULTATS OBTENUS

Les coefficients de sécurité minimums obtenus sur les six profils retenus pour fins d'analyse de stabilité (figures 5-4 à 5-9) démontrent une instabilité potentielle de ces secteurs. Les valeurs se situent très près de l'unité (voir tableau 5C).

TABLEAU 5C - Résultats de l'analyse de stabilité

Profil	Coefficient de sécurité	Cercle de rupture		Stabilité	Travaux correc- tifs effectués en 1981
		Portion impliquée du talus	Profondeur p/r au point d'émergence du cercle au sommet		
A-A'	1,00	tout	19 m	instable	oui
B-B'	1,11	tout	20,5 m	précaire	non
C-C'	1,15	base	9 m	précaire	non
D-D'	1,04	base	16 m	instable	non
E-E'	1,03	tout	22,5 m	instable	non
F-F'	0,92	base	8 m	instable	oui

En 1978, le ministère recommande de stabiliser les lieux par l'implantation de bermes à la base des talus, aux endroits où la concentration de population le justifiait. Pour les autres secteurs, l'on recommanda d'interdire le développement domiciliaire. Les bermes furent érigées en 1981 et visaient à éviter l'amorce d'un premier mouvement dans ces talus.

CONCLUSION

La présence d'anciennes coulées argileuses, les évidences de glissements de terrain, les propriétés de l'argile et plus particulièrement la présence d'un horizon sensible, combinés aux résultats d'analyse de stabilité obtenus, nous incitent à recommander une certaine prudence à l'égard des secteurs non protégés. Ceci peu se faire en évitant de surcharger ou d'excaver aux abords d'un talus, de concentrer l'eau vers celui-ci ou de le déboiser. De plus, on se doit d'être conscient que la moindre intervention humaine peut agir négativement sur l'ensemble de la stabilité d'un talus.

Pour plus de précision dans les résultats d'analyse obtenus, il aurait été préférable de connaître plus spécifiquement les paramètres de résistance au

ILE PERROT-SUD
ANALYSE DE STABILITE
SECTION A-A'
(SECTEUR CORRIGE)

Hauteur de la pente $h = 15.5 \text{ m}$
Angle moyen de la pente $= 27^\circ$

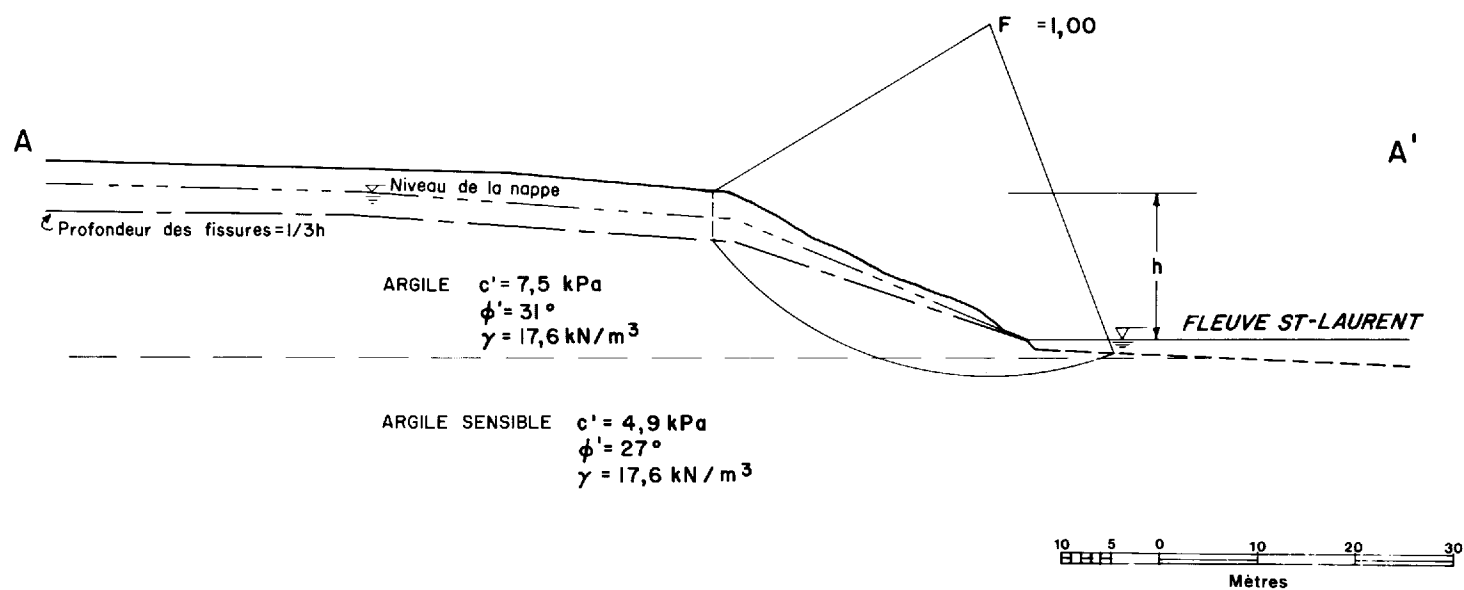


FIGURE 5.4 - Profil d'analyse de la section A-A'

ILE PERROT-SUD
ANALYSE DE STABILITE
SECTION B-B'

