

# MB 86-43

CARTOGRAPHIE GEOTECHNIQUE DANS LA REGION DE GATINEAU-AYLMER-HULL

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

# Cartographie géotechnique dans la région de Gatineau – Aylmer – Hull

Jocelyn Théberge

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 MATIERES

	Page
AVANT-PROPOS .....	V
PARTIE A : LEVE GEOTECHNIQUE DANS LA REGION DE GATINEAU .....	1
I - INTRODUCTION	
I-1 - Localisation .....	1
I-2 - Méthodologie .....	1
II- PROPRIETES GEOLOGIQUES ET GEOTECHNIQUES DES ROCHES .....	8
II-1 - Subdivisions physiographiques .....	8
II-2 - La géologie de la roche en place .....	9
II-3 - Propriétés géotechniques des roches .....	18
III-PROPRIETES GEOLOGIQUES ET GEOTECHNIQUES DES DEPOTS DU QUATERNAIRE .....	24
III-1- Les dépôts glaciaires .....	24
III-2- Les dépôts fluvio-glaciaires .....	29
III-3- L'Episode de la Mer de Champlain et les dépôts associés .....	30
III-3.1 - Les argiles de la Mer de Champlain .....	32
III-3.2 - Les dépôts granulaires de la Mer de Champlain .....	36
III-4- Les dépôts du Proto-Outaouais .....	36
III-5- Les dépôts récents .....	39
IV- CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES DES ARGILES DE LA MER DE CHAMPLAIN.....	44
IV-1 - Propriétés physiques .....	44
IV-2 - Propriétés géochimiques de l'eau interstitielle ...	51
IV-3 - Sensibilité des sols argileux de la Mer de Champlain.....	54
IV-4 - Résistance au cisaillement et compressibilité .....	64
IV-4.1 - Résistance au cisaillement in situ .....	64
IV-4.2 - Compressibilité des sols argileux .....	70
IV-5 - Argiles altérées de la croûte de surface .....	76
V - APTITUDES DES SOLS .....	78
V-1 - Aptitude des sols à recevoir des fondations .....	78
V-2 - Phénomènes à surveiller .....	79
1 - Les mouvements de terrain .....	79
2 - Les risques d'inondations .....	80
3 - Les aires minières, les carrières .....	81
V-3 - Les matériaux géologiques en tant que ressources ..	81
CONCLUSIONS .....	83
BIBLIOGRAPHIE .....	85

PARTIE B : CARTOGRAPHIE DES ZONES EXPOSEES AUX MOUVEMENTS DE  
TERRAINS DANS LA REGION DE GATINEAU-HULL-AYLMER

1. Introduction .....	1
2. Description des mouvements de terrain observés dans la région .....	2
1) Mouvements de terrain de type fluage ou reptation .....	2
2) Glissements affectant les dépôts meubles .....	2
a) Décrochement .....	3
b) Glissement rotationnel .....	3
c) Coulée argileuse .....	6
3) Ecroulement et glissement rocheux (éboulement) .....	13
3. Etablissement des zones exposées aux mouvements de terrain.	14
3.1 - Définition des zones de risque .....	16
1. Zone à risque élevé (ZRE) .....	16
2. Zone à risque moyen (ZRM) .....	18
3. Zone à risque faible (ZRF) .....	18
4. Zone à risque hypothétique (ZRH) .....	20
5. Zone à risque nul .....	21
3.2 - Commentaires des zones exposées aux mouvement de terrain .....	21
3.2.1 - Le ruisseau Leamy (Hull) .....	23
3.2.2 - Le ruisseau Chelsea .....	26
3.2.3 - La rivière Gatineau .....	29
3.2.4 - Le ruisseau des rangs II, III et IV (Templeton) .....	31
3.2.5 - La rivière Blanche et le ruisseau Noueux ....	35
3.2.6 - La terrasse du Proto-Outaouais et ses ravins.	38
3.2.7 - La rivière des Outaouais .....	41
4. Conclusion .....	43

BIBLIOGRAPHIE

APPENDICE

Etude de stabilité des talus - Gatineau-Hull-Aylmer

ANNEXE 1 - Stratigraphie et caractéristiques géotechniques des  
sols échantillonnés en forage

## AVANT-PROPOS

La géotechnique se définit, d'une façon générale, comme la science qui étudie les matériaux géologiques en tant que :

- support à l'aménagement,
- ressources de matériaux.

Dans cette optique, la réalisation d'une cartographie géotechnique régionale constitue un outil d'aménagement dont le but est de :

- délimiter les risques géologiques (mouvements de terrain, inondations) et les ressources (matériaux, eau souterraine);
- évaluer les problèmes techniques de fondation (tassements prévisibles, portance ultime),
- prévoir les conséquences de l'aménagement et les adapter aux conditions naturelles.

Ce projet de cartographie a été réalisé en deux parties et a été élaboré à partir d'un projet de cartographie régionale réalisé par Théberge, 1984. La première partie (A) fournit une étude détaillée des propriétés géotechniques des sols et des sous-sols permettant de définir leur aptitude. La carte d'aptitude s'accompagne des feuillets analytiques :

- Géomorphologie, géologie et épaisseur des dépôts meubles,
- Caractéristiques géotechniques du socle (incluant la topographie du socle).

La deuxième partie (B) consiste en une cartographie des zones exposées aux mouvements de terrain sur le territoire.

Cette étude géotechnique régionale fournit une quantité importante d'informations géotechniques sur les matériaux géologiques et leur comportement; cependant une telle étude régionale ne peut remplacer les études spécifiques exigées pour des constructions importantes.

PARTIE A : LEVE GEOTECHNIQUE DANS LA REGION DE GATINEAU -  
HULL - AYLNER

I - INTRODUCTION

I.1 - Localisation

Le secteur étudié apparaît sur le feuillet 1:250,000 31 G, Ottawa. Il inclue plus précisément les parties adjacentes des feuillets 1:50,000 31G/05, Ottawa et 31 G/12, Wakefield.

Ce secteur (Figure 1), d'une superficie approximative de 400 km<sup>2</sup> correspond à une bande rectangulaire limitée à l'ouest par la section NO-SE de la rivière des Outaouais, au nord par le versant sud de la rivière Breckenridge et le contrefort des Collines de la Gatineau, au sud par la section NE-SO de la rivière des Outaouais et à l'est par la limite du feuillet 31 G/12, Wakefield.

Il inclut une partie des municipalités québécoises de Gatineau, Hull, Aylmer et Hull-Ouest appartenant aux circonscriptions électorales de Hull et Gatineau. Ces municipalités appartiennent au territoire sous la juridiction de la Communauté Régionale de l'Outaouais (C.R.O.) et font partie de la Région de la Capitale Nationale.

I-2 - Méthodologie

La méthodologie suivie pour l'établissement de cette étude géotechnique est illustrée à la Figure 2. Elle s'apparente à celle de Maranda (1977a) et Lebus et al. (1982). Ainsi, après une série de recherches préalables (bibliographie, choix de l'échelle de tra-

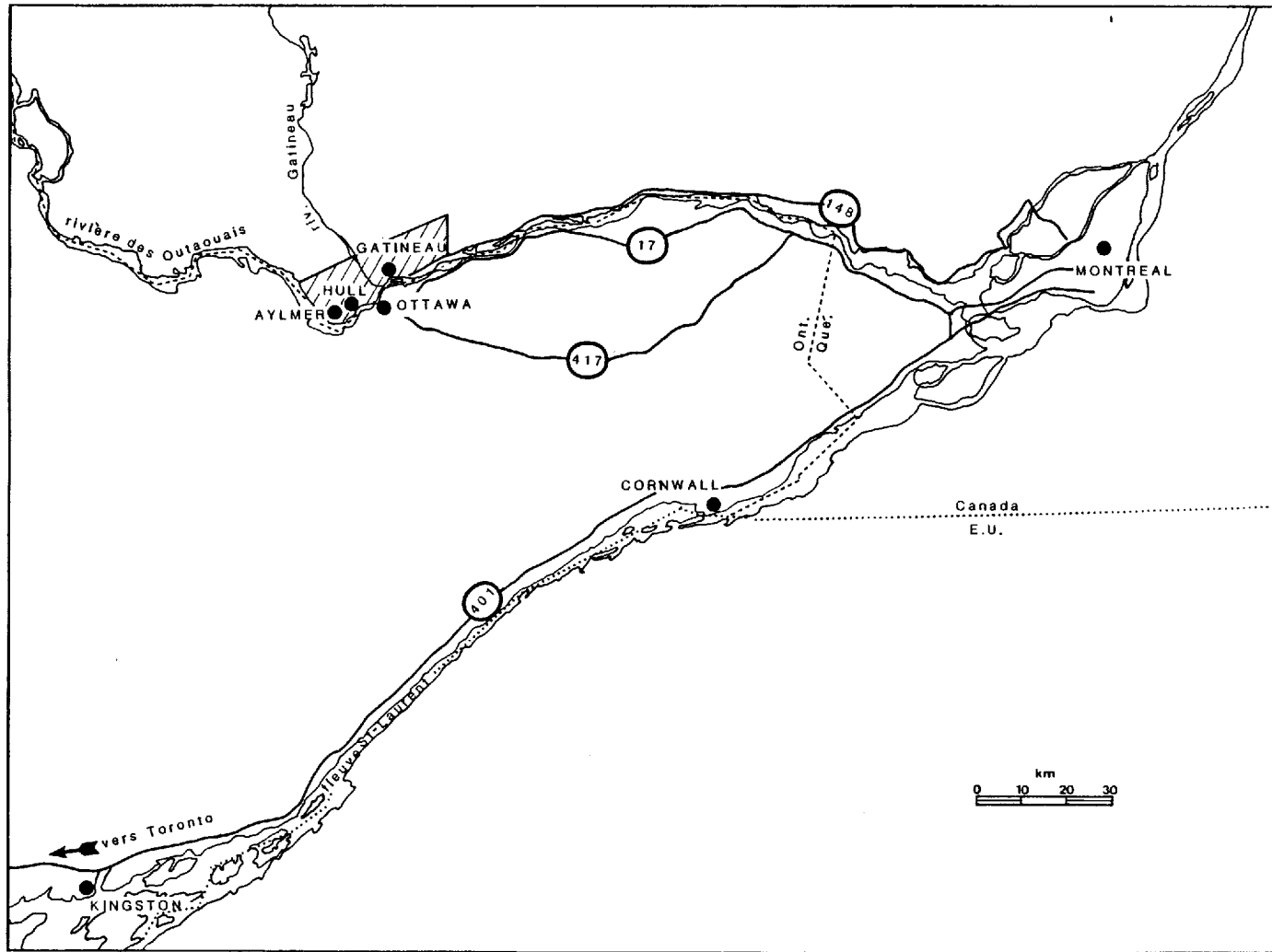


Figure 1 - Localisation de la région Gatineau - Hull - Aylmer.

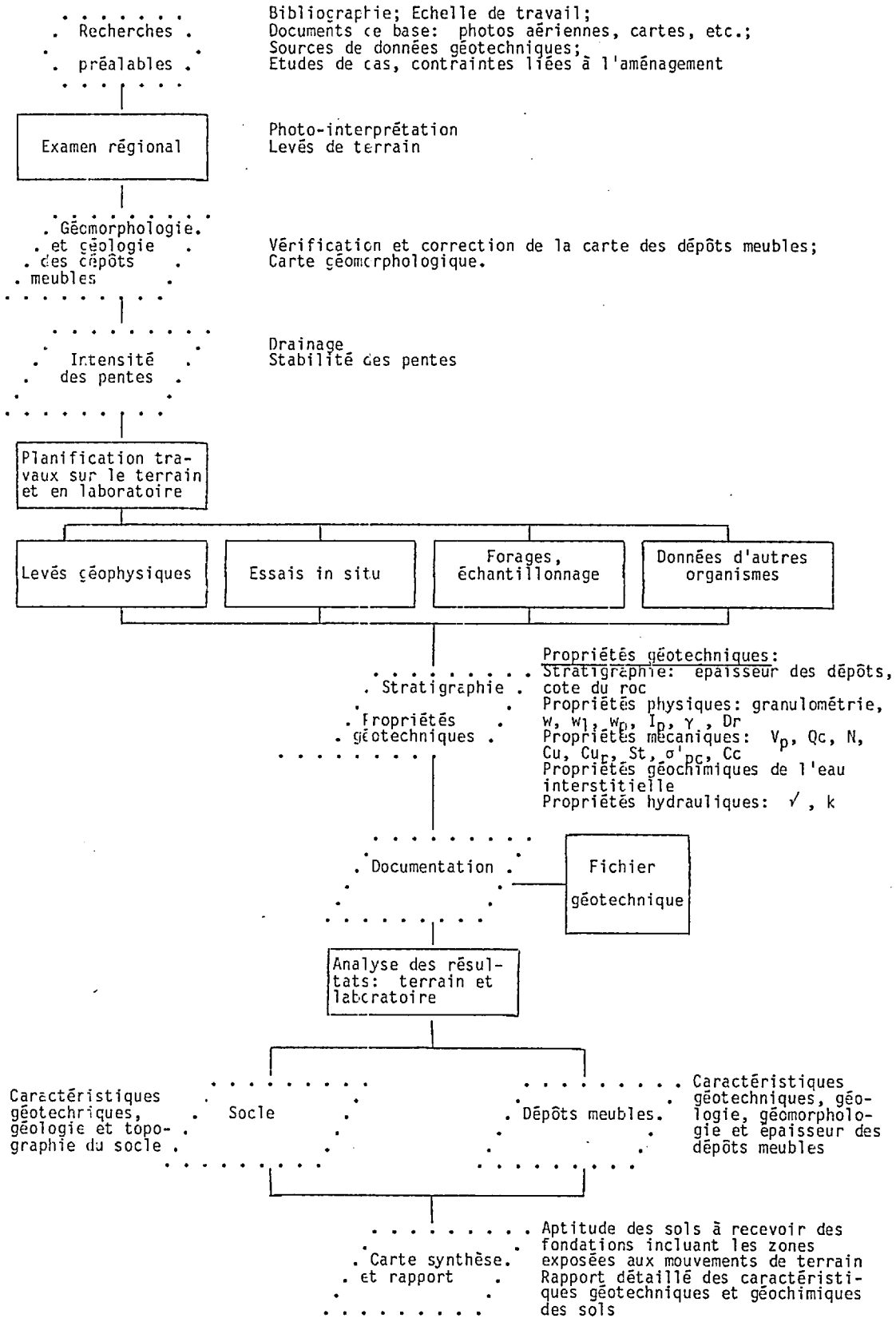


FIGURE 2: Procédures d'établissement de la cartographie géotechnique.

vail, documentation de base, identification des sources de données existantes, reconnaissance des principales contraintes liées à l'aménagement, études de cas, etc.), on a procédé à l'examen des photos aériennes (1:15,840) du territoire et la planification des travaux sur le terrain. Ceux-ci sont diversifiés:

- les levés sur le terrain incluent la description d'affleurements et de coupes géologiques, la description de talus instables, l'inventaire des mouvements de terrain;
- les levés géotechniques comprennent les levés géophysiques, les essais in situ, les forages avec échantillonnage; cette information combinée aux données existantes dans le secteur (Tableau I), constitue le feuillet analytique Documentation.

Les travaux sur le terrain ont été réalisés principalement lors des quatre (4) campagnes de terrain allant de juin à septembre de 1978 à 1981.

Une série d'essais de laboratoire a été réalisée, principalement sur les sols argileux problématiques, afin d'en déterminer les propriétés géotechniques (propriétés physiques, propriétés mécaniques, propriétés géochimiques). Ces résultats apparaissent à l'Annexe 1. Ce sont :

- des essais d'identification: sédimentométrie, tamisage; teneur en eau naturelle; limites de consistance;
- la valeur de la résistance au cisaillement à l'état intact ( $C_u$ ) et remanié ( $C_{u_r}$ ) au pénétromètre à cone (Swedish fall cone); on détermine alors la valeur de la sensibilité ( $St$ ) des sols cohésifs:  $St = \frac{C_u}{C_{u_r}}$
- des essais à l'oedomètre (Bishop) permettant de déterminer les caractéristiques de compressibilité des sols argileux:
  - la pression de préconsolidation ( $\sigma'_{pc}$ ),
  - l'indice de compression ( $C_c$ ),

Tableau I - Origine des levés géotechniques

	Documen- tation	Topographie du socle	Epaisseur dépôts meubles
A) Service de la Géotechnique du M.E.R.			
1 - Forages:			
- Mobil B-50	22	12	12
- Echantillonneur Géonor	8	--	--
- Tarrière portative	21	7	7
2 - Sismique réfraction:			
- FS-3	12	12	12
- ABEM SX-TRIO	148	148	148
3 - Résistivité électrique	89	70	70
4 - Pénétrromètre statique: (Goudsche)	51	42	42
5 - Scissomètre: (Nilcon)	67	14	14
B) Ministère des Transports du Québec:			
1 - Forages	62	43	43
C) Société d'Aménagement de l'Outaouais (S.A.O.):			
1 - Forages	50	30	30
2 - Pénétrromètre dynamique	29	23	23
D) Communauté Régionale de l'Outaouais (C.R.O.) - Egout collecteur			
1 - Forages	224	166	166
E) Commission Géologique du Canada Banque de données géotechni- ques - Urban Geology Automated Information System (UGAIS)			
1 - Forages	167	120	120
2 - Relevés sismiques	350	350	350
TOTAL	1300	1037	1037

- le poids spécifique humide ( $\gamma_h$ ) et la densité relative (Dr)
- le coefficient de surconsolidation (OCR);
- la chimie de l'eau interstitielle déterminée selon la méthode décrite dans Guimont et Rhéaume (1979), (Rissmann et al., 1984):
  - . la teneur en sel de l'eau interstitielle est obtenue en effectuant une comparaison entre les principaux cations contenus dans l'eau de mer actuelle et ceux obtenus en extrayant l'eau de l'argile par consolidation de l'échantillon;
  - . les cations analysés par absorption atomique sont le sodium ( $\text{Na}^+$ ), le calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ), le potassium ( $\text{K}^+$ ) et le magnésium ( $\text{Mg}^{++}$ ).

En plus des données recueillies lors des campagnes de terrain de 1978 à 1981, une collecte de données provenant d'autres laboratoires ou organismes a été entreprise. Cette opération permet:

- premièrement, d'inventorier une quantité impressionnante de données géotechniques (travaux sur le terrain, travaux en laboratoire) utilisées pour la réalisation de la cartographie;
- deuxièmement, d'identifier par le biais des aménagistes régionaux les sols aux conditions problématiques amenant des limitations à l'utilisation du territoire.

Ainsi, des données géotechniques ont été compilées d'études effectuées pour le compte:

- de la Communauté Régionale de l'Outaouais (CRO),
- de la Société d'Aménagement de l'Outaouais (SAO),
- du ministère des Transports du Québec (MTQ),
- de la Commission Géologique du Canada (CGC): une banque de données géotechniques (Bélanger et Harrison, 1980) a été obtenue et compilée dans le cadre de ce projet.

L'ensemble de l'information géotechnique recueillie lors de ce projet de cartographie a été compilée sur une banque informatisée de données au Service de la Géotechnique (M.E.R.) disponible aux utilisateurs-aménagistes éventuels.

La combinaison de ces informations géologiques, géomorphologiques et géotechniques a permis la réalisation des feuillets analytiques.

- Géomorphologie, géologie et épaisseur des dépôts meubles (Carte 1);
- Caractéristiques géotechniques du socle (Carte 2);
- Profils stratigraphiques (Carte 3);

puis les feuillets de synthèse :

- Aptitude des sols (Carte 4);
- Zones exposées aux mouvements de terrain (Carte 5).

## II - PROPRIETES GEOLOGIQUES ET GEOTECHNIQUES DES ROCHES

Les propriétés géologiques et géotechniques des roches, décrites dans ce chapitre, proviennent de l'analyse de l'information contenue dans les ouvrages concernant la géologie de la roche en place, les relevés de terrain, les résultats des forages et des levés géophysiques. Les caractéristiques géotechniques du socle, décrites au Tableau III (en pochette) sont donc principalement déduites des propriétés géologiques.

Nous tenons à rappeler que notre objectif premier vise la caractérisation des dépôts meubles qui présentent des limitations à l'aménagement beaucoup plus importantes que le roc.

### II-1 - Subdivisions physiographiques

La région Gatineau - Hull - Aylmer de la Vallée de l'Outaouais est contenu dans deux (2) grandes provinces physiographiques de l'Est du Canada (Bostock, 1975):

#### a) Le Bouclier Canadien:

De longues périodes d'érosion ont transformé en pénéplaine cette aire montagneuse formée de roches métamorphiques et ignées précambriennes. Le réseau de drainage, souvent rectangulaire, est fortement influencé par la structurale (accidents tectoniques, érosion différentielle). Les formes glaciaires sont omniprésentes. C'est à la Région Laurentienne formée des Hautes-Terres Laurentiennes qu'appartiennent donc les Collines de la Gatineau; leur contrefort représente la limite septentrionale du territoire étudié.

b) Les Basses-Terres du St-Laurent:

Les Basses-Terres de l'Outaouais appartiennent à la subdivision des Basses-Terres du Centre. Elles sont constituées des roches sédimentaires du Paléozoïque inférieur formant un relief de plate-forme à topographie généralement douce. La roche est sub-affleurante ou masquée par la couverture des dépôts du Quaternaire. Les seuls accidents topographiques sont le fruit d'accidents tectoniques (failles), de reliefs monoclinaux ou des formes d'accumulation ou d'érosion des dépôts du Quaternaire.

La plaine argileuse des dépôts de la Mer de Champlain forme une couverture parfois puissante sur les Basses-Terres de l'Outaouais et le contrefort des Collines de la Gatineau. La plaine argileuse s'incline doucement vers la rivière des Outaouais. Elle est interrompue par quelques collines de till ou d'affleurements rocheux. L'accident topographique majeur consiste en l'abrupt de terrasse du Proto-Outaouais, d'une hauteur d'environ 25 m, qui fait apparaître deux niveaux de plaines argileuses.

## II-2 - La géologie de la roche en place

### 1 - Le Précambrien

Les roches précambriennes de la Province de Grenville (Tableau II) affleurent principalement dans la partie septentrionale du territoire étudié, dans le Parc de la Gatineau, au NW et au NE (Parc du Lac Beauchamps) de la ville de Gatineau. La Figure 3 présente une coupe récente dans des affleurements de roches métamorphiques situées le long de l'Autoroute 5, Old Chelsea.

TABLEAU II - Sommaire des formations géologiques de la roche en place (d'après Wilson, 1946; Bêland, 1954; Sabourin, 1965; Hogarth, 1970).

ERE	PERIODE	AGE	FORMATION ET LITHOLOGIE	
P A L E O Z O I Q U E	ORDOVICIEN	TRENTON ET BLACK RIVER	Formation d'Ottawa: calcaire, calcaire argileux, interlits argileux; un peu de grès et dolomie à la base.	
		DISCORDANCE		
		CHAZY	Formation de St-Martin: shale, grès, calcaire impur, dolomie.	
			Formation de Rockcliffe: shale et lentilles de grès.	
		DISCORDANCE		
		BEEKMANTOWN	Formation d'Oxford: dolomie et calcaire; shale au sommet.	
			Formation de March: grès et dolomie gréseuse interstratifiés.	
	ORD. OU CAMBRIEN		Formation de Nepean: grès.	
	DISCORDANCE MAJEURE			
		PRE-CAMBRIEN	GRENVILLE	Groupe de Grenville: gneiss, marbre cristallin, quartzite recoupés par des intrusions de gabbro, diorite, granite et syénite.

Le cycle orogénique grenvillien (Emslie, 1975) débute avec la mise en place des sédiments du Groupe de Grenville au Paléohélikien ( $\approx 1.5$  M.a. BP) formé d'une succession de marbre, quartzite et paragneiss. Pendant ou après cette sédimentation, des intrusions de gabbro, de diorite, de roches granitiques et syénitiques sont mises en place. Ces roches sont ensuite fortement déformées et métamorphosées lors de l'Orogénèse Grenville, il y a 900-1 100 m.a. BP; le métamorphisme régional atteint la limite supérieure du faciès amphibolite et le faciès granulite (Hogarth, 1970). Une faible activité intrusive succédant l'Orogénèse Grenville est représentée par des systèmes de dykes de diabase. Ces roches ont été fortement soulevées et sont soumises depuis l'Hadrynien à l'érosion réduisant ce massif cristallin à l'état de pénéplaine d'une élévation maximale de 305 m sur le territoire étudié et plongeant doucement sous la couverture sédimentaire du Paléozoïque.

Les roches précambriennes sont fortement plissées; les plis sont isoclinaux et la plupart plongent abruptement. En général, un premier système de plis variant de direction E-W à faible plongée vers le NE et plongée de  $45^\circ$ , est recoupé par un second système N50°W plongeant  $40-60^\circ$  dans cette direction.

Deux grandes familles de failles, N55-85°E et N50-70°W recourent les roches précambriennes; elles contiennent des zones de roc fracturé, broyé, mylonitisé et remplies de calcite, quartz et chlorite; leur âge est post-précambrien. Un escarpement linéaire peut être tracé du Parc de la Gatineau jusqu'à la Petite Rivière Blanche; la faille Eardley et la faille Gloucester-Hull appartiennent à la seconde famille alors qu'un autre système de cette famille contient les lacs Meach, Harrington et Philippe (c.f. carte 2). L'escarpement Eardley illustre la combinaison des deux (2) systèmes. Le Parc de la Gatineau, à la hauteur de Chelsea, forme un horst limité à

l'ouest par la faille Eardley puis à l'est par la faille Gloucester-Hull.

## 2 - Le Paléozoïque

Les roches sédimentaires du Paléozoïque des Basses-Terres de l'Outaouais (Tableau II) affleurent principalement au sud-ouest de l'Escarpement Eardley dans les municipalités de Aylmer et Hull-Ouest, dans la partie sud du Parc de la Gatineau, au sud-est de celui-ci dans la municipalité de Hull, puis au sud et sud-est du Lac Beauchamps dans la municipalité de Gatineau.

Au début de l'ère Paléozoïque, une mer épicontinentale transgresse sur le craton nord-américain; elle occupe alors la Baie d'Ottawa limitée au nord par les Collines de la Gatineau et vers le sud par l'Arche Frontenac (massif des Adirondacks). Cette mer permet la mise en place de sédiments détritiques et carbonatés pour former les roches sédimentaires du Bassin de Québec (Baie d'Ottawa) de la Plate-forme des Basses-Terres du St-Laurent (Baer, Poole, Sanford, 1977; Sanford et al., 1975). Ces roches sédimentaires reposent en discordance angulaire sur le craton.

Au Cambrien supérieur, ou au tout début de l'Ordovicien (Wilson, 1946), les grès transgressifs de la base du Paléozoïque se déposent en discordance majeure sur le socle précambrien et constituent les orthoquartzites (99,31% SiO<sub>2</sub>) de la Formation de Nepean. Son épaisseur varie de quelques centimètres à 85 m à Ottawa. Ces grès formant des bancs épais de 0,3 à 3 m affleurent principalement sur une bande pouvant atteindre 1 km de largeur au nord de la municipalité de Gatineau. Les affleurements du Lac Beauchamps permettent d'observer la base de la formation en discordance angulaire sur une syénite blanche précambrienne (Figure 4). La forma-

tion apparaît aussi sous forme de lambeaux d'érosion tapissant des dépressions dans les roches précambriennes.

La Formation de March du début de l'Ordovicien consiste en un grès orthoquartzitique interstratifié avec de la dolomie gréseuse ou gris-bleu. Elle représente un faciès transitoire entre les orthoquartzites de la Formation de Nepean et la dolomie d'Oxford sous-jacente. Des forages dans la région d'Ottawa indiquent une épaisseur totale de 7-9 m. Des affleurements de la Formation de March (Figure 5) se retrouvent dans la partie nord-ouest (Montée Paiement-Boul. St-René) et est (Templeton) de la municipalité de Gatineau.

La Formation d'Oxford débute après la dernière strate de grès de la Formation de March. Elle est formée d'une dolomie en lits épais (0,1 à 0,5 m) s'altérant rouille. A Ottawa, son épaisseur est de 73 m. Elle affleure principalement dans la partie sud-est de la municipalité de Gatineau (Figure 6), ainsi que sur une mince bande de 200-600 m de largeur longeant l'Outaouais, au nord-ouest de la municipalité d'Aylmer.

La Formation de Rockcliffe, du Groupe de Chazy (Ordovicien moyen), repose en non-conformité sur la Formation d'Oxford; une période d'érosion sépare les deux (2) formations. La Formation de Rockcliffe est formée de shales, siltstones friables contenant des lentilles gréseuses. Le shale est généralement vert-olive clair avec des lentilles foncées; le grès est à grain fin et gris. A Ottawa, des forages indiquent une épaisseur variant de 46 à 49 m. La Formation de Rockcliffe affleure le long de la rivière des Outaouais au sud d'Aylmer sur une bande allongée de 0,5 à 1,8 km de largeur. Des affleurements de grès fin gris clair sont nombreux aux Rapides Deschênes; des affleurements de siltstone et shale friables se rencontrent le long du Boul. Lucerne à Aylmer (Figure 7a, b, c).



3



4



5

Figure 3 - Affleurement de roches métamorphiques précambriennes  
(Autoroute 5, Old Chelsea).

Figure 4 - Affleurement du Parc du Lac Beauchamps.

Figure 5 - Affleurement de la Formation de March.

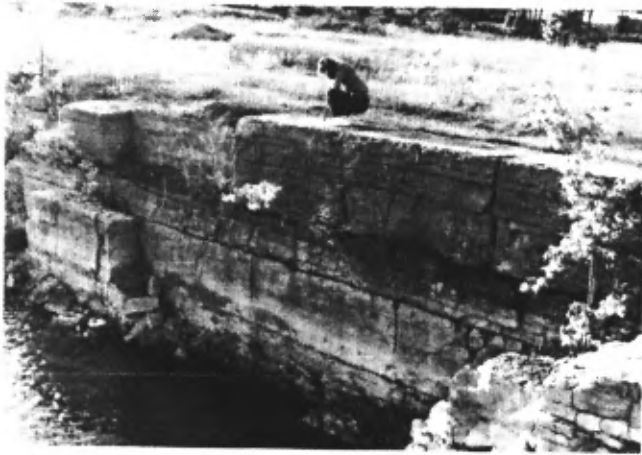
La Formation de St-Martin repose en concordance sur la Formation de Rockcliffe. La Formation de St-Martin est principalement calcaire, mais à sa limite ouest et à sa base, elle est composée de calcaire schisteux ou dolomitique interstratifié avec de minces lits de shale foncé et occasionnellement de grès. La Formation de St-Martin n'affleure pas dans le secteur étudié.

La Formation d'Ottawa forme le substratum affleurant ou sub-affleurant sur une grande partie du territoire étudié dans les municipalités de Hull et Aylmer. Elle constitue donc un matériau grandement utilisé comme fondation d'édifice ou matériau de construction. Nous insisterons donc davantage sur la description de cette formation rocheuse.

Les groupes de Black River et Trenton de l'Ordovicien moyen dans la Baie d'Ottawa sont représentés par la Formation d'Ottawa. Celle-ci repose en discordance (non-conformité) sur la Formation de St-Martin dans la partie centrale du bassin et sur la Formation Rockcliffe à l'ouest d'Ottawa.

La Formation d'Ottawa est principalement calcaireuse, mais inclut des shales et de petites quantités de grès à la base. Le shale persiste jusqu'au sommet de la formation comme joint de stratification. Le contenu en carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) varie de 86-100% pour toute la formation. Dans la région d'Ottawa, on distingue trois (3) unités lithostratigraphiques à l'intérieur de la formation (Wilson, 1946):

- l'unité inférieure: typique d'un dépôt de base, elle consiste en du shale, quelques grès, du calcaire impur et de la dolomie; son épaisseur maximum est de 35 m;
- l'unité intermédiaire: elle est composée de calcaire cristallin pur, en lits épais (Figure 8); son épaisseur maximum est de 125 m;
- l'unité supérieure: elle est composée de petites quantités de shale et de minces couches de calcaire impur passant graduellement



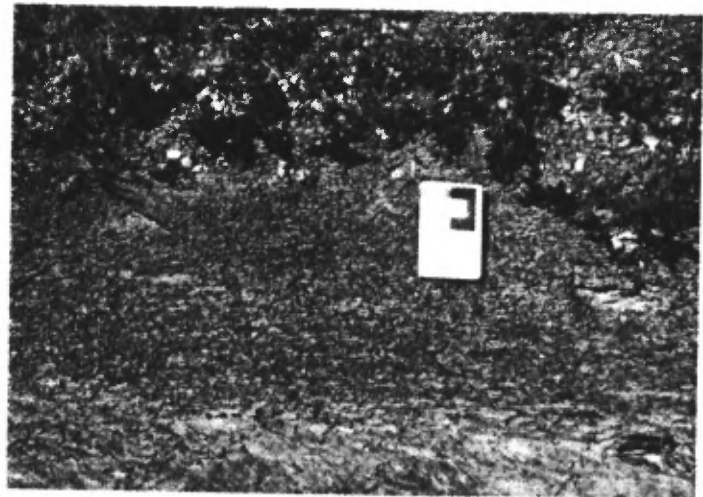
6



7a



7b



7c

Figure 6 - Affleurement de la Formation d'Oxford.

Figure 7 - Affleurement de la Formation de Rockcliffe :

a) grès; b) siltstone; c) shale.

vers le sommet à des lits épais de calcaire parfois pur et cristallin, parfois moins pur et interstratifié de shale; son épaisseur maximum est de 65 m.

Ces unités passent de l'une à l'autre à la fois verticalement et latéralement et leur limite varie d'un endroit à l'autre du bassin.

Les couches de l'Ordovicien supérieur, dans la Baie d'Ottawa, sont représentées par les formations d'Eastview, Billings, Carlsbad, Russell et Queenston totalisant une épaisseur de 268 m (Sanford et al., 1975). Aucune de ces formations n'est représentée sur le territoire étudié.

Aucune formation plus récente n'apparaît sur le territoire Ottawa-Hull. La formation des Appalaches au sud-est à l'Ordovicien moyen (orogénèse Taconique), puis au Dévonien (orogénèse Acadienne) provoque des changements de milieux sédimentaires; le soulèvement graduel du continent mettant fin à la sédimentation marine le soumet aux divers processus d'érosion.

La structure originale tabulaire et uniforme des roches des Basses-Terres de l'Outaouais a été modifiée par deux systèmes majeurs de failles (Wilson, 1946) (c.f. carte 2):

- un premier ESE,
- un second vers l'E et franchement E dans la partie occidentale du bassin.

A l'est de Hull, les failles des deux systèmes (Carte 2, à l'est du lac Leamy et à l'est du Lac McLaurin) recoupent la bordure nord du bassin interrompant brusquement les roches du Paléozoïque, qui forment une couverture monoclinale à faible pendage en discordance sur les reliefs précambriens.

A l'ouest de Hull, les roches du Paléozoïque apparaissent dans un grabben SE limité au nord par la faille Eardley et au sud par la

faille Hazeldean; il est incliné vers le NE et les formations les plus anciennes apparaissent du côté SW du grabben. La section NW-SE de la rivière des Outaouais occupe cet accident tectonique.

L'accident tectonique le plus remarquable du bassin est ce gros bloc affaissé, incliné grossièrement vers le sud, limité au nord, à l'ouest et au sud par des failles. Les municipalités de Hull et d'Ottawa sont construites principalement sur celui-ci. La zone de faille Gloucester-Hull, à la limite ouest et au sud-ouest de ce bloc est la faille principale de tout le secteur central du bassin. Ce système de failles, à pendage abrupt, présente un patron de failles radiales. Près des failles (au SE du Parc de la Gatineau), les pendages atteignent 50°E (Hogarth, 1970) (Figure 9 a et b).

L'âge des failles les plus récentes est post-Ordovicien. Elles résultent des mouvements appalachiens de la fin Ordovicien et du début Dévonien.

### II-3 - Propriétés géotechniques des roches

Les propriétés géotechniques des roches sont commentées au Tableau III: Caractéristiques géotechniques du socle (en pochette). Ainsi, pour chaque type de roc rencontré, on présente:

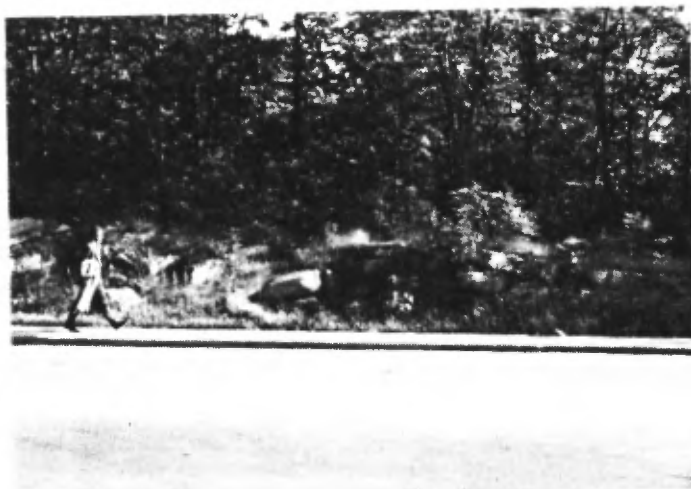
- le nom de la formation géologique,
- la lithologie,
- la grosseur des grains,
- l'épaisseur de la formation,
- la structure de la roche et les discontinuités (espacement des joints et épaisseur des strates),
- les caractéristiques de sa résistance selon la lithologie et la structure,



8



9a



9b

Figure 8 - Affleurement de la Formation d'Ottawa (M).

Figure 9 - Déformations du roc (Formation d'Ottawa dans la zone de faille Gloucester-Hull) : a) roc basculé; b) flexure de la roche.

- le mode d'altération et le modelé de surface,
- le potentiel hydrogéologique,
- la géologie économique,
- la densité relative,
- la vélocité des ondes sismiques.

Le Tableau III a été construit selon le modèle élaboré par Bélanger, Harrison (1980).

La colonne 1 présente une définition des unités géotechniques de roc selon le type de roc. La qualité du roc diminue proportionnellement avec le numéro de l'unité.

La colonne 2 identifie les formations incluant ou associées à ce type de roc. Etant donné que certaines formations contiennent plusieurs types de roc et que la représentation de chacune de ces sous-unités est impossible à faire dans le cadre de cette étude, on spécifie les formations géologiques où ce type de roc est prédominant et celles où il apparaît de façon secondaire.

La colonne 3 décrit la lithologie de ce type de roc en précisant le faciès, la taille des grains, la nature du ciment,...

Les colonnes 4 et 5 nous renseignent sur l'occurrence de ces types de roc en spécifiant l'épaisseur et la représentation spatiale relative de chacun d'eux. L'épaisseur notée correspond à l'épaisseur maximum qu'on devrait retrouver dans la région d'Ottawa; les épaisseurs sont donc moindres près de la bordure du bassin sédimentaire.

La colonne 6 combine l'information concernant la lithologie et la structure pour en déduire les caractéristiques de la résistance; des données structurales précisent les discontinuités ( $S_0$ ,  $J_1$ ,  $J_2$ ,  $J_3$ , etc...) de la roche; cette donnée, en plus d'être utile pour caractériser la résistance, permet de définir la dimension du bloc unitaire, paramètre très utile pour les opérations de sautage, marina-ge, etc...

La colonne 7 donne des informations sur le mode d'altération et le modelé de surface du roc; ces paramètres sont importants autant lorsque le roc est utilisé comme matériau de construction ou fondation.

Les colonnes 8 et 9 présentent des caractéristiques mécaniques du roc. Les valeurs de densité relative sont de Saxov (1956). Les données de vitesse des ondes sismiques en compression P ( $V_p$ ) obtenues en laboratoire proviennent des travaux de Bélanger, Harrison (1980). Les relevés géophysiques par la méthode sismique réflexion réalisés pour notre étude (Tableau I) permettent de calculer la vitesse des ondes sismiques P ( $V_p$ ) in situ (Dion, Caron, 1982). Les résultats obtenus pour chaque type de roc apparaissent sous forme d'histogrammes. L'analyse de ces résultats a permis de vérifier et, par endroits, de corriger la géologie du socle (Carte 2). On a de plus subdivisé la formation d'Ottawa en trois unités: une unité de base (I), une unité intermédiaire (M) et une unité supérieure (S). Cette valeur de  $V_p$  in situ est utilisée pour caractériser les formations rocheuses au point de vue géotechnique: -  $V_p$  in situ/ $V_p$  labo. = MRQD (Mass Quality Rock Designation); cet indice permet d'apprécier la qualité du roc in situ par rapport au roc sain du laboratoire.

La colonne 10 caractérise chaque unité de roc comme ressources en mentionnant les utilisations passées et présentes de ces matériaux. Le potentiel hydrogéologique de chaque unité est tirée de Brandon (1961).

#### 1 - Zones de mauvais roc

Le roc est généralement sain et de bonne qualité sur l'ensemble du territoire (% de récupération > 90% pour tous les types de roc). Par contre, au moins trois unités de roc de mauvaise qualité méritent d'être signalées; ce sont:

- le roc altéré de surface;
- la discordance majeure entre les roches du Paléozoïque et le Précambrien;
- les zones de faille.

a) Le roc altéré de surface

Les processus de la géodynamique externe altèrent les matériaux rocheux en surface. L'épaisseur de cette zone, variable selon le type de roc, dépend du mode d'altération de la roche et de sa résistance; ces caractéristiques sont décrites au Tableau III. Cette épaisseur permet de caractériser la rippabilité du roc. Le niveau phréatique correspond souvent à la base de cette zone.

Les roches ignées et métamorphiques (unités 1a et 1b) et les grès (unité 2) sont souvent sains en surface et l'épaisseur de roc altéré est inférieur à 30 cm.

Les grès/dolomies (unité 3), les dolomies (unité 4) et les calcaires (unité 5) sont altérées en surface jusqu'à 1-2 m de profondeur. L'altération de surface produit souvent un débit secondaire qui diminue considérablement l'épaisseur des strates.