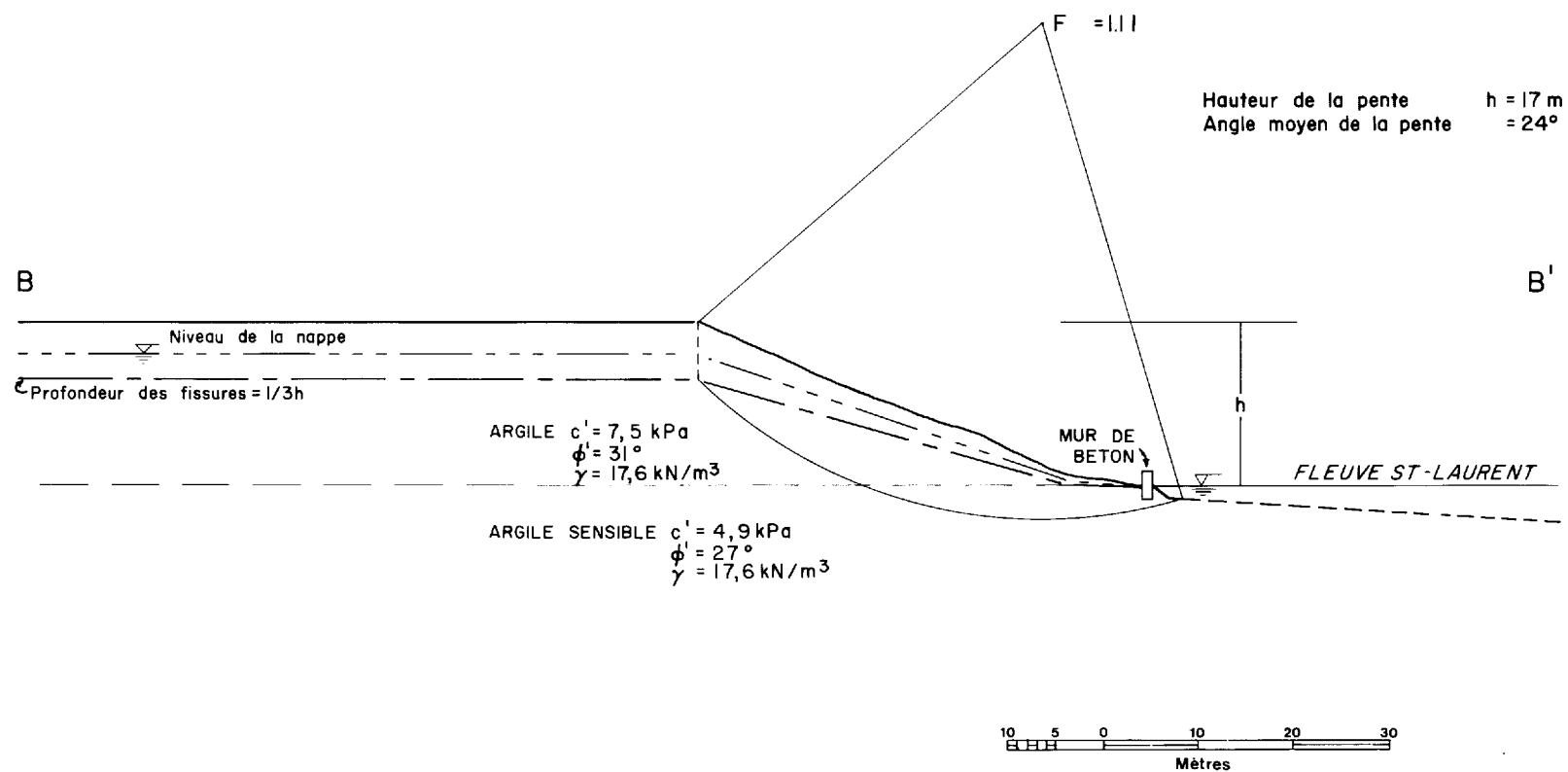


FIGURE 5.5 - Profil d'analyse de la section B-B'

ILE PERROT-SUD
ANALYSE DE STABILITE
SECTION C-C'

Hauteur de la pente $h = 18.5 \text{ m}$
Angle moyen de la pente $= 21^\circ$

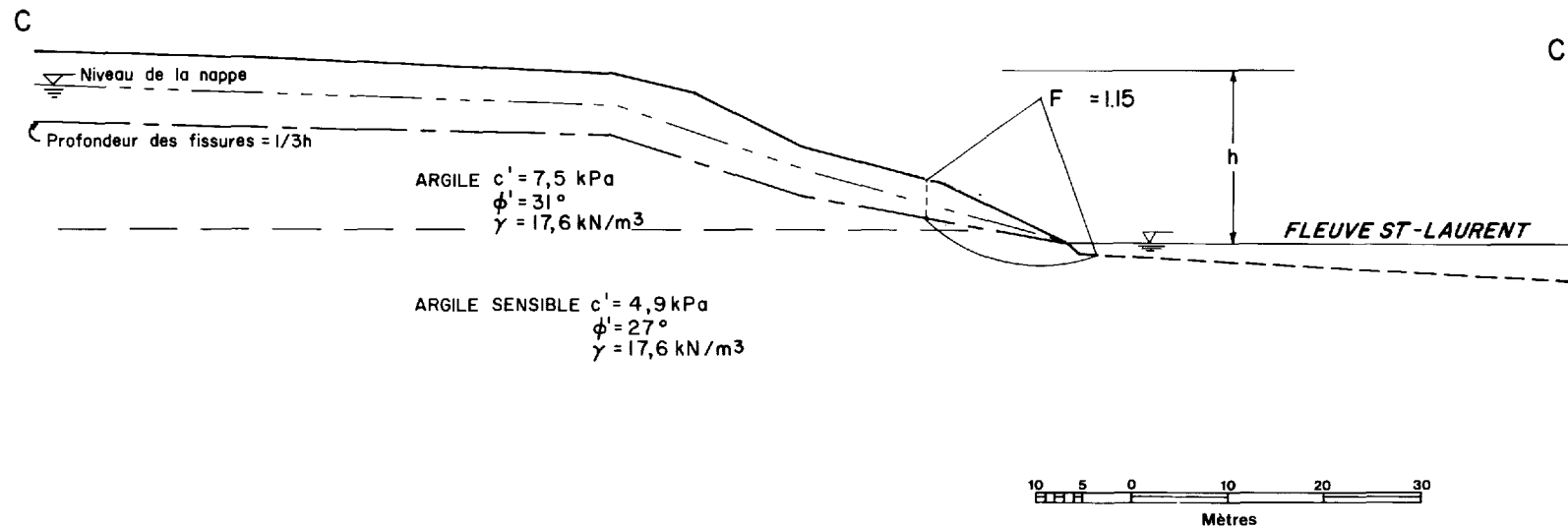


FIGURE 5.6 - Profil d'analyse de la section C-C'

ILE PERROT-SUD
ANALYSE DE STABILITE
SECTION D-D'

Hauteur de la pente $h = 18.5 \text{ m}$
Angle moyen de la pente $= 21^\circ$

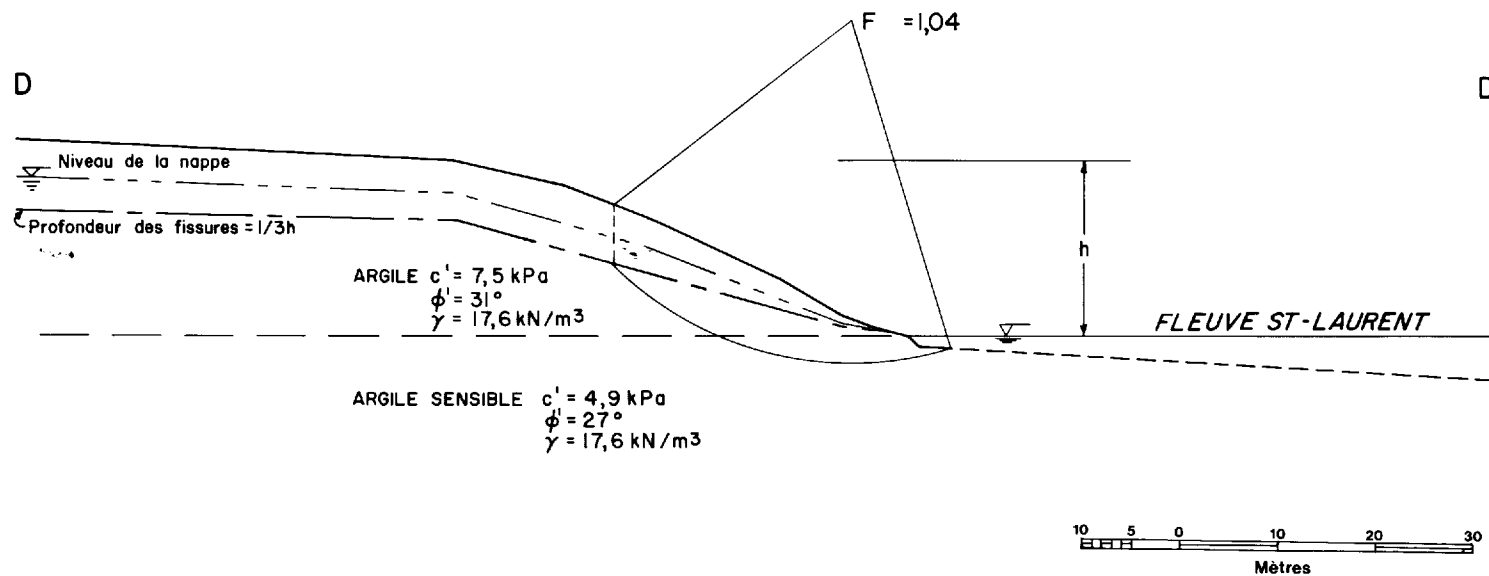


FIGURE 5.7 - Profil d'analyse de la section D-D'

ILE PERROT-SUD
ANALYSE DE STABILITE
SECTION E-E'