Les shales et siltstones (unité 6) s'altèrent rapidement et montrent des couvertures de roc friable et désagrégé sur environ 2 m de profondeur.

b) La discordance majeure Paléozoïque/Précambrien

Les affleurements du Parc du Lac Beauchamps, Gatineau permettent d'observer cette discordance majeure (Figure 4). Le roc en présence est le grès de la Formation de Nepean reposant en discordance sur une syénite blanche. La zone de contact est formée de roc de très mauvaise qualité. Sous un mince lit de grès de la Formation de Nepean contenant des galets sub-arrondis, on retrouve un niveau d'environ 2 m d'épaisseur de roc altéré. Au sommet de ce niveau apparaît un horizon meuble de 6-8 cm formé de minéraux d'altération

gris et verdâtre (fragments de roche altérée, minéraux argileux) provenant de la désagrégation par hydrolyse de la syénite. Sous cet horizon, la syénite est altérée et friable sur 1,5-2 m et l'intensité de l'altération diminue avec la profondeur. Brandon (1961) mentionne le potentiel hydrogéologique de cette zone. Ainsi en plus de présenter des matériaux de très faible à faible résistance, des venues d'eau importantes peuvent être associées à cette zone de roc de mauvaise qualité.

### c) Les zones de faille

Plusieurs zones de faille sont représentées sur la carte 2. Parmi celles-ci, notons les zones de faille Eardley et Gloucester-Hull qui forment un réseau radial dans la municipalité de Hull. D'autres zones de faille importantes se retrouvent dans la partie septentrionale du territoire et à l'est de Gatineau. Ces zones constituent une unité de roc de mauvaise qualité, car:

- le roc y est déformé: plissement et basculement des roches (Figure 9 a et b);
- le roc est fragmenté et cisailé: les % de récupération sont faibles;
- elles peuvent contenir des minéraux d'altération (mylonites, chlorites);
- la perméabilité est grande et des venues d'eau sont à craindre;
- elles correspondent souvent à des dépressions topographiques importantes du socle comblées d'une grande épaisseur de dépôts meubles (c.f. cartes 1 et 2) souvent compressibles et impliqués dans des glissements de terrain.

### III - PROPRIETES GEOLOGIQUES ET GEOTECHNIQUES DES DEPOTS DU QUATERNAIRE

Le Cénozoïque est marqué des quatre (4) grandes glaciations continentales de l'ère Quaternaire (Prest, 1975). Les événements glaciaires et post-glaciaires sont responsables de la mise en place des dépôts et formes de surface. La géologie des dépôts de surface dans la région Ottawa - Hull résulte des événements glaciaires du Wisconsinien et des événements post-glaciaires; elle est résumée au Tableau IV (d'après Richard et al., 1974; Gadd, 1963).

#### III-1 - Les dépôts glaciaires

Un seul dépôt glaciaire (Gadd, 1963), équivalent au till de Gentilly dans les Basses-Terres du St-Laurent, recouvre de façon irrégulière et discontinue le substratum. La description de ce till selon Richard et al. (1974) est la suivante: mélange hétérogène de matériaux allant de l'argile à de gros blocs, généralement sableux, passant vers le bas au till non-remanié; la surface du till a été remaniée lors de l'invasion marine (sous la côte 210 m); modelé allant d'une surface légèrement ondulée à un relief bosselé.

La composition du till varie selon l'influence de la roche-mère (Scott, 1976; Dreimanis, 1961, 1976). Le till des Collines de la Gatineau (Province du Bouclier Canadien) possède une matrice plus grossière et plus sableuse, peu carbonatée. Le till des Basses-Terres de l'Outaouais (Province des Basses-Terres du St-Laurent) contient un pourcentage de galets de roches du Paléozoïque, qui augmente vers le sud, en fonction de la distance des affleurements de roches précambriennes.

TABLEAU IV - Sommaire des formations géologiques du Quaternaire (d'après Gadd, 1963; Richard, Gadd, Vincent, 1974).

ERE	PERIODE	AGE	FORMATION ET LITHOLOGIE	
Q U A T E R N A I R E	HOLOCENE	RECENT	DEPOTS RECENTS	Dépôts organiques: humus et tourbes dans les régions marécageuses et les tourbières.
				Dépôts fluviatiles récents: sable silteux, silt, silt argileux lités; matière organique disséminée; sur la plaine inondable des cours d'eaux actuels.
	PLEISTOCENE	WISCONSIN	DEPOTS DU PROTO-OUTAOUAIS	Dépôts fluviatiles de chenaux abandonnés: silt et argile silteuse, lentilles de sable; recouvre localement les argiles de la Mer Champlain à des épaisseurs variables; sable moyen lité jaune clair, non fossilifère; remanié localement en dunes de petite taille.
				Dépôt d'estuaire et de chenaux: sable moyen à fin, lité, jaune clair; petites lentilles de gravier, non fossilifère; souvent remanié en dunes.
			DEPOTS DE LA MER CHAMPLAIN	Faciès littoral: gravier, sable grossier et galets; fossilifère; blocs tabulaires lorsque la plage se développe sur les affleurements du Paléozoïque.
				Faciès sub-littoral: sable homogène, fin, jaune clair de la zone sub-littorale; généralement fossilifère; souvent remanié en dunes.
				Faciès d'eau profonde; argile bleu gris, silt et argile silteuse, lentilles de sable; calcaireux et fossilifère; "Leda Clay" en géotechnique.
			Dépôts fluvio-glaciaires; graviers et sables, lentilles de till; dépôts de contact glaciaire ou d'épandage proglaciaire; remaniés en dépôts de plage lorsque sous la limite marine champlai-nienne.	
			Dépôts glaciaires: till; mélange hétérogène de matériaux allant de l'argile à de gros blocs, sableux; surface généralement remaniée par l'action des vagues ou des rivières; modelé allant d'une surface légèrement ondulée à un relief bosselé.	
			Substratum rocheux	

Les affleurements de till sont faiblement représentés sur le territoire. Les principaux se retrouvent aux environs de Hull, Aylmer et Gatineau:

- quelques unités apparaissent sur le versant sud de la vallée de la rivière Breckenridge;
- dans les parties nord et est de la municipalité d'Aylmer;
- dans la ville de Hull;
- dans la ville de Gatineau, à l'ouest du Parc du Lac Beauchamps;
- quelques unités cartographiables se retrouvent sur la partie septentrionale du territoire au NW de la Petite Rivière Blanche.

Le till représente une unité de sol de bonne qualité pour la construction. Outre son contenu en blocs de toute taille, sa granulométrie est celle d'un sable bien étalé (SW) avec quelques échantillons de sable graveleux (SG), sable silteux (SM) ou silt sableux (MS). Cette granulométrie favorise une compacité élevée; sa teneur en eau ( $w$ ) est voisine de 12-16%. La Figure 10 représente l'enveloppe des courbes granulométriques obtenues pour le till. Les analyses granulométriques ont été réalisées sur des échantillons remaniés récupérés avec une cuillère fendue lors de l'essai de pénétration standard (SPT); les courbes granulométriques du M.E.R. représentent des échantillons provenant de coupes fraîches. Ainsi, cette enveloppe caractérise particulièrement la matrice du till, qui est sableuse ou silto-sableuse, et non l'ensemble du dépôt. La perméabilité du till varie dans le sens de la granulométrie de la matrice de  $10^{-4}$  à  $10^{-2}$  cm/sec.

Sa compacité est celle d'un dépôt dense à très dense; les valeurs de l'indice  $N$  à l'essai de pénétration standard s'échelonnent de 20-125 mais sont généralement supérieures à 40. Les valeurs de la résistance en pointe ( $Q_c$ ) obtenues avec le pénétromètre statique varient de 5-20 MPa (Figure 11).

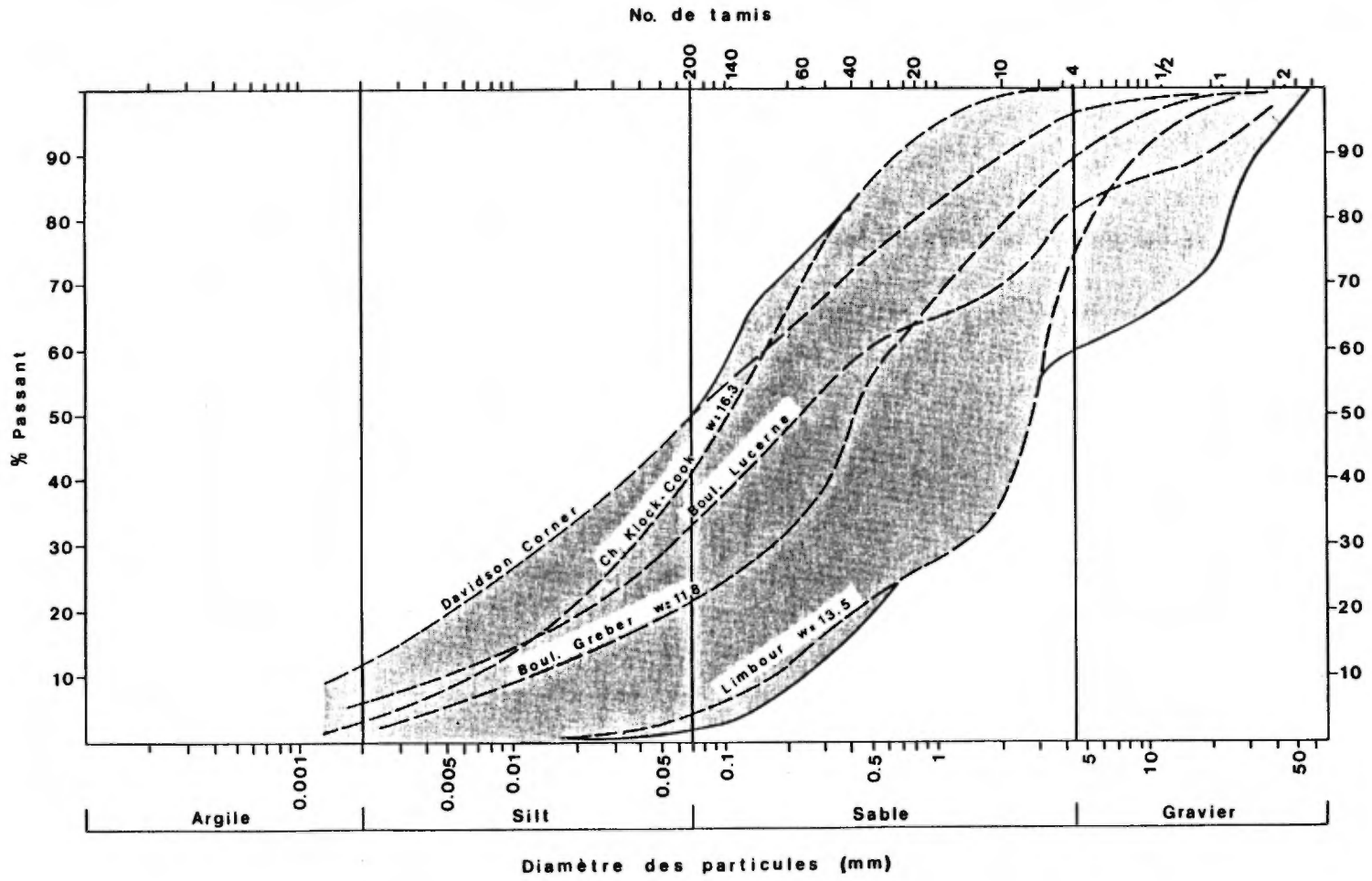


Figure 10 - Granulométrie du till pour les particules inférieures à 55 mm (2,5 po.)

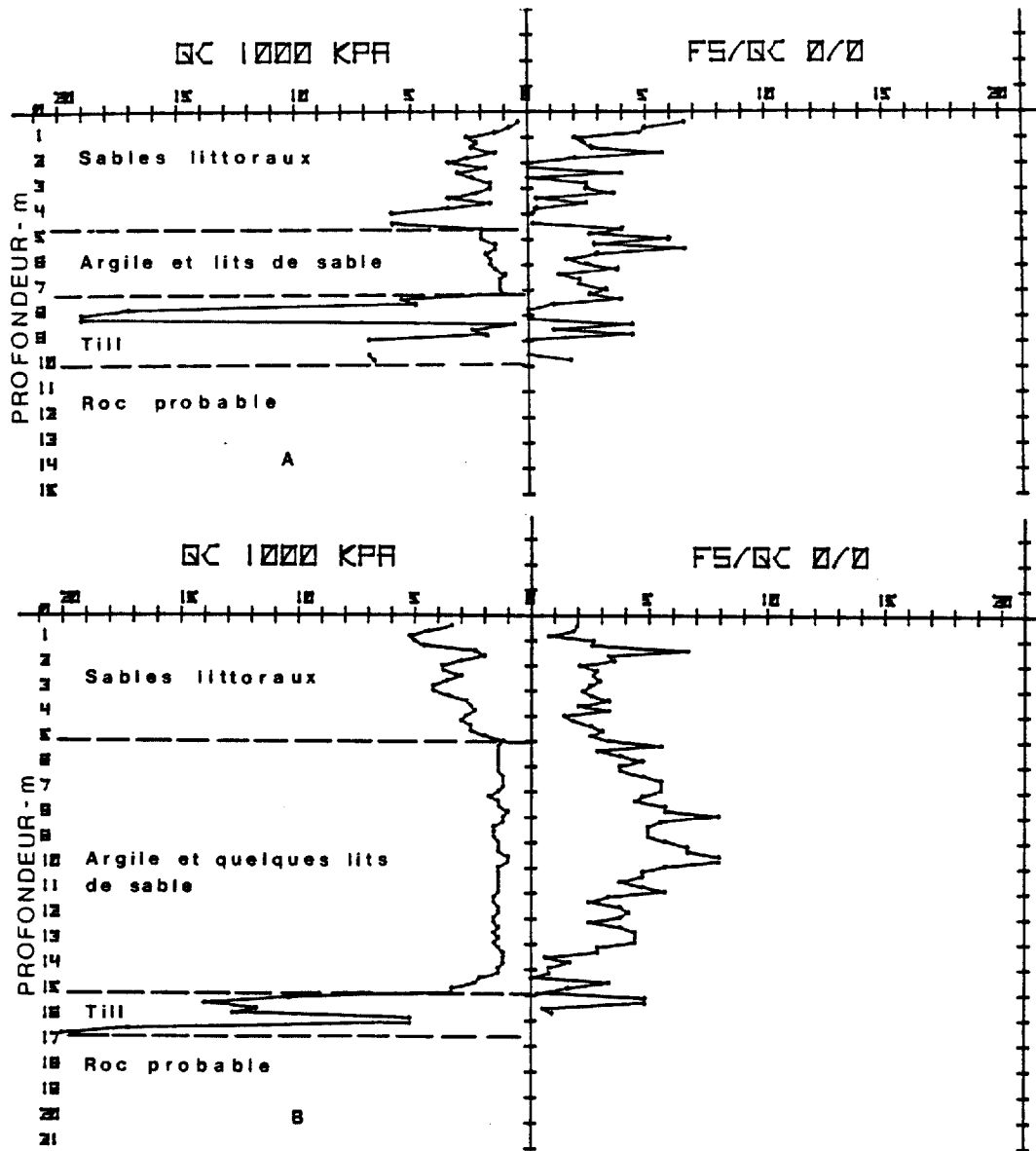


Figure 11 - Essais au pénétrömètre statique caractéristiques dans les dépôts de till et de sables littoraux.

Le till représente donc un sol de fondation de bonne qualité. Sa capacité portante est élevée et évaluée régionalement supérieure à  $3 \text{ kg/cm}^2$ . Le roc sous-jacent peut être facilement atteint; son épaisseur excède rarement 6 m. Sa compacité élevée et son contenu en blocs de grande taille rendent parfois l'excavation difficile. Des venues d'eau artésiennes ont été notées à quelques endroits dans ce dépôt lors de sondages ou d'excavations.

### III-2 - Les dépôts fluvio-glaciaires

Les dépôts fluvio-glaciaires surmontent les dépôts de till. Ils sont composés principalement de sable et gravier stratifiés pouvant inclure des lentilles de till; ils se retrouvent sous forme de dépôts de contact glaciaire ou d'épandage proglaciaire; leur surface est remaniée en plages, lorsqu'ils sont situés sous la limite marine champlainienne. Les dépôts les plus connus et étudiés (Gadd, 1963; Harrison, 1977) de cette unité sont ceux de l'Aéroport International d'Ottawa. Des dépôts de contact glaciaire se retrouvent au nord-est d'Aylmer dans une vallée pré-glaciaire enfouie le long de l'Escarpement Eardley, à l'est du Parc de la Gatineau près de Old Chelsea, d'autres au nord de Templeton le long de la rivière Blanche. Plusieurs forages ont traversé des dépôts d'épandage proglaciaire et des dépôts de contact glaciaire sous les argiles de la Mer de Champlain. Des épaisseurs importantes de dépôts granulaires ont ainsi été retrouvés sous des argiles marines immédiatement à l'est du Parc de la Gatineau près de Freeman Rd et Mountain Rd, ainsi que près du Lac Leamy, Hull.

Les dépôts fluvio-glaciaires constituent généralement une unité de sol de bonne qualité pour la construction. Ces dépôts granulai-

res ont des textures très variables selon l'environnement sédimentaire; bien que majoritairement constitués de sable moyen à grossier et gravier bien stratifiés, on peut retrouver certains horizons de silt sableux, sable silteux; certains dépôts de contact glaciaire sont mal stratifiés et mal triés. La perméabilité de l'ensemble du dépôt est élevée et supérieure à  $10^{-2}$  cm/sec. Leur teneur en eau naturelle (w) est de l'ordre de 15-25%.

Les valeurs de l'indice N (essai SPT, N = 10-50) obtenues indiquent une compacité moyenne à dense pour ce dépôt. Ces dépôts granulaires sont facilement compactables lorsque non-saturés. Les valeurs de la résistance en pointe ( $Q_c$ ) au pénétromètre statique varient de 5-15 MPa (figure 12). Leur capacité portante est bonne et évaluée à 2-3 kg/cm<sup>2</sup>.

Des venues d'eau artésiennes importantes ont été enregistrées dans cette unité. Ainsi, des phénomènes de boulanges ou de soulèvements en fonds d'excavations sont à craindre. Cette unité constitue parmi les dépôts meubles une ressource hydrogéologique importante. Une entreprise du Parc Industriel Lucerne (SAO) s'alimente à même cette unité.

### III-3 - L'Episode de la Mer de Champlain et les dépôts associés

Lorsque la glace retraite vers le nord au-delà de la Ville de Québec, les eaux marines envahissent par le Détroit de Montmagny les secteurs déglacés des Basses-Terres du St-Laurent et de l'Outaouais. Des données de Occhietti et Hillaire-Marcel (1977), situent l'épisode marin entre 12 500 et 9 800 ans BP.

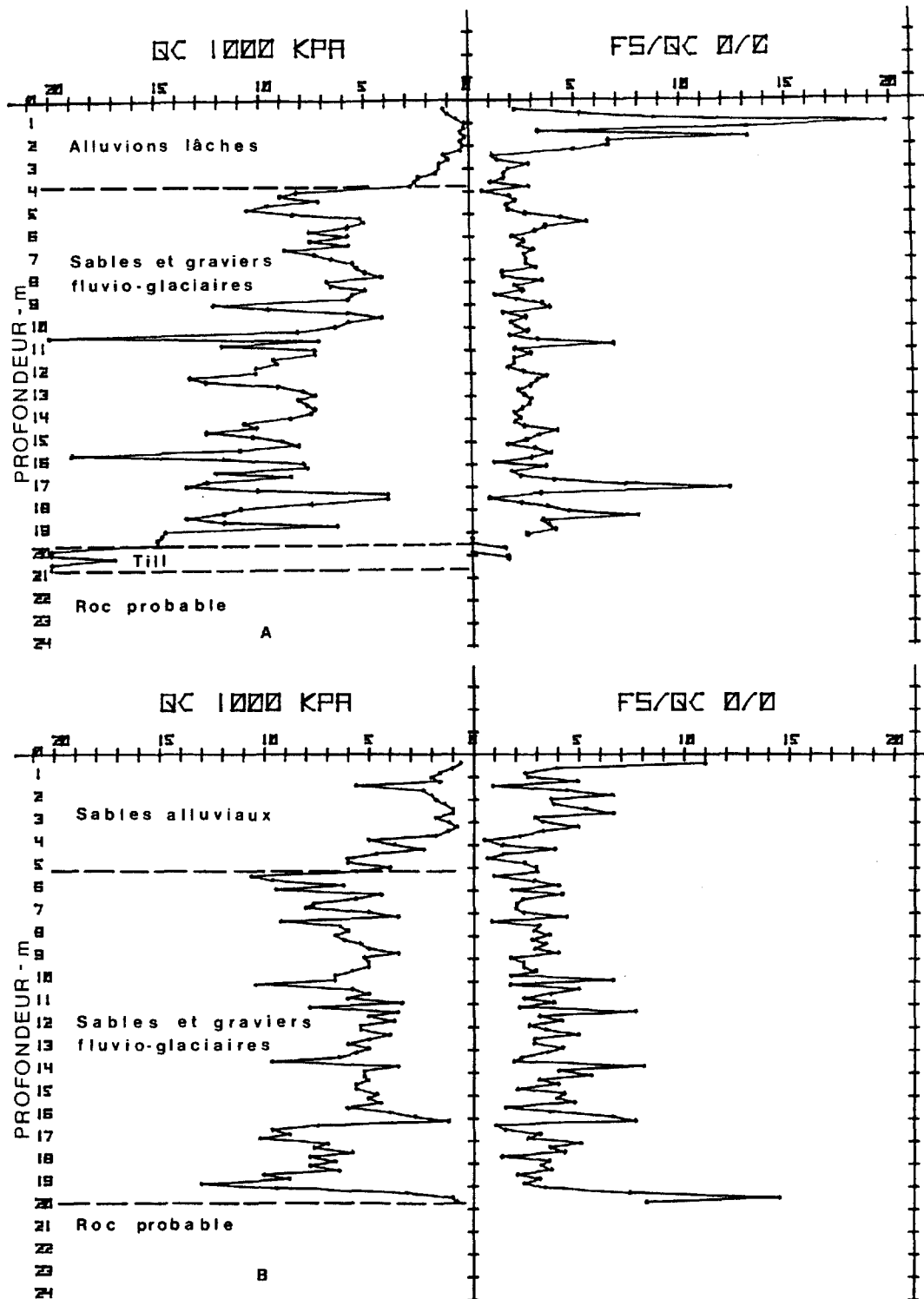


Figure 12 - Essais au pénétromètre statique caractéristiques dans les dépôts fluvio-glaciaires et alluviaux.

La Mer de Champlain est un événement tardiglaciaire du Wisconsin supérieur (Crawford, 1961; Karrow, 1961): la mer est au contact ou à proximité du front glaciaire de 12 500 ans à 10 600 ans BP (Occhietti et Hillaire-Marcel, 1977; Gadd, 1976). Romanelli (1975) signale qu'au maximum marin, la mer est en contact avec le front glaciaire à Martindale, 50 km au nord d'Ottawa. Un front morainique est reconnu à Farrelton, 40 km au nord d'Ottawa (Allard, Soucy, 1980). Il en résultera une sédimentation à caractère glacio-marin (Tableau V).

La plus ancienne datation radiométrique relatant l'invasion de la Mer Champlain dans la Baie d'Ottawa est fournie par Richard (1974):  $12\ 800 \pm 220$  ans BP; Romanelli (1975, 1976) signale la datation de coquilles marines à Cantley dans la vallée de la Gatineau ( $\approx 12$  km au nord de Hull) à  $12\ 200 \pm 160$  ans BP (GSC-1646).

La séquence des dépôts de la Mer de Champlain se subdivise (Richard et al., 1974) en dépôts d'eau profonde, dépôts sub-littoraux et dépôts littoraux. Le faciès d'eau profonde est formé d'argile bleu-gris, de silt, de silt argileux et d'argile silteuse, incluant des lentilles de sable; il est calcaireux et fossilifère en profondeur. Le faciès sub-littoral est constitué de sable homogène, fin, jaune clair, mis en place dans la zone sub-littorale, souvent remanié en dunes et généralement fossilifère. Le faciès littoral est constitué de gravier, sable grossier et galets fossilifères, et particulièrement formé de galets tabulaires d'origine locale lorsque la plage s'est développée sur des affleurements paléozoïques.

### III-3.1 - Les argiles de la Mer de Champlain

Le Tableau V présente une subdivision en quatre (4) sous-unités stratigraphiques des Argiles de la Mer de Champlain. Cette sub-

division a été établie à partir des données recueillies sur les sols argileux dans le cadre de cette étude et une synthèse d'études spécifiques concernant la sédimentation marine et glacio-marine d'eau profonde.

A la base des Argiles de la Mer Champlain, on retrouve localement des sédiments rythmés glacio-lacustres (Gadd, 1963) ou glacio-marins (Antevs, 1925; Gadd, 1976) formés d'une alternance de silt sableux, sable fin à moyen pouvant contenir du gravier et du silt argileux; ces rythmites correspondent à une variation latérale du faciès sus-jacent et passent graduellement au faciès glacio-marin d'eau profonde.

Le faciès glacio-marin d'eau profonde se compose de silt argileux, d'argile silteuse et de lentilles de sable fin ayant une structure laminée, rubanée gris clair à foncé ou massive, tachetée ou rubanée noirâtre. Ce faciès tout comme le faciès des rythmites sous-jacent, est le produit des apports d'eau de fonte glaciaire alimentant en eaux continentales le bassin marin; il reflète une sédimentation glacio-deltaïque distale d'un milieu marin mise en place par courants de densité.

Le recul du front glaciaire après la phase de réavancée de St-Narcisse permet l'implantation de conditions saumâtres ou marines dans le bassin de la Mer de Champlain. Le faciès marin d'eau profonde peut se mettre en place. Il se compose d'argile silteuse avec des traces de sable fin ou quelques lits de sable fin, gris foncé massive ou rubanée gris clair à foncé, souvent tachetée noirâtre par des matériaux sulfureux. Ce faciès s'est mis en place sur un fond marin irrégulier caractérisé par une faible circulation et aération; il peut représenter une variation latérale du faciès glacio-marin d'eau profonde.



Le retrait graduel de la Mer de Champlain dans la région de Ottawa - Hull par rebondissement isostatique est caractérisé par:

- des conditions d'eau de faible salinité dans une mer de moins en moins profonde;
- l'avancée des faciès continentaux sur les faciès marins: une sédimentation prodeltaïque.

La transition entre le faciès d'eau profonde et le faciès prodeltaïque se fait sur plusieurs mètres et la coupure est subjective (Fransham, Gadd, 1976); ce dernier se compose d'argile silteuse rubanée gris clair à gris foncé ou rougeâtre reflétant des variations saisonnières et des fluctuations des courants dans le bassin; des lits de sable sont présents; on peut retrouver au sommet surtout à proximité de fronts deltaïques, une alternance de couches d'argile silteuse, de silt et de sable fin marquant la régression marine. Ces matériaux affleurent dans les niveaux supérieurs de la plaine argileuse intacte au-dessus de la cote 99 m (325').

La Carte 1 montre la distribution importante des dépôts argileux d'eau profonde sur le territoire étudié; notons que les unités 7 et 8 cartographiées recouvrent généralement par de faibles épaisseurs (<3 m) les dépôts argileux de la Mer de Champlain. De nombreuses cicatrices de glissements de terrain apparaissent dans ces dépôts profondément ravinés. Les difficultés d'aménagement liées à ces terrains argileux (zones exposées aux mouvements de terrain, stabilité des excavations, compressibilité des sols de fondation) imposent des investigations plus poussées dans le but de déterminer les propriétés géotechniques de ces sols argileux. En raison de leur importance, le Chapitre IV sera entièrement consacré à la caractérisation géotechnique des sols argileux de la Mer de Champlain.

### III-3.2 - Les dépôts granulaires de la Mer de Champlain

Les dépôts granulaires de la Mer de Champlain consistent en des dépôts sub-littoraux et littoraux décrits précédemment.

Les dépôts sub-littoraux apparaissent sur la Carte 1. Ils représentent généralement de minces placages de sable fin oxydé ayant une épaisseur de moins de deux (2) mètres; ils ne constituent pas alors une unité cartographiable.

Par contre, on retrouve au nord d'Angers (Ribot) une unité de sables deltaïques comprenant du sable moyen, uniforme, bien stratifié, lâche (Figure 13). L'épaisseur maximum de cette unité est supérieure à 6 m.

Des dépôts littoraux de la Mer de Champlain ont été cartographiés à l'ouest du Parc de la Gatineau, Aylmer. Lorsqu'ils sont associés aux affleurements du Paléozoïque, ils sont formés de graviers grossiers sableux et silteux, galets tabulaires oxydés dont l'épaisseur est généralement inférieure à 3 m.

Lorsqu'ils surmontent les argiles, ils sont formés de sable graveleux lâches et apparaissent sous forme de plages ou de flèches littorales. Leur épaisseur peut atteindre 5 m et les valeurs de la résistance en pointe au pénétromètre statique ( $Q_c$ ) sont inférieures à 5 MPa (Figure 11).

### III-4 - Les dépôts du Proto-Outaouais

L'épisode marin champlainien se termine dans la région d'Ottawa - Hull vers 10 000 ans BP (Gadd, 1976) et des conditions d'eaux douces apparaissent dans la Vallée de l'Outaouais. Le dernier bras de mer champlainien fait place au Proto-Outaouais; une sédimentation dans un milieu fluvial et/ou estuarien remplace la sédimentation marine précédente. Cet événement paléogéographique

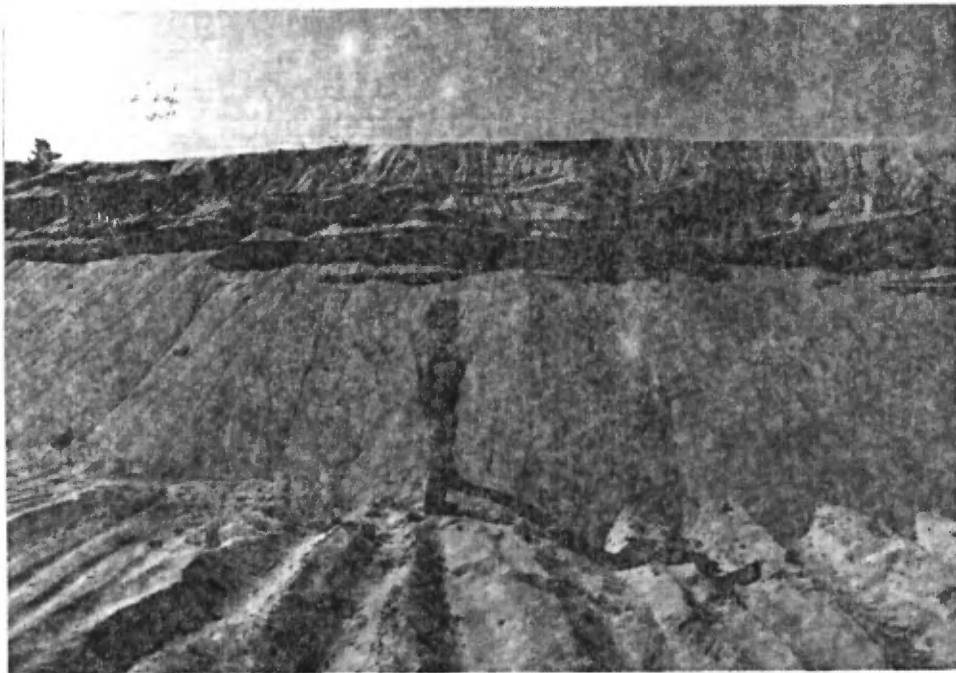


Figure 13 - Sables sub-littoraux (deltaïques)  
au nord d'Angers (Ribot).

marque le début de l'Holocène. L'épisode du Proto-Outaouais, dont le débit est alimenté principalement par le drainage des Grands Lacs, se terminera avant 5 000 a. BP (Dreimanis, 1977).

Sur le territoire étudié, les dépôts du Proto-Outaouais consistent (Richard et al., 1974) en dépôts fluviaux de chenaux abandonnés composés de silt, silt argileux, lentilles de sable pouvant recouvrir localement des argiles de la Mer de Champlain à des épaisseurs variables et des dépôts de sable moyen lité jaune clair non fossilifère, remaniés localement en dunes de petite taille. Le cône deltaïque formé par la rivière Gatineau dans le Proto-Outaouais comprend du sable grossier graveleux, du gravier à blocs ( $\leq 40$  cm) mal classé et du silt sableux. Ces dépôts apparaissent seulement sous la cote 99 m correspondant au sommet de la terrasse d'érosion principale formée par le Proto-Outaouais. Cet accident géomorphologique fera apparaître deux (2) niveaux de plaines argileuses:

- la terrasse supérieure Chelsea-Templeton,
- la terrasse inférieure Hull-Gatineau.

Des dépôts grossiers de chenaux abandonnés ont été retrouvés à l'est de la municipalité d'Aylmer (en aval des Rapides Deschênes) à Limbour sur la rive est de la rivière Gatineau et à l'est de la municipalité de Gatineau (en aval des affleurements du Parc du Lac Beauchamps). Les dépôts fins (argile redéposée: Gadd, 1963) de cette unité n'ont pu être reconnus et distingués des dépôts marins sous-jacents à cause:

- d'une distribution irrégulière,
- des propriétés physiques très semblables à celles des dépôts fins marins,
- d'une faible épaisseur ne permettant pas de distinguer ce dépôt de la croûte desséchée de surface.

Les caractéristiques géotechniques des dépôts grossiers sont variables selon la texture du sédiment. Les dépôts graveleux ont une capacité portante élevée alors que les dépôts de sable et de silt ont une capacité portante plus faible. Ces dépôts ont une épaisseur faible, généralement inférieure à 6 m. Cependant, leurs caractéristiques mécaniques peuvent être facilement améliorées par compaction.

### III-5 - Les dépôts récents

Les dépôts récents se subdivisent en dépôts fluviatiles et dépôts organiques (Richard et al., 1974). Les dépôts fluviatiles récents sont composés de gravier, sable, sable silteux, silt et silt argileux lités contenant de la matière organique; on les retrouve sur la plaine inondable des cours d'eaux actuels. Ils affleurent aux confluents des rivières Gatineau et des Outaouais, dans l'Ile Kettle au sud de la Municipalité de Gatineau et à l'est de celle-ci le long de la Rivière des Outaouais, le long de la Rivière Blanche à l'est de la municipalité de Templeton.

Les dépôts fluviatiles récents sont des dépôts mixtes dont les caractéristiques géotechniques varient selon la texture du sédiment et le contenu en matière organique. Leur granulométrie est donc très variable:

- % C : 0-36,
- % M : 1-100,
- % S : 0-99,
- % G : 0-95.

Ainsi leur teneur en eau ( $w$ ) sera très variable:  $w = 21-91\%$ .

Ces dépôts représentent des sols jeunes normalement consolidés; leur résistance au cisaillement sera faible et leur compressibilité élevée particulièrement s'ils sont formés de silt argileux ou de silt sableux. L'abaque de plasticité (Figure 14) indique la présen-



ce d'alluvions récents formés des silt de compressibilité faible à grande, de silt organique.

Les dépôts granulaires (sable, sable silteux, sable graveleux) de cette unité sont plus résistants (Figures 12 et 15); leur résistance en pointe ( $Q_c$ ) mesurée au pénétromètre statique varie avec la profondeur de 1 MPa à 3 m jusqu'à 10 MPa à 15 m. Leur capacité portante est donc supérieure à 1 kg/cm<sup>2</sup> à 3 m de profondeur.

Les dépôts organiques sont composés de tourbe et d'humus et apparaissent dans les régions mal drainées, marécageuses et les tourbières. On les retrouve principalement:

- dans des dépressions dans le roc ou le till: au nord d'Aylmer, dans le Parc de la Gatineau, au contrefort des Collines de la Gatineau;
- sur les plaines inondables des cours d'eaux récents: à l'ouest et au sud-est de la municipalité de Pointe Gatineau; le long de la Rivière des Outaouais au sud et à l'est de la Municipalité de Gatineau (Lac McLaurin).

Un troisième type de dépôt récent s'ajoute aux précédents: les débris de glissements de terrain formés de sédiments argileux (silts argileux, argile silteuse) remaniés incluant des lentilles de sable et de la matière organique en amas. Les aires d'affleurement de ces dépôts correspondent:

- aux berges des cours d'eaux le long desquels on retrouve de nombreuses cicatrices de glissements de terrain: rivière Breckenridge, ruisseau Leamy, ruisseau Chelsea, ruisseau Noueux, ruisseau des Rangs II, III et IV (Templeton), rivière Blanche, Petite rivière Blanche, et les nombreux ravins qui entaillent la terrasse supérieure Chelsea-Templeton;

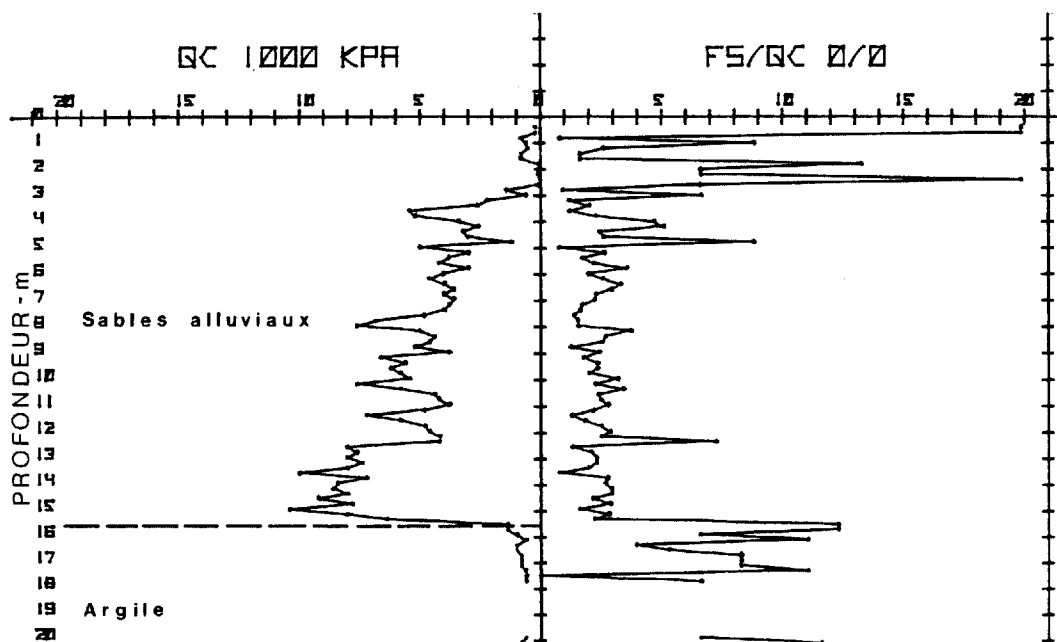


Figure 15 - Essai au pénétrömètre statique caractéristique des dépôts granulaires alluviaux.

- aux aires situées sur la terrasse inférieure Hull-Gatineau où les débris des coulées s'étant produites au niveau de la terrasse supérieure sont venus s'accumuler: dans la partie nord de la municipalité de Hull entre la terrasse principale et la rivière Gatineau, dans la partie nord-ouest de la municipalité de Gatineau, au nord des municipalités de Templeton et Angers.

#### IV - CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES DES ARGILES DE LA MER DE CHAMPLAIN

La stratigraphie des dépôts de la Mer de Champlain a été décrite au Chapitre IV. Les sols argileux forment plus de 50% des sols affleurants ou sub-affleurants sur le territoire étudié. Les difficultés d'aménagement liées à ces terrains argileux:

- zones exposées aux mouvements de terrain,
- stabilité des excavations,
- compressibilité des sols de fondation,

imposent des recherches plus poussées dans le but de déterminer leurs propriétés géotechniques. Celles-ci seront déterminées à l'aide des essais in situ et en laboratoire décrits précédemment. Des données compilées d'organismes collaborateurs seront aussi utilisées pour appuyer notre étude. Ces propriétés seront illustrées dans ce chapitre et des relations seront établies entre diverses propriétés physiques, mécaniques et géochimiques.

##### IV-1 - Propriétés physiques

Les résultats des limites de consistance permettent de caractériser la plasticité des sols échantillonnés. La plasticité du sol dépend:

- de sa minéralogie et du type de minéral argileux présent;
- de son contenu en matière organique;
- de la taille et forme des particules;
- de l'environnement physico-chimique des particules (teneur en sel et contenu ionique de l'eau interstitielle).

Les résultats obtenus varient de la façon suivante:

- teneur en eau naturelle (w): 39 à 96%;

- limite de liquidité ( $w_l$ ): 24 à 96%;
- limite de plasticité ( $w_p$ ): 17 à 40%;
- indice de plasticité ( $I_p$ ): 5 à 70;
- indice de liquidité ( $I_L$ ): 0.58 à 3.00.

La grande variabilité de la plasticité aura une forte influence sur certaines propriétés géotechniques (mécaniques) notamment: la résistance au cisaillement, la sensibilité et la compressibilité.

Un abaque de plasticité (Figure 16) permet de classier les sols argileux échantillonnés. Selon les données de notre étude, il apparaît que les sols argileux s'insèrent bien dans l'enveloppe déterminée par la Ligne A définie par Casagrande (1948):  $I_p = 0,73 (w_l - 20)$  et la Ligne P définie par Garneau et LeBihan (1977):  $I_p = 0.85 (w_l - 19)$ . Les données M.E.R. indiquent la présence de sols argileux formés d'argiles inorganiques dont la plasticité peut varier de faible à grande et de silts inorganiques de compressibilité moyenne à grande.

La granulométrie des sols fins détermine selon leur structure et leur degré de compaction, leur porosité et par le fait même leur teneur en eau naturelle ( $w$ ) (Figure 17). Ces deux (2) paramètres varient considérablement sur le territoire:

- %C = 30-81,
- $w = 24-96\%$ .

Le calcul de la régression linéaire ( $w = 0.95(\%C) - 0.45$ ,  $r = 0.67$ ) peut servir à établir un ordre de grandeur à la granulométrie des sols fins à partir d'une mesure de leur teneur en eau naturelle.

Le degré de compaction des sols cohésifs varie selon que l'on se situe sur la plaine supérieure Chelsea-Templeton ou sur la plaine inférieure de Hull-Gatineau où apparaissent des argiles surconsoli-

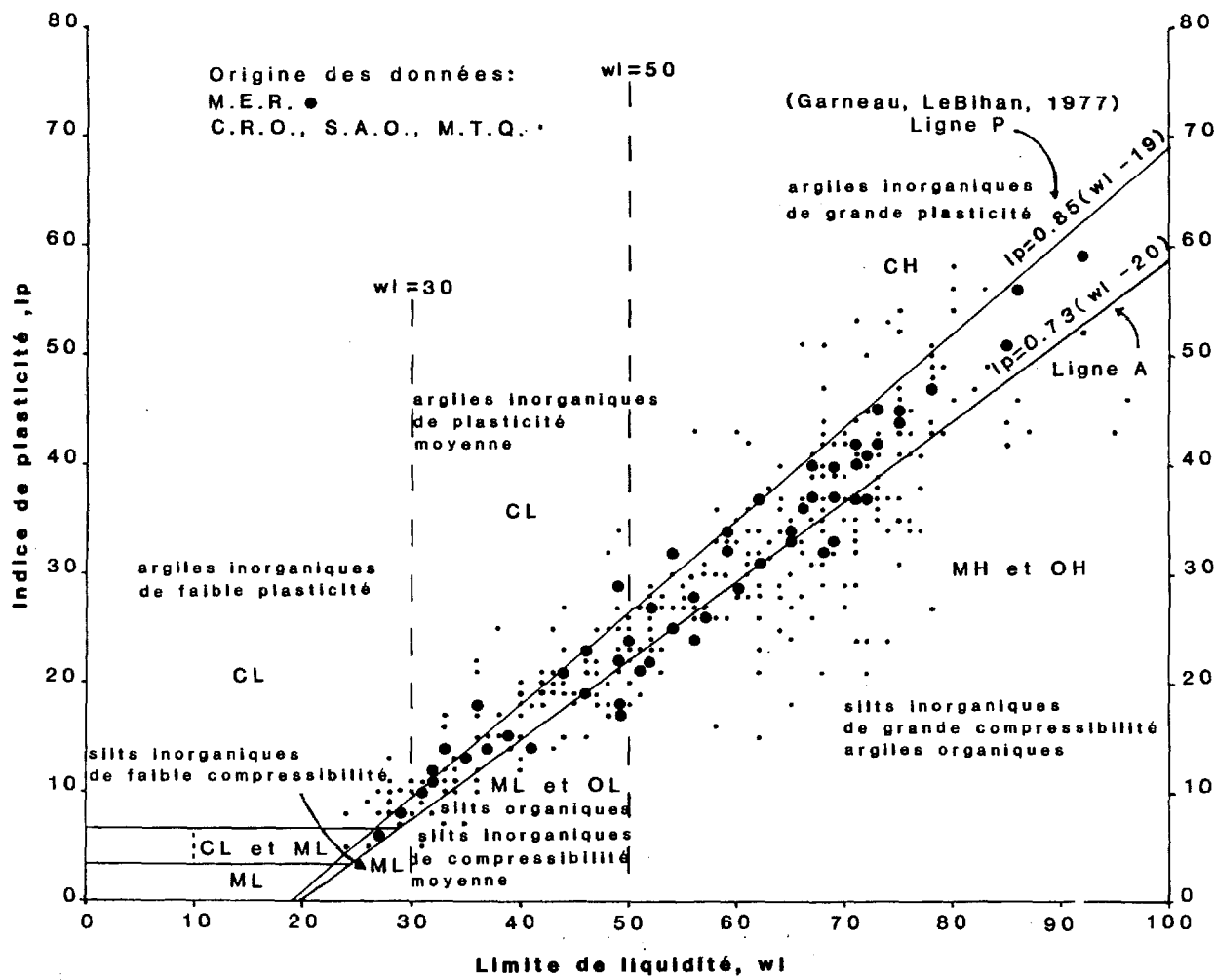


Figure 16 - Abaque de plasticité des sols argileux de la Mer de Champlain.

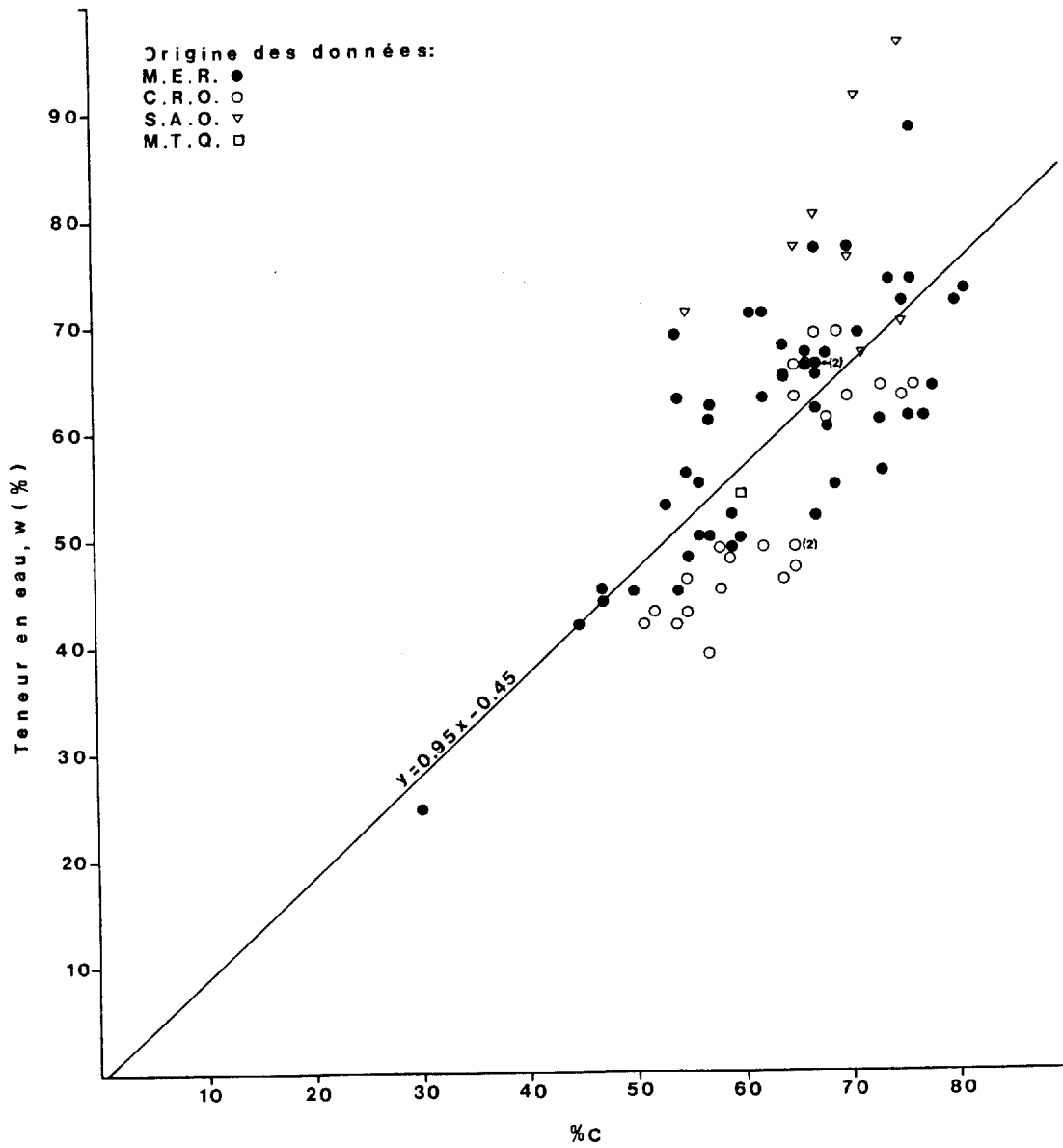


Figure 17 - Relation entre la teneur en eau des sols argileux et leur contenu en particules argileuses.

dées (c.f. plus loin). Ainsi, les valeurs du poids spécifique humide ( $\gamma$ ) mesurées sont:

- sur la plaine supérieure :  $\bar{\gamma} = 1.61 \text{ g/cm}^3$  (4 mesures);
- sur la plaine inférieure :  $\bar{\gamma} = 1.72 \text{ g/cm}^3$  (7 mesures).

Le degré de compaction varie aussi selon le poids des terres sus-jacent au sol échantillonné. Ces faits permettent d'expliquer en partie la dispersion des résultats de la Figure 17.

La granulométrie des sols fins est déterminante quant aux valeurs des limites de consistance (Seed, Woodward, Lundgren, 1964). La Figure 18 montre cette relation entre  $w_l$ ,  $w_p$  et %C. Les valeurs de  $w_{cl}$  et  $w_{cp}$  (si 100% C) obtenues permettent de donner une approximation de la minéralogie de la fraction fine (Mitchell, 1976; Seed et al., 1964). Ainsi,  $w_{cl} = 102$  et  $w_{cp} = 39$  sont des valeurs voisines de celles proposées pour l'illite:  $w_l = 60-120$  et  $w_p = 35-60$  (Mitchell, 1976).

La Figure 19 permet de classifier les sols argileux selon leur activité  $A = \frac{I_p}{\%C}$ ; elle montre une relation entre l'indice de plasticité ( $I_p$ ) et la quantité de particules argileuses (%C) permettant de définir l'activité (A) des sols cohésifs (Bjerrum, 1954). Les sols argileux inventoriés appartiennent à la catégorie des argiles inactives et les valeurs de A sont généralement inférieures à 0.75. Les argiles sensibles ( $St > 64$ ) montrent une activité inférieure à 0.50.

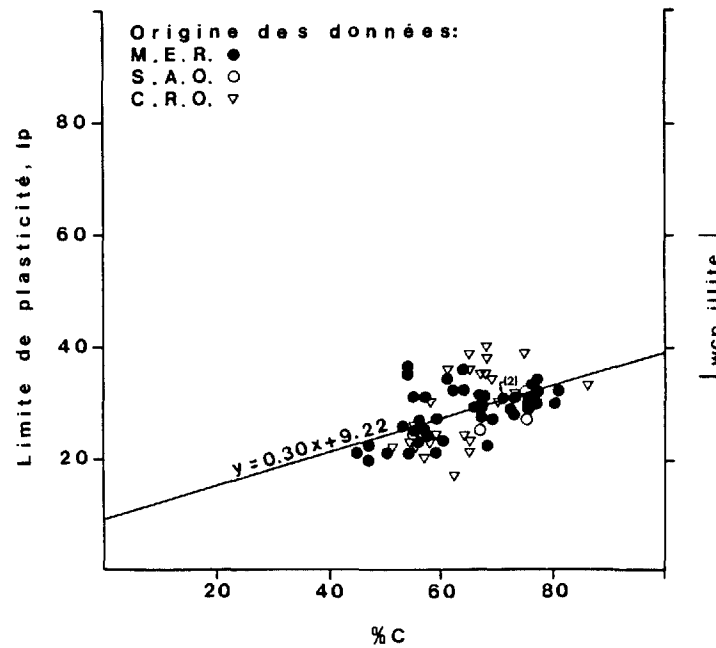
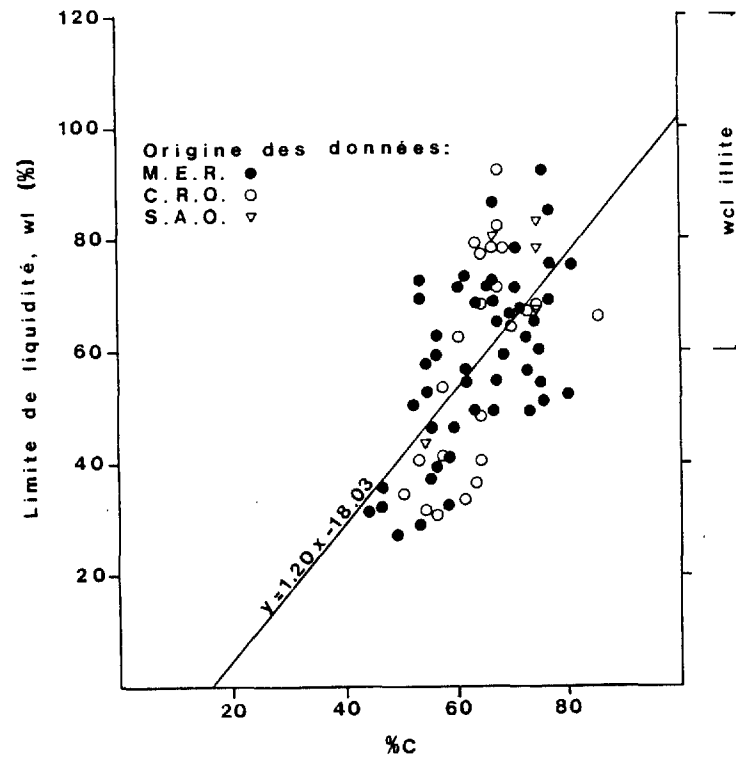


Figure 18 - Relation entre les limites de consistance des sols argileux et leur contenu en particules argileuses.

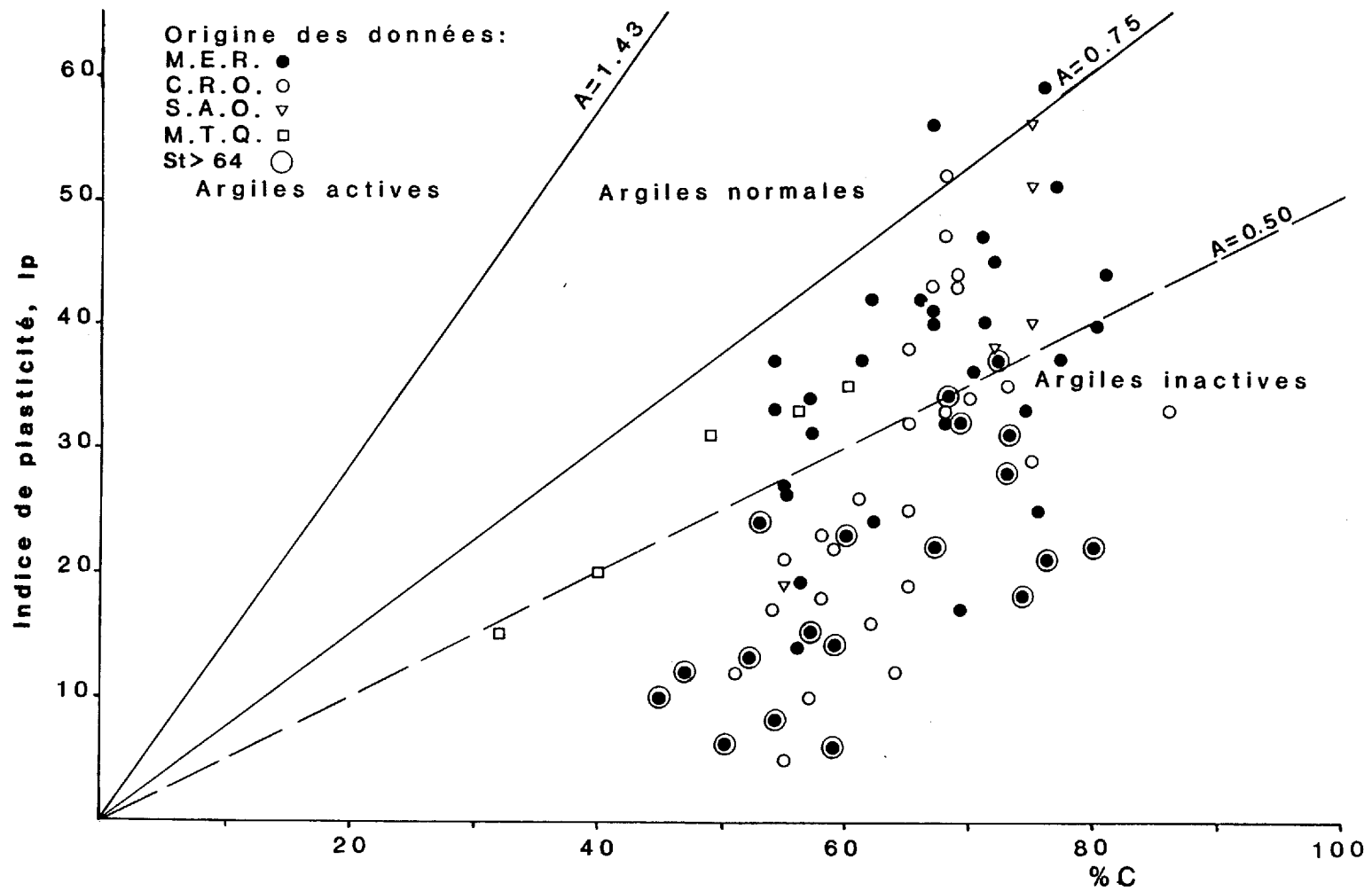


Figure 19 - Classification des sols argileux selon leur activité.

#### IV-2 - Propriétés géochimiques de l'eau interstitielle

L'analyse chimique de l'eau interstitielle récupérée par consolidation des échantillons de sol intact permet de déterminer deux (2) paramètres:

- la teneur en sel,
- le contenu cationique: les principaux cations analysés par absorption atomique sont le sodium ( $\text{Na}^+$ ), le potassium ( $\text{K}^+$ ), le calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ) et le magnésium ( $\text{Mg}^{++}$ ).

Ces deux (2) paramètres sont représentés en fonction de la profondeur pour plusieurs sites d'échantillonnage aux Figures 20 et 21.

Les valeurs de la teneur en sel mesurées sont faibles pour le territoire et varient de 0.24 à 2.69 g/l. Des mesures de la teneur en sel beaucoup plus élevées (10-20 g/l) ont été rapportées pour d'autres secteurs du bassin de la Mer de Champlain (Rissmann et al., 1984; Théberge, 1983, sous-presse). Les faibles valeurs observées résultent

- soit d'un lessivage intense d'argiles marines ( $\approx 30$  g/l);
- soit d'un lessivage de moindre intensité de sols argileux mis en place en milieu saumâtre (10-20 g/l).

D'une façon générale, la teneur en sel augmente légèrement avec la profondeur et illustre un lessivage opérant du sommet vers la base du profil de sol argileux et ayant pour origine l'infiltration des eaux de surface.

Le contenu cationique de l'eau interstitielle est représenté selon la profondeur en utilisant le rapport des monovalents sur l'ensemble des cations de l'eau interstitielle ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+ / \text{Na}^+ + \text{K}^+ +$

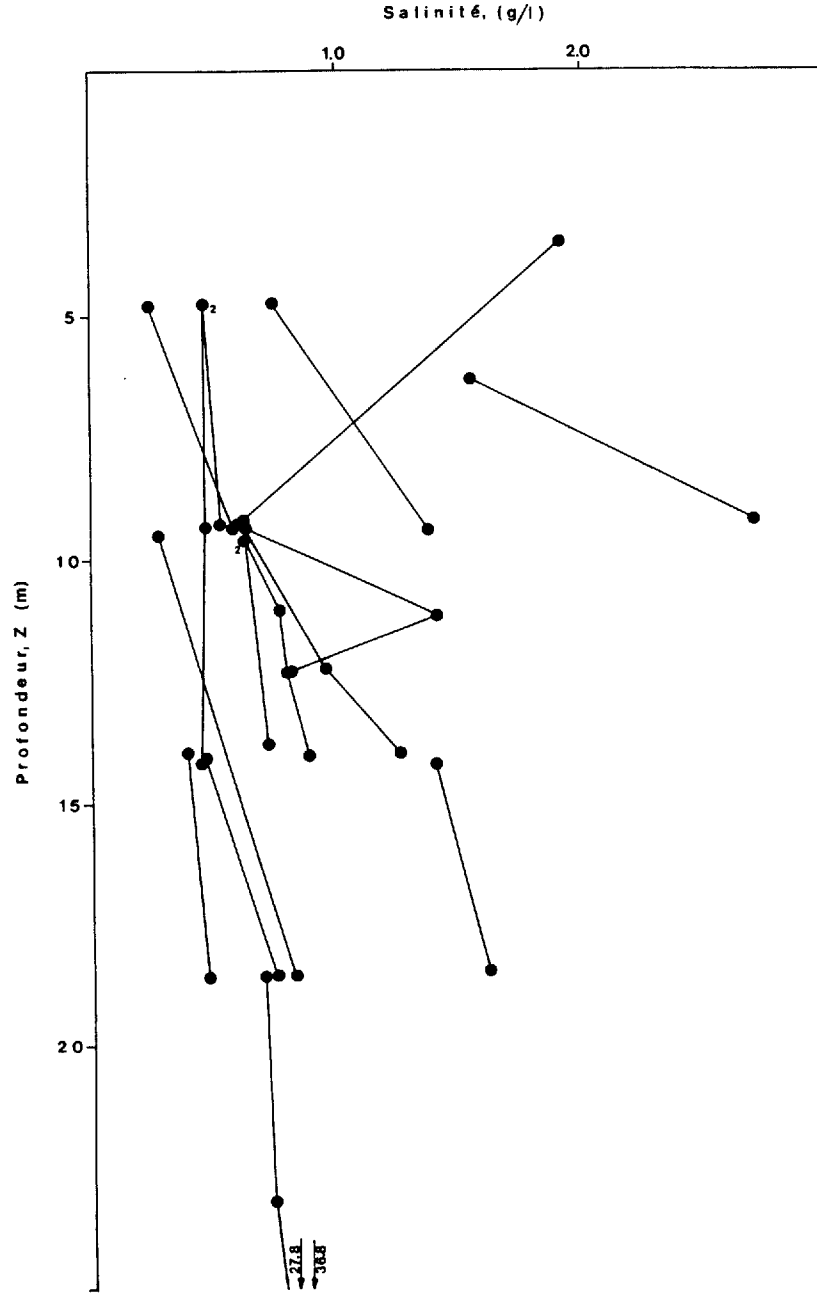


Figure 20 - Teneur en sel de l'eau interstitielle selon la profondeur.

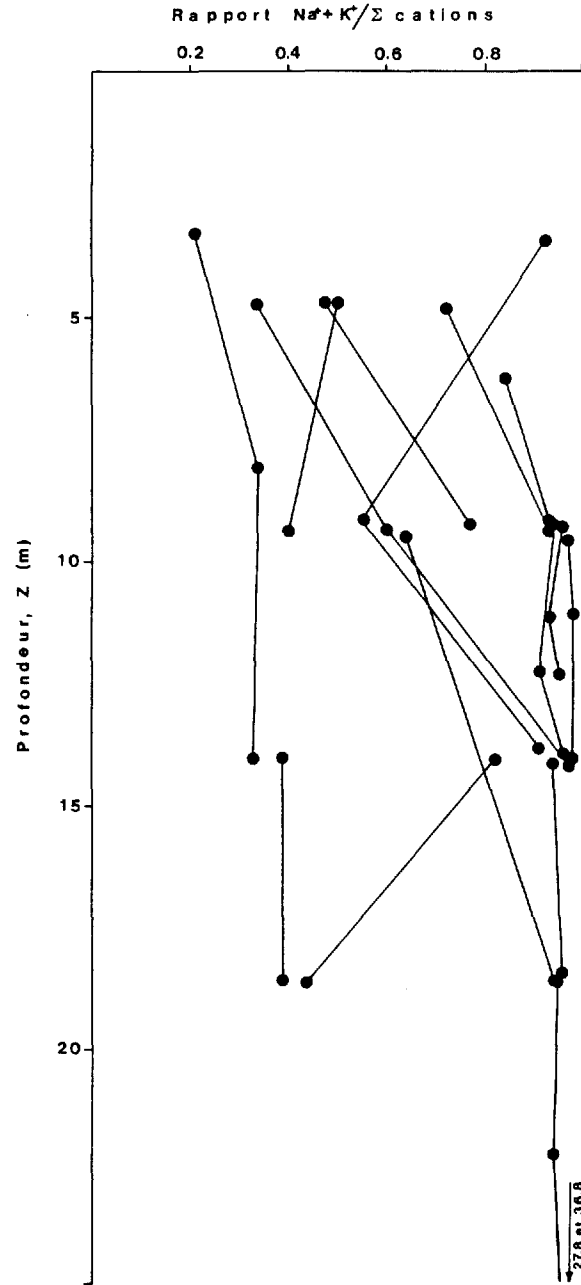


Figure 21 - Rapport Na + K/Na + K+ Ca + Mg dans l'eau interstitielle selon la profondeur.

$\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ ). Ce rapport augmente selon la profondeur de valeurs aussi faibles que 21% et devient plus ou moins constant à des valeurs élevées (>90%) à une profondeur variable (généralement entre 10-15 m) selon la profondeur de l'altération du dépôt par lessivage provenant de la surface. Cette distribution résulte du lessivage préférentiel des ions monovalents ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ); ceux-ci possèdent des liens électrochimiques plus faibles que les bivalents. De plus, les eaux de percolation d'origine continentale sont enrichies en  $\text{Mg}^{++}$  et  $\text{Ca}^{++}$ .

La variation des paramètres teneur en sel et rapport  $\text{Na}^+ + \text{K}^+ / \Sigma$  cations dépend fondamentalement de la distribution des concentrations de l'ion  $\text{Na}^+$  en profondeur; de tous les cations analysés, le sodium ( $\text{Na}^+$ ) est le plus important en concentration à grande profondeur; ceci reflète l'origine marine ou saumâtre du dépôt argileux car l'eau de mer est riche en sodium ( $\text{Na}^+$ ).

#### IV-3 - Sensibilité des sols argileux de la Mer de Champlain

Dans cette section, on retrouvera donc les valeurs de la sensibilité des sols argileux échantillonnés et on présentera à l'aide de diverses relations entre leurs propriétés géotechniques et géochimiques les critères d'identification des argiles extra-sensibles de la région. La classification de Rosenqvist (1953) sera utilisée pour illustrer la sensibilité des argiles (Tableau VI).

Tableau VI - Classification des argiles sensibles (Rosenqvist, 1953).

Sensibilité, St	Classe
8 à 16	Argile peu sensible
16 à 32	Argile moyennement sensible
32 à 64	Argile très sensible
> 64	Argile extra-sensible
> 500	Argile ultra-sensible

La Figure 22 nous montre l'étendue des valeurs de la sensibilité définie:

$$St = \frac{\text{résistance au cisaillement à l'état intact } (C_u)}{\text{résistance au cisaillement à l'état remanié } (C_{ur})}$$

des sols argileux mesurée au cône suédois; ces valeurs s'échelonnent de 6 à 1,373. Alors que la valeur de la résistance au cisaillement à l'état intact ( $C_u$ ) varie de 21 à 150 kPa, soit dans un rapport de 7X environ, la valeur de la résistance à l'état remanié ( $C_{ur}$ ) varie de 0.075 (soit la limite inférieure de mesure de l'appareil) à 11.3 kPa soit un rapport de 150X.

La grande variabilité de  $C_{ur}$  lui confère un rôle déterminant sur la valeur de St, ainsi on l'utilise de plus en plus fréquemment pour caractériser la sensibilité des sols cohésifs (Rissmann, Allard, Lebuis, 1984; Lebuis, Robert, Rissmann, 1982; Théberge, sous-pression). Une compilation de cette donnée effectuée pour le bassin de la

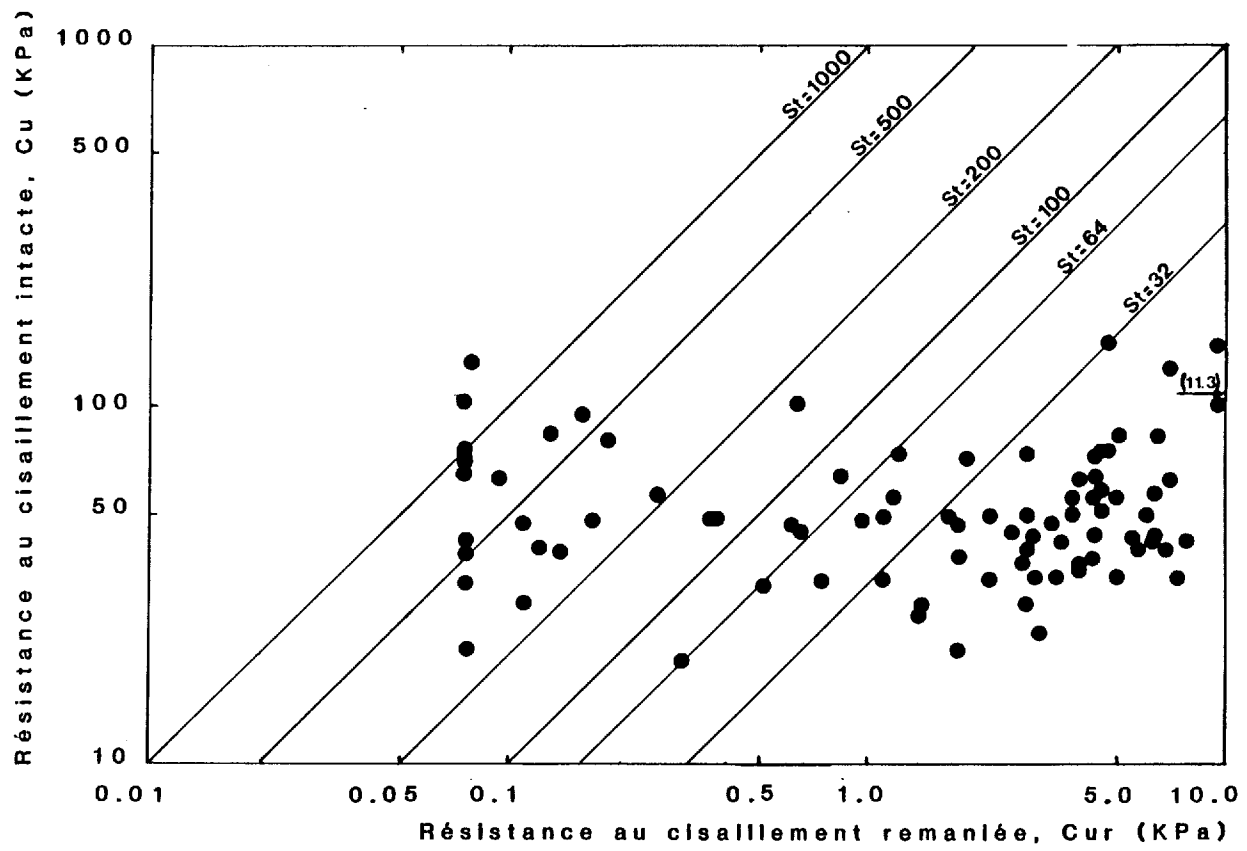


Figure 22 - Sensibilité des sols argileux.

Mer de Champlain démontre que la limite entre les dépôts propices à se liquéfier et à générer des coulées argileuses correspond à une valeur de  $Cu_r$  allant de 1.0 à 1.5 kPa (Lebuis, Robert, Rissmann, 1982). Notre étude démontre que les argiles ayant une sensibilité supérieure à 64 (argiles extra-sensibles) ont une valeur de  $Cu_r$  inférieure à 1.0 KPa. De plus, les argiles ultra-sensibles  $St > 500$  ont toujours une valeur de  $Cu_r$  inférieure à 0.16 KPa.

Les résultats des limites de consistance permettent de caractériser la sensibilité des sols fins. Les Figures 23a, b et c démontrent qu'il n'y a pas de relation simple entre la plasticité des sols et leur sensibilité pour les sols de faible sensibilité ( $St < 32$ ). Par contre, les sols extra-sensibles et ultra-sensibles possèdent une plasticité plus faible. Les argiles extra-sensibles ont des valeurs de  $I_p < 37$  (sauf 2 valeurs) et  $w_l < 70$  (sauf 2 valeurs); les argiles ultra-sensibles ont des valeurs de  $I_p < 24$  (sauf 1 valeur) et  $w_l < 50$  (sauf 2 valeurs). Donc, d'une façon générale la sensibilité des sols augmente lorsque leur plasticité diminue.

Les sols argileux échantillonnés ont des indices de liquidité ( $I_L$ ) variant de 0.58 à 3.00. Les argiles extra-sensibles montrent des valeurs généralement supérieures à 1.0 et ces valeurs augmentent avec la sensibilité.

L'analyse chimique de l'eau interstitielle récupérée des échantillons de sol intact permet de caractériser la sensibilité des sols argileux. Les deux (2) paramètres déterminés sont:

- la teneur en sel,
- le contenu cationique.

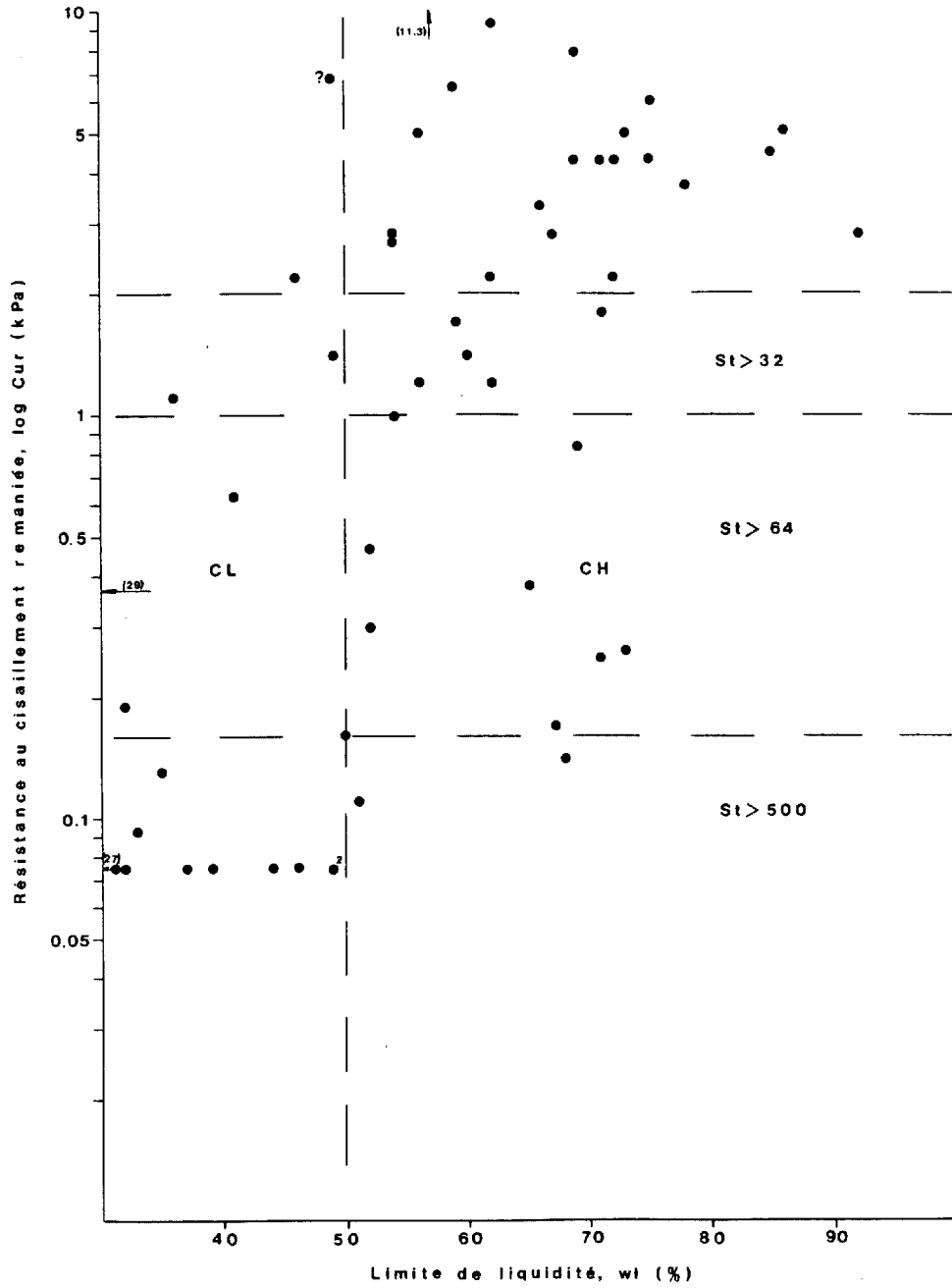


Figure 23a - Sensibilité des sols argileux et limite de liquidité.

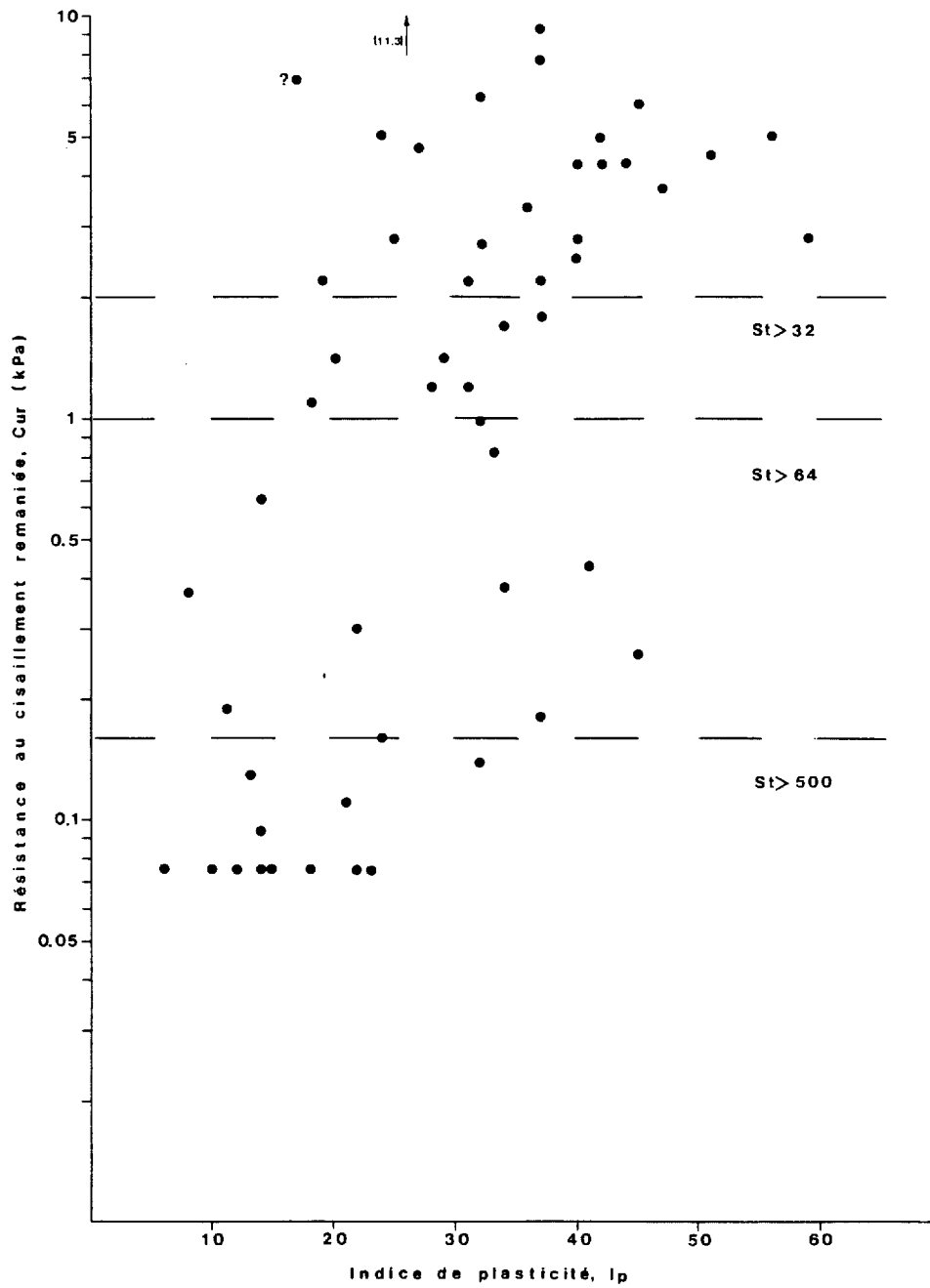


Figure 23b - Sensibilité des sols argileux et indice de plasticité.