Hauteur de la pente $h = 18 \text{ m}$
Angle moyen de la pente $= 24^\circ$

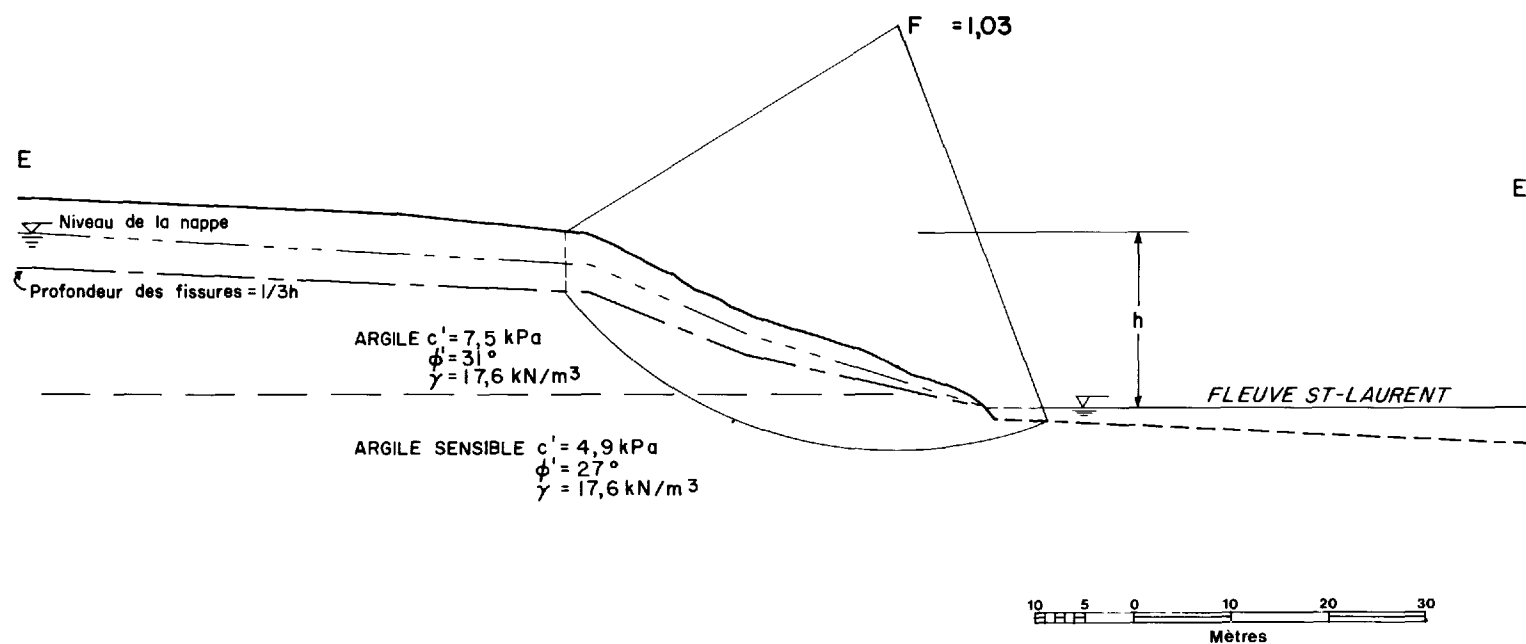


FIGURE 5.8 - Profil d'analyse de la section E-E'

ILE PERROT-SUD
ANALYSE DE STABILITE
SECTION F-F'
(SECTEUR CORRIGE)

Hauteur de la pente $h = 18 \text{ m}$
Angle moyen de la pente $= 25^\circ$

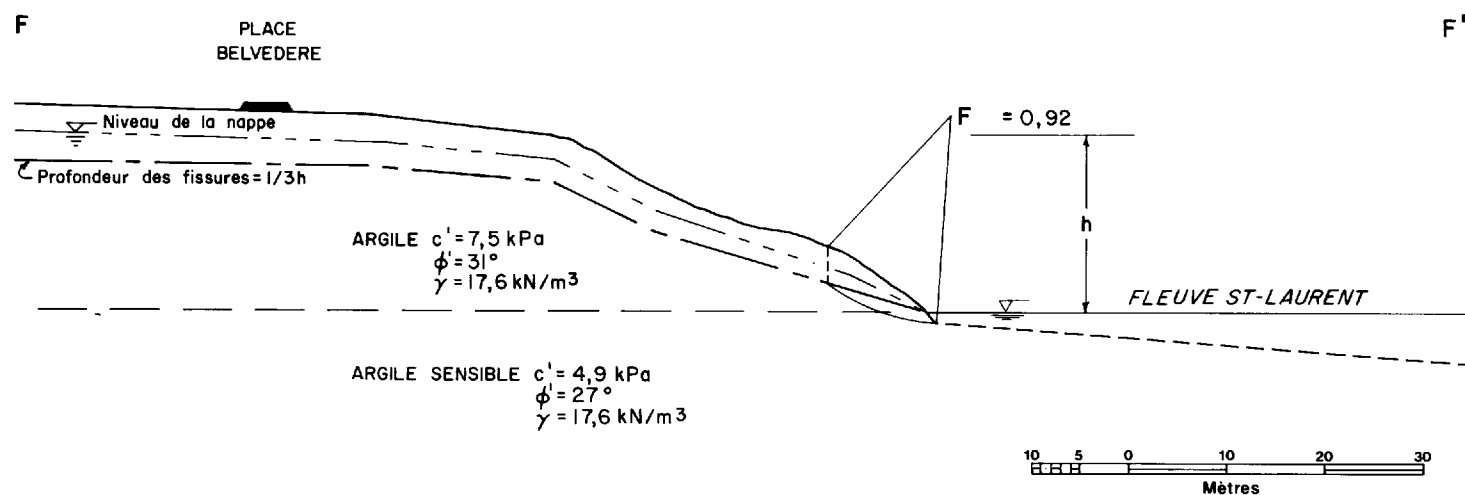


FIGURE 5.9 - Profil d'analyse de la section F-F'

cisaillement (c' et ϕ') déterminés à partir d'essais triaxiaux effectués à grande déformation (10-12%) sur des échantillons d'argile intacts, isotropiquement consolidés et drainés (CID). Il aurait été également souhaitable de connaître plus en détail les conditions hydrauliques souterraines en impliquant une série de piézomètres forcés de type ouvert, à pierre poreuse, perpendiculairement au talus et aux profondeurs appropriées.

Toutefois, les données utilisées peuvent être considérées comme valables dans la mesure où les résultats obtenus confirment un risque de mouvement de terrain, qui est déjà apparent à l'examen visuel.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES POUR L'ANNEXE 5

- BISHOP, A.W., 1955 - **The use of the slip circle in the stability analysis of slopes.** Geotechnique, volume 5, no. 1, pages 7-17.
- KENNEY, T.C., 1967 - **Slide behaviour and shear resistance of a quick clay determined from a study of the landslide at Selnes, Norway.** Proc. Geotechnical Conf., Oslos, volume 1, pages 57-64.
- LAMBE, T.W. - WHITTMAN, R.V., 1979 - **Earth slopes with drained conditions.** Soil Mechanics, SI Version. Series in soil engineering, John Wiley and Sons. Chap. 24, pages 352-374.
- LEFEBVRE, G., 1971 - **Programme de stabilité des pentes suivant la méthode Bishop.** Document interne, 14 pages.

ANNEXE 6

ANALYSE DE STABILITÉ DU SECTEUR DE POINTE-DES-CASCADES*

INTRODUCTION

Cette annexe vise la caractérisation du degré de stabilité de deux secteurs de Pointe-des-Cascades, où des glissements de terrain se sont produits au printemps 1980. Les secteurs sont localisés sur la figure 6-1 ainsi que les profils retenus pour l'analyse.

TRAVAUX DE TERRAIN

Les travaux de terrain furent fait à l'été 1980 et au printemps de 1981. Ils se résument à:

- 1 forage échantillonné;
- 7 sondages pénétrométriques;
- 4 sondages scissométriques;
- 13 installations de piézomètres;
- arpentage de 9 profils (voir figure 6-1).

Les conditions hydrauliques souterraines furent suivies de l'été 1980 à l'hiver 1981.

STRATIGRAPHIE

L'épaisseur du dépôt argileux est de 10 à 11 m pour le site 1 et le contact argile-till semble horizontal. Au site 2, le contact argile-till s'incline vers la rivière Outaouais et l'épaisseur de l'ensemble argileux est de 17 m.

ANALYSE DE STABILITÉ

MÉTHODE

Une description très détaillée de la méthode employée est donnée à l'annexe 5.

DONNÉES UTILISÉES

Pour les talus naturels, l'étude de stabilité se fait par la méthode dite "long terme", en utilisant les contraintes normales effectives et les paramètres de cohésion (c') et d'angle de frottement (ϕ') effectifs, trouvés par des essais triaxiaux CID à grande déformation (10 à 12%). Les paramètres de résistance au cisaillement de l'argile sont: $c' = 7$ kPa, $\phi' = 32^\circ$ et $\gamma = 16,3$ KN/m³. La géométrie des talus a été établie par arpentage.

Les conditions hydrauliques souterraines furent déterminées à partir des piézomètres installés au site 2 (profil 1). Le schéma de disposition est présenté à la figure 6-2. Le till sous-jacent favorise le drainage alors que

* Analyse faite par J.D. Allard.