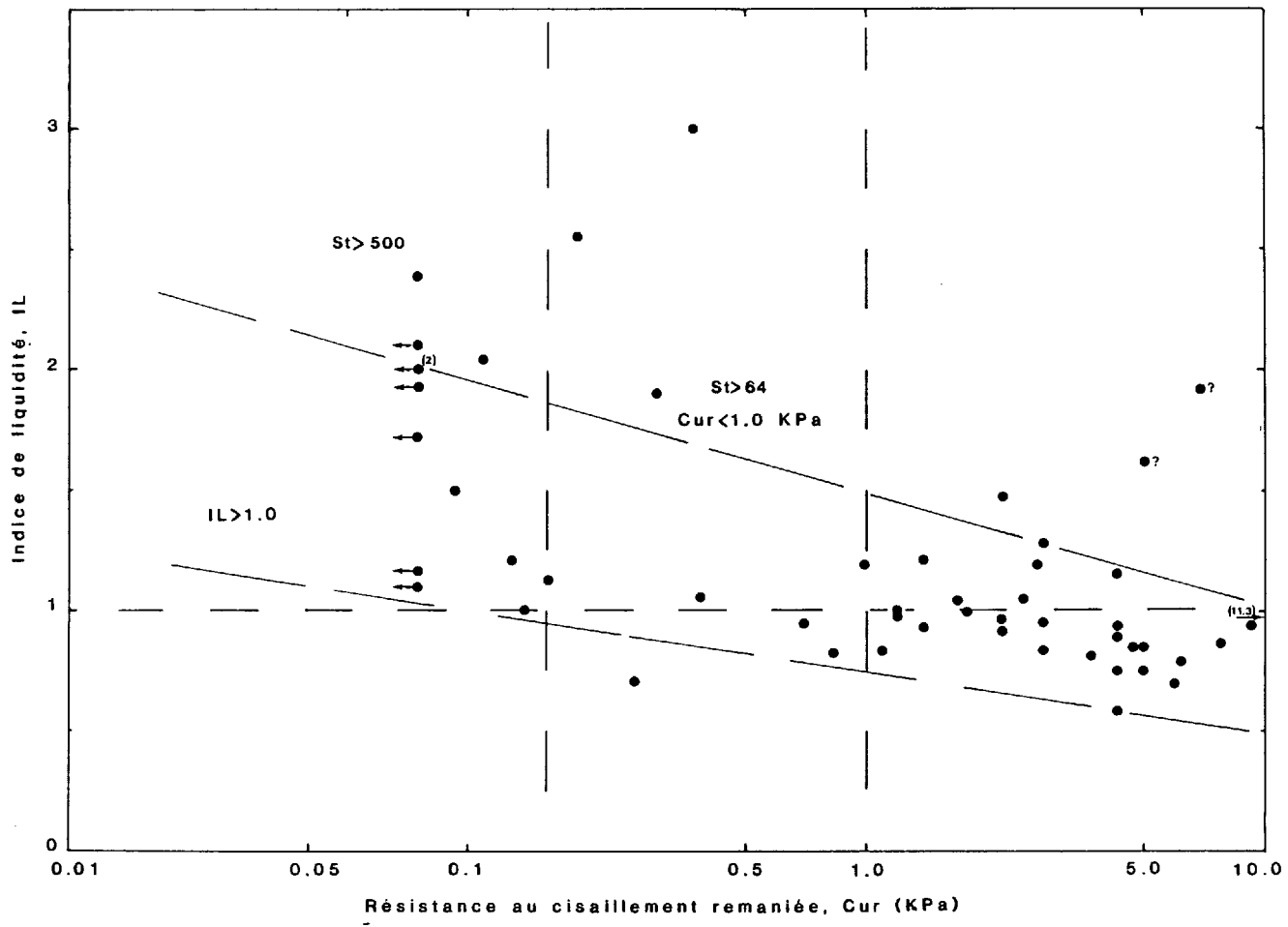


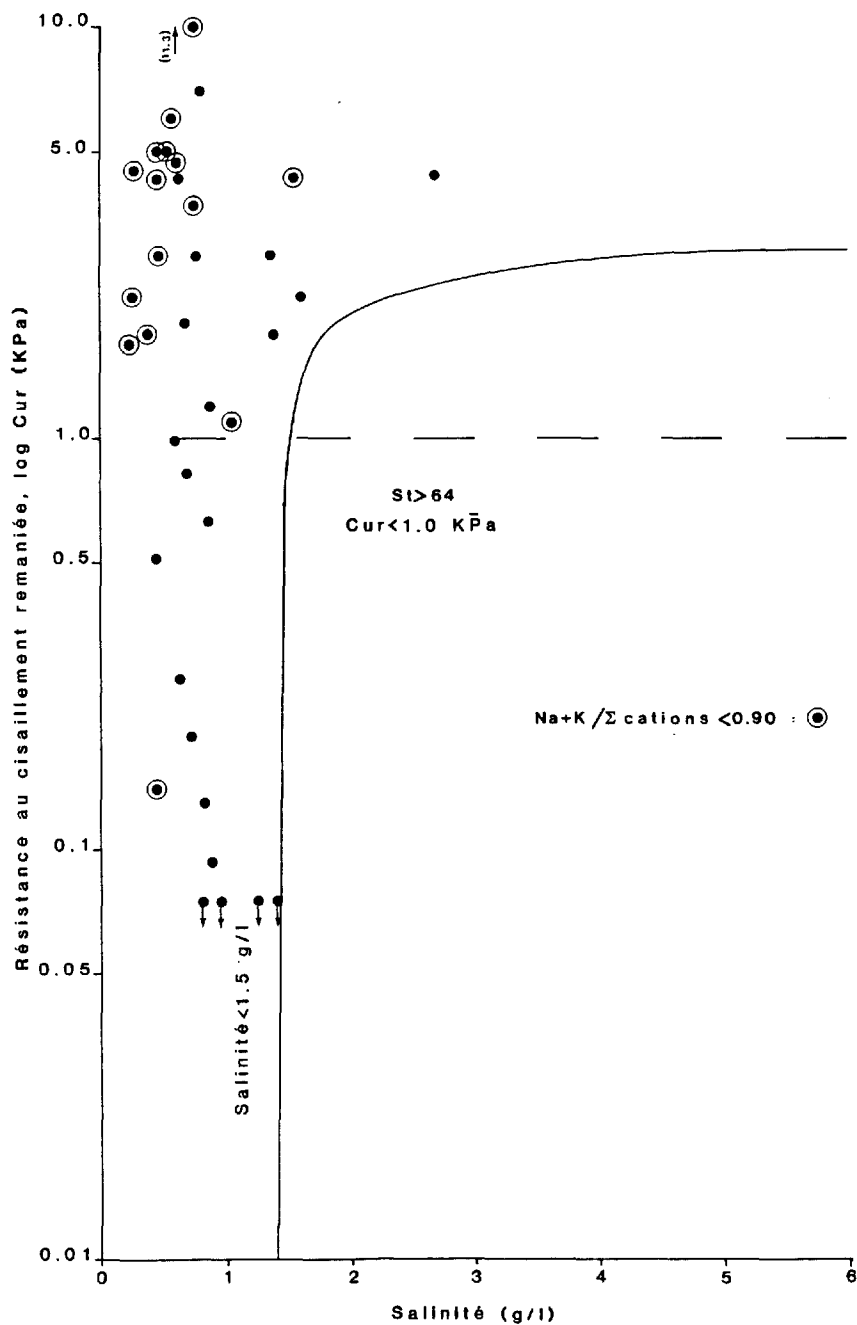
Figure 23c - Sensibilité des sols argileux et indice de liquidité.

Les argiles extra-sensibles ont des valeurs de salinité inférieures à 1.5 g/l (Figure 24). Les études effectuées dans le Bassin de la Mer de Champlain présentent des valeurs semblables (Lebuis, Robert, Rissmann, 1982; Rissmann, Lebuis, Allard, 1984; Théberge, sous-presse).

La Figure 25 illustre bien le rôle du contenu cationique de l'eau interstitielle pour le développement de cette grande sensibilité: un faible rapport  $\text{Na}^+ + \text{K}^+ / \Sigma$  cations (< 90%) ne favorisera pas une grande sensibilité malgré une faible teneur en sel (<1.5 g/l).

Les argiles extra-sensibles présentent un rapport ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+ / \Sigma$  cations) élevé et supérieur à 90% (Figure 25). Par contre, si on combine un rapport  $\text{Na}^+ + \text{K}^+ / \Sigma$  cations élevé et une salinité élevée (>1.36 g/l) on ne pourra développer une grande sensibilité. La valeur de ce rapport est fortement influencée par la concentration de l'ion Na; notons que tel qu'énoncé précédemment, la concentration de l'ion Na augmente considérablement avec la profondeur. La distribution des concentrations des cations monovalents  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  selon la profondeur sera responsable d'un patron de développement de faible sensibilité dans la portion supérieure d'un profil de sol argileux.

Un résumé des discussions précédentes permet de définir les critères d'identification des argiles sensibles dans la région de Hull qui sont présentés au Tableau VII.



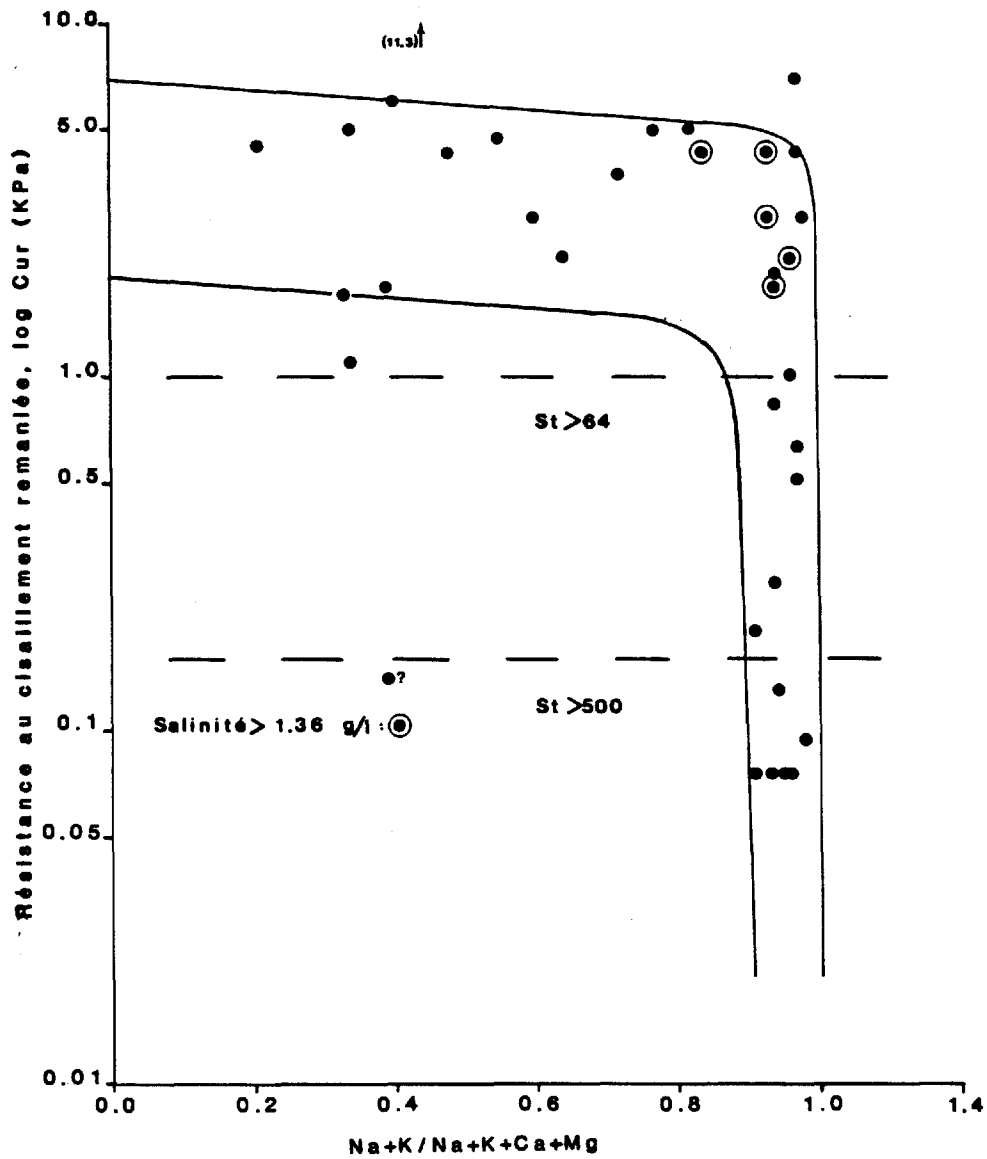


Figure 25 - Sensibilité des sols argileux selon le rapport  $\frac{Na + K}{Na + K + Ca + Mg}$  contenu dans l'eau interstitielle.

Tableau VII - Critères d'identification des argiles sensibles

Paramètre	Argiles extra-sensibles	Argiles ultra-sensibles
St	> 64	> 500
CuR (kPa)	< 1.0	< 0.16
Ip (%)	< 37	< 24
w <sub>l</sub> (%)	< 70	< 50
I <sub>L</sub>	> 1.0	> 1.0
Salinité (g/l)	< 1.5	< 1.5
Na + K/ cations (%)	> 90	> 90

## IV-4 - Résistance au cisaillement et compressibilité

## IV-4.1 - Résistance au cisaillement in situ

La résistance au cisaillement in situ des sols argileux a été mesurée à l'aide d'un scissomètre de type Nilcon. Les résultats obtenus sont représentés en fonction de l'élévation aux Figures 26 et 27 et démontrent que la résistance au cisaillement in situ est liée:

- d'une part, aux liens de friction effective où à l'enfouissement;
- d'autre part, aux liens de la cohésion effective de nature visqueuse ou cimentation qui relie la valeur de Cu à la pression maximum du passé.

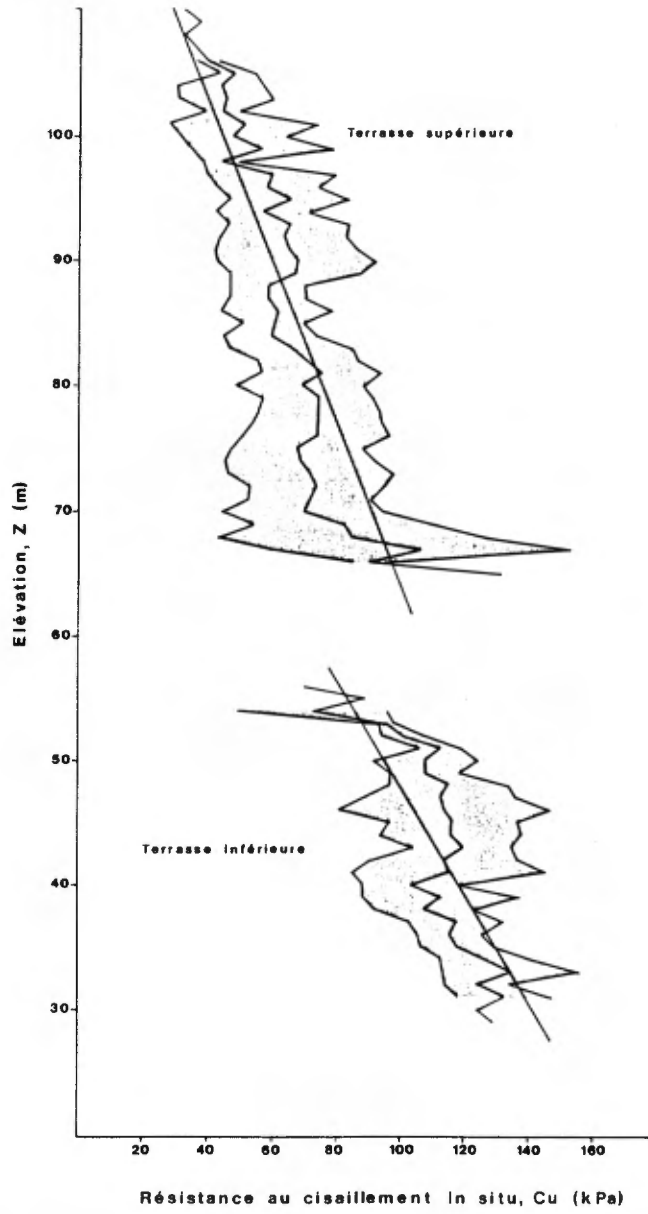


Figure 26 - Résistance au cisaillement in situ des sols argileux selon l'élévation.

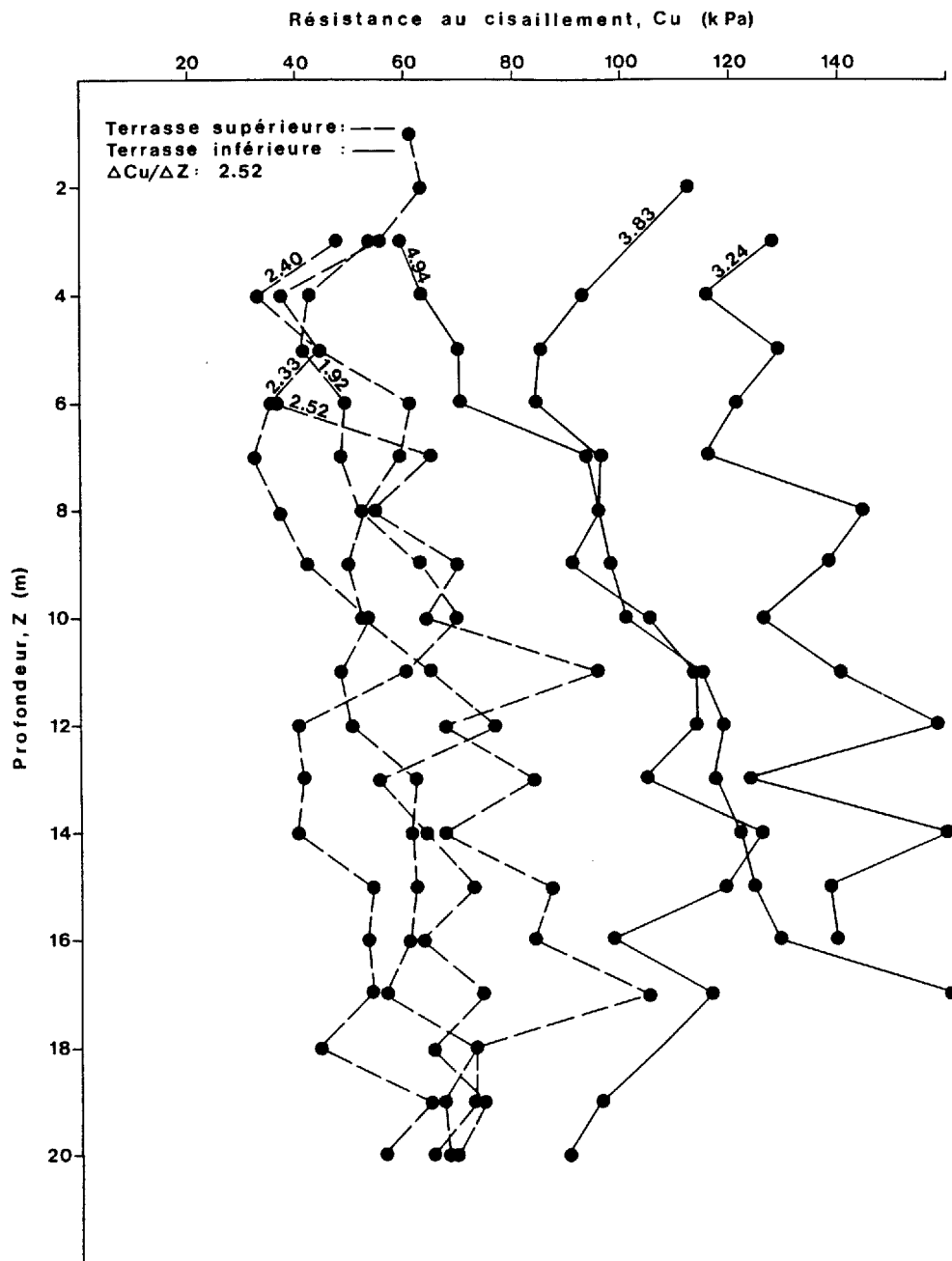


Figure 27 - Essais scissométriques caractéristiques dans les sols argileux des terrasses supérieure et inférieure.

Ainsi, le facteur géomorphologique, façonnement d'une terrasse d'érosion fluviatile par le Proto-Outaouais, permet de définir deux (2) unités de sol argileux selon le critère de la résistance au cisaillement en fonction de l'élévation:

- sur la terrasse supérieure Chelsea-Templeton, la valeur de  $C_u$  du dépôt "intact" varie selon la profondeur de 40-106 kPa;
- sur la terrasse inférieure Hull-Gatineau la valeur de  $C_u$  varie aussi selon la profondeur de 72-135 kPa.

Bien que la représentation de la valeur moyenne de  $C_u$  atténue de beaucoup cet effet, il ressort que les pentes des régressions linéaires  $Z-C_u$  pour chacun des niveaux de plaines argileuse diffèrent; les sols de la terrasse inférieure montrent un rapport  $\Delta C_u/\Delta Z$  plus grand que ceux de la terrasse supérieure. Les résultats d'essais scissométriques caractéristiques de la Figure 32 montrent des variations de  $C_u$  et  $\Delta C_u/\Delta Z$ , notables pour les deux niveaux de plaine argileuse. D'ailleurs une analyse des essais scissométriques nous permet de proposer les valeurs moyennes de  $\Delta C_u/\Delta Z$  suivantes:

- sur la terrasse supérieure: 2.68,  $s = 0.71$  kPa/m;
- sur la terrasse inférieure: 3.50,  $s = 0.47$  kPa/m.

Cette variabilité est due principalement:

- aux variations texturales des faciès des dépôts fins de la Mer de Champlain;
- aux conditions hydrauliques (drainage des pressions interstitielles).

Les valeurs de la résistance en pointe  $Q_c$  mesurées au pénétromètre statique reflètent aussi la différence de résistance au cisaillement in situ. La Figure 28a et b représente les résultats d'essais caractéristiques sur les terrasses supérieure et inférieure:

- sur la terrasse supérieure,  $Q_c = 0.5-1.0$  MPa,
- sur la terrasse inférieure,  $Q_c = 1.0-2.0$  MPa.

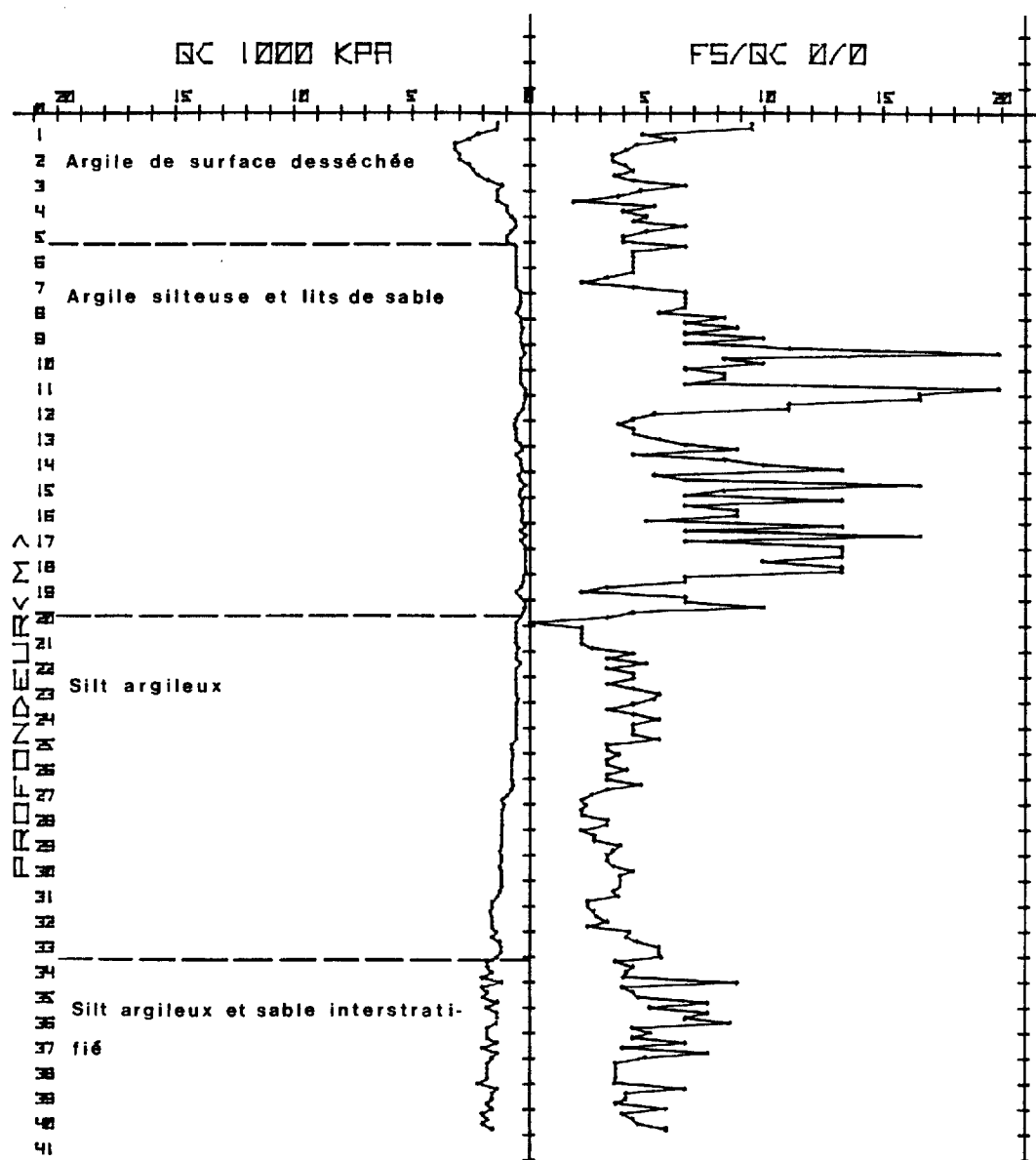


Figure 28 a - Essai au pénétrömètre statique caractéristique dans les sols argileux de la terrasse supérieure.

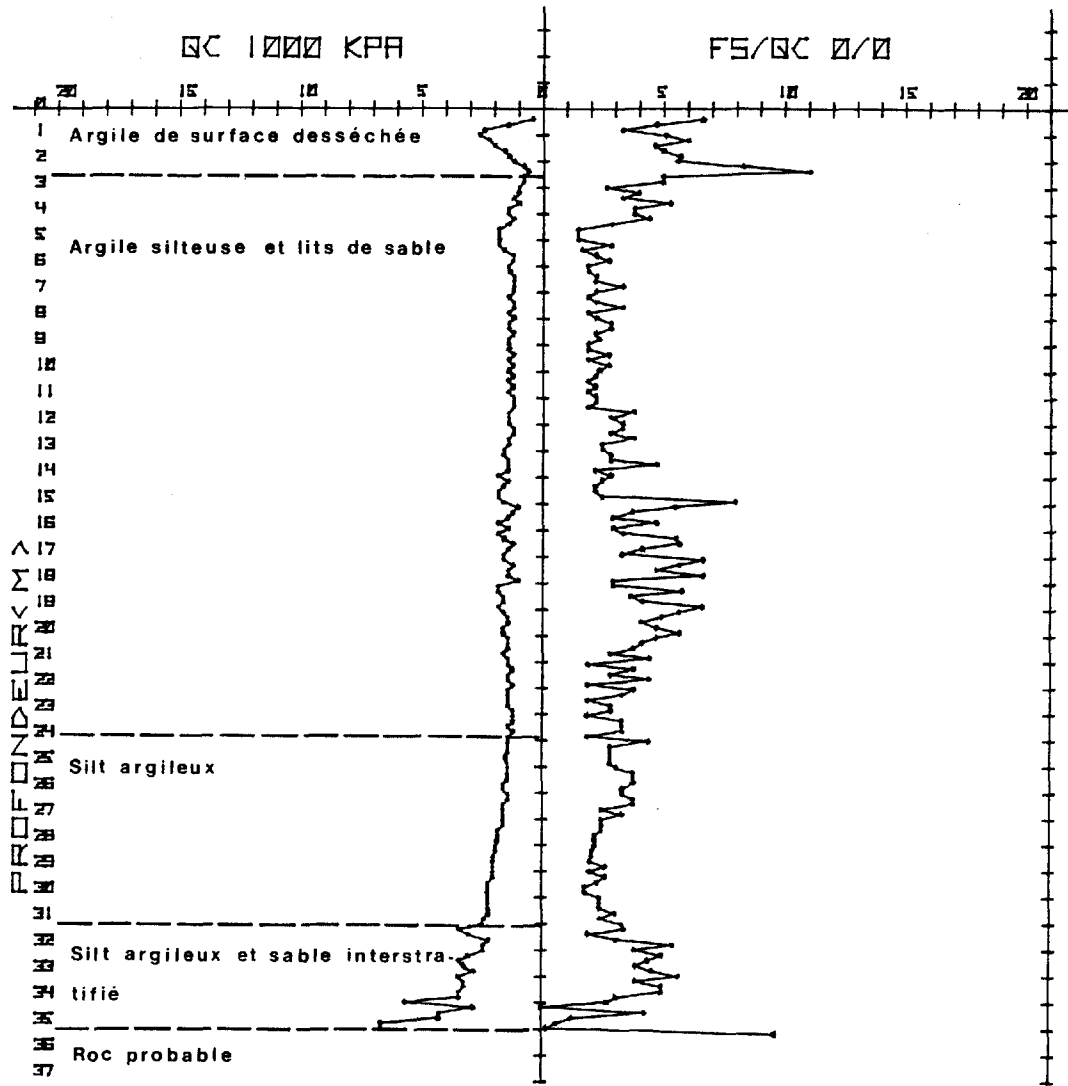


Figure 28b - Essai au pénétrömètre statique caractéristique dans les sols argileux de la terrasse inférieure.

#### IV-4.2 - Compressibilité des sols argileux

La détermination de la pression de préconsolidation ( $\sigma'_{pc}$ ) dans l'essai de consolidation à l'oedomètre dépend de la valeur de la résistance au cisaillement entre les particules individuelles (Kenney, 1968). Ainsi la valeur de la pression de préconsolidation dépend des diverses contributions à la résistance au cisaillement définies précédemment.

De la même façon que la résistance au cisaillement in situ, la pression de préconsolidation varie avec l'élévation (Figure 29); sur la terrasse supérieure  $\sigma'_{pc}$  varie de 70 à 460 kPa; sur la terrasse inférieure  $\sigma'_{pc}$  varie de 180 à 670 kPa. Crawford (1968), Crawford, Eden (1965) et Eden, Crawford (1957) ont aussi révélé ce fait pour la région d'Ottawa.

Le facteur géomorphologique, façonnement d'une terrasse d'érosion fluviale par le Proto-Outaouais, détermine alors deux (2) unités de sol argileux selon la classification de Bjerrum (1973). Sur la terrasse supérieure, on retrouve des argiles âgées normalement consolidées, où  $\sigma'_{pc} > \sigma'_{v0}$  ( $\sigma'_{pc}/\sigma'_{v0}$  varie de 1.8 à 4.5). Le rapport  $Cu/\sigma'_{v0}$  moyen de 0.62 peut être utilisé pour caractériser le vieillissement. Le calcul de  $\sigma'_{v0}$  est fait en considérant des conditions de pression hydrostatique; le niveau phréatique est établi à partir des essais scissométriques: H varie de 2 à 5 m et  $H_{moy.} = 3.2$  m (57 mesures).

Sur la terrasse inférieure, on retrouve des argiles âgées surconsolidées, où  $\sigma'_{pc} > \sigma'_{v0}$ ; le rapport de surconsolidation, OCR  $\sigma'_{pc}/\sigma'_{v0}$  varie de 3.1 à 6.3.

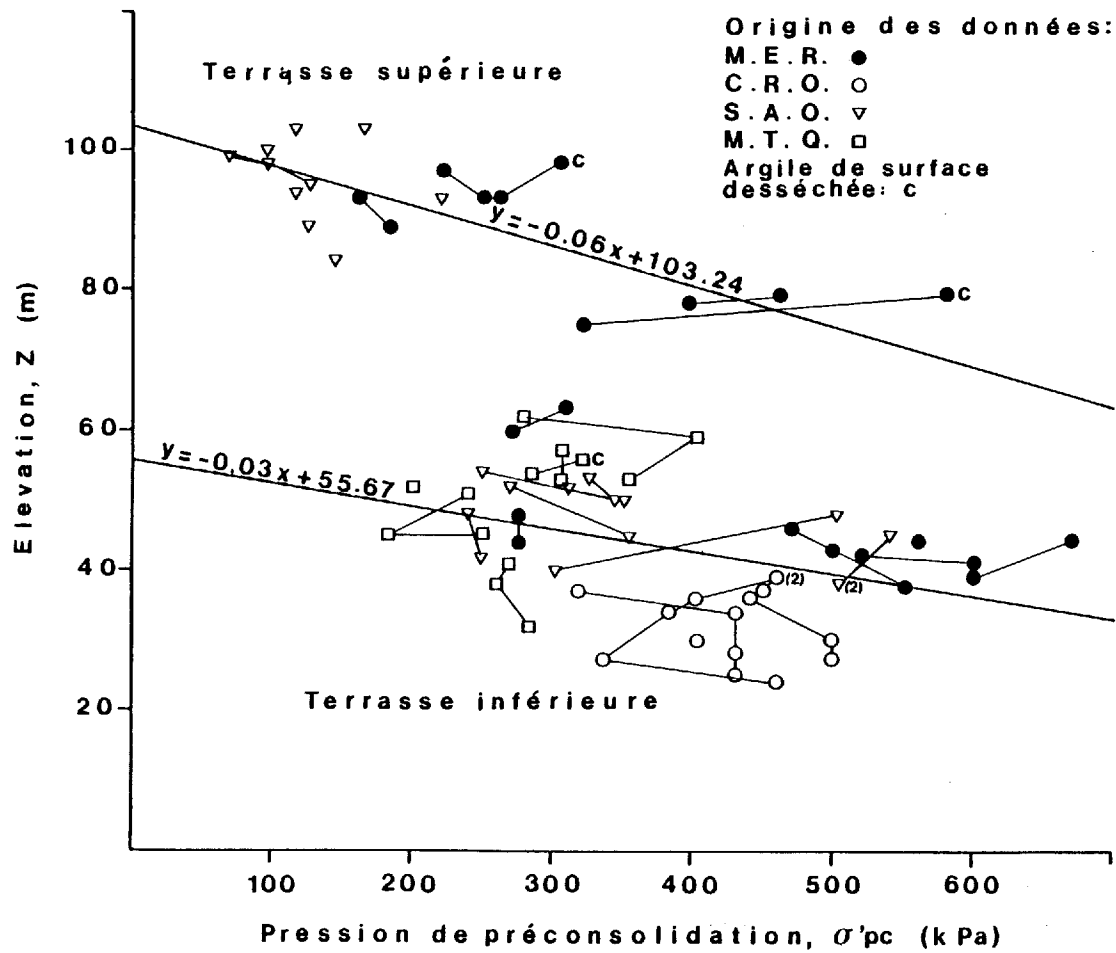


Figure 29 - Pression de préconsolidation des sols argileux selon l'élévation.

Les indices de compression,  $C_c$  déterminés par l'essai à l'oedomètre varient considérablement sur le territoire de 0.30 à 2.97. La Figure 30 montre la relation entre l'indice de compressibilité et la teneur en eau:  $C_c = 0.13 w - 0.27$ .

Considérant ceci, on a établi la relation entre le rapport de compression  $C_c/1 + e_0$  et la teneur en eau du sol (Figure 31). Le rapport de compression est utilisé pour estimer les tassements prévisibles dans un sol argileux (Bowles, 1968):

$$S = \frac{C_c}{1 + e_0} \cdot H \log [(p_0 + \Delta p)/p_0] \text{ où}$$

- S : tassement estimé,
- $C_c$  : indice de compression,
- H : épaisseur de la couche de sol,
- $e_0$  : indice des vides du sol in situ,
- $p_0$  : pression effective des terres,
- p : surcharge.

La Figure 32 présente une synthèse de plusieurs caractéristiques de la compressibilité des sols argileux. Les paramètres illustrés sont:

- la partie vierge de la courbe de consolidation dont la pente est l'indice de compression,  $C_c$ ;
- cette droite est tracée à partir de la valeur de la pression de préconsolidation,  $\sigma'_{pc}$  jusqu'à la pression maximum où fut poussé l'essai de consolidation;
- cette droite est identifiée par l'indice de plasticité,  $I_p$  et l'activité A (si disponible) du sol testé;
- finalement la valeur de l'indice des vides,  $e$  et de la teneur en eau à saturation,  $w_{sat}$  correspondant à  $\sigma'_{pc}$  représente la structure et la porosité du sol testé.

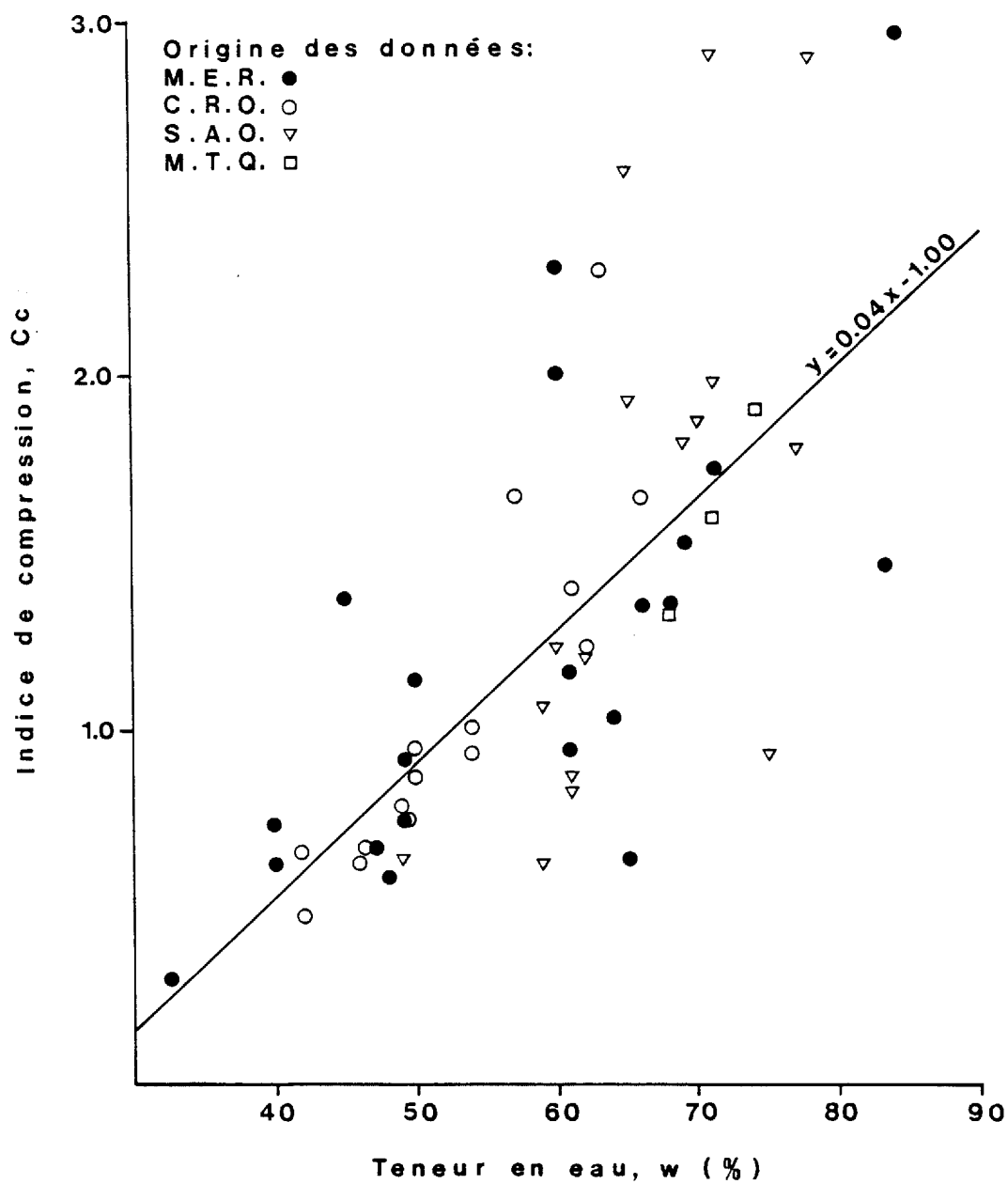


Figure 30 - Relation entre l'indice de compression et la teneur en eau des sols argileux.

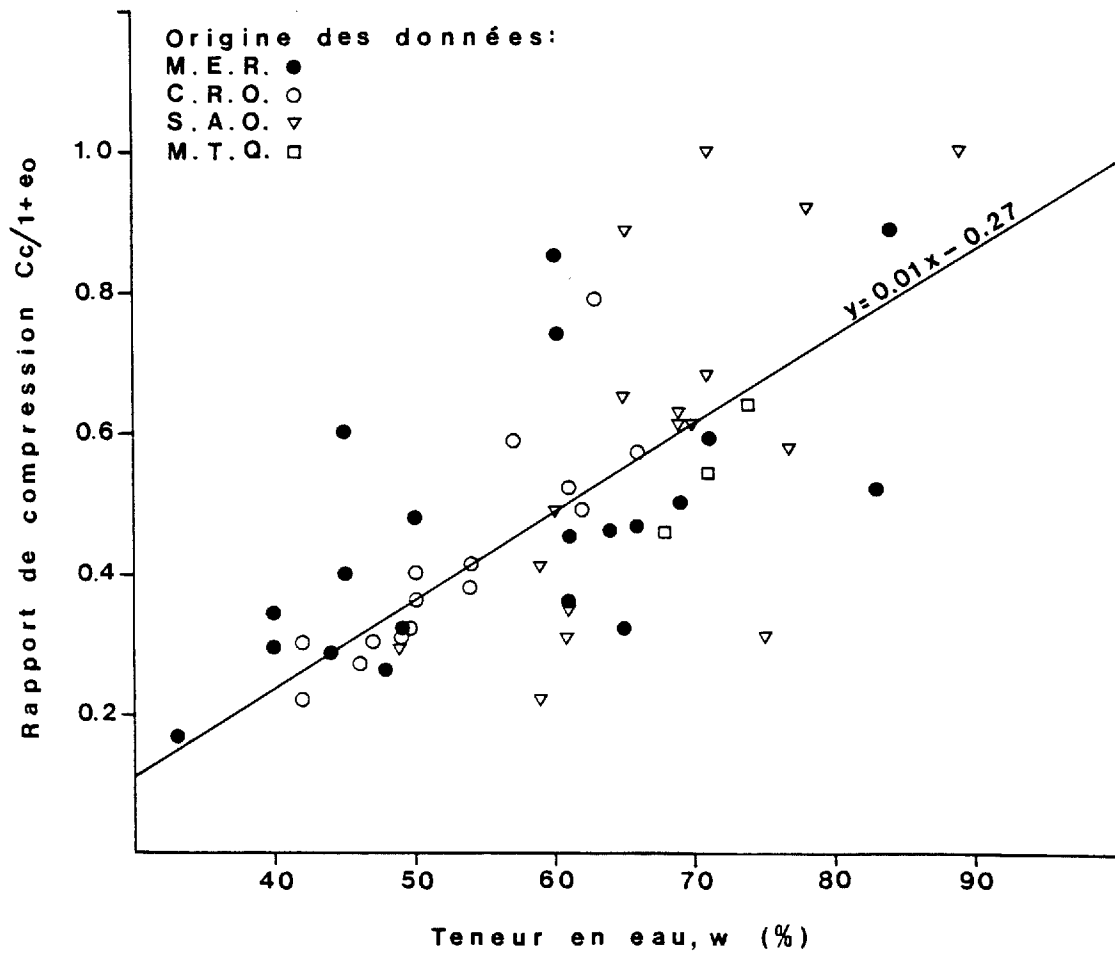


Figure 31 - Relation entre le rapport de compression et la teneur en eau des sols argileux.

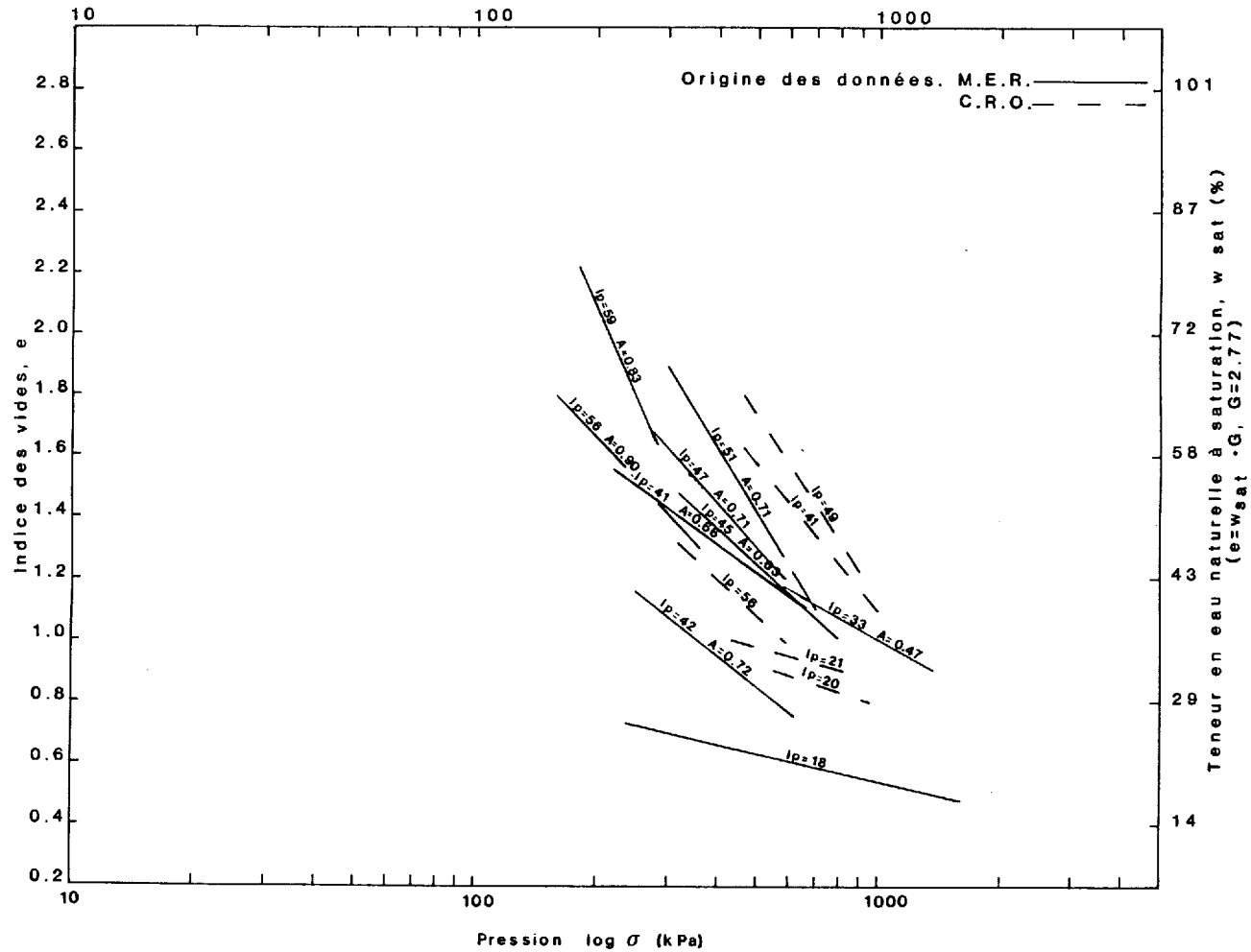


Figure 32 - Compressibilité des sols argileux selon leur porosité, leur plasticité et leur activité.

On conclut que les sols les plus compressibles possèdent un indice de compressibilité élevé, une pression de préconsolidation faible, un indice de plasticité et une activité élevés, donc une forte teneur en eau et un contenu important en particules argileuses.

#### IV-5 - Argiles altérées de la croûte de surface

En conclusion, le Tableau VIII présente un profil théorique caractéristique des processus de formation et des propriétés géotechniques et géochimiques des argiles altérées de la croûte de surface. Les informations contenues dans ce tableau proviennent d'une synthèse de références bibliographiques, de résultats d'essais in situ (forages, pénétromètre statique, scissomètre) et d'essais de laboratoire décrits au chapitre I.

L'ensemble de ces résultats permet d'élargir le concept de "croûte argileuse" et de constater que les processus d'altération de la partie superficielle d'un dépôt argileux ne se limitent pas à la croûte desséchée de surface mais altèrent les propriétés géotechniques de la partie superficielle du dépôt argileux jusqu'à une profondeur dépassant généralement 10 m.

Tableau VIII - Profil théorique caractéristique des processus de formation et des propriétés géotechniques et géochimiques des argiles altérées de la croûte de surface (d'après Bjerrum, 1973; Torrance, 1976; Soderman et Quigley, 1965; Brydon et Patry, 1961).

Prof. (m)	Zone	Description	Processus d'altération	Altération des propriétés
2-6	1	Argile oxydée de couleur brunâtre, desséchée, fissuration intense et fractures ouvertes; raide à très raide;	assèchement, gel, oxydation, lessivage;	$w \approx w_p$ ; $I_l$ très faible; pH faible; Eh élevé; $(Na + K)/(\Sigma \text{ cations})$ faible car conc. Na faible; salinité faible; Cu très élevée. $k \times 1000X$
	2	Zone de transition: intensité des phénomènes décrits ci-haut diminue; argile raide; niveau phréatique	assèchement, oxydation, lessivage;	$w > w_p$ ; $I_l$ augmente; $I_p$ , $w_l$ , $Cu_r$ élevés, St faible; Cu diminue; propriétés géochimiques semblables à la zone 1.
6-10	3	Argile altérée chimiquement et minéralogiquement; consistance moyenne;	lessivage, altération minéralogique: désintégration de minx argileux; cimentation et adsorption hydroxydes Fe, Al	$w \leq w_l$ ; $I_l \leq 1.0$ ; $I_p$ , $w_l$ , $Cu_r$ élevés; St faible, Eh faible; conc. Na, $(Na + K)/(\Sigma \text{ cations})$ et salinité augmentent avec Z; Cu min. puis augmente selon Z.
10-15	4	Argile intacte de couleur bleu-gris, massive ou rubanée, gris clair, gris foncé; consistance molle ou moyenne.	lessivage	$w \geq w_l$ ; $I_l \geq 1.0$ ; $I_p$ , $w_l$ , $Cu_r$ diminuent; St élevée;  pH normal (8-9); conc. Na maximum, $(Na + K)/(\Sigma \text{ cations})$ élevé et $\pm$ constant; salinité maximum;  Cu augmente selon Z.

## V - APTITUDES DES SOLS

## V-1 - Aptitude des sols à recevoir des fondations

La combinaison, selon certains critères, des facteurs géologiques, géomorphologiques et géotechniques permet de dresser la carte d'aptitude des sols à recevoir des fondations. Le territoire est subdivisé en zones d'aptitude établies (ou définies) selon :

- les propriétés géotechniques (capacité portante) des formations,
- la stratigraphie et l'épaisseur des formations meubles,
- la géomorphologie des terrains qui conditionne l'intensité des pentes, les conditions de drainage et les risques de dangers naturels.

Considérant les facteurs décrits précédemment, on a subdivisé la région Gatineau-Hull-Aylmer en dix-neuf (19) zones d'aptitude; ces zones, dont la qualité va décroissante, sont définies au Tableau IX (en pochette) et représentées sur la Carte 4.

Les capacités portantes des matériaux sont estimées à partir:

- des résultats des forages, des levés géophysiques, des essais au pénétromètre et des essais scissométriques;
- d'analyses des propriétés des dépôts (particulièrement les argiles) par récupération d'échantillons intacts et remaniés;
- pour une semelle conventionnelle (érigée près de la surface) dont la longueur est de dix (10) fois la largeur.

La charge au sol exercée par les installations des divers types d'industries et les capacités portantes requises sont les suivantes:

<u>Industrie</u>	<u>Charge au sol</u>	<u>Capacité portante</u>
Lourde	>200 kPa	> 300 kPa
Moyenne	50 < kPa < 200	>200 kPa
Légère	< 50 kPa	>100 kPa

Ainsi, les zones qui présentent les plus grandes capacités portantes sont celles où le roc est affleurant ou sub-affleurant; suivent celles où affleurent le till, les dépôts granulaires fluvio-glaciaires, certains types d'alluvions. Les argiles surconsolidées et les argiles normalement consolidées, puis finalement les sols organiques représentent des sols compressibles nécessitant une estimation des tassements prévisibles avant toute construction.

Ainsi, des sols possédant de très bonnes caractéristiques pour la construction se retrouvent principalement dans les municipalités de Aylmer, Hull et Gatineau, ainsi que dans la partie septentrionale du territoire cartographié.

Par contre, des sols argileux fortement compressibles se retrouvent dans la vallée de la Breckendridge, le long de l'Escarpement Eardley, au nord de Hull, à Chelsea, sur la terrasse supérieure au nord de Gatineau et Angers.

Des alluvions lâches et des sols organiques se retrouvent en bordure des rivières Gatineau et Outaouais.

## V-2 - Phénomènes à surveiller

### 1 - Les mouvements de terrain

Plusieurs types de mouvements de terrain ont été inventoriés sur le territoire dont, des coulées argileuses. Les risques de mouvements de terrain ont fait l'objet d'une cartographie spécifique présentée en Partie B de ce rapport. On a représenté sur la carte d'Aptitude des zones de risque qui tiennent compte seulement de la possibilité de glissements simples.

## 2 - Les risques d'inondations

Les risques d'inondations existent principalement le long des rivières Gatineau et Outaouais et près de l'embouchure de leurs principaux affluents. Le Tableau X présente par station l'élévation maximale de la zone inondable pour des périodes de récurrence de 20 et 100 ans.

Tableau X - Elévation de la zone inondable le long des rivières Gatineau et Outaouais\*.

Station	Elévation(m) selon la récurrence	
	20 ans	100 ans
<u>Rivière Gatineau</u>		
Embouchure de la rivière (R. des Outaouais)	45.05	45.84
Pont Lady Aberdeen	45.05	45.84
Pont des Draveurs (autoroute 550)	45.17 45.22	46.05
Pont du CP		46.13
Pont Alonzo Wright	45.71	46.81
Barrage des Rapides Farmers	47.79	49.26
Limbour	51.06	52.41
<u>Rivières des Outaouais</u>		
Angers	44.82	45.12
Pointe Gatineau	44.98	45.72
Pont MacDonald-Cartier (Canal Rideau)	45.38	45.83
Rapides Deschênes - aval	58.00	58.50
Rapides Deschênes -amont	60.13	60.44
Lac Deschênes	60.18	60.49

\* Les cartes de risques d'inondations sont disponibles au Service des Eaux de surface, Ministère de l'Environnement du Québec.

### 3 - Les aires minières, les carrières

On a reporté sur la carte d'Aptitude les excavations minières et les carrières (actuelles et anciennes); ces aires présentent des risques d'affaissements ou de glissements rocheux. Les anciennes exploitations minières se retrouvent toutes (sauf une) dans le Parc de la Gatineau.

#### V-3 - Les matériaux géologiques en tant que ressources

La géologie économique et le potentiel hydrogéologique de la roche en place ont été décrits au Tableau III. Actuellement les calcaires de l'unité intermédiaire de la Formation d'Ottawa sont exploités sur le Plateau d'Aylmer principalement comme concassé pour fondation de route, granulat à béton et béton bitumineux, pierre ornementale. Les dolomies de la Formation d'Oxford sont utilisées comme concassé pour fondation de route, agrégat à béton bitumineux. Les roches métamorphiques (paragneiss) sont exploitées pour en tirer du concassé utilisé pour matériau de fondation.

Les dépôts fluvioglaciers situés au nord de la municipalité d'Aylmer représente une ressource importante de matériaux de construction et un potentiel hydrogéologique. Ces dépôts de sable et gravier sont utilisés comme matériau de fondation. La hauteur de la nappe d'eau (près de la surface) oblige une exploitation par dragage; une fois récupéré sous l'eau et accumulé en bancs, le matériau peut être traité. La perméabilité élevée du dépôt et sa position comme couche aquifère lui confère un potentiel hydrogéologique important.

D'autres dépôts fluvioglaciers importants, apparaissant dans un contexte stratigraphique similaire, ont été relevés le long du Parc de la Gatineau près de Chelsea, près de l'embouchure de la rivière Gatineau à Pointe-Gatineau et près de l'île Kettle.

Des dépôts sub-littoraux (deltaïques) de sable moyen à grossier situés au nord d'Angers (Figure 12) sont utilisés comme matériaux pour fondation de route.

Les autres dépôts granulaires: till, sable et gravier littoraux, alluvions du Proto-Outaouais et récents présentent une qualité originelle inférieure, à cause de substances contaminantes et de constituants délétères, ce qui restreint leur utilisation à des matériaux de remblai. Leur qualité peut être améliorée par traitement: lavage, flottaison, broyage sélectif, tamisage.

## CONCLUSIONS

La cartographie géotechnique Gatineau-Hull-Aylmer constitue un dossier analytique imposant les caractéristiques des sols d'une région urbaine de Québec en pleine expansion. Ce document constitue un outil de décision précieux pour la planification de l'aménagement du territoire.

Les municipalités de Gatineau, Hull et Aylmer sont bien pourvues en sols présentant de très bonnes caractéristiques pour la construction : roc affleurant ou sub-affleurant, till ou dépôts fluvio-glaciaires pouvant être surmontés d'une mince couverture de dépôts meubles.

Les dépôts argileux de la Mer de Champlain forment des sols de faible résistance au cisaillement, de forte compressibilité et parfois de grande sensibilité. Notre étude a permis de distinguer quatre (4) unités géotechniques de sols argileux selon ces paramètres :

- des argiles sensibles,
- des argiles âgées normalement consolidées,
- des argiles surconsolidées,
- des argiles altérées de la croûte de surface.

La définition de ces unités géotechniques de sols argileux a été prise en considération lors de la détermination de l'aptitude de ce sols.

Les phénomènes à surveiller sont les mouvements de terrain et les inondations.

Des mouvements de terrain d'origine naturelle se sont produits dans les dépôts meubles argileux (presqu'exclusivement) et sur versants rocheux.

Des cicatrices ou amphithéâtres de glissements de terrain sont fréquents le long des cours d'eau qui entaillent des sols argileux, là où la hauteur de ravinement est importante et l'érosion fluviale active; ils sont de plusieurs types : fluage et reptation, glissement superficiel, glissement rotationnel simple ou rétrogressif, coulée argileuse.

On a inventorié cent (100) coulées argileuses fossiles sur le territoire. Elles se sont produites dans des secteurs où on retrouve des argiles sensibles. Elles se concentrent sur la terrasse supérieure Chelsea-Templeton.

Des glissements rocheux et des talus d'éboulis affectent des versants rocheux dans le Parc de la Gatineau, particulièrement le long de l'Escarpement Eardley.

Des risques de mouvements de terrain (affaissements, glissements) d'origine artificielle sont à surveiller dans les aires minières abandonnées et les carrières. La reconversion des sites de mines et carrières abandonnées reste souhaitable pour la sécurité et le bien-être de la population.

Des risques d'inondations sont à craindre le long des rivières Gatineau et Outaouais.

Cette étude géotechnique régionale fournit une quantité imposante d'informations géotechniques sur les matériaux géologiques; cependant, une telle étude régionale ne peut remplacer les études spécifiques nécessaires à l'implantation de constructions importantes.

## BIBLIOGRAPHIE

ALLARD, M., SOUCY, J.M., Géomorphologie, Wakefield 31G/12 0, Québec, O.P.D.Q., 1980.

ANTEVS, E., Retreat of the last ice sheet in Eastern Canada, Ottawa, GSC, Memoir 146, 1925.

BAIRD, D.M., Géologie de la région de la Capitale Nationale, Ottawa, Gill, J.E., rédacteur en chef, 24<sup>e</sup> Congrès Géol. Int., Livret-guide, Excursions B-23 à B-27, 1972, 36 p.

BAER, A.J., POOLE, W.H., SANFORD, B.V., Rivière Gatineau, Québec-Ontario, Carte 1334A, Feuillet 31, Ottawa, C.G.C., R.J.W. Douglas, coordonnateur.

BELAND, R., Preliminary report on Wakefield area, Gatineau County, Québec, Ministère des Richesses Naturelles, rapport préliminaire 298, 1954.

BELANGER, J.R., HARRISON, J.E., Regional geoscience information: Ottawa-Hull, Ottawa, Geol. Surv. Can., Paper 77-11, 1980, 18 p.

BJERRUM, L., Geotechnical properties of norwegian marine clays, Geotechnique, Vol. 4, 1954, 49-69 pp.

\_\_\_\_\_, Problems of soil mechanics and construction of soft clays and structurally instable soils (collapsible, expansive and others), Moscow, State-of-the-art report, Session 4, Proc. 8th ICSMFE, Vol. 3, 1973, 111-160 pp.

BOWLES, J.E., Foundation Analysis and Design, New-York, McGraw Hill Co., 1st edition, 1968, 659 p.

BRANDON, L.V., Preliminary report on hydrogeology, Ottawa-Hull area, Ontario and Québec, Ottawa, Geol. Surv. Can., Paper 60-23, 17 p., map 31-1960, 1961.

CASAGRANDE, A., Classification and identification of soils, Trans. ASCE, Vol. 113, 1948, 901-930 pp.

CRAWFORD, C.B., Engineering studies of Leda Clay, IN Soils in Canada, Ottawa, Royal Soc. of Canada, Sp. Publ. No. 3, R.F. Legget ed., 1961, 200-217 pp.

\_\_\_\_\_, Quick clays of Eastern Canada, Amsterdam, Elsevier Publ. Co., Engineering Geology, Vol. 2, No. 4, 1968, 239-265 pp.

CRAWFORD, C.B., EDEN, W.J., A comparison of laboratory results with in situ properties of Leda Clay, Montréal, Proc. ICSMFE, Vol. 1, 1965, 31-35 pp.

DION, D.J., CARON, P., Levé géotechnique de la région de La Prairie-Saint-Jean, Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec, DPV-901, 1982, 66 p.

DREIMANIS, A., Tills of Southern Ontario, IN Soils in Canada, Ottawa, R.F. Legget ed., Royal Soc. Can., Sp. Publ. No. 3, 1961, 80-96 pp.

\_\_\_\_\_, Tills: Their origin and properties, IN Glacial Till, Ottawa, R.F. Legget ed., Royal Soc. of Canada, Sp. Publ., 12, 1976, 11-49 pp.

\_\_\_\_\_, Correlation of Wisconsin glacial events between the Eastern Great Lakes and the St-Lawrence Lowlands, Géogr. Phys. et Quat., 31, Nos 1-2, 1977, 37-52 pp.

EDEN, W.J., CRAWFORD, C.B., Geotechnical properties of Leda Clay in the Ottawa area, Proc. 4th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Vol. 1, 1957, 22-27 pp.

EMSLIE, R.F., Géologie du Bouclier Canadien, IN Géologie et Ressources Minérales du Canada, Partie A, Chap. IV, R.J.W. Douglas, red., C.G.C., 1975, 134-145 pp.

FRANSHAM, P.B., GADD, N.R., Geological and geomorphological controls of landslides in the Ottawa Valley, Vancouver, 29th Can. Géotech. Conf., 1976, 19 p.

GADD, N.R., Surficial geology of Ottawa map area, Ontario and Québec, Geol. Surv. Can., Paper 62-16, 4 p., map 16-1962, 1963.

\_\_\_\_\_, Geology of Leda Clay, Mass Wasting, 4th Guelph Symposium on Geomorphology, Geo Abstracts Ltd, 1976, 137-151 pp.

GARNEAU, R., LEBIHAN, J.P., Estimation of some properties of Champlain Clay with the Swedish Fall Cone, Revue Canadienne de Géotech., Vol. 14, No., 571, 1977, 571-581 pp.

GUIMONT, RHEAUME, Etude sur le dosage de Na, K, Mg et Ca dans les eaux interstitielles, Ministère des Richesses naturelles du Québec, Document interne, 1979.

HARRISON, J.E., Coastal studies in the Ottawa area, IN Report of Activities, Part A, Project 700049, Paper 77-1A, GSC, 1977, 13-14 pp.

HOGARTH, D.D., Geology of the southern part of Gatineau Park, National Capital Region, Geol. Surv. Can., Paper 70-20, 1970, 8 p.

KARROW, P.F., The Champlain Sea and its sediments, IN Soils in Canada, R.F. Legget ed., Royal Soc. Can., Sp. Publ. No. 3, 1961 97-108 pp.

KENNEY, T.C., A review of recent research on strenght and consolidation of soft sensitive clays, Can. Geotech. J., 5, 1968, 97-119 pp.

LEBUIS, J., ROBERT, J.M., RISSMANN, P., Regional mapping of landslide hazard in Quebec, Swedish Geotechnical Institute, Symp. on landslides in Linköping, Report No. 17, 1982, 205-262 pp.

MARANDA, R., Etablissement des cartes géotechniques au Ministère des Richesses Naturelles, Ministère des Richesses naturelles, Ed. officiel du Québec, Québec, DPV-488, 1977a, 19 p.

MITCHELL, J.K., Fundamentals of Soil Behaviour, John Wiley and Sons, New York, 1976, 422 p.

OCHIETTI, S., HILLAIRES-MARCEL, C., Chronologie <sup>14</sup>C des événements paléogéographiques du Québec depuis 14,000 ans, Géograph. Phys. et Quat., Vol. XXXI, Nos. 1-2, 1977, 123-133 pp.

RICHARD, S.H., Surficial geology mapping: Ottawa-Hull Area (parts of 31 F, G), IN Report of Activities, Part B, Geol. Surv. of Can., Paper 74-1, 1974, 218-219 pp.

RICHARD, S.H., GADD, N.R., VINCENT, J.S., Depôts meubles et formes du relief, Ottawa-Hull, Com. Geol. Can., carte 1425-A, 1974.

RISSMANN, P., ALLARD, J.D., LEBUIS, J., Zones exposées aux mouvements de terrain le long de la Rivière Yamaska entre les municipalités de St-Michel de Yamaska et de St-Hyacinthe, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, DV 83-04, 1984.

ROMANELLI, R., The Champlain Sea Episode in the Gatineau River valley and Ottawa area, Canadian Field Naturalist, 89(4), 1975, 356-360 pp.

\_\_\_\_\_, Environmental history of sand and gravel deposits of the Champlain Sea in the Gatineau Valley, Québec, Ottawa, Thèse de M. Sc., non publiée, 1976.

ROSENQVIST, T., Considerations on the sensitivity of norwegian quick clays, Géotechnique, Vol. 3, No. 5, 1953, 195-200 pp.

SABOURIN, R.J.E., Région Bristol-Masham, Ministère des Richesses naturelles du Québec, Rapport 110, 1965.

SANFORD, B.V., POOLE, W.H., WILLIAMS, H., KELLEY, D.G., Géologie du Sud-Est du Canada, IN Géologie et Ressources Minérales du Canada; Partie A, Chap. VI, R.J.W. Douglas, réd., Ottawa, Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources du Canada, 1975, 254-292 pp.

SAXOV, S., A gravity survey of the vicinity of Ottawa, Dominion Observtions, Vol. 18, No. 11, 1956, 257-286 pp.

SCOTT, J.S., Geology of canadian tills, IN Glacial Till, R.F. Legget ed., Ottawa, Royal Soc. of Can., Sp. Publ. No. 12, 1976, 50-66 pp.

SEED, B.H., WOODWARD, R.J., LUNDGREN, R., Fundamental aspects of the Atterberg Limits, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division (ASCE) SM6, Vol. 90, 1964, 75-105 pp.

THEBERGE, J., Cartographie des zones exposées aux mouvements de terrain le long de la rivière Maskinongé, Annales de l'ACFAS, Vol. 50, 1983, 129 p.

\_\_\_\_\_, Cartographie géotechnique, Gatineau-Hull-Aylmer, Thèse de maîtrise non publiée, Université du Québec à Montréal, Québec, 181 p.

\_\_\_\_\_, Zones exposées aux mouvements de terrain dans la région de Maskinongé, Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec, sous-presse.

WILSON, A.E., Geology of the Ottawa - St-Lawrence Lowland, Ontario and Québec, Geol. Surv. Can., Memoir 241, 1946, 65 p.

## PARTIE B: CARTOGRAPHIE DES ZONES EXPOSÉES AUX MOUVEMENTS DE TERRAINS DANS LA RÉGION DE GATINEAU-HULL-AYLMER.

### 1. Introduction

La cartographie des zones exposées aux mouvements de terrain (CZEMT) dans la région de Gatineau-Hull-Aylmer a été réalisée à l'automne 1984. Cette région est sise au confluent des rivières Gatineau et des Outaouais, en face de la Capitale Nationale d'Ottawa (figure 1). Elle appartient au territoire sous la juridiction de la Communauté Régionale de l'Outaouais (C.R.O.).

L'information géologique, géomorphologique et géotechnique utilisée pour l'élaboration des cartes synthèses: cartes des zones exposées aux mouvements de terrain (CZEMT) présentées sur feuillets cadastraux 1:20 000 (cartes 5a, b, c et d) provient:

- . des travaux sur le terrain (levés de terrain, levés géotechniques) réalisés lors des campagnes de 1978, 1979, 1980 et 1981; la stratigraphie et les caractéristiques géotechniques des sols échantillonnés en forage apparaissent à l'annexe 1;
- . de l'information tirée du levé géotechnique de la Partie A et des feuillets analytiques dressés:
  - . Géomorphologie, géologie et épaisseur des dépôts meubles (carte 1);
  - . Caractéristiques géotechniques du socle (incluant la topographie du socle) (carte 2);
  - . Profils stratigraphiques (carte 3);
  - . Aptitude des sols (carte 4).

Les sols formés des Argiles de la Mer de Champlain ont été impliqués régionalement dans plusieurs types de mouvements de terrain dont des coulées argileuses. Leurs propriétés géotechniques et les critères d'identification des argiles sensibles ont été décrits en détail dans un ouvrage régional réalisé par Théberge, 1984, ainsi qu'à la Partie A de ce rapport. On se contentera ici de mentionner les propriétés utilisées pour caractériser leur sensibilité (résistance au cisaillement à l'état remanié, plasticité, salinité de l'eau interstitielle) servant de critères à l'établissement du zonage proposé.

## 2. Description des mouvements de terrain observés dans la région

Plusieurs (7) types de mouvements de terrain ont impliqué des terrains meubles ou consolidés sur le territoire (figure 33):

### 1) Mouvements de terrain de type fluage ou reptation:

Ce type de mouvement n'affecte généralement que le couvert végétal et la zone altérée de surface. Les troncs d'arbres recourbés, la perte de couvert végétal, les terrassettes sur les versants servent d'indices de ce mouvement. Il se produit autant dans les matériaux meubles que dans les formations rocheuses, lorsque celles-ci sont altérées. Dans certains cas, ils constituent des signes précurseurs de glissements.

### 2) Glissements affectant les dépôts meubles:

On désigne par glissement, le mouvement d'une masse de terrain meuble vers le bas d'un versant, le long d'une surface de rupture plane ou circulaire localisée en profondeur ou à proximité de la surface du sol. La masse déplacée peut subir divers degrés de remaniement selon la sensibilité du matériau impliqué.

## a) Décrochement

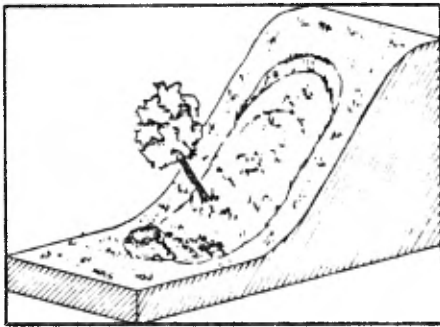
Le glissement superficiel ou décrochement n'affecte que la portion superficielle altérée, fissurée du dépôt. Sa rétrogression (R) est donc limitée à l'épaisseur de cette croûte fissurée, soit quelques mètres (< 6 m). Ce type de mouvement, fréquent dans les secteurs où l'érosion est active sur les berges, expose à l'érosion la portion intacte du dépôt et contribue à l'instabilité totale de la pente pouvant générer des glissements à surface de rupture profonde.

## b) Glissement rotationnel

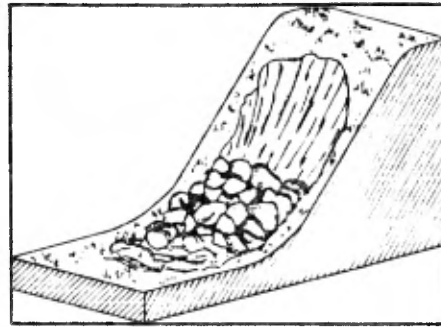
Le glissement à rupture circulaire profonde ou glissement rotationnel peut affecter un volume important de matériau formant le talus (particulièrement dans les argiles); le sol subit un mouvement circulaire par tranches vers le bas du talus.

Le glissement rotationnel sera simple si une seule tranche de terrain est impliquée dans le mouvement de masse; sa rétrogression (R) sera limitée (généralement  $R \leq 2H$  dans les sols argileux, où H = hauteur du talus).

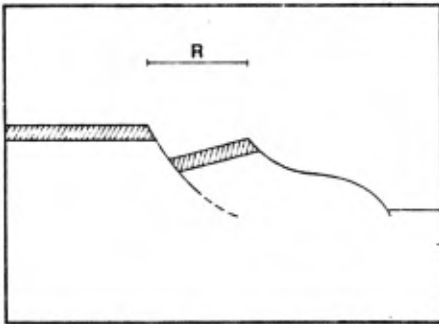
De nombreux glissements rotationnels simples sont observables le long des cours d'eau étudiés: il se sont produits principalement dans les sols argileux. Plusieurs auteurs mentionnent le fait que les glissements rotationnels simples ou rétrogressifs impliquant des sols argileux sensibles peuvent évoluer en un mouvement de plus grande envergure: la coulée argileuse.



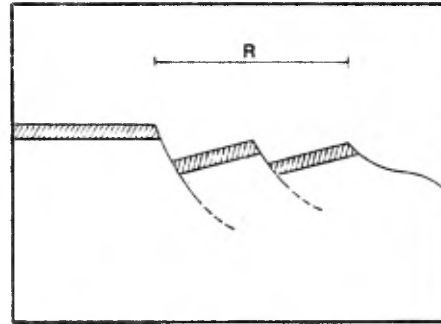
a) Mouvement de type fluage ou reptation.



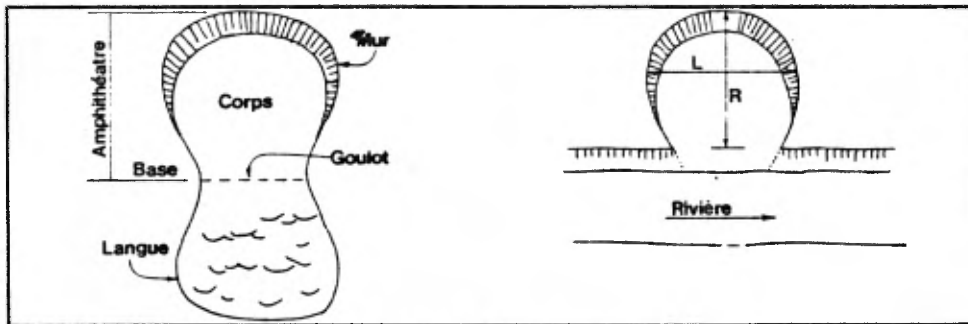
b) Glissement superficiel (décochement).



c) Glissement rotationnel simple.

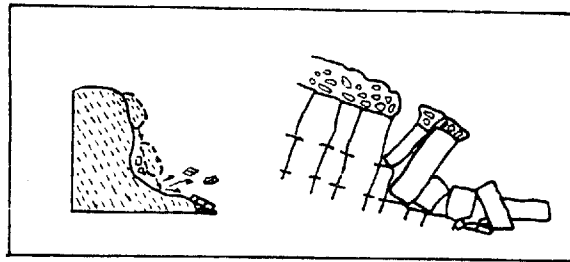


d) Glissement rotationnel multiple.

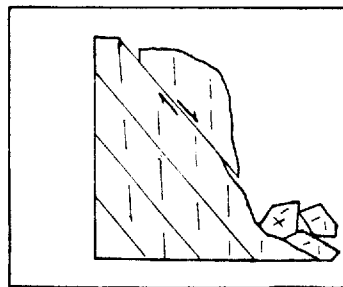


e) Coulée argileuse.

Figure 33: Types de mouvements de terrain.



f) Ecroulement



g) Eboulement

Figure 33 (suite): Types de mouvements de terrain.

## c) Coulée argileuse:

La coulée argileuse est un mouvement de masse qui se produit rapidement, souvent en quelques heures ou moins, impliquant un volume de sol important (jusqu'à plusieurs dizaines d'hectares de superficie). Il est caractérisé par une liquéfaction partielle ou totale du matériau remanié lors du glissement par blocs ou tranches successives. La dimension d'une coulée est caractérisée par les termes rétrogression (R) et largeur (L). Cent (100) coulées argileuses ont été inventoriées dans la région et leurs caractéristiques morphologiques sont présentes au tableau XI et aux figures 34, a, b et c.

La dimension des coulées argileuses peut être modifiée par la présence des facteurs limitatifs (changement lithologique, présence d'un ravin, autre coulée argileuse). D'une façon générale, la morphologie des coulées est de type "bowl shape" (cuvette allongée) avec  $R < L$ .

Les principaux secteurs où apparaissent les coulées argileuses fossiles sont (c.f. carte 1):

- . le long de la terrasse fluviale du Proto-Outaouais (figure 34a);
- . le long des ruisseaux Chelsea et Leamy et la rivière Gatineau (figure 34b);
- . le long des ruisseaux Nouveaux, des Rangs II, III, IV (Templeton) et de la rivière Blanche (figure 34c);
- . le long des ravins qui entaillent la terrasse supérieure de Templeton (figure 34c).

TABLEAU XI - Inventaire des coulées argilleuses

Localisation # Photo aérienne	Rétrogression R (m)	Largeur L (m)	Facteurs limitatifs <sup>1</sup>	Remarques
Ruisseau Lemay Q75862-150	360	870		
Ruisseau Chelsea <sup>2</sup>				
Q75862-149 km 0,90	300	570	R: 0	
Q75862-149 1,00	290	290		
Q75862-130 1,60	360	750	R: 0	
Q75862-130 1,80	240	270		Affluent
Q75862-130 2,20	180	330		Affluent
Q75862-130 2,50	180	210		
Q75862-130 2,70	360	780	R: 0	
Q75862-130 2,80	150	450		Affluent
Q75862-130 2,85	120	150		
Q75862-102 3,20	210	330		
Q75862-102 3,50	360	480		
Q75862-128 3,70	70	270		Affluent
Q75862-102 3,90	70	120		
Q75862-102 4,30	60	120		
Q75862-104 4,40	90	120		
Q75862-104 4,60	120	130		
Q75862-104 4,85	60	120		
Q75862-104 5,50	90	240		
Q75862-104 5,90	180	210	R: +, L:*	Affluent
Q75862-104 5,95	60	80		
Q75862-104 6,00	150	160	L: *	Affluent
Q75862-104 6,05	40	60	R: +	Affluent
Rivière Gatineau				
Q75862-149	480	480		
Q75872-149	1 100	990	L: 0	
Q75862-149	510	560		
Q75862-149	80	420	R, L: *	
Q76862-130	820	> 660		
Q75862-102	600	720		
Proto-Outaouais				
Q75862-170	> 150	600		Lac des Fées
Q75862-170	75	300		
Q75862-99	180	330		
Q75862-99	480	1 050		
Q75862-99	60	210		
Q75862-99	180	570		
Q75862-97	480	> 300		
Q75862-97	210	520	L: *	
Q75862-97	300	> 330		
Q75862-97	120	180		

Tableau XI (suite)

Localisation # Photo aérienne	Rétrogression R (m)	Largeur L (m)	Facteurs limitatifs <sup>1</sup>	Remarques
Proto-Outaouais (suite)				
Q75862-95	210	>210		
Q75862-95	210	210		
Q75857-213	240	360		
Q75857-213	300	990	R: *	
Q75857-215	210	240		
Q75857-215	140	240		
Q75857-215	240	390		
Q75857-215	150	330		
Q75857-217	330	480		
Q75857-217	180	420		
Q75857-217	120	150		
Q75857-217	510	600		
Q75857-160	570	1 020	R: *	
Q75857-95	450	870	R(?): 0	??Ruiss. Rgs II-III et IV
Terrasse Templeton				
Q75862-97	75	270		
Q75862-97	105	210		
Q75862-97	210	180		
Q75862-97	360	390	R, L: 0	
Q75857-215	180	330		
Q75857-215	120	270		
Q75857-215	90	300		
Q75857-217	75	270		
Q75857-217	120	360		Ribot
Q75857-160	510	840		Ribot
Q75857-160	1 350	960	R, L: 0	Ribot
Ruisseau des rangs II, III et IV (Templeton)				
Q75862-95 km 0,30 <sup>2</sup>	300	300	R: *	
Q75862-95 0,85	210	570	R: 0	Affluent
Q75862-95 0,75	360	300	L: 0	
Q75862-95 0,30	480	>360		
Q75862-95 0,75	80	300		Affluent
Q75862-95 0,30	140	210		
Q75857-211 0,85	90	330		Affluent
Q75857-211 1,00	480	330	L: 0	
Q75857-211 1,40	180	100		
Q75857-211 1,50	60	150		
Q75857-211 1,55	270	330		
Q75857-211 1,80	130	300		
Q75857-211 2,00	300	330	R: * L: 0	

Tableau XI (suite)

Localisation # Photo aérienne	Rétrogression R (m)	Largeur L (m)	Facteurs limitatifs <sup>1</sup>	Remarques
Ruisseau des Rangs II, III et IV (Templeton)				
Q75857-211 km 2,70	250	590		
Q75857-211 2,90	150	540		Affluent
Q75857-211 3,10	120	120		
Q75857-211 3,15	120	90		
Q75857-211 3,70	120	240		
Q75857-211 3,60	120	390		
Q75857-211 2,60	100	80		Affluent
Q75857-211 2,60	100	70		Affluent
Ruisseau Nouveau				
Q75857-165	150	300		
Q75857-165	160	210		
Q75857-165	200	270		
Q75857-165	210	390	R: +	
Q75857-165	140	150		
Q75857-128	120	420	R: +	
Q75857-128	60	390	R: +	
Rivière Blanche				
Q75862-95	90	300		Affluent?
Q75857-213	300	600		Affluent
Q75857-213	330	240		
Q75857-213	270	240		
Q75857-213	180	180		
Q75857-213	690	600		
Q75857-213	150	420		Affluent
Q75857-165	90	210		

(1) Facteurs limitatifs à l'extension des coulées argileuses:

+: changement lithologique

\*: ravinement

0: autre mouvement de terrain fossile

(2) Coulées argileuses reportées sur un profil longitudinal.

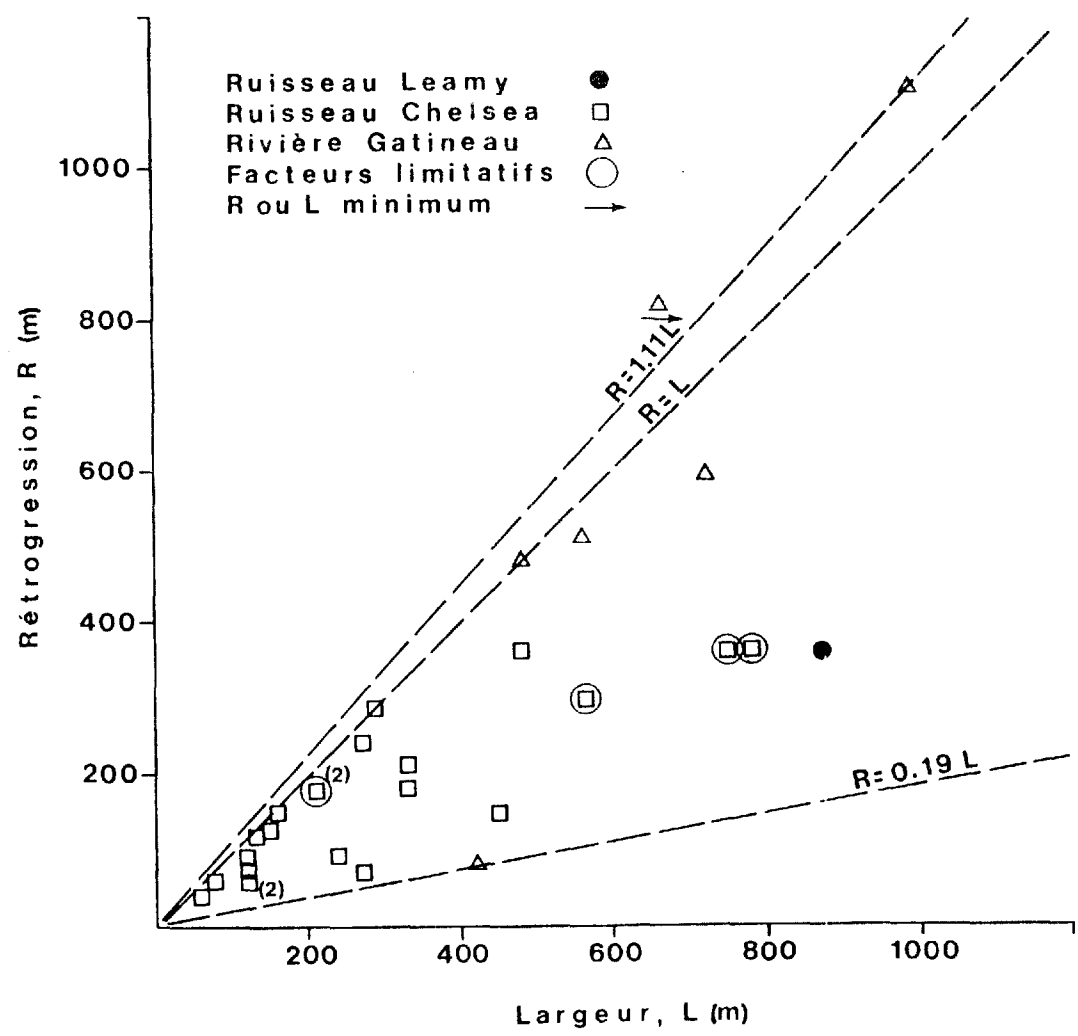


Figure 34a: Dimension des coulées argileuses le long des ruisseaux Leamy, Chelsea et de la rivière Gatineau

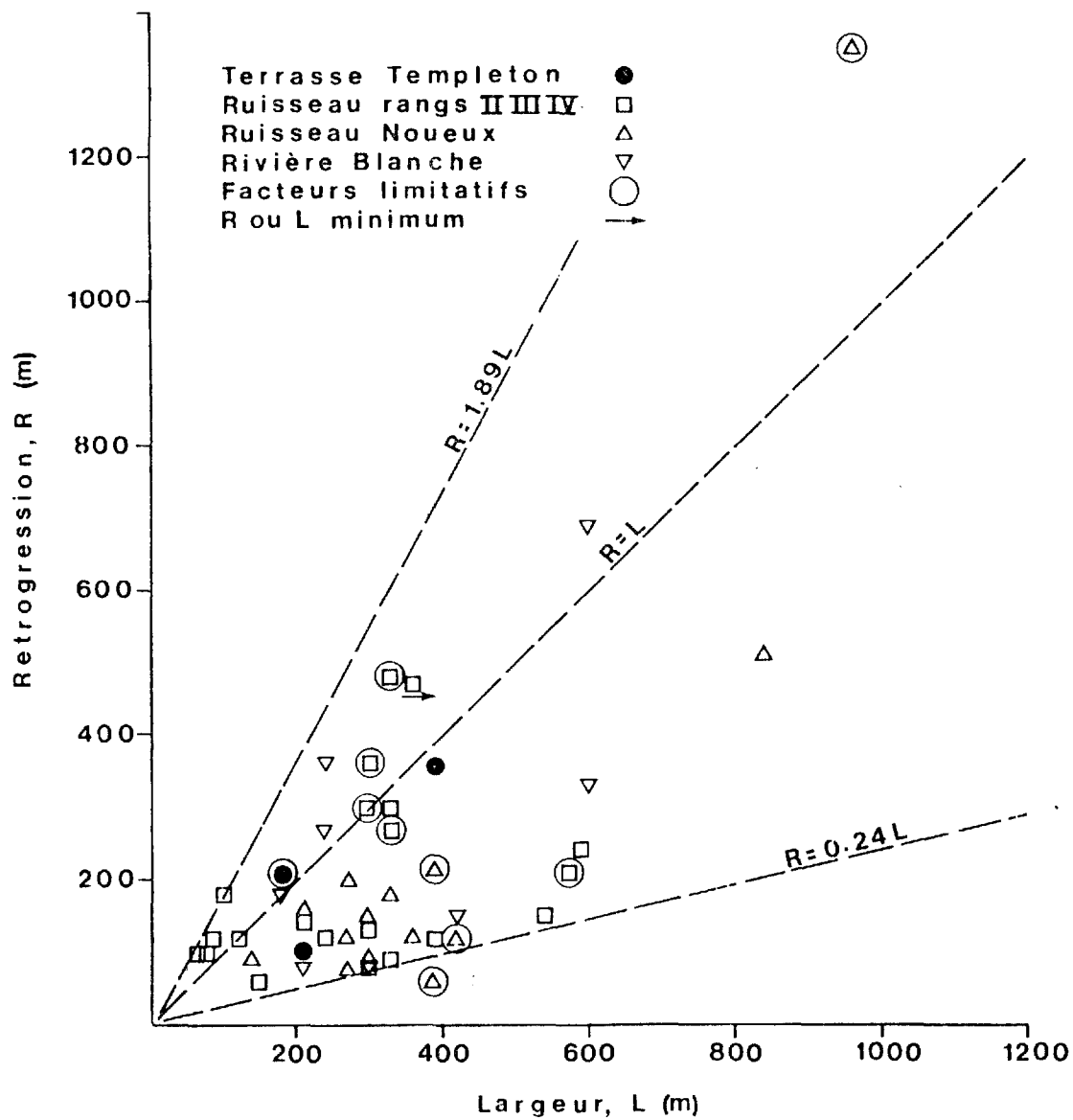


Figure 34b: Dimension des coulées argileuses le long des ruisseaux Nouveaux, des Rangs II, III et IV, de la rivière Blanche et des ravins de la terrasse Templeton.