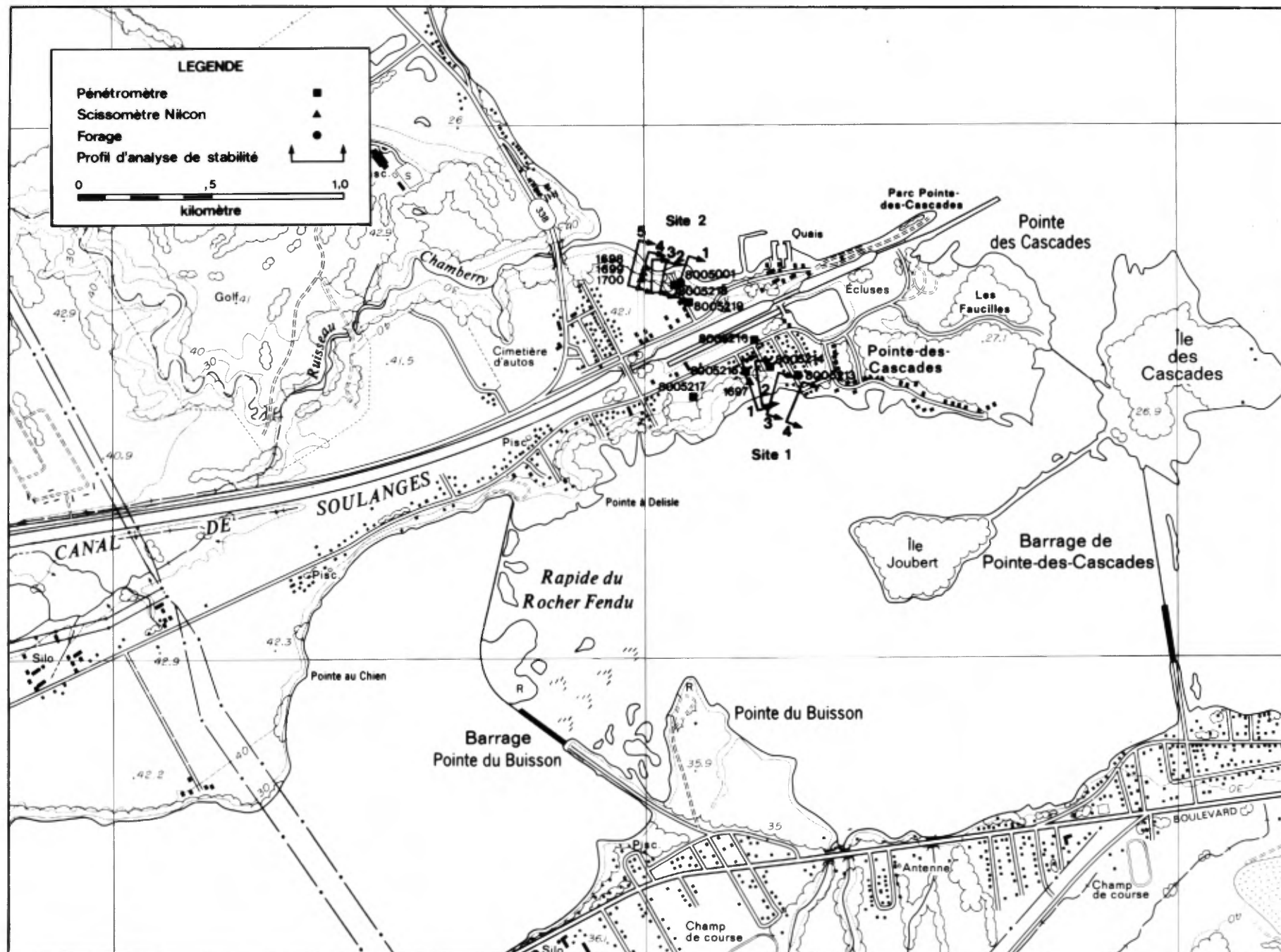


FIGURE 6.1 - Localisation de l'étude de stabilité à Pointe-des-Cascades

l'argile présente des conditions quasi hydrostatiques. Aucune analyse de stabilité ne fut faite sur les profils du site 1 (la présence d'un remblai dans le talus a empêché la cueillette d'information). Au site 2, trois profils (1, 2 et 4) furent analysés (figures 6-2, 6-3 et 6-4).

RÉSULTATS OBTENUS

Les coefficients de sécurité minimums obtenus pour les trois profils analysés sont résumés au tableau 6A.

TABLEAU 6A - Résultat de l'analyse de stabilité

Condition hydraulique	Coefficient de sécurité			
	PROFIL 1		PROFIL 2	PROFIL 4
	Base du talus	Tout le talus	Tout le talus	Tout le talus
Tel que lue	2.1 (2)*	1.5 (4)	1.0 (6)	0.9 (8)
Profondeur (m) de rupture p/r sommet du talus	17.7	19.0	18.5	17.6
Tel que lue + 20%	1.8 (1)	1.2 (3)	0.8 (5)	0.6 (7)
Profondeur (m) de rupture p/r sommet du talus	17.7	19.0	18.5	17.6

* Le chiffre entre parenthèse réfère aux surfaces de rupture sur les figures.

Le profil 1 (figure 6-2) ne présente pas les conditions les plus précaires de stabilité. Le coefficient de sécurité varie de 1,5 à 2,1 selon que tout le talus est impliqué ou seulement la base de celui-ci. Pour le profil 2 (figure 6-3), le coefficient de sécurité est de 1,0 et pour le profil 4, il est de 0,9. Ces deux résultats reflètent bien les conditions dans lesquelles se trouvent le talus dans ces secteurs. En 1973 et 1980, deux enquêtes furent faites, suite à des glissements de terrain. Au tableau 6A, nous retrouvons les résultats pour l'analyse de stabilité dont les conditions hydraulique furent augmentées de 20%. Avec ces conditions les coefficients de sécurité sont réduits de façon très appréciable. Une augmentation des conditions hydrauliques de cet ordre est possible et s'avèrerait très néfaste sur l'ensemble du massif.

Au site 1, la dégradation du talus est associé au remblayage en sommet de talus et au site 2, elle est reliée en partie à l'érosion du pied du talus par la rivière Outaouais.