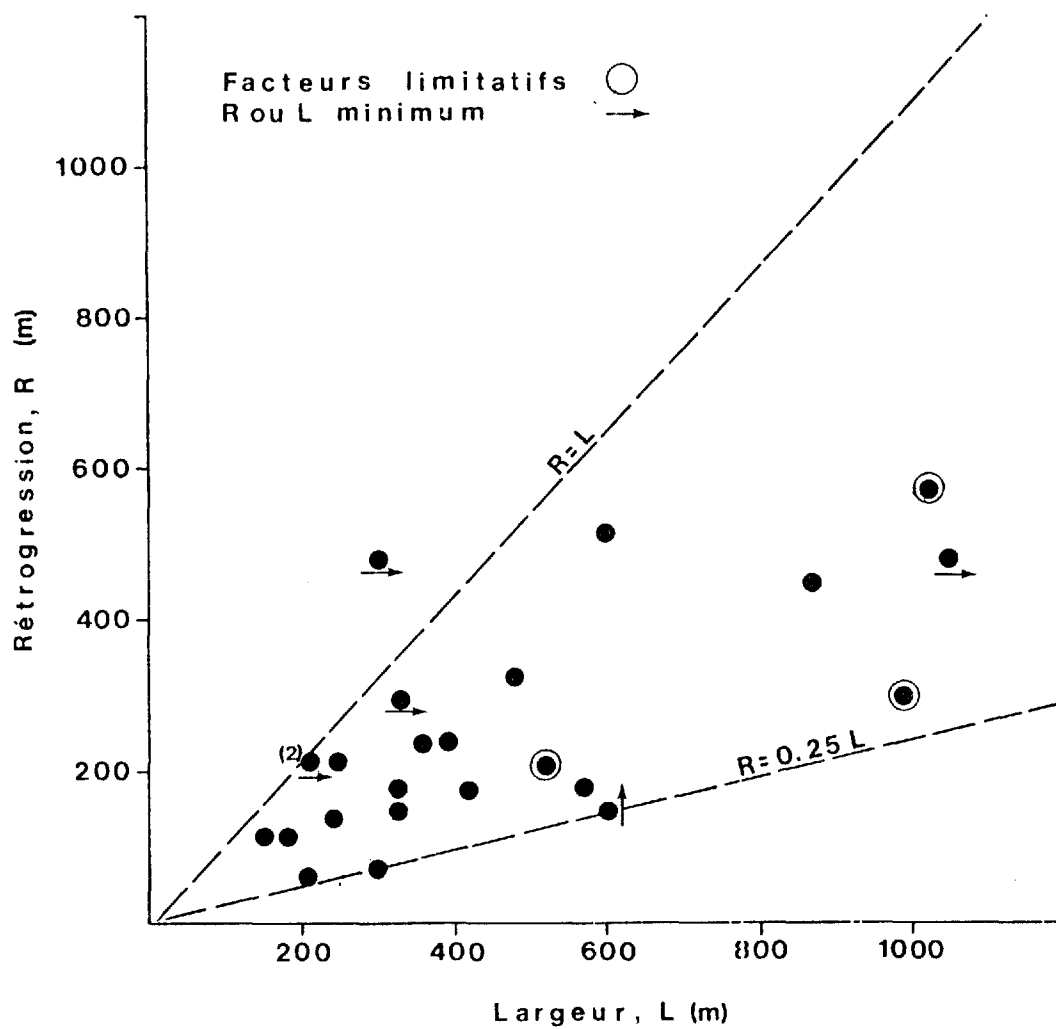


Figure 34c: Dimension des coulées argileuses le long du Proto-Outaouais.

Aucune coulée argileuse n'a été inventoriée au niveau de la terrasse inférieure Hull-Gatineau. Cependant, des argiles sensibles et ultra-sensibles y ont été échantillonnées. Il semble que l'absence de ravinement important ( $H < 10$  m) limite l'occurrence des coulées argileuses.

Cependant, le risque de liquéfaction de sol argileux provoquée artificiellement demeure. Les opérations d'excavation, de fonçage et battage de pieux, devront être menées avec précaution partout où la présence d'argiles sensibles est relevée.

### 3) Écroulement et glissement rocheux (éboulement):

Ces mouvements de masse sont fonction de la lithologie, de la présence de discontinuités dans le massif (failles, diaclases, foliations, pendage et direction de la stratification).

On désigne par écroulement la chute simultanée d'une portion du massif de roc se détachant en masse sur un talus abrupt. Les matériaux éboulés s'accumulent au pied du talus. Beaucoup plus fréquent que les glissements rocheux, les écroulements se produisent sur de petites surfaces et présentent alors un danger moindre. Ils proviennent de l'action de la gélifraction, de l'action érosive des cours d'eau, de la pression hydrostatique, de l'action des racines des plantes sur les plans de faiblesse de la roche, des vibrations. Ce type de mouvement de masse est responsable de l'activité et du recul de certaines falaises le long de l'Escarpement Eardley.

Des glissements plans (éboulements) se sont produits dans les roches ignées et métamorphiques de l'Escarpement Eardley. Le mouvement se produit par translation sur une surface de cisaillement plane, généralement une diaclase. La géométrie du mouvement est déterminée par les discontinuités du milieu. La chute des débris provoque des écroulements dans les roches sous-jacentes. Il se forme un couloir de glissement étroit et allongé dans le sens de la pente.

On a reporté sur la carte Aptitude des sols (carte 4, Partie A) les sites d'excavations minières et de carrières en opération ou abandonnées (ainsi que la localisation de talus actifs de l'Escarpement Eardley). Ces aires présentent des risques d'affaissements ou de glissements rocheux.

### 3. Établissement des zones exposées aux mouvements de terrain

La méthode d'établissement des zones exposées aux mouvements de terrain dans les sols argileux est décrite dans Rissmann, Allard et Lebuis (1984) et Lebuis, Robert et Rissmann (1982).

À partir d'une pente instable soumise à l'érosion, on établit une zone à risque élevé (ZRE) de glissement laquelle peut déterminer à l'arrière une zone exposée au risque de coulée argileuse selon les propriétés géologiques et géotechniques du sol. L'extension de cette dernière zone est fixée selon une méthode empirique basée sur la rétrogression des anciennes coulées argileuses du secteur: on présume, pour un secteur donné montrant des propriétés comparables, que les futures coulées argileuses pourraient avoir des dimensions du même ordre de grandeur que les anciennes. Alors, on établit pour tous les cours d'eau où on retrouve des anciennes coulées

argileuses un profil longitudinal où l'on reporte la localisation du centre de la coulée argileuse en abscisse et sa rétrogression en ordonnée. Le kilométrage indiqué en abscisse est aussi indiqué sur les cartes de zonage en annexe (CZEMT). La distance de rétrogression probable d'une future coulée argileuse est établie en calculant une moyenne mobile d'ordre 3 des anciennes rétrogressions et de leur localisation sur le cours d'eau. On n'utilise que les rétrogressions les plus caractéristiques du secteur, n'ayant pas eu leur extension limitée. Le profil, ainsi obtenu, permet de fixer la zone à risque faible (ZRF) définie ci-après.

Du même profil longitudinal, on trace un second profil qui relie toutes les rétrogressions maximales. Lorsque ces rétrogressions maximales ont localement une extension inférieure au profil de la moyenne mobile, on utilise alors ce dernier. Ce profil régional définit l'extension de la zone à risque hypothétique (ZRH) définie ci-après.

Lorsque l'inventaire des coulées argileuses ne permet pas l'élaboration d'un profil longitudinal:

- . absence ou quantité faible de mouvements fossiles;
- . cas des ravins ou cours d'eau secondaires de faible longueur (< 1-2 km);

l'extension des ZRF et ZRH est fixée arbitrairement selon des rétrogressions caractéristiques de ces secteurs.

Dans le cas des affluents ou ravins secondaires et dont la hauteur du ravinement est d'environ 10 m et plus, l'extension des zones caractéristiques à ces secteurs (ZRF, ZRH) est divisée par deux: l'extension des coulées étant limitée par un talweg étroit permettant mal l'évacuation du matériel remanié

et par une érosion plus ponctuelle dans le temps et dans l'espace (point d'érosion de faible extension latérale).

Dans les terrains argileux non sensibles ou granulaires (sable, till), on établit des zones à risque élevé (ZRE), des zones à risque moyen (ZRM) et des zones à risque hypothétique (ZRH) de mouvement restreint aussi définies ci-après.

Le risque de glissement rocheux existe dans certains talus de l'Escarpement Eardley et certains versants rocheux du Parc de la Gatineau. L'établissement de zones de risques dans ces talus nécessite une méthode de cartographie différente de celle utilisée dans le cas de talus formés de dépôts meubles. Ainsi, nous nous contenterons de mentionner seulement le risque associé à ces secteurs constituant une mise en garde aux aménagistes éventuels.

### 3.1 Définition des zones de risque (figure 35)

La région de Gatineau-Hull-Aylmer a été subdivisée en zones appartenant à cinq (5) classes de risque variant d'élevé à nul. Le risque réfère à la fréquence appréhendée de mouvements dans chacune des zones et non pas à l'ampleur du mouvement ou à sa situation géographique; aucune notion de temps ne peut être associée à ces zones (Rissmann, Allard et Lebus, 1984).

#### 1. Zone à risque élevé (ZRE)

La zone à risque élevé (ZRE) est définie selon les critères suivants:

- . des signes d'instabilité (fissures, décrochements, perte de couvert végétal, troncs d'arbres recourbés, fluage, etc.) ont été observés dans le talus au moment de la cartographie;
- . les processus géodynamiques (érosion de la rivière, fluctuation de la nappe phréatique, ...) sont actifs et contribuent en période de crue à détériorer la stabilité des talus.

L'instabilité de ces talus a été observée sur le terrain (mesures de pentes instables) ou évaluée par photo-interprétation lorsque la visite de terrain était impossible. Des talus instables formés des argiles de la Mer de Champlain et des roches précambriennes de l'Escarpement Eardley ont été relevés lors de cette étude.

Cette zone comprend en plus du talus instable, une bande de terrain égale à deux (2) fois la hauteur du talus (H) au sommet et une bande égale à une demi-fois cette hauteur à la base, s'il y a lieu.

Dans les terrains argileux, cette zone constitue, en cas de mouvement, le point d'amorce possible à des mouvements de type coulée argileuse si le contexte géologique et les propriétés géotechniques du sol le permettent. Dans ce cas, on retrouvera à l'arrière de cette zone et une zone à risque faible (ZRF) et une zone à risque hypothétique (ZRH) de coulées argileuses définies ci-après.

Dans les sols non propices aux coulées argileuses (sols argileux de faible sensibilité, sols granulaires) la zone à risque faible (ZRF) sera omise car les

mouvements appréhendés sont seulement de type glissement; cependant, on y retrouvera une zone à risque hypothétique (ZRH) de mouvement restreint définie ci-après.

## 2. Zone à risque moyen (ZRM)

La zone à risque moyen (ZRM) indique que la géométrie et la topographie du terrain laissent présager une instabilité potentielle bien qu'aucun signe d'instabilité n'ait été observé lors de la cartographie. Les talus inclus dans cette zone ont une pente de 25% et plus et l'on peut considérer leur stabilité à moyen terme généralement bonne; ils sont généralement peu ou pas soumis à l'érosion du cours d'eau. Cependant, la présence de constructions ou d'aménagements dans ces talus ou à leur sommet pourrait être suffisante pour les déstabiliser.

Cette zone a été établie à partir de cartes topographiques au 1:20 000 avec des courbes de niveau équidistantes de 10 m et précisée par des mesures sur le terrain et par photo-interprétation. Cette zone est établie pour tous les talus avec une pente supérieure à 25% sans tenir compte de la stratigraphie du talus. Elle comprend en plus du talus une bande de terrain au sommet de celui-ci égale à deux (2) fois la hauteur du talus (H), ainsi qu'une bande d'une demi-fois cette hauteur à la base.

## 3. Zone à risque faible (ZRF)

La zone à risque faible (ZRF) indique qu'aucun signe d'instabilité n'a été observé sur le terrain au sommet

de la cartographie, mais les propriétés géotechniques du sol argileux (résistance au cisaillement à l'état remanié,  $Cu_r < 1,5-2,0$  kPa) ainsi que le contexte géologique et géomorphologique local montrent que le terrain pourrait être impliqué dans un mouvement de grande envergure de type coulée argileuse.

Le risque que survienne un tel mouvement est cependant faible. Un relevé de documents historiques couvrant la période de 1840-1979 démontre qu'il se produit sur le territoire québécois une coulée argileuse de 1 ha ou plus de superficie par période de 2,4 ans (Lebuis, 1979). À un endroit donné, le risque encouru pour les prochaines années est donc faible. La zone à risque faible est tracée dans les secteurs qui regroupent les critères suivants:

- . présence d'une zone à risque élevé dont le talus est supérieur à 10 m; on ne retrouve pas de coulées argileuses dans la région lorsque  $H < 10$  m;
- . présence d'anciennes coulées argileuses dans le secteur et/ou facteurs géologiques et géotechniques favorables à générer des coulées argileuses.

La rétrogression de la ZRF est fixée à l'aide du profil de la moyenne mobile d'ordre 3; sa largeur est fixée soit par l'extension latérale possible du point d'amorce (goulot) ou en lui donnant la même extension que la rétrogression ( $L = R$ ). L'extension de cette zone est fixée en tenant compte des restrictions amenées par la présence de facteurs limitatifs (ravins, anciennes coulées, changements lithologiques, variations des propriétés du dépôt, etc.). Lorsque pour un cours d'eau donné il est impossible ou inutile de

construire un profil de la moyenne mobile d'ordre 3, la ZRF est fixée arbitrairement selon une rétrogression caractéristique du secteur.

Dans le cas des ravins secondaires, l'extension de la ZRF est fixée arbitrairement à une demi-fois celle du cours d'eau principal.

#### 4. Zone à risque hypothétique (ZRH)

La zone à risque hypothétique (ZRH) indique qu'il n'y a pas eu de signes d'instabilité observés au moment de la cartographie, mais les propriétés géotechniques du sol ainsi que le contexte géologique et géomorphologique local montrent qu'un mouvement de terrain de très grande ampleur pourrait s'y produire si des conditions naturelles ou artificielles exceptionnellement défavorables étaient réunies au même endroit: tremblement de terre, pressions interstitielles importantes dans le dépôt suite à des conditions climatiques très défavorables, un mouvement dont la rétrogression ou la largeur serait d'extension exceptionnelle, des interventions humaines telles que battage de pieux, surcharge, excavation, etc.

L'extension de cette zone est fixée selon le profil des rétrogressions maximales mesurées le long des cours d'eau. Sur les ravins secondaires, la rétrogression de cette zone égale une demi-fois celle du cours d'eau principal. Lorsque pour un cours d'eau donné il est impossible ou inutile de construire un profil des rétrogressions maximales, la ZRH est fixée arbitrairement selon une rétrogression caractéristique du secteur.

Dans les terrains argileux non propices aux coulées argileuses et dans les terrains granulaires (sable, gravier), on délimite à l'arrière de la zone à risque élevé, une zone à risque hypothétique de mouvement restreint dont l'extension égale deux (2) fois la hauteur (H) du talus. La profondeur de cette zone est basée sur une compilation d'enquêtes effectuées au cours des dix (10) dernières années par le ministère de l'Énergie et des Ressources démontrant que la majorité des principaux mouvements dans les terrains argileux de type glissement superficiel ou glissement rotationnel simple avait une extension à partir du sommet du talus variant entre 1 fois et 1,5 fois la hauteur du talus et qu'exceptionnellement le seuil atteignait trois (3) fois la hauteur.

#### 5. Zone à risque nul (ZRN)

La zone à risque nul (ZRN) indique qu'aucun signe d'instabilité n'a été observé sur le terrain et que compte tenu du contexte géologique et géomorphologique local ainsi que des propriétés géotechniques des matériaux, le risque de mouvement de terrain est nul.

#### 3.2 Commentaires des zones exposées aux mouvements de terrain

Les cartes des zones exposées aux mouvements de terrain (CZEMT) sont présentées sur feuillets cadastraux au 1:20 000, aux cartes 5a, b, c et d. Les zones établies seront commentées par cours d'eau et par secteurs sur ces cours d'eau en termes:

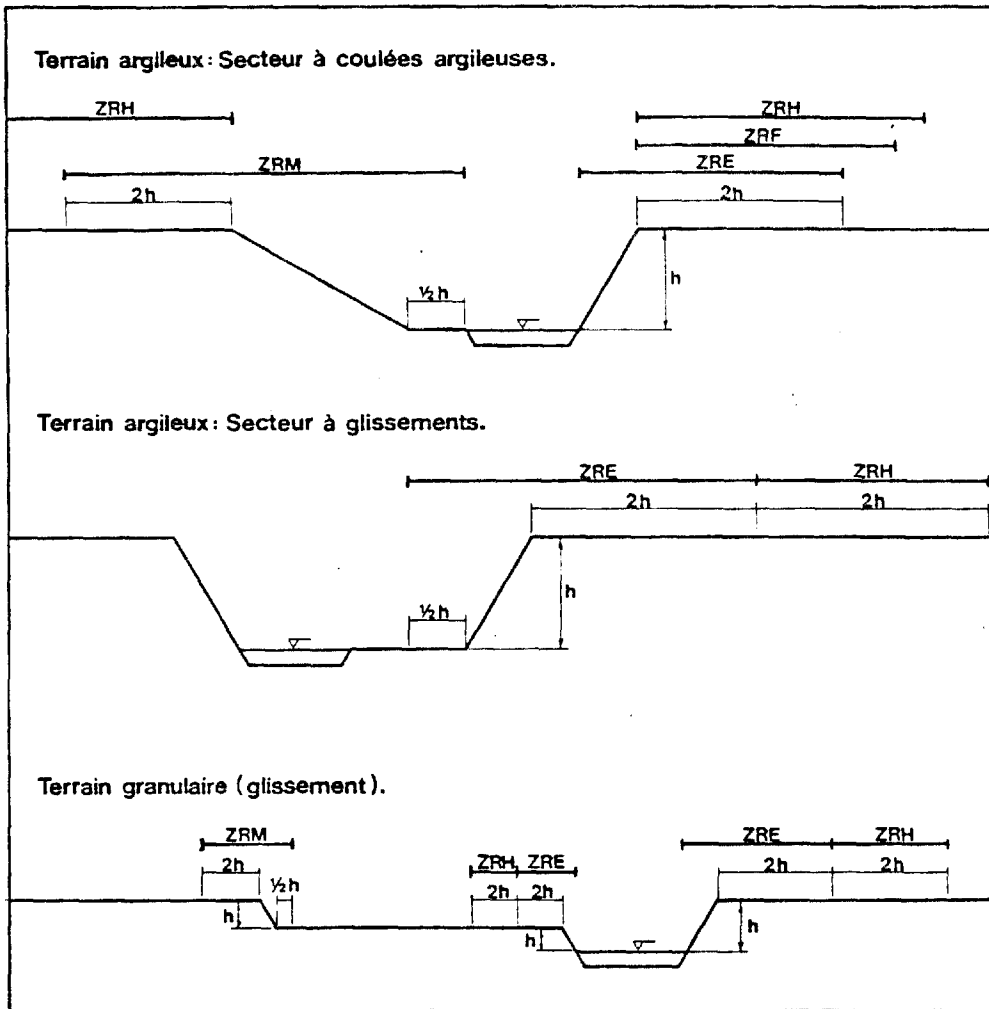


Figure 35: Zones de risques de mouvement de terrain.

- . des types de mouvements appréhendés;
- . du contexte géologique, géomorphologique et géotechnique;
- . du zonage proposé.

### 3.2.1 Le ruisseau Leamy (Hull)

Le ruisseau Leamy prend sa source au lac Pink, dans le Parc de la Gatineau. Dans sa partie amont, il occupe une vallée étroite façonnée parmi des roches ignées et métamorphiques précambriennes et parfois tapissée d'une couverture mince ( $< 10$  m) de dépôts meubles. La hauteur de ravinement dans ces dépôts meubles est généralement inférieure à 6 m. Aucun zonage n'a été établi pour ce secteur.

Vers l'aval, le ruisseau atteint les Basses-Terres de l'Outaouais où la rivière s'encaisse parmi les sols argileux:

- . de la terrasse supérieure Chelsea-Templeton et le ravinement varie vers l'aval de 3 à 35 m dans ce secteur;
- . de la terrasse inférieure Hull-Gatineau et ce jusqu'à son embouchure dans la rivière Gatineau où H est faible et inférieure à 5 m.

De nombreux cas de glissements de terrain (fluage, décrochements) ont été rapportés entre 1969 et 1974 dans la partie aval du cours d'eau qui occupe la terrasse supérieure; de plus, plusieurs études et travaux concernant la stabilité des pentes ont été réalisés entre 1971 et 1974, tels que mentionnés dans Lefebvre et Lafleur (1975).

Dans ce secteur, le ruisseau s'encaisse profondément dans des sols argileux qui comblent une vallée structurale subséquente au prolongement de la faille des lacs Meach-Mousseau-Philippe (c.f. cartes 1 et 2). Les sols argileux échantillonnés au sommet de la pente sud du cours d'eau comprennent (Lefebvre et Lafleur, 1975):

- . une croûte desséchée, fissurée d'argile silteuse brûnatre;  $w < w_l$  et  $I_L$  moy. = 0,5; la quantité de particules argileuses est d'environ 65%; son épaisseur est de 5 m;
- . la croûte de surface surmonte environ 50 m d'argile silteuse grise;  $w > w_l$ ,  $w$  moy. = 59,4% et  $I_L$  moy. = 1,14; la quantité de particules argileuses est d'environ 76%;
- . au-dessus d'un dépôt granulaire (till ou fluvioglaciaire) on retrouve environ 12 m d'argile silteuse grise, tachetée noirâtre;  $w$  moy. = 44% et  $I_L$  moy. = 1,64%; la quantité de particules argileuses diminue vers 64%;
- . les résultats des teneurs en sel effectués dans le dépôt argileux indiquent un fort lessivage du sol où la salinité est de l'ordre de 1 g/l.

Les forages 80-2152 et 80-2140 (annexe 1) implantés au sommet du versant nord du ruisseau indiquent:

- . des valeurs de  $Cu_r$  supérieures à 2,80 kPa lorsque  $H < 10-15$  m;
- . des valeurs de  $Cu_r$  variant de 0,23 à 0,87 kPa à plus grande profondeur.

En plus des cas de glissements rapportés dans la littérature, des cicatrices de glissements observés le long du cours d'eau, on y inventorie une coulée argileuse de dimension moyenne où  $R = 370$  m (tableau XI). Latéralement, on retrouve des coulées argileuses fossiles de grande et très grande dimension le long du ruisseau Chelsea et de la rivière Gatineau (tableau XI). On a donc établi un zonage:

- . de type secteur à coulées argileuses (figure 35) lorsque  $H$  est supérieure à 10 m sur la terrasse supérieure; l'extension des ZRF et ZRH a été fixée à 370 m;
- . de type secteur à glissements en terrain argileux (figure 35) lorsque  $H$  est inférieure à 10 m sur les terrasses supérieure et inférieure;

Des travaux correctifs ont été réalisés entre 1972 et 1974 pour stabiliser les pentes du cours d'eau dans le secteur de la rue Normandie; ils consistent en (Lefebvre et Lafleur, 1975):

- . la mise en place d'un enrochement de concassé calcaire le long des berges du cours d'eau où l'érosion était active;
- . la pose de drains verticaux pour améliorer les conditions hydrauliques dans les pentes, particulièrement pour la croûte fissurée de surface qui est le siège de glissements superficiels.

Dans ce secteur, les ZRE et ZRF ont été omises et seules des ZRM et ZRH ont été dressées.

### 3.2.2 Le ruisseau Chelsea

Le ruisseau Chelsea, dans sa vallée supérieure, occupe une dépression structurale subséquente de la faille des lacs Meach-Mousseau-Philippe façonnée parmi les roches ignées et métamorphiques des Collines de la Gatineau. La couverture de dépôts meubles est faible et la hauteur de ravinement est généralement inférieure à 8 m.

La vallée inférieure du ruisseau Chelsea s'encaisse dans des sols argileux:

- . de la terrasse supérieure Chelsea-Templeton et le ravinement varie vers l'aval de 10 à plus de 45 m par endroits;
- . puis de la terrasse inférieure Hull-Gatineau et ce jusqu'à son embouchure dans la rivière Gatineau; le ravinement peut atteindre 15 m et plus par endroits.

Ces sols argileux, dont l'épaisseur peut atteindre 80 m et plus (c.f. cartes 1 et 2) comblent une dépression tardi-glaciaire du socle dans le prolongement de la zone des failles des lacs Meach-Mousseau-Philippe.

Le profil longitudinal de la figure 36 montre:

- . l'allure de la topographie du socle, de la pente du talweg et de la surface de la plaine argileuse;
- . l'élévation du plancher des coulées argileuses fossiles inventoriées ainsi que leur rétrogression (R) et leur distribution le long du cours d'eau;

- . les sites d'implantation des forages et les valeurs de  $Cu_r$  mesurées sur les échantillons récupérés.

On a inventorié vingt-deux (22) coulées argileuses fossiles (tableau XI) le long du cours d'eau; leur dimension varie de faible à moyenne et  $40 < R < 360$  m (figure 34b); elles apparaissent toutes au niveau de la terrasse supérieure Chelsea-Templeton.

Les forages 80-2152 (km 1,4), 80-2140 (km 2,2), 79-2113 (km 3,1) et 80-2141 (km 4,0) implantés le long du cours d'eau révèlent tous la présence d'horizons d'argiles sensibles dans les talus et les valeurs de  $Cu_r$  min. mesurées sont respectivement de 0,51, 0,23, 0,63 et 0,13 kPa.

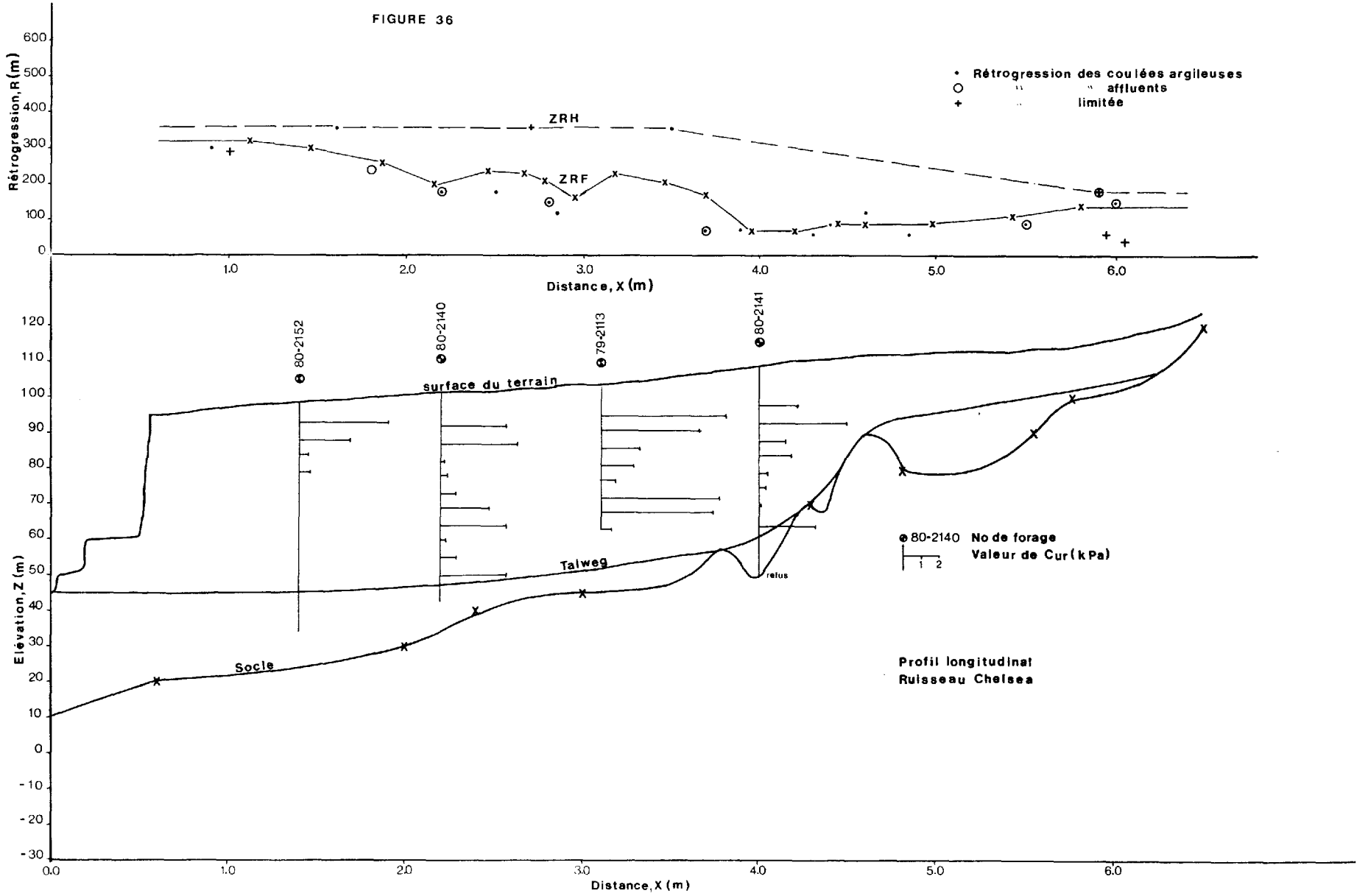
Considérant:

- . la présence de coulées argileuses fossiles,
- . la présence d'horizons d'argiles sensibles dans les talus,
- . la présence de nombreux points ou zones d'érosion sur les berges du cours d'eau,
- . la présence de nombreux talus instables lorsque leur déclivité moyenne est supérieure à 36%;

le zonage proposé est le suivant:

- a) de la rivière Gatineau (km 0,0) à l'abrupt de la terrasse du Proto-Outaouais (km 0,5):  
au niveau de la terrasse inférieure Hull-Gatineau le zonage proposé est celui d'un secteur à glissements en terrain argileux (figure 35);

FIGURE 36



- b) de l'abrupt de la terrasse du Proto-Outaouais (km 0,5) à la limite de la terrasse supérieure Chelsea-Templeton (km 6,5):  
un zonage de type secteur à coulées argileuses (figure 35) a été établi au niveau de la terrasse supérieure; l'extension des ZRF et ZRH a été déterminée selon le profil longitudinal de la figure 36;
- c) dans la vallée supérieure (en amont du km 6,5) un secteur à glissements en terrain granulaire (figure 35) a été établi.

### 3.2.3 La rivière Gatineau

Dans le cadre de cette étude, seule la partie aval de la rivière Gatineau située entre le Barrage Chelsea (Hydro-Québec) et son embouchure dans la rivière des Outaouais a fait l'objet d'une cartographie.

Les berges sur la rive est de la rivière ainsi que celles sur la rive ouest entre le Pont Alonzo Wright et son embouchure sont formées des sols de la terrasse inférieure Hull-Gatineau; ils comprennent:

- . des argiles marines parfois surmontées de débris de coulées argileuses provenant de la terrasse supérieure, de sols organiques ou d'alluvions;
- . de sols alluviaux près de l'embouchure de la rivière.

Nous rappelons qu'aucune coulée argileuse fossile n'a été inventoriée au niveau de la terrasse infé-

rieure. Cependant, l'érosion est active le long de la rivière et on observe à plusieurs endroits des glissements (décrochements, glissements rotationnels simples); la hauteur de ravinement, H peut atteindre 12 m par endroits

Ainsi, cette portion du cours d'eau a été zonée comme secteur à glissements en terrain argileux ou granulaire selon le cas (figure 35). Une ZRH de mouvement restreint a été dressée en arrière des ZRE.

En amont du Pont Alonzo Wright, la rivière expose sur la rive ouest des talus de la terrasse supérieure Chelsea-Templeton. Associées à ce même niveau de terrasse, on a inventorié six (6) coulées argileuses fossiles (tableau XI, figure 34b), toutes sur le versant ouest de la rivière. Les données du forage 79-2113, implanté le long de la route 105 à Chelsea nous révèlent la présence dans les talus:

- . d'argile silteuse rubanée gris pâle à gris foncé, rougeâtre, tachetée noirâtre;
- . d'argile de sensibilité élevée où  $Cu_r$  min. = 0,63 kPa, fortement lessivée où salinité max. = 0,83 g/l et de faible plasticité où  $I_p$  min. = 14.

L'érosion est très active dans les talus en aval du Barrage des Rapides Farmers dont la déclivité moyenne est généralement supérieure à 36%. Ceux-ci, dont la hauteur atteint 55 m, montrent de nombreuses cicatrices de glissements récents et anciens.

Un site d'analyse de stabilité a été implanté dans l'un de ces talus. Les résultats de cette étude apparaissent en appendice. Bien que cette analyse conclut à une stabilité à court terme, les processus géodynamiques actifs à la base du talus contribuent à une déstabilisation à moyen ou long terme. D'ailleurs, la topographie du socle dans ce secteur (c.f. carte 2) est inclinée vers l'ouest et favorise ainsi l'érosion des talus de ce côté.

Considérant ces faits, ce secteur a été zoné comme secteur à coulées argileuses (figure 35). L'extension des ZRF et ZRH a été fixée arbitrairement à 600 m, en tenant compte uniquement des mouvements fossiles situés en amont du Pont Alonzo Wright.

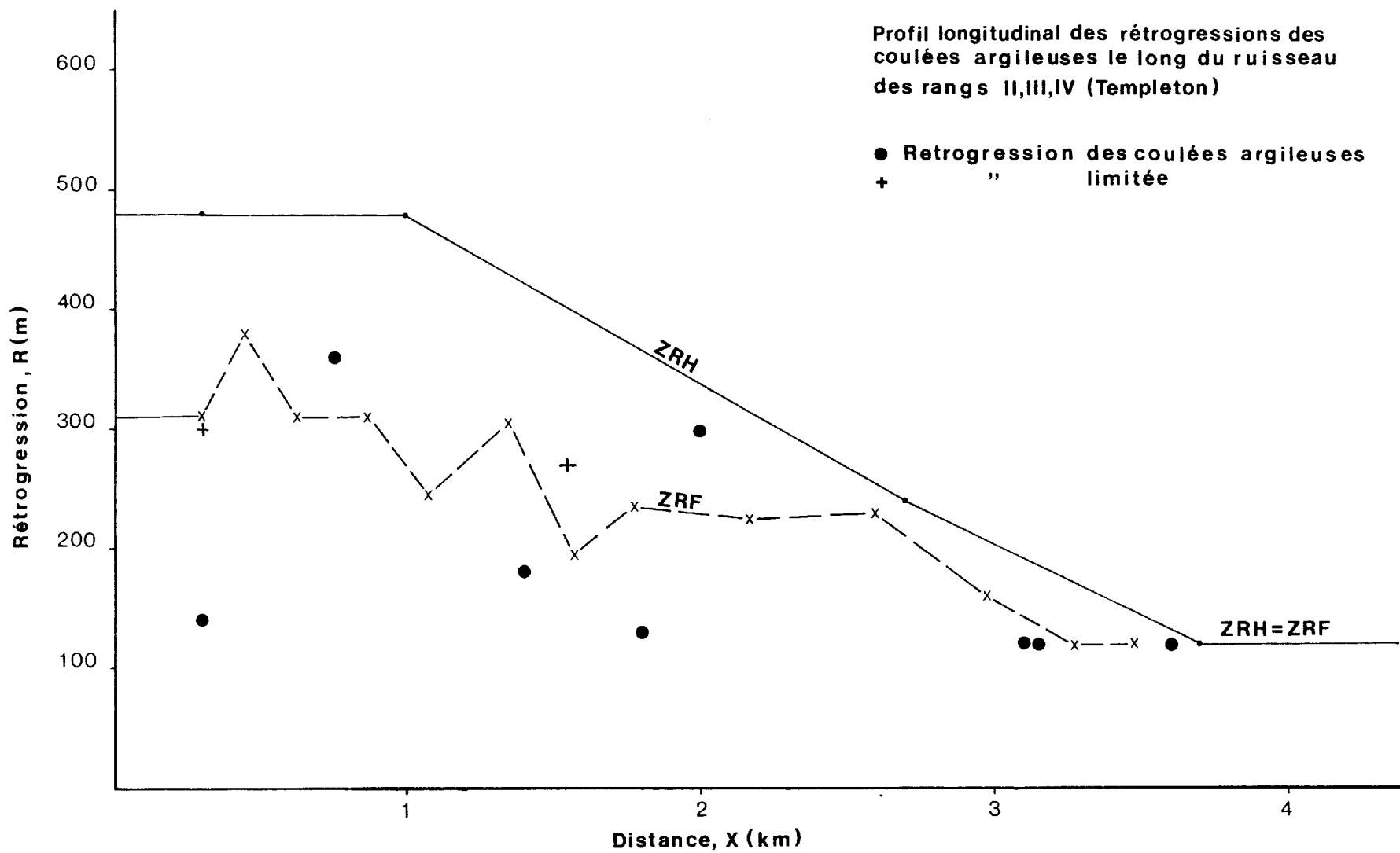
#### 3.2.4 Le ruisseau des rangs II, III et IV (Templeton)

Le ruisseau des rangs II, III et IV (Templeton) est un affluent ouest de la rivière Blanche situé au sud du ruisseau Nouveux.

Dans sa partie amont, il s'encaisse parmi les sols argileux de la terrasse supérieure Chelsea-Templeton. La hauteur de ravinement est importante et peut atteindre 23 m par endroits. L'érosion est active dans des talus à déclivité élevée, souvent supérieure à 36%.

On a inventorié vingt-deux (22) coulées argileuses dans ce secteur (tableau XI) dont la dimension varie de faible à grande vers l'aval:  $60 < R < 480$  m (figure 34c). Cet inventaire a permis de dresser le profil longitudinal des rétrogressions des coulées

FIGURE 37



argileuses (figure 37) qui sera utilisé pour fixer l'extension des ZRF et ZRH le long du cours d'eau.

Les résultats des forages 79-2108, 78-2120 permettent de caractériser les sols argileux de la terrasse supérieure. Ils sont formés d'argile silteuse rubanée gris pâle à foncé, noirâtre et rougeâtre; la sensibilité est grande et les valeurs de  $Cu_r$  min. mesurées sont respectivement de 0,14 et 0,075 kPa.

On a établi un zonage selon un secteur à coulées argileuses (figure 35) pour cette portion du cours d'eau occupant la terrasse supérieure; l'extension des ZRF et ZRH a été établie selon le profil longitudinal de la figure 37. Des travaux correcteurs ont été réalisés pour stabiliser les berges du cours d'eau aux environs de la traverse de l'autoroute 50; on a canalisé le cours d'eau et remblayé sa base (figure 38) sur une distance entre le km 0,0 et 1,2 (carte 5); sur cette distance, on ne retrouve donc pas de ZRE et ZRF.

En aval de ce secteur, le cours d'eau atteint la terrasse inférieure Hull-Gatineau qu'il entaille jusqu'à son embouchure dans la rivière Blanche. La limite entre les terrasses supérieure et inférieure est moins bien marquée qu'ailleurs sur le territoire; le transfert entre les deux (2) niveaux se fait par palliers façonnés dans des dépôts argileux surmontés d'une épaisseur importante, souvent supérieure à 10 m de débris de glissements de terrain provenant de la terrasse supérieure. La canalisation du cours d'eau en amont favorise grandement l'érosion du cours d'eau dans ce secteur où la hauteur de



Figure 38: Travaux correcteurs réalisés au ruisseau des rangs II, III et IV (Templeton) près de la traverse de l'Autoroute 50.

ravinement peut atteindre 15 m et plus. Au pied de ce secteur, H est faible et d'environ 5 m puis augmente vers l'embouchure pour atteindre 10 m.

Un zonage de type secteur à glissements en terrain argileux (figure 35) a été adopté pour ce secteur aval du cours d'eau.

### 3.2.5 La rivière Blanche et le ruisseau Noueux

Les vallées supérieures de la rivière Blanche et du ruisseau Noueux drainent une partie du contrefort des Collines de la Gatineau. Les vallées tardi-glaciaires qu'occupent ces cours d'eau ont été comblées des dépôts argileux de la Mer de Champlain dans lesquels ils s'entaillent profondément particulièrement au niveau de la terrasse supérieure Chelsea-Templeton. Le long du ruisseau Noueux la hauteur de ravinement, H peut souvent atteindre 15 à 22 m; le long de la rivière Blanche H peut atteindre 30 m. Les talus instables ont généralement une déclivité moyenne supérieure à 36%.

On a inventorié respectivement huit (8) et sept (7) coulées argileuses fossiles le long de la rivière Blanche et du ruisseau Noueux (tableau XI, figure 34c). Leur dimension varie de très faible à grande:  $60 < R < 690$  m. Elles apparaissent toutes au niveau de la terrasse supérieure Chelsea-Templeton.

Les données du forage 79-2109 implanté le long du ruisseau Nouveux (Jeanne D'Arc) indiquent:

- . la présence d'argile silteuse rubanée gris pâle à foncé, rougeâtre sous la profondeur 10 m;
- . la salinité est faible et inférieure à 0,83 g/l;
- . la plasticité est faible et  $I_p$  est inférieur à 26,  $w_l$  est inférieure à 57;
- . malgré des indices de liquidité  $I_L$  de 0,96 et 1,62, les valeurs de  $Cu_p$  correspondantes sont élevées et respectivement de 11,3 et 5,0 kPa; ce fait semble problématique selon les critères des argiles sensibles définies auparavant à la Partie A du rapport, ce qui nous suggère la possibilité de données erratiques pour  $Cu_p$ .

Par contre, les données du forage 78-2032 aussi implanté le long du ruisseau Nouveux indiquent:

- . la présence d'argile silteuse rubanée gris pâle, gris moyen et rougeâtre fossilifère incluant quelques lits de sable fin;
- . la valeur de  $Cu_p$  min. mesurée est de 1,7 kPa; ces valeurs sont conformes à la présence de coulées argileuses fossiles de faible à moyenne dimension observées dans ce secteur.

Considérant la présence de coulées argileuses fossiles, ces secteurs de cours d'eau au niveau de la terrasse supérieure ont été zonés comme secteurs à coulées argileuses (figure 35). L'extension des ZRF et ZRH a été fixée arbitrairement à:

- . ZRF = ZRH = 210 m pour le ruisseau Noueux,
- . ZRF = ZRH = 330 m pour la rivière Blanche.

La partie de la vallée supérieure de la rivière Blanche située à l'intérieur des Collines de la Gatineau (municipalité de Perkins) a été zonée comme secteur à glissements en terrain granulaire (figure 35).

Lorsque la rivière Blanche atteint le niveau de la terrasse inférieure Hull-Gatineau, elle décrit de nombreux méandres serrés parmi des sols argileux recouverts d'une faible épaisseur ( $< 5$  m) de débris de glissements ou de sables fluviatiles; vers l'aval son tracé est sinueux jusqu'à son embouchure dans la rivière des Outaouais. La hauteur de ravinement, H varie de 10-15 m en amont de ce secteur à moins de 5 m près de l'embouchure.

Les données du forage 78-2030 indiquent la présence:

- . d'argile silteuse rubanée gris pâle et moyen où le rubanement devient gris pâle à foncé et noirâtre en profondeur;
- . leur sensibilité est faible et les valeurs de  $C_u$  mesurées sont supérieures à 2,9 kPa (sauf une valeur de 1,2 kPa à la profondeur 14,5 m); les indices de liquidité  $I_L$  sont faibles et inférieures à 1,0.

Ce secteur a donc été zoné comme secteur à glissements en terrain argileux ou granulaire selon le cas (figure 35).

### 3.2.6 La terrasse du Proto-Outaouais et ses ravins

Les nombreux ravins qui entaillent la terrasse supérieure Chelsea-Templeton sont aussi le siège d'une activité importante des mouvements de masse dans des sols argileux. On y a inventorié onze (11) coulées argileuses fossiles (tableau XI, figure 34a); de nombreuses cicatrices de glissements superficiels et rotationnels simples s'observent sur les berges de ces ravins où l'érosion fluviale est particulièrement active. La hauteur du ravinement H est élevée dans leur partie aval où elle est déterminée par la dénivellation entre les terrasses supérieure et inférieure soit environ 25 m, puis elle diminue vers l'amont. La déclivité moyenne des talus instables est généralement supérieure à 36%.

Les forages 79-2107, 79-2121 et 78-2029 implantés au nord-est de Gatineau près du chemin Lamarche indiquent:

- . la présence d'argile silteuse rubanée gris pâle à gris foncé, rougeâtre vers la surface, tachetée noirâtre et lits de sable fin en profondeur;
- . les valeurs de  $C_u$ , min. mesurées sont respectivement de 0,13, 0,075 et 0,17 kPa et correspondent à des argiles de grande sensibilité;
- . la teneur en sel de l'eau interstitielle est inférieure à 0,83 g/l.

Le forage 78-2123 implanté au nord de Gatineau, près du secteur de la rue Le Coteau, indique la présence d'argile grise uniforme près de la surface, puis

rubanée avec quelques lits de sable fin en profondeur; la valeur de  $Cu_r$  min. mesurée est de 0,075 kPa.

Les ravins situés entre la rivière Gatineau et la rivière Blanche ont été zonés comme secteurs à coulées argileuses (figure 35); l'analyse des coulées argileuses inventoriées dans ce secteur révèle la présence d'amphithéâtres de dimension très faible à moyenne:  $75 < R < 360$  m; ainsi l'extension de la ZRF et de la ZRH a été fixée arbitrairement à 188 m (R moy.) et 360 m (R max.).

Un site d'analyse de stabilité a été implanté dans ce secteur, à l'est du parc de roulottes de la rue McDermott, 5 km au nord de Pointe Gatineau. Les résultats de cette analyse apparaissent en appendice. On conclut à une stabilité à court terme; cependant l'érosion du cours d'eau et l'activité anthropique (remblais au sommet des pentes) contribuent à rendre cette stabilité précaire à moyen ou long terme.

Les coulées argileuses inventoriées sur les ravins situés à l'est de la rivière Blanche, sauf celles de Ribot qui apparaissent dans un contexte particulier, sont de dimension très faible à faible:  $75 < R < 180$  m; donc dans ces secteurs à coulées argileuses (figure 35), l'extension de la ZRF et de la ZRH a été fixée arbitrairement à 116 m (R moy.) et 180 m (R max.). D'ailleurs, les résultats des forages 70-2104 et 78-2005 implantés à l'est de la Petite Rivière Blanche indiquent la présence d'argile silteuse rubanée gris pâle à gris foncé et lentilles de

sable, tachetée noirâtre et plus sableuse en profondeur; les valeurs de  $Cu_r$  min. mesurées sont respectivement de 1,80 et 2,20 kPa et la salinité de l'eau interstitielle est inférieure à 1,61 g/l.

Les coulées argileuses de Ribot (tableau XI), au nord d'Angers, ont une dimension importante:  $R = 510, 1350$  m, et apparaissent dans un contexte géologique et géotechnique particulier favorisant de telles rétrogressions. Les sols argileux impliqués dans ces mouvements de terrain ont été mis en place dans un milieu prodeltaïque (c.f. carte 1); la géométrie de l'aquifère, alimentée par l'aire de dépôts de sables deltaïques à l'arrière, ainsi que la topographie du socle (le roc affleure à plusieurs endroits dans les amphithéâtres de coulées argileuses) ont favorisé l'extension de ces mouvements de terrain de grande dimension.

Lorsque les ravins qui entaillent la terrasse supérieure atteignent la terrasse inférieure Hull-Gatineau et la hauteur de ravinement est supérieure à 5 m, un zonage de type secteur à glissements en terrain argileux (figure 35) a été établi.

L'abrupt de terrasse façonné lors de l'Épisode du Proto-Outaouais est un élément morphologique bien marqué sur le territoire Gatineau-Hull-Aylmer. Ce talus relativement uniforme, rectiligne ou faiblement arqué montre un dénivelé d'environ 25 m; sa déclivité est généralement supérieure à 25%. Il est presque exclusivement façonné dans des sols argileux.

On a inventorié vingt-quatre (24) coulées argileuses fossiles le long de cette terrasse. Elles se sont produites lors de l'Épisode du Proto-Outaouais entre 8 000 et 5 000 ans B.P.; certaines ont laissé des débris au niveau de la terrasse inférieure.

Étant donné que l'érosion fluviale est maintenant absente dans ce talus, on y a délimité uniquement des ZRM de mouvements de terrain (figure 35).

Un site d'analyse de stabilité a été implanté dans cet abrupt de terrasse, au nord de Gatineau, dans le secteur de la rue Le Coteau. Les résultats apparaissent en appendice. Deux (2) glissements importants se sont produits (avril 1971 et mai 1973) dans ce talus à la suite d'excavations en pied de talus. Cette analyse conclut à une stabilité à court terme du talus. Cette stabilité devrait s'améliorer à long terme si des activités humaines ne viennent briser cet équilibre précaire comme ce fut le cas pour les glissements rapportés.

### 3.2.7 La rivière des Outaouais

La stabilité des berges est très bonne à bonne le long de la rivière des Outaouais et des quelques terrasses d'érosion fluviales qu'elle a façonnées. En amont, du cône alluvial construit à l'embouchure de la rivière Gatineau, soit dans les municipalités de Hull et Aylmer, les berges sont façonnées dans le roc paléozoïque des Basses-Terres de l'Outaouais, leur hauteur est faible et toujours inférieure à 5 m.

En aval de la rivière Gatineau, les berges sont façonnées parmi des sols argileux pouvant être surmontés d'alluvions ou dans des alluvions; la hauteur de celles-ci est faible et de 5 m ou moins. Seules des ZRM ont été dressées aux quelques endroits où la déclivité est supérieure à 25%.

#### 4. Conclusion

Plusieurs types (7) de mouvements de terrain affectant des sols meubles ou consolidés ont été inventoriés dans la région de Gatineau-Hull-Aylmer. Les sols formés des Argiles de la Mer de Champlain ont fait l'objet d'une étude détaillée pour déterminer leurs propriétés géotechniques, car on les retrouve impliqués dans des glissements de terrain importants: glissements rotationnels rétrogressifs et coulées argileuses.

Une cartographie des zones exposées aux mouvements de terrain dans les dépôts meubles a été établie selon une méthode qui tient compte des facteurs géologiques, géomorphologiques et géotechniques associés aux secteurs à mouvements de terrain permettant de proposer un zonage selon:

- . le type et la taille de mouvement appréhendé,
- . les critères d'identification des argiles sensibles.

Nous avons reconnu la présence d'argiles sensibles sur l'ensemble du territoire cartographié. Cependant, le risque de coulées argileuses n'existe que sur la terrasse supérieure Chelsea-Templeton; le risque de liquéfaction de sols argileux suite à l'activité humaine doit être considéré pour l'ensemble du territoire.

Bien que comportant certaines limites, cette cartographie de risques constitue un outil de décision important pour la planification du territoire ainsi qu'une mise en garde à la population et aux autorités concernées. Cette étude régionale peut être modifiée ou précisée à l'aide d'études spécifiques nécessaires à l'implantation de constructions importantes.

Une mise à jour de cette cartographie peut apporter certaines modifications au zonage proposé. L'activité naturelle du cours d'eau et certaines activités humaines peuvent modifier les facteurs géologiques, géomorphologiques et géotechniques considérés pour établir cette cartographie (modification du tracé ou du dépôt du cours d'eau, de la géométrie de la pente, travaux correcteurs, etc.).

## BIBLIOGRAPHIE

- LEBUIIS, J., 1979: La fréquence des coulées argileuses au Québec; Ministère des Richesses Naturelles, Québec; document interne.
- LEBUIIS, J., ROBERT, J.-M., RISSMANN, P., 1982: Regional Mapping of Landslides Hazard in Québec; Swedish Geotechnical Institute, Symposium on landslides in Linköping; report no. 17, pp. 205-262.
- LEFEBVRE, G., LAFLEUR, J., 1975: Synthèse et analyse des données existantes pour le glissement de la rue Normandie à Hull; Rapport présenté au Service de la Géotechnique du Ministère des Richesses Naturelles (Qué.), Dept. Génie Civil, Un. de Sherbrooke.
- RISSMANN, P., ALLARD, J.-D., LEBUIIS, J., 1984: Zones exposées aux mouvements de terrain le long de la rivière Yamaska, entre Yamaska et St-Hyacinthe; Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, DV-83-04.
- THEBERGE, J., 1984: Cartographie géotechnique Gatineau-Hull-Aylmer; Thèse de maîtrise non publiée, Un. du Québec à Montréal, 181 p.

APPENDICE

Étude de stabilité des talus

GATINEAU-HULL-AYLMER

Ministère de l'Énergie et des Ressources

Service de l'Assistance à  
l'industrie minière

préparé par: Pierre Caron, ing.

Québec, 1984



## TABLE DES MATIÈRES

	Page
1. Introduction .....	1
2. Travaux de terrain .....	1
3. Analyse de stabilité	
1) Méthode .....	5
2) Données utilisées .....	9
3) Résultats d'analyses .....	11
4) Discussions	
Site I: Secteur "Hull-ouest" .....	18
Site II: Secteur "Pointe-Gatineau" .....	21
Site III: Secteur "Gatineau" .....	23
4. Conclusion .....	26
Références	



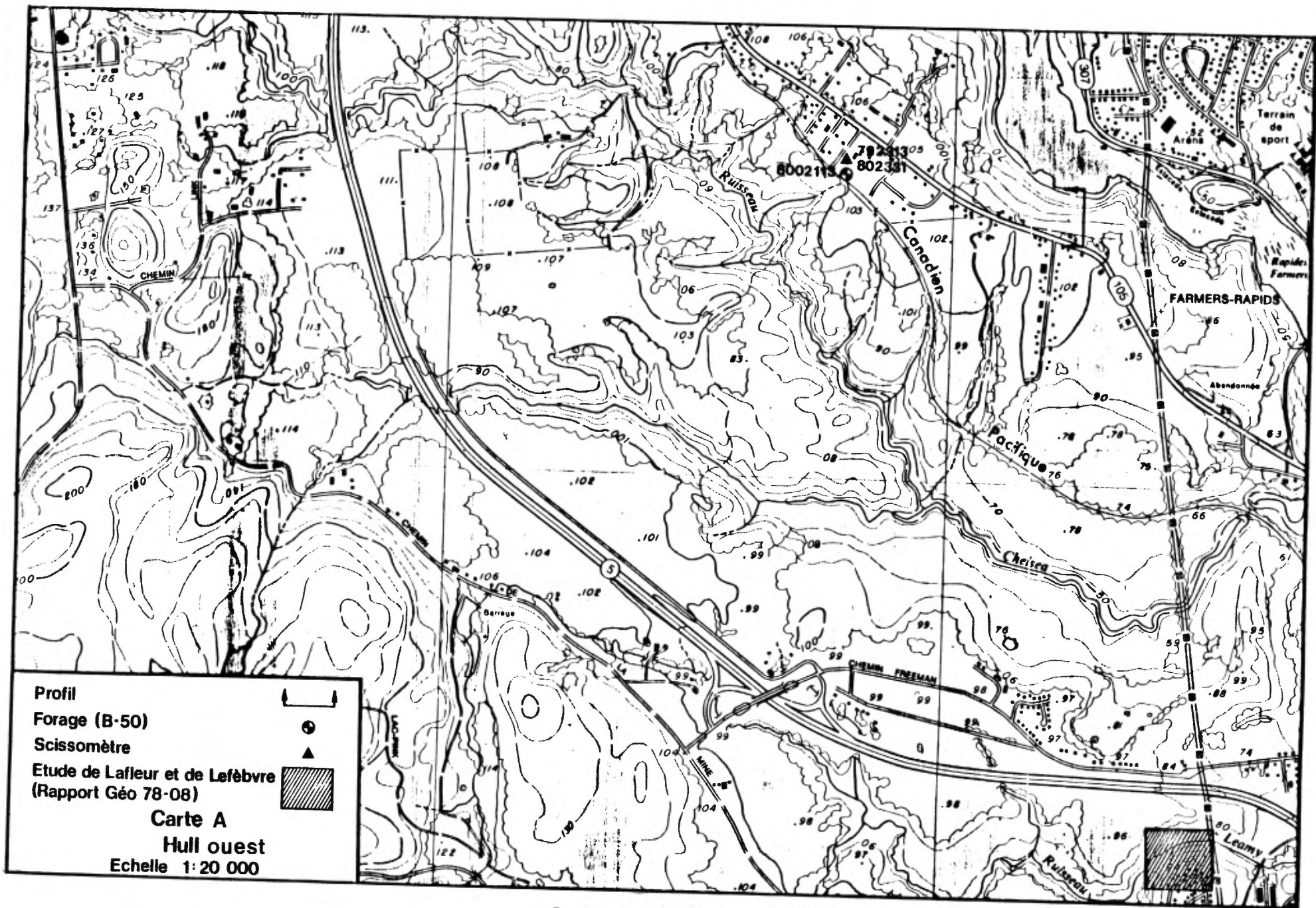
## 1. Introduction

Dans le cadre du programme de cartographie des zones exposées aux mouvements de terrain dans la vallée de l'Outaouais et ses vallées attenantes, l'objectif du présent rapport est de quantifier de façon détaillée l'état de stabilité des talus naturels. Le choix des sites d'analyses a été fait en fonction de différents critères tels la possibilité que survienne un mouvement de terrain basée sur les évidences d'instabilité visuelles, la proximité de paléo-coulées et la présence d'habitations pouvant être impliquées dans un éventuel mouvement. Notre but est donc d'apporter une évaluation autre que visuelle sur l'état de stabilité des versants ou talus qui ont été classés dans des zones de risques lors du programme de cartographie.

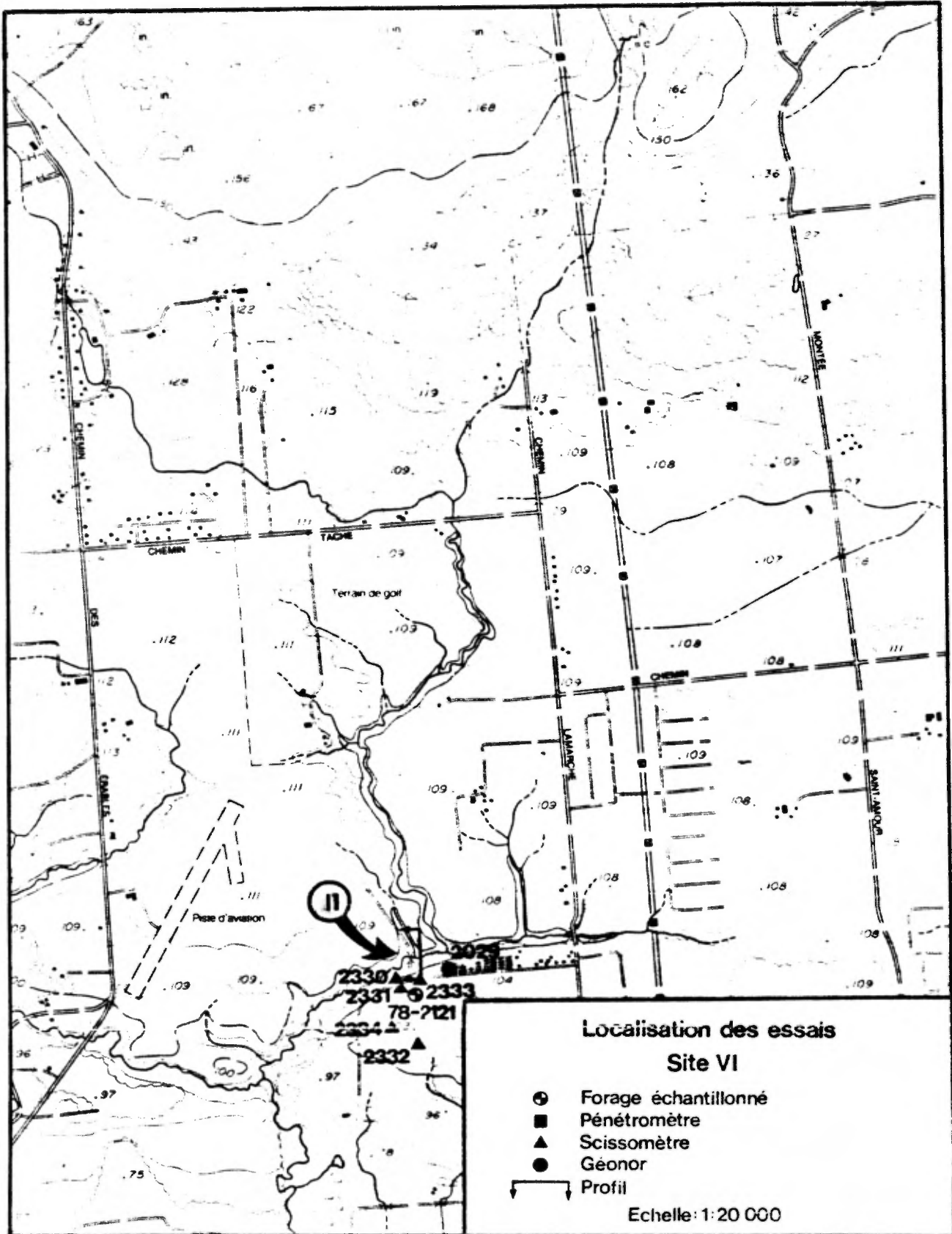
Les cartes A, B et C montrent les différents sites étudiés (3) dans le cadre de ce projet de cartographie. Un premier site a été implanté dans le secteur Hull-Ouest, le long de la rivière Gatineau; deux (2) autres sites ont été implantés au nord de Pointe-Gatineau et Gatineau. Ils sont tous situés dans des zones où l'on retrouve des cicatrices d'anciens glissements et de paléo-coulées argileuses.

## 2. Travaux de terrain

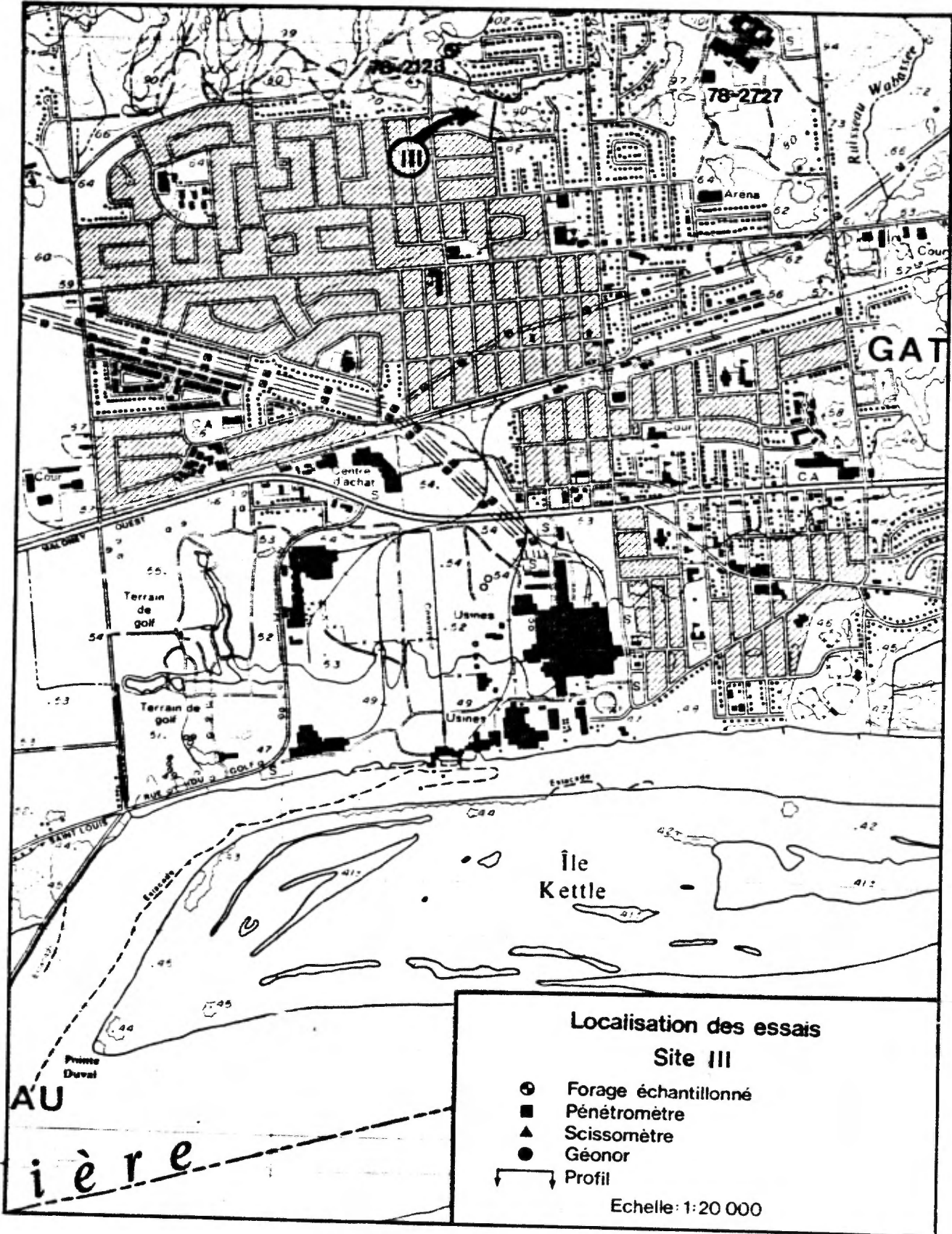
Les travaux de terrain essentiels au programme de cartographie furent entrepris durant les saisons estivales 1978, 1979 et 1980. Ils se résument en une campagne de forages, d'essais pénétrométriques, d'essais scissométriques et à des visites sur le terrain visant à identifier les différentes zones de risques. Trois (3) sites ont donc été retenus selon les critères définis précédemment et ils furent l'objet de visites détaillées des lieux. Par la suite, on procéda à différents essais et à l'implantation d'instruments spécifiques aux fins d'ana-



Carte A: Site I, Secteur Hull ouest



Carte B: Site II , secteur Pointe-Gatineau



Carte C: Site III, secteur Gatineau

lyse de stabilité afin de mieux connaître et identifier les différentes propriétés géotechniques et hydrauliques des talus sélectionnés.

Ces travaux se soldèrent par une évaluation d'une stratigraphie type représentative des secteurs étudiés, à des essais triaxiaux sur des échantillons tirés de forages situés le plus près possible des sections étudiées afin de déterminer les paramètres mécaniques ( $c'$ ,  $\phi'$  et  $\gamma$ ) nécessaires aux études d'analyse de stabilité, et en une série de sondages scissométriques visant à évaluer l'épaisseur de la couche fissurée. On procéda par la suite à l'installation de piézomètres de type ouvert à plastique poreux. Une campagne de lectures hebdomadaires des piézomètres fut entreprise par la suite sur une période d'environ deux ans afin de cerner le mieux possible les conditions hydrauliques souterraines qui régissent en partie la stabilité d'un versant. Enfin, l'étape finale consista en un arpentage détaillé afin de définir la géométrie des sites et de localiser les piézomètres implantés. Il en résulta trois (3) profils topographiques. Des portions de cartes, à l'échelle 1:20 000, montrent aux pages précédentes la localisation des différents sites retenus et des essais réalisés dans chacun des secteurs étudiés.

### 3. Analyse de stabilité

#### 1) Méthode

La méthode utilisée pour évaluer l'état de stabilité des talus naturels est celle de "Bishop modifié" dont les surfaces de rupture sont considérées circulaires (Bishop, 1955). La résistance au cisaillement dans un massif à l'état drainé découle de la loi de Coulomb où  $S = c' + \sigma' \text{tg } \phi'$  ou lorsque exprimée avec l'introduction d'un

d'un coefficient de sécurité  $S = \tau/F = c'/F + \sigma' \text{tg } \phi'/F$ . En 1971, Guy Lefebvre mis au point un programme informatisé pour traiter l'équation de Bishop qui peut s'exprimer comme suit:

$$\tau_f = c' + \sigma_n' \text{tg } \phi'$$

où

$\tau_f$  = résistance au cisaillement à la rupture  
(le long d'un plan hypothétique)

$c'$  = cohésion effective

$\phi'$  = angle de frottement effectif

$\sigma_n'$  = contrainte normale effective ( $\sigma' = \sigma - u$ )

$u$  = pression interstitielle

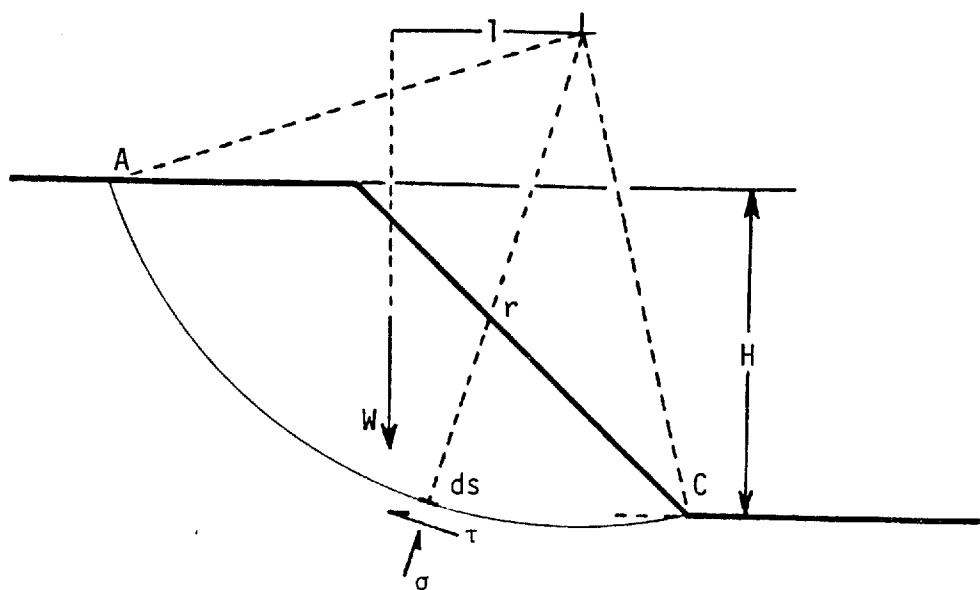


Figure 1

Afin de tenir compte des variations dans la géométrie de la pente et dans les propriétés du sol, le massif susceptible de glisser est divisé en tranches et Bishop considère que la résultante des forces internes est nulle. L'analyse de stabilité des pentes est traitée comme un problème d'équilibre limite; cependant, le mécanisme de rupture n'est pas encore très bien connu. La figure 1 montre une section représentant la partie susceptible de glisser qui est séparée du massif par une surface de rupture arbitrairement choisie. La résistance au cisaillement, nécessaire pour l'équilibre, est comparée à la résistance au cisaillement disponible afin d'évaluer le coefficient de sécurité contre le glissement. Ce dernier peut aussi se définir comme étant le rapport entre la résistance mobilisable le long du plan de rupture circulaire et la contrainte appliquée sur ce même plan.

$$F = \frac{\text{Moment résistant}}{\text{Moment moteur}} = r \int_A^C (c' + \sigma' \text{tg } \phi') ds / Wl$$

où

W : poids de la masse présumée instable

r : rayon de l'arc de cercle

l : distance du centre de rotation

ds: différentielle

Par réitération, selon plusieurs plans de rupture hypothétiques, on obtient le coefficient de sécurité minimum et par conséquent, le plan de rupture le plus probable. Le calcul est effectué statiquement à partir de données insérées sous forme de coordonnées et se résume à un rapport

rapport entre le moment des efforts mobilisables au moment des efforts appliqués; ce rapport étant le coefficient de sécurité  $F$ . Ainsi, lorsque  $F = 1$ , le talus est en équilibre; si  $F > 1$ , le talus est stable et il est instable lorsque  $F < 1$ .

En pratique, cela signifie que l'état de stabilité d'un talus est caractérisé par son coefficient de sécurité. Si ce dernier est inférieur à l'unité (1), nous croyons qu'il y a alors un risque élevé de glissement de terrain. Si la valeur du coefficient se situe entre l'intervalle 1,0 à 1,1, la stabilité est jugée précaire, soit à la limite de l'équilibre. Si la valeur du coefficient oscille entre 1,1 et 1,3, nous considérons le talus comme stable à court terme mais potentiellement susceptible d'être affecté par un glissement. Enfin, un talus est jugé stable à moyen et/ou long terme dans la mesure où le coefficient est plus grand que 1,3.

En plus des valeurs des coefficients de sécurité, il est important d'ajouter que l'on doit tenir compte de la contribution des processus géodynamiques et des altérations de nature anthropique conduisant à une dégradation du talus. Ainsi, la stabilité d'un talus peut être modifiée dans le temps à cause de différents facteurs déstabilisants qui peuvent intervenir à plus ou moins long terme. Ces principaux facteurs sont: l'érosion en pied de talus, l'augmentation des pressions interstitielles à la suite de pluies abondantes et de la fonte rapide de la neige, ou à cause d'une modification du drainage, une surcharge au sommet, une diminution de la résistance du sol par vibrations, etc. En résumé, tout ce qui entraîne une augmentation des contraintes ou une réduction de la résistance diminue la stabilité d'un talus. Inversement, une modification de

l'équilibre soit par charge au pied ou par décharge en tête, un abaissement de la nappe phréatique par drainage, ce qui implique une diminution des pressions interstitielles ou encore un adoucissement de la pente, sont des facteurs qui améliorent la stabilité d'un talus.

## 2) Données utilisées

Comme énoncé auparavant, les analyses de stabilité ont été calculées par la méthode de "Bishop modifié" au moyen du programme développé par Guy Lefebvre. Les données nécessaires au calcul sont:

- géométrie du massif, entrée selon des coordonnées par rapport à un point d'origine;
- stratigraphie afin de connaître la nature et l'épaisseur des dépôts meubles;
- propriétés de chaque couche du sol, traduites sous la forme de cohésion effective ( $c'$ ), d'angle de frottement effectif ( $\phi'$ ) et de poids spécifique ( $\gamma$ ),
- pressions interstitielles traduites sous la forme de lignes d'égale pression et localisées selon le même système de coordonnées utilisées pour la géométrie.

Idéalement, les paramètres mécaniques  $c'$  et  $\phi'$  utilisés dans l'analyse doivent être le résultat d'essais réalisés sur des échantillons provenant des sites retenus et trouvés dans des conditions drainées et à grande déformation (10-12%). Dans le cas présent, aucun essai triaxial CID (Consolidated Isotropically Drained) à grande déformation n'a été effectué sur des échantillons provenant exactement des

sites étudiés. Les paramètres retenus pour les analyses des sites I, II et III sont extraits du rapport Geo 78-08 intitulé "Influence des écoulements souterrains sur la stabilité des pentes naturelles d'argile" et préparé par Guy Lefebvre et Jean Lafleur.

Les pressions interstitielles sont définies à partir des relevés piézométriques. La nappe libre est localisée en fonction des niveaux d'eau maximum observés dans les piézomètres superficiels. De plus, la répartition des pressions d'eau dans le massif est évaluée à partir des niveaux piézométriques observés à diverses profondeurs et traduite sous forme de lignes d'égale pression. Pour fins d'analyse, nous utilisons le niveau d'eau maximum enregistré par l'ensemble des piézomètres à un temps donné afin de travailler avec les conditions les plus défavorables. Les données sont présentées au tableau 1 qui suit.

### 3) Résultats d'analyses

Pour les trois (3) sites retenus, nous avons déterminé dans chacun des cas deux (2) coefficients de sécurité correspondant à la surface de rupture la plus critique pour un talus donné.

Dans un premier temps, nous avons obtenu le coefficient de sécurité  $F_A$  en utilisant les conditions piézométriques maximums observées et traduites sous la forme d'un réseau de lignes d'égale pression. Une seconde analyse ( $F_B$ ) a été entreprise en supposant une augmentation de 20% des pressions interstitielles utilisées lors de la première analyse. Cette seconde étape avait pour objectif d'évaluer l'état de stabilité des différents secteurs étudiés adve-

TABLEAU 1 - DONNÉES UTILISÉES

Secteur	Hull	Pointe Gatineau	Gatineau
Profil	I	II	III
Localisation: coord. U.T.M.  carte topo 1:50 000	E: 440500 N: 5037400  31 G/5	Parc de roulottes E: 443450 N: 5039500  31 G/12	Rue Le Coteau E: 448500 N: 5038200  31 G/5
Talus	Hauteur	55 mètres	33 mètres
	Pente	17°	19°
Stratigraphie générale du secteur	0 à 17 m: argile fissurée 17 à 25 m: argile rubanée, peu sensi- ble 25 à 40 m et +: ar- gile rubanée, très sensible. (à 36 m St = 175)	0 à 9 m argile avec horizons très sa- bleux, sensibilité moyenne 5 à 30, 9 à 22 m et +, argile rubanée, q.q. traces de sables $Cu_r < 1$ kPa, St 50 à 1000	0 à 6 m argile fis- surée, 6 à 16 m ar- gile rubanée, sensibilité moyenne 7 à 20, 16 à 22 m et +, argile ruba- née extrêmement sensible, $Cu_r <$ 1 kPa, St 30 à 520
Paramètres géotechniques	Couche 1 (fissurée): $c' = 3$ kPa $\phi' = 27^\circ$ $\gamma = 17.2$ kN/m <sup>3</sup> Couche 2 (argile): $c' = 6$ kPa $\phi' = 38^\circ$ $\gamma = 16.6$ kN/m <sup>3</sup>	Paramètres utilisés par Lefebvre et Lafleur (1978) lors d'étude dans la ré- gion de Hull (Ruisseau Lemay) 1) couche fissurée $c'=3$ kPa, $\phi = 27^\circ$ , $\gamma = 18.5$ kN/m <sup>3</sup> (analyse à rebours) 2) argile intact $c'=10$ kPa, $\phi = 39^\circ$ $\gamma = 17.6$ kN/m <sup>3</sup> $\gamma = 16.8$ kN/m <sup>3</sup>	
Piézométrie	8 piézomètres foncés et 3 superficiels $i$ sommet: 0,72↓ et 0,65↓ $i$ mi-pente: 1,25↓ et 1,33↓ $i$ pied: 1,17↓	4 piézomètres foncés et 4 superficiels conditions d'eau: 06-81 $i$ sommet: 0.38↓ $i$ pied: 0.13↓	6 piézomètres fo- rés, 5 foncés et 5 superficiels, conditions d'eau: imprécise $i$ sommet: 0.60↓ $i$ pied: 0.23 0.17↓
Remarques	nombreux glissements superficiels dans les talus avoisin- nants; érosion acti- ve à la base	versants montrant un ravinement important sur la rive opposé, glissements superfi- ciels	talus ayant déjà été affecté par des glissements de ter- rain, 1971-73, pas de végétation impor- tantes, ravinement assez important

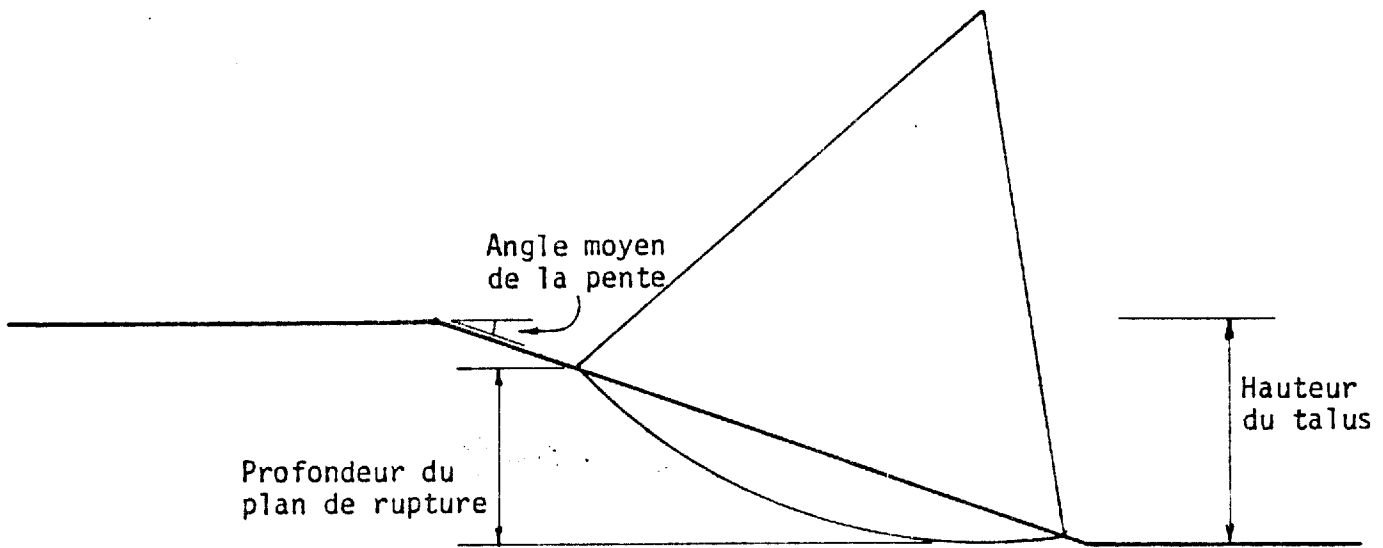
Dans un premier temps, nous avons obtenu le coefficient de sécurité  $F_A$  en utilisant les conditions piézométriques maximums observées et traduites sous la forme d'un réseau de lignes d'égale pression. Une seconde analyse ( $F_B$ ) a été entreprise en supposant une augmentation de 20% des pressions interstitielles utilisées lors de la première analyse. Cette seconde étape avait pour objectif d'évaluer l'état de stabilité des différents secteurs étudiés advenant le cas où certaines contraintes subiraient des modifications dans le temps. Cette augmentation pourrait résulter de pluies abondantes, d'une fonte de neige très rapide ou d'une modification du système de drainage. Les résultats obtenus sont résumés au tableau 2, suivis des trois (3) profils d'analyse.