Profil 1

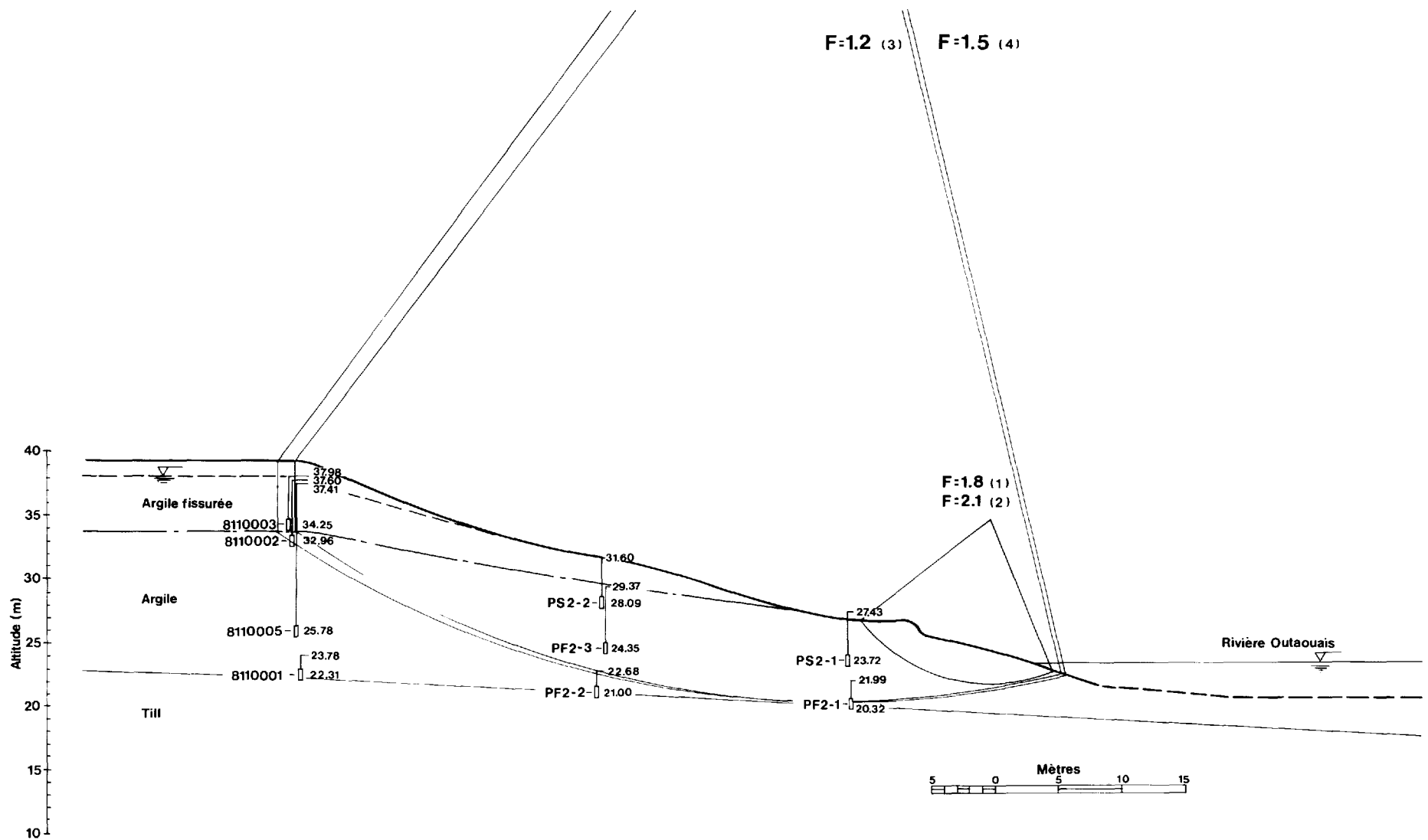


FIGURE 6.2 - Profil d'analyse de la section 1 et disposition des piézomètres dans la pente.

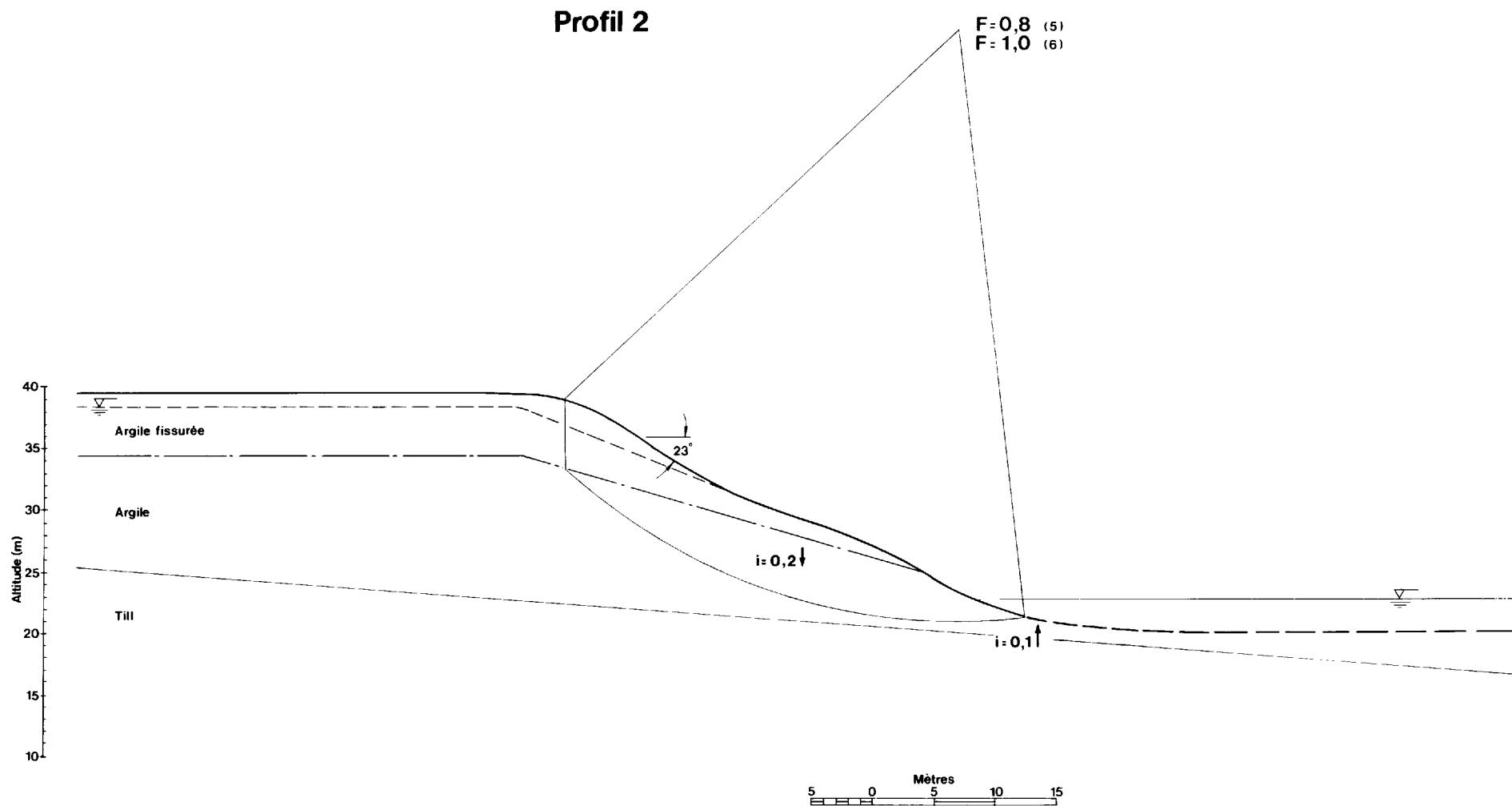


FIGURE 6.3 - Profil d'analyse de la section 2.

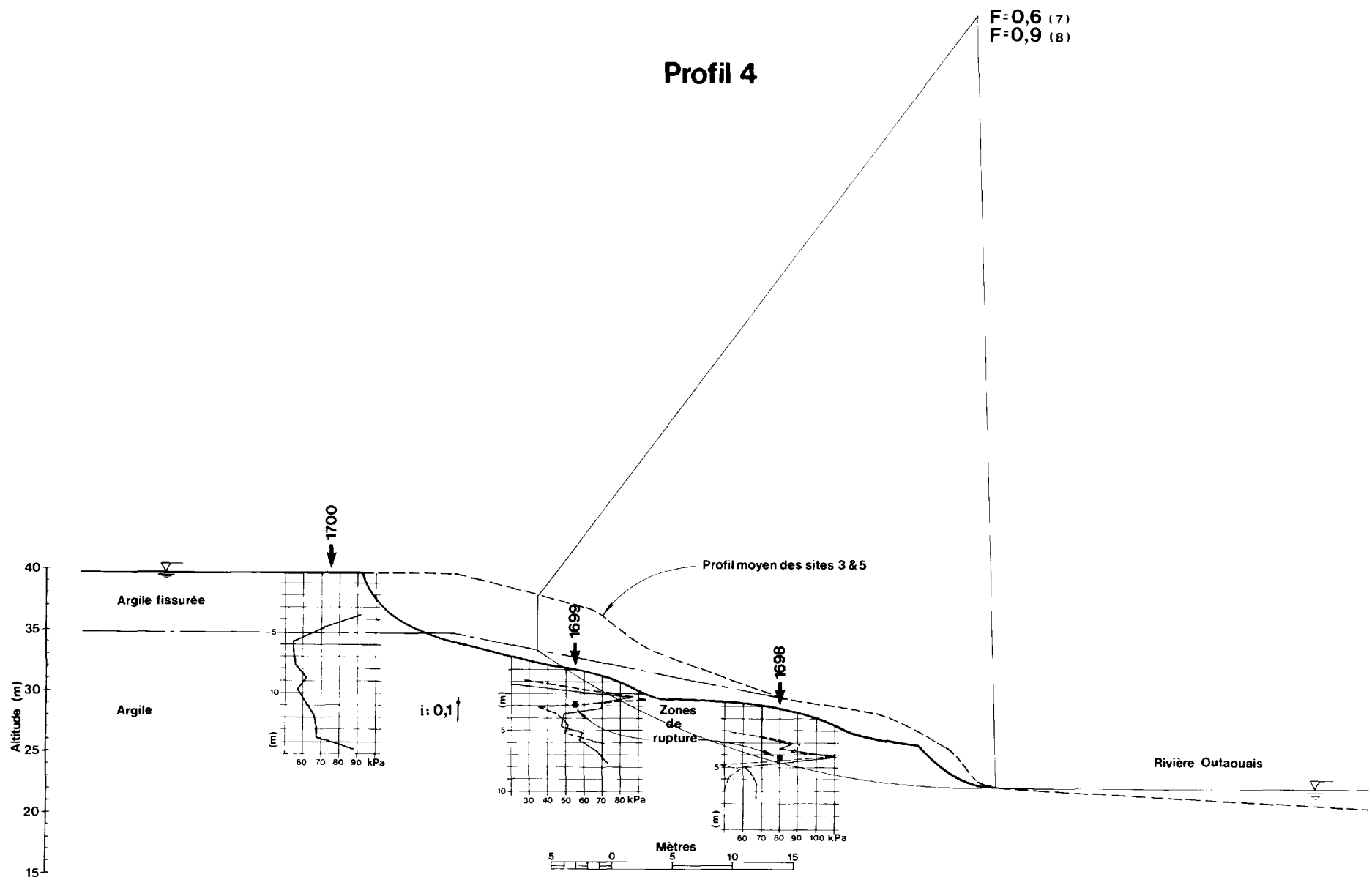


FIGURE 6.4 - Profil d'analyse de la section 4.

CONCLUSION

Au site 1, le glissement fut occasionné par une surcharge et possiblement par une alimentation d'eau provenant des canalisations municipales. Par contre, ce type de mouvement n'implique pas un recul important du sommet du talus parce que toute la masse glissée reste en place après son déplacement.

Au site 2, le versant est instable en se basant sur les valeurs du coefficient de sécurité, l'observation de nombreux signes d'instabilité et la présence d'un ancien glissement. Les deux principales causes de cette instabilité sont l'érosion à la base du talus par la rivière Outaouais et l'alimentation d'eau dans le talus provenant du système de drainage des champs.

La stabilisation des talus pour le site 1 peut être réalisée par la mise en place d'un contre-poids drainant à la base tandis qu'au site 2, un enrochement pour contrer l'érosion et un contrôle de l'eau de ruissellement en tête du talus serait suffisant.