TABLEAU 2 - Résultats d'analyses

Secteurs	Hull	Pointe-Gatineau	Gatineau
Profils	I	II	III
Coefficient de sécurité $F_A$ avec conditions d'eau maximums observées	1,2	1,2	1,2
Portion impliquée du versant	$\frac{1}{2}$ inférieure	Sommet	Sommet
Profondeur du plan de rupture (mètre)	22 m	12 m	17 m
Coefficient de sécurité $F_B$ avec augmentation de 20% des pressions d'eau utilisées en A	1,1	1,1	1,1

LEGENDE DES PROFILS

14/



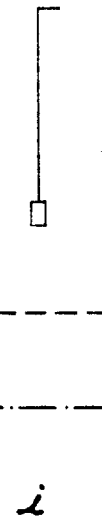
Hauteur d'eau maximum observée

Piézomètre foncé (F) ou superficiel (S)

Nappe phréatique

Limite inférieure de la zone fissurée

Gradient hydraulique entre des piézomètres foncés



$F_A$  : Coefficient de sécurité minimum obtenu en utilisant une répartition des lignes d'égale pression des lectures piézométriques maximales observées

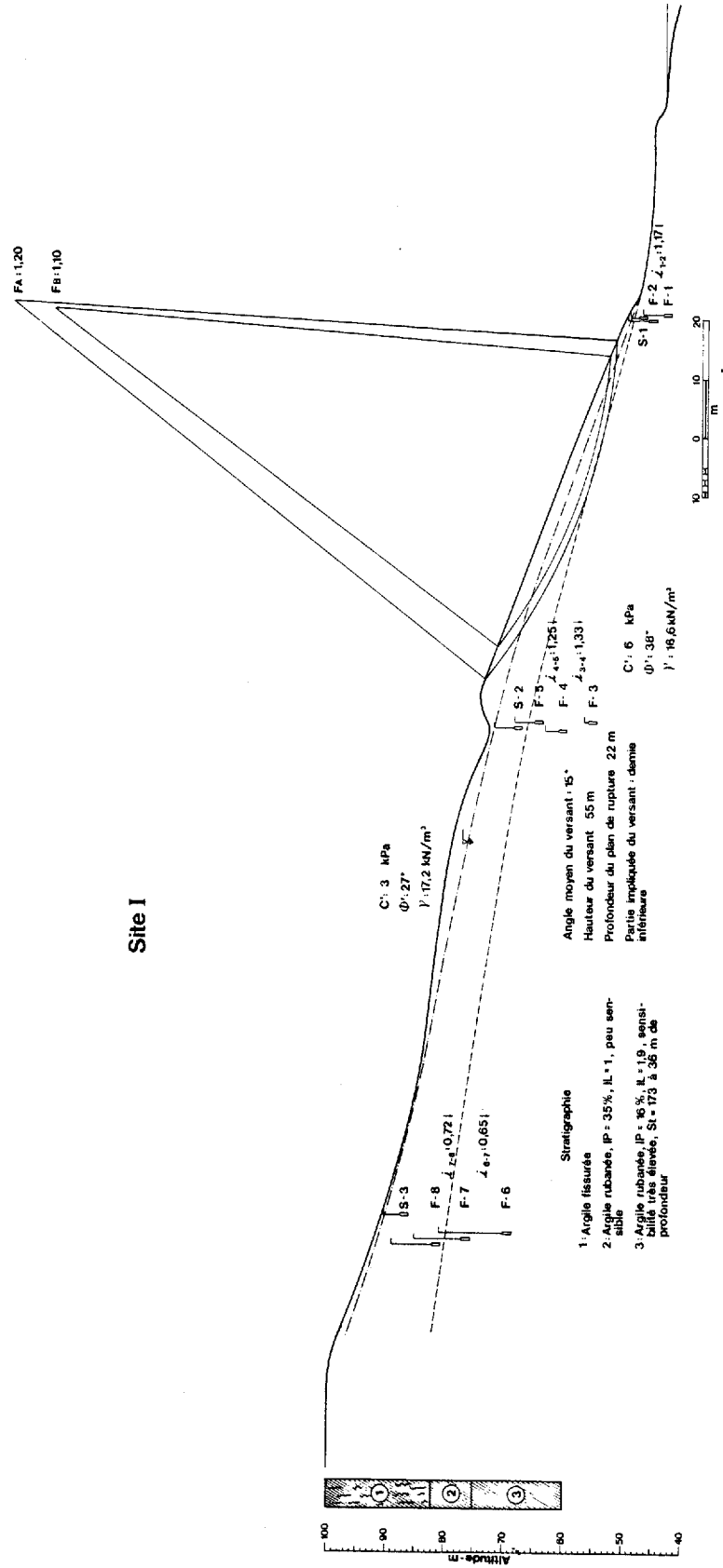
$F_B$  : Coefficient de sécurité minimum obtenu avec une augmentation de 20% des valeurs d'égale pression établies en A.

#### 4) Discussion

##### Site I, secteur Hull-Ouest

Localisé sur la portion de carte A, le site I est situé sur le versant ouest de la rivière Gatineau, à environ 3 km de l'extrémité nord de la partie urbanisée de la ville de Hull. L'examen des photos aériennes a permis d'identifier, dans les secteurs environnants, des cicatrices laissées par d'anciens mouvements de terrain et également, de nombreux ravins qui découpent profondément la terrasse argileuse, ces derniers étant le siège de nombreux glissements. Les principaux cours d'eau qui drainent le massif argileux sont la rivière Gatineau et, plus au sud-ouest, les ruisseaux Chelsea et Leamy. La section topographique retenue présente une hauteur du versant d'environ 55 m avec une inclinaison moyenne de 17°.

À l'examen des lieux, nous notons deux inclinaisons de part et d'autre d'un bourrelet formé à la mi-pente. La partie supérieure, sur une hauteur d'environ 25 m, est caractérisée par une inclinaison de l'ordre de 10° alors que la zone inférieure, sur plus de 28 m de la nivellation, s'incline à environ 20°. L'ensemble du talus de la terrasse fluviale est recouvert d'un boisé où plusieurs arbres atteignent des dimensions imposantes. Le versant est en grande partie festonné et on y découvre en plusieurs endroits de nombreuses fissures ainsi que des cicatrices laissées par des glissements de type superficiel. Le pied du versant montre un petit escarpement qui subit, surtout lors des périodes de crues des eaux, l'action érosive de la rivière, ce qui a pour effet de déstabiliser le versant. Des mouvements récents se sont produits dans la partie inférieure du versant, mouvements peu profonds provoqués essentiellement par l'érosion.



La stratigraphie la plus représentative du site n'a pu être définie comme nous l'aurions souhaité, étant donné le manque d'essais à proximité. Afin de pallier à ce manque, nous avons pris pour acquis celle établie par Jean Lafleur et Guy Lefebvre (rapport Geo-78-08) dans le cadre de leur étude du site de la rue Normandie à Hull, combinée aux les résultats de laboratoire réalisés sur les échantillons du forage 7902113. La colonne stratigraphique se résume donc à deux unités d'argile, une de faible plasticité à la base, surmontée d'une autre de forte plasticité et dont les caractéristiques géotechniques varient considérablement. L'unité de base est généralement plus sensible (altitude < 70 m), moins compressible et l'indice de liquidité  $I_L$  est largement supérieur à 1. L'argile sus-jacente montre un indice de liquidité qui croît avec la profondeur, passant de 0,7 à 1,2. En surface, l'argile prend une couleur brunâtre, une couche formée par l'oxydation et la fissuration. Nous avons évalué sa puissance au tiers de la hauteur du versant, puissance qui décroît à mesure que l'on descend dans la pente.

L'implantation d'un réseau de piézomètres, suivie d'une campagne de lectures, nous a permis de constater que cette terrasse se draine à sa base. Les mesures de hauteurs d'eau maximum enregistrées (celles du 82-04-19) révèlent un gradient hydraulique moyen de 0,70‰ au sommet du versant, de 1,25‰ à la mi-pente et finalement, un gradient de 1,15 ‰ à la base. Ces valeurs indiquent que la terrasse argileuse est drainée à sa base par une couche perméable, en communication directe avec le bassin récepteur qu'est la rivière Gatineau (affleurements au niveau de la rivière).

Plusieurs glissements, localisés dans la région, ont fait l'objet d'études et l'on a noté que la plupart se sont produits dans la couche fissurée. Cette zone favorise une fluctuation rapide de la nappe libre et montre une faiblesse mécanique causée par la présence de discontinuités. Ces prémisses ont donc servi, à un certain degré, de point de départ afin de compléter l'analyse de ce cas. Nous avons de plus concentré notre étude dans la partie inférieure du versant et ce, en fonction des conditions hydrauliques maximum, de la stratigraphie et des paramètres mécaniques établis par Lafleur et Lefebvre (rapport Geo-78-08). Toutes ces données pertinentes visant à quantifier l'état de stabilité du versant sont présentées au tableau 1.

Les résultats d'analyses ont donné des coefficients de sécurité  $F_A$  égale à 1,2 et  $F_B$  égale à 1,1. Les surfaces de rupture correspondantes se situent dans la couche fissurée; ce sont donc des ruptures superficielles. Ces valeurs nous permettent, quantitativement, de juger le site comme étant stable à court terme. De plus, compte tenu de la contribution possible et remarquée, dans le temps, des processus géodynamiques sur l'évolution du versant (érosion, ravinement, augmentation des pressions), nous croyons que le site risque d'être affecté, à court ou moyen terme, par un glissement superficiel. Les résultats obtenus à l'analyse, en plus des différents glissements localisés sur le versant, nous révèlent qu'une rupture profonde n'est pas envisagée.

Nous avons mentionné au début que l'étude s'était limitée à la partie inférieure du versant. La logique veut que si un glissement se produit dans cette zone, l'effet sera déstabilisant pour le reste du profil. Dans un autre ordre

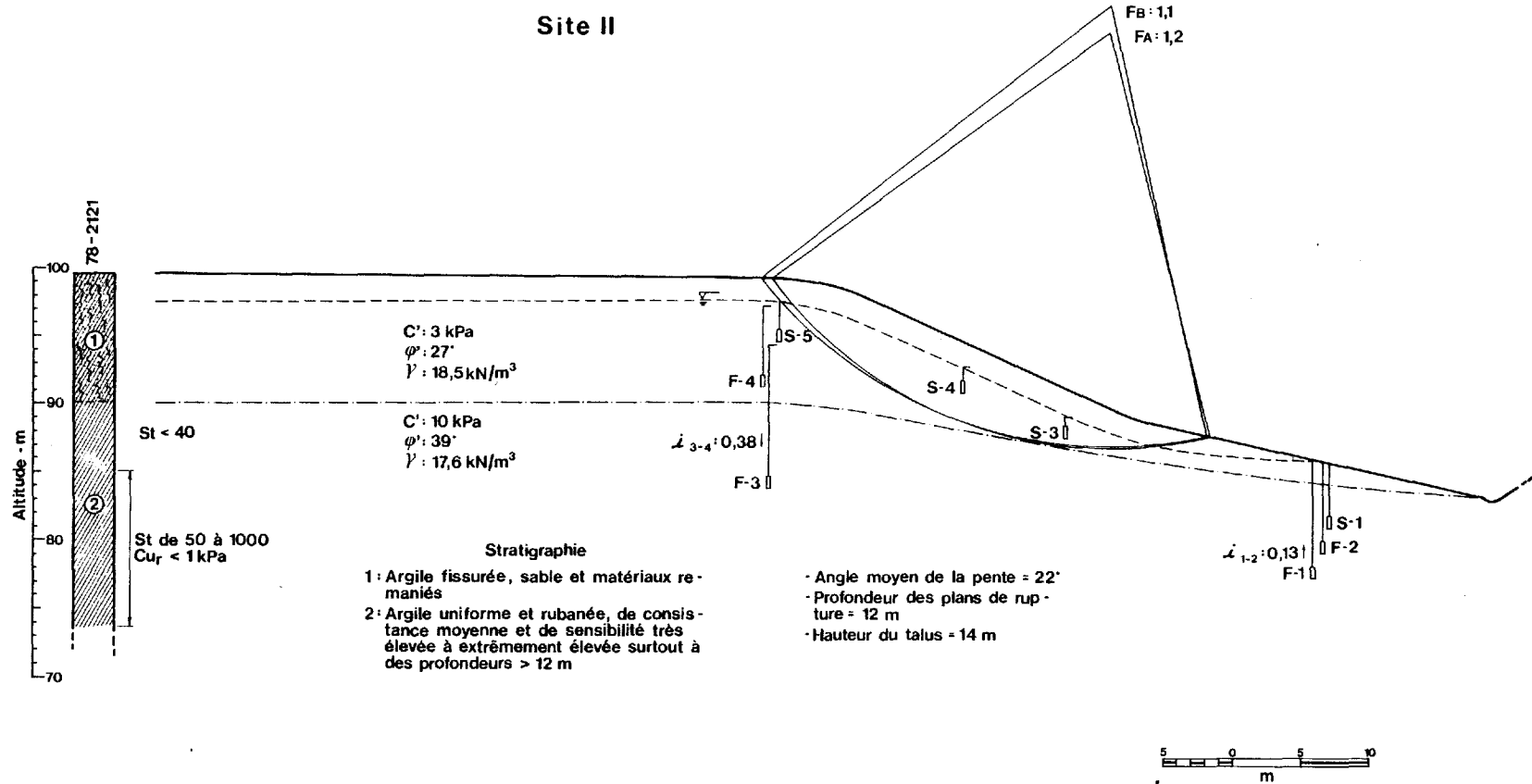
d'idée et malgré le fait que l'analyse tienne compte de certaines hypothèses (épaisseur de la couche fissurée, complexité de la stratigraphie, paramètres mécaniques...), la présence de plusieurs mouvements dans le versant nous incite à recommander la prudence. Il est d'ores et déjà acquis qu'aucun travail visant à surcharger le sommet du versant ne doit être entrepris et il serait souhaitable de contourner l'eau de ruissellement en dehors de cette zone de risque.

#### Site II, secteur Pointe-Gatineau

L'emplacement du site analysé se retrouve sur le versant sud d'un ruisseau, à l'est du parc de roulottes de la rue McDermott, 5 km au nord de Pointe-Gatineau. Le dépôt argileux qui forme la terrasse supérieure laissée par le Proto-Outaouais est incisé dans ce secteur par un ruisseau dont les versants montrent plusieurs cicatrices de glissements de terrain, notamment du côté nord où l'on ne retrouve pas de végétation importante. De plus, à quelques mètres au sud du profil, nous retrouvons une empreinte laissée par une coulée argileuse importante, surtout dans un secteur montrant une densité d'habitations importante. La section retenue montre une hauteur du versant d'environ 14 m avec une pente moyenne de 22°. Nous avons aussi remarqué à l'arrière des maisons mobiles des versants beaucoup plus abrupts, dus au fait que les propriétaires ont remblayé la partie supérieure de la pente afin d'agrandir les terrains derrière les maisons.

Au point de vue stratigraphie locale, les essais réalisés révèlent deux (2) types d'argile. D'une puissance d'à peu près 9 m, l'horizon supérieur montre des teneurs en eau naturelle de l'ordre de 50% et principalement, des valeurs

## Site II



de résistance du sol remanié généralement comprises entre 9 et 11 kPa, donc de sensibilité peu élevée. Sous cet horizon, les teneurs en eau oscillent entre 60 et 70% et diminuent par la suite pour atteindre des valeurs de l'ordre de 30% à 22 m de profondeur. Les résistances au cisaillement sont toutes, sauf quelques exceptions, inférieures à 1 kPa, ce qui confère au dépôt des valeurs de sensibilité extrêmement élevées (50 à 1 000).

Les paramètres mécaniques caractérisant le massif étudié découlent d'études antérieures réalisées par J. Lafleur et G. Lefebvre (1978), dans le secteur de la rue Normandie à Hull. Compte tenu des données recueillies à partir des différents sondages implantés dans le secteur, nous avons évalué la zone fissurée à 9 m d'épaisseur. Cette zone est comparable à celle définie dans l'étude citée précédemment. Les résultats d'analyse montrent un coefficient de sécurité  $F_A$  égal à 1,2 et 1,1 pour le coefficient  $F_B$ . Nous notons sur le profil II que la surface de rupture, associée aux différents coefficients, se situe dans la zone fissurée en passant à la limite de la couche d'argile intacte.

À partir de ces résultats, combinés aux observations telles que la présence de coulées à proximité du site, empreintes de mouvements sur les rives du ruisseau, intervention des propriétaires du parc de roulottes dans le versant, nous évaluons le secteur comme stable à court terme. Quoique ces résultats soient fidèles à un certain degré de la réalité, il aurait été souhaitable de travailler à partir d'un profil réalisé dans le secteur des maisons mobiles où l'on retrouve un versant beaucoup plus abrupt et ce, avec des paramètres mécaniques définis à partir d'échantillons recueillis sur le site même.

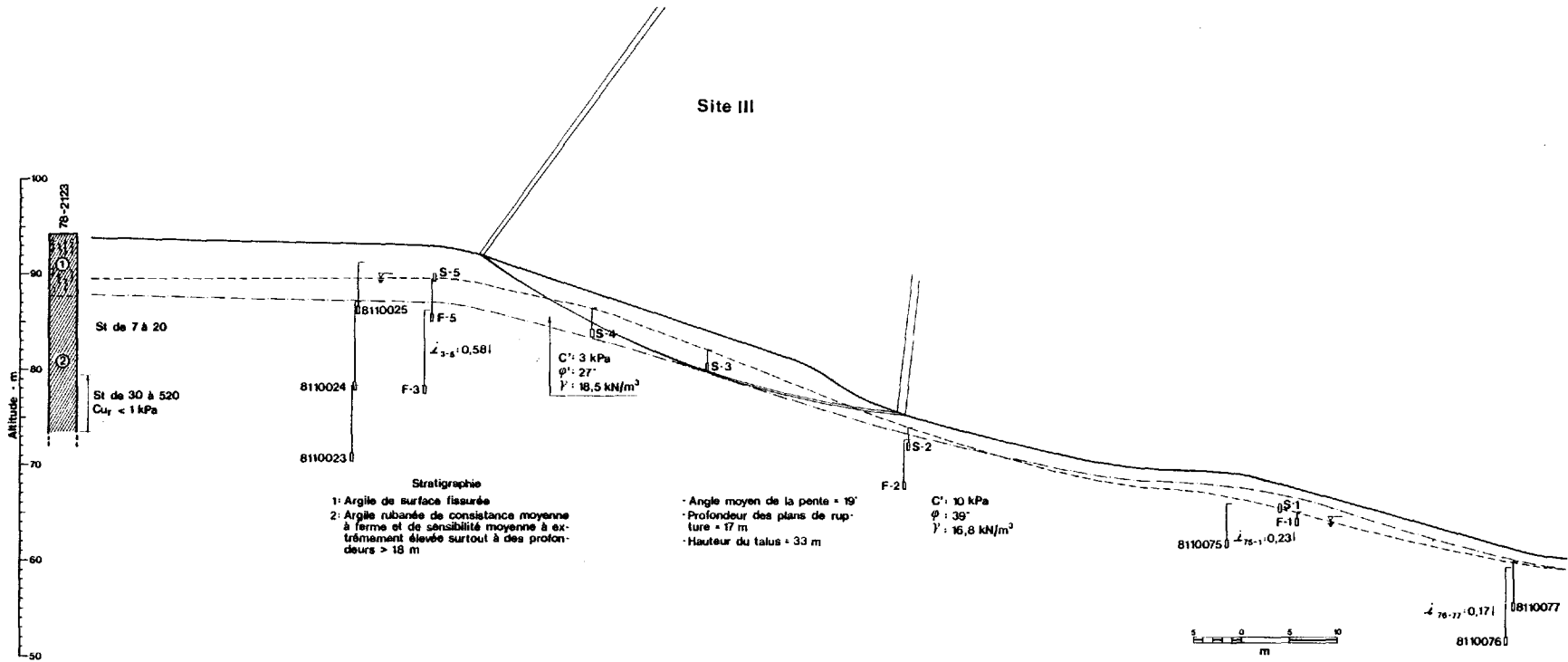
### Site III, secteur Gatineau

Le profil étudié se situe en bordure de la terrasse supérieure laissée par le Proto-Outaouais, dans le secteur de la rue Le Coteau, au nord de la ville de Gatineau. Plusieurs glissements, dont deux (2) majeurs (avril 71 et mai 73), ont affecté ce secteur à la suite d'une excavation pratiquée au pied du talus. Pour corriger la topographie laissée par le glissement de 1971, un adoucissement du talus fut effectué. Présentement, nous remarquons le caractère toujours déficient du couvert végétal et l'activité intense du ravinement dans les pentes.

Étant donné l'insuffisance des données pertinentes visant à établir la stratigraphie locale, nous assumons, pour les fins de l'analyse, une stratigraphie et des valeurs de paramètres mécaniques comparables à celles du site II, définie par J. Lafleur et G. Lefebvre (1978). Enfin, une étude à l'aide de piézomètres disposés le long de la section, à diverses profondeurs, a permis d'identifier un gradient général vers le bas dans tout le versant. Ceci implique que partout la hauteur de la colonne d'eau mesurée était inférieure à la distribution hydrostatique.

Compte tenu des données utilisées, les analyses montrent des coefficients de sécurité  $F_A$  et  $F_B$  égaux à 1,2 et 1,1. On note de plus, sur le profil III, que les surfaces de rupture trouvées affectent d'une part la zone fissurée du dépôt et d'autre part la partie supérieure de la terrasse. Ici, comme pour le cas du site II, la surface minimum est située dans la zone fissurée puisque, au départ, les valeurs des paramètres assignés à la couche fissurée sont beaucoup plus faibles que celles définissant l'argile intacte. Dans la mesure où les hypothèses et les données

Site III



utilisées sont valables, les résultats révèlent que ce talus est stable à court terme, mais cependant très fragile à tout type d'intervention modifiant son équilibre.

Compte tenu des données utilisées, les analyses montrent des coefficients de sécurité  $F_A$  et  $F_B$  égaux à 1,2 et 1,1. On note de plus, sur le profil III, que les surfaces de rupture trouvées affectent d'une part la zone fissurée du dépôt et d'autre part la partie supérieure de la terrasse. Ici, comme pour le cas du site II, c'est la conséquence logique que la surface minimum soit située dans la zone fissurée puisque, au départ, les valeurs des paramètres assignés à la couche fissurée sont beaucoup plus faibles que celles définissant l'argile intacte. Mathématiquement et dans la mesure où les hypothèses et les données utilisées sont valables, les résultats révèlent que ce talus est stable à court terme.

Vu que le secteur fut déjà le siège de glissements de terrain, certains faits observés à l'examen des lieux, tels la présence de fissures dans la couche fissurée, renflement et ravinement dans la pente, laissent présager la possibilité de dégradation de l'équilibre du talus. De plus, compte tenu du nombre d'habitations situées en bordure de la terrasse, il serait prudent, à court terme, de dévier ou de concentrer l'eau de ruissellement en dehors de la pente affectée et d'y implanter une certaine végétation afin de contrer le ravinement. En outre, il est d'ores et déjà acquis que nous devons éviter de surcharger le sommet ou d'excaver les abords du talus.

NOTE: Dans le cadre des analyses faites aux sites I, II et III, des observations ont permis de constater que plusieurs glissements de terrain détectés dans la région de Hull-Gatineau se produisent dans la zone fissurée. Cette couche de sol peut se définir comme étant une couche brune oxydée et fissurée. À partir de ces faits, des recherches ont été rendues nécessaires afin d'identifier les paramètres mécaniques caractérisant ce type de sol. Ainsi, lors d'études antérieures réalisées par MM. Jean Lafleur et Guy Lefebvre, dans le secteur de la rue Normandie à Hull, des paramètres ont pu être définis à partir d'analyses à rebours de rupture où les conditions de géométrie, de stratigraphie et de pressions interstitielles sont connues. Les valeurs ainsi déterminées s'apparentent plus à la réalité, étant donné que la première instabilité n'implique souvent que la couche superficielle et, qu'il devient impossible d'en faire l'analyse à l'aide de paramètres connus par des essais de laboratoire. Ils ont également identifié les paramètres de la couche d'argile intacte à partir d'essais triaxiaux exécutés à grande déformation (10%) et en conditions CID. Étant donné le manque de renseignements visant à définir les vraies conditions des sites, les analyses ont été exécutées et basées sur ces conditions, déterminées dans le cadre de l'analyse de stabilité du site de la rue Normandie. Les paramètres utilisés sont présentés sur le tableau des données.

#### 4. Conclusion

La région étudiée montre un relief très bouleversé, siège de nombreux mouvements de terrain. L'examen des lieux et des photos aériennes des différents secteurs retenus nous a permis de constater plusieurs évidences de glissements de terrain. La présence de cicatrices de coulées argileuses à proximité, les propriétés de l'argile et plus particulièrement la présence d'argile extrêmement sensible nous incitent à recommander une certaine prudence à l'égard des sites étudiés. De plus, les sites II et III recommandent une attention toute particulière; une éventuelle dégradation de la pente ferait craindre pour les habitations à proximité de ces escarpements.

Nonobstant les moyens disponibles, l'appréciation de la stabilité des sites étudiés ne demeure valable que dans la mesure où les données utilisées dans la méthode d'analyse soient représentatives des conditions réelles du terrain. Aussi, différents facteurs aussi bien naturels qu'anthropiques peuvent, à plus ou moins long terme, modifier l'état d'équilibre des différents massifs. À titre préventif, les résidents doivent éviter de surcharger au sommet ou d'excaver à la base, de concentrer l'eau de ruissellement dans les pentes ou d'intervenir de façon à diminuer la résistance au cisaillement. On doit être conscient que la moindre intervention humaine peut contribuer négativement sur la stabilité d'un talus ou d'un versant, en activant le processus de dégradation naturelle.





Au point de vue recommandation, il y aurait peut-être lieu d'envisager des travaux correctifs préventifs, axés sur le contrôle de l'eau de surface, de l'érosion à la base et d'un reboisement dans les zones dénudées. Dans la mesure où le

coût de ces travaux excéderait la valeur des biens menacés, et c'est souvent le cas, la meilleure solution à envisager serait un zonage judicieux en établissant une zone tampon où toutes nouvelles constructions seraient proscrites.

## RÉFÉRENCES

- BÉLANGER, J.R., HARRISON, J.E., 1980 - Regional geoscience information: Ottawa-Hull, Geological survey paper 77-11, Energie, Mines et Ressources Canada.
- BISHOP, A.W., 1955 - The use of the slip circle in the stability analysis of slopes, Géotechnique, vol. 5, no 1, pp. 7-17.
- LAMBE, T.W., WHITMAN, R.V., 1979 - Earth slopes with drained conditions, Soil Mechanics, SL Version, Series in soil engineering. John Wiley and Sons, ch. 24, pp. 352-374.
- LAFLEUR, J., LEFEBVRE, G., 1978 - Influence des écoulements sur la stabilité des pentes naturelles d'argile. Rapport Geo-78-08 préparé pour MRN, université de Sherbrooke, section de géotechnique.
- LEFEBVRE, G., 1971 - Programme de stabilité des pentes suivant la méthode Bishop. Document interne, 14 p.
- LEFEBVRE, G., 1981 - Strength and slope stability in Canadian soft clay deposit. Revue canadienne de géotechnique, vol. 18, no 3, août, pp. 420-442.

ANNEXE 1STRATIGRAPHIE ET CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES  
DES SOLS ECHANTILLONNES EN FORAGELEGENDE POUR LES ANALYSES  
GRANULOMETRIQUES

GRAVIER (>4.75mm)	
SABLE (de 4.75 à 0.075mm)	
SILT (de 0.075 à 0.002mm)	
ARGILE (<0.002mm)	



**Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses**

Provenance: Angers

no d'identification: 7802005

Profondeur (m)	Description	Granulométrie % cumulatif	Indice de liquidité IL	Teneur en eau	Résistance au cisaillement Cu	Résistance au cisaillement remanié Cu <sub>r</sub>	Sensibilité St	Teneur en sel (g/l)	Na <sup>+</sup> (ppm)	Ca <sup>++</sup> (ppm)	K <sup>+</sup> (ppm)	Mg <sup>++</sup> (ppm)	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> cations	Altitude (m)		
				Limites ————	10 20 30 kPa	2 4 6 8 kPa										
5	ARGILE UNIFORME, GRIS MOYEN A PALE, LENTILLES DE SABLE		0,78											86		
10	ARGILE UNIFORME, GRIS MOYEN, TACHETEE NOIRATRE, LENTILLES DE SABLE															81
15	ARGILE RUBANEE, GRIS PALE A FONCE, NOIRATRE, NOMBREUX LITS DE SABLE FIN															76
20														71		
25														66		



## Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses

Provenance: Gatineau

no d'identification: 7802028

Profondeur (m)	Description	Granulométrie % cumulatif	Indice de liquidité IL	Teneur en eau	Résistance au cisaillement Cu	Résistance au cisaillement remanié Cu <sub>r</sub>	Sensibilité St	Teneur en sel (g/l)	Na <sup>+</sup> (ppm)	Ca <sup>++</sup> (ppm)	K <sup>+</sup> (ppm)	Mg <sup>++</sup> (ppm)	Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> cations	Altitude (m)
				Limites	kPa	kPa								
5	ARGILE GRIS MOYEN, TACHE-TEE NOIRATRE			60	60	113								86
10	ARGILE UNIFORME, GRIS MOYEN			60	60	113								81
15	ARGILE RUBANEE, GRIS FOLE A MOYEN			60	60	113								76
20														71
25														66

# Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses

Provenance: Gatineau

no d'identification: 7802029

Profondeur (m)	Description	Granulométrie % cumulatif	Indice de liquidité IL	Teneur en eau	Résistance au cisaillement	Résistance au cisaillement remanié	Sensibilité St	Teneur en sel (g/l)	Na <sup>+</sup> (ppm)	Ca <sup>++</sup> (ppm)	K <sup>+</sup> (ppm)	Mg <sup>++</sup> (ppm)	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> / cations	Altitude (m)
				Limites	Cu	Cu <sub>r</sub>								
5	ARGILE ROSATRE			○	100	10	12							93
	ARGILE GRIS MOYEN			○	100	10	15							
10	ARGILE RUBANEE, GRIS PALE A MOYEN, ROUGEATRE			○	100	10	25							88
	ARGILE GRIS MOYEN, SILT ET SABLE			○	100	10	29							
15	ARGILE RUBANEE, GRIS MOYEN ROUGEATRE		0,96	○	100	10	113							83
				○	100	10	187							
20							297							78
25														73

### Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses

Provenance: Templeton

no d'identification: 7802030

Profondeur (m)	Description	Granulométrie % cumulatif	Indice de liquidité IL	Teneur en eau	Résistance au cisaillement	Résistance au cisaillement	Sensibilité St	Teneur en sel (g/l)	Na <sup>+</sup> (ppm)	Ca <sup>++</sup> (ppm)	K <sup>+</sup> (ppm)	Mg <sup>++</sup> (ppm)	Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Σ cations	Altitude (m)
				Limites ————	Cu	remanié Cu <sub>r</sub>								
5	ARGILE RUBANÉE, GRIS PÂLE À MOYEN													41
10	ARGILE RUBANÉE, GRIS MOYEN À FONCÉ, BANDES NOIRES ET BRUNES													36
15			0,86	0,97										31
20														26
25														21

## Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses

Provenance: Templeton

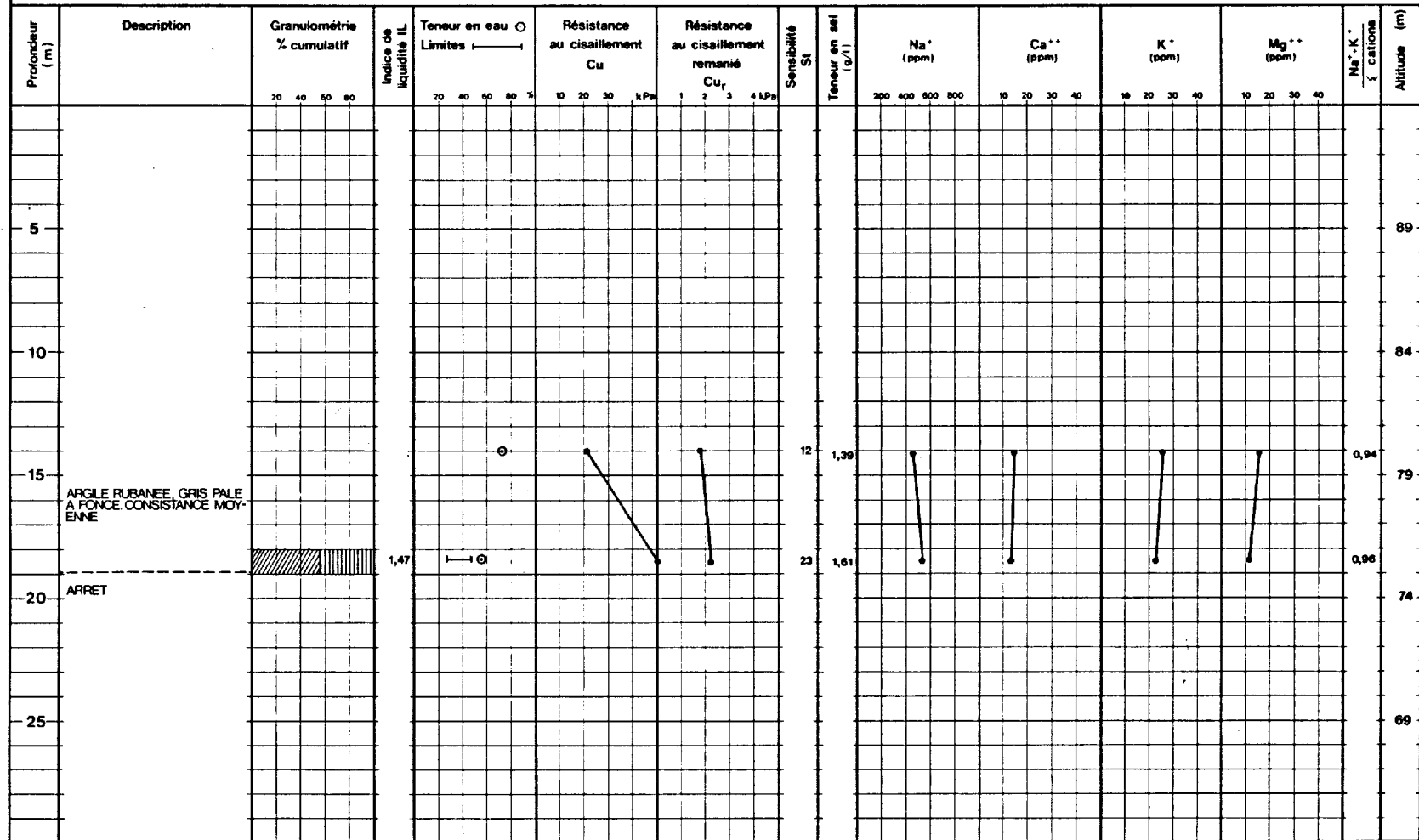
no d'identification: 7802032

Profondeur (m)	Description	Granulométrie % cumulé	Indice de liquidité IL	Teneur en eau	Résistance au cisaillement	Résistance au cisaillement	Sensibilité SI	Teneur en sel (g/l)	Na <sup>+</sup> (ppm)	Ca <sup>++</sup> (ppm)	K <sup>+</sup> (ppm)	Mg <sup>++</sup> (ppm)	Na <sup>+</sup> · K <sup>+</sup> Σ cations (ppm)	Altitude (m)
				Limites ——— %	Cu kPa	remanié Cu <sub>r</sub> kPa								
5	ARGILE RUBANÉE, GRISE, ROUGEÂTRE, BRUNÂTRE, QUELQUES LITS DE SABLE FIN			60	40	4	17							94
	ARGILE GRIS MOYEN, QUELQUES LITS DE SABLE			60	40	4	11							
	ARGILE RUBANÉE, GRIS PALE À MOYEN, ROSÂTRE, QUELQUES LITS DE SILT			60	40	4	20							
10	ARGILE RUBANÉE, GRIS PALE À MOYEN, ROSÂTRE, QUELQUES LITS DE SILT			60	40	4	11							89
	ARGILE RUBANÉE, GRIS PALE À MOYEN, ROSÂTRE, QUELQUES LITS DE SILT			60	40	4	16							
	ARGILE RUBANÉE, GRIS PALE À MOYEN, ROSÂTRE, QUELQUES LITS DE SILT			60	40	4	21							
	ARGILE UNIFORME, GRIS MOYEN, FOSSILIFÈRE			60	40	4	19							
15	ARGILE UNIFORME, GRIS MOYEN, FOSSILIFÈRE			60	40	4	23							
	ARGILE UNIFORME, GRIS MOYEN, FOSSILIFÈRE			60	40	4	19							
	ARGILE UNIFORME, GRIS MOYEN, FOSSILIFÈRE			60	40	4	27							84
20														79
25														74

## Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses

Provenance: Angers


no d'identification: 7902104



**Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses**

Provenance: Gatineau

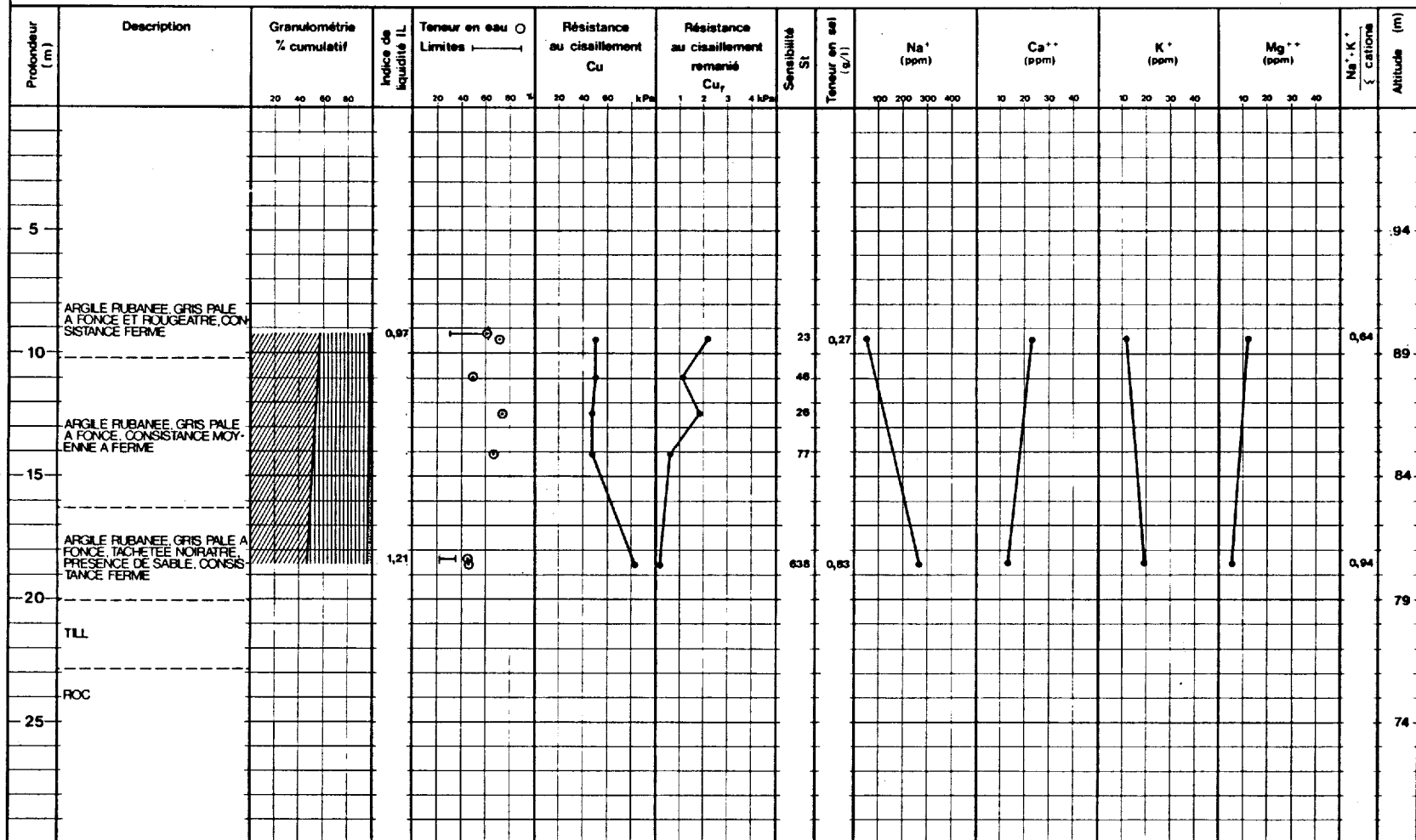
no d'identification: 7902106

Profondeur (m)	Description	Granulométrie % cumulatif 20 40 60 80	Indice de liquidité IL	Teneur en eau $\odot$	Résistance au cisaillement $C_u$	Résistance au cisaillement remanié $C_{ur}$	Sensibilité $S_r$	Teneur en sel (g/l)	Na <sup>+</sup> (ppm)	Ca <sup>++</sup> (ppm)	K <sup>+</sup> (ppm)	Mg <sup>++</sup> (ppm)	Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> cations	Altitude (m)
				Limites $\rightarrow$	10 20 30 kPa	2 4 6 8 kPa								
5														97
10	ARGILE RUBANÉE, GRIS PÂLE À MOYEN, CONSISTANCE FERME TILL ROC			$\odot$	$\bullet$	$\bullet$								92
15														87
20														82
25														77

# Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses

Provenance: Gatineau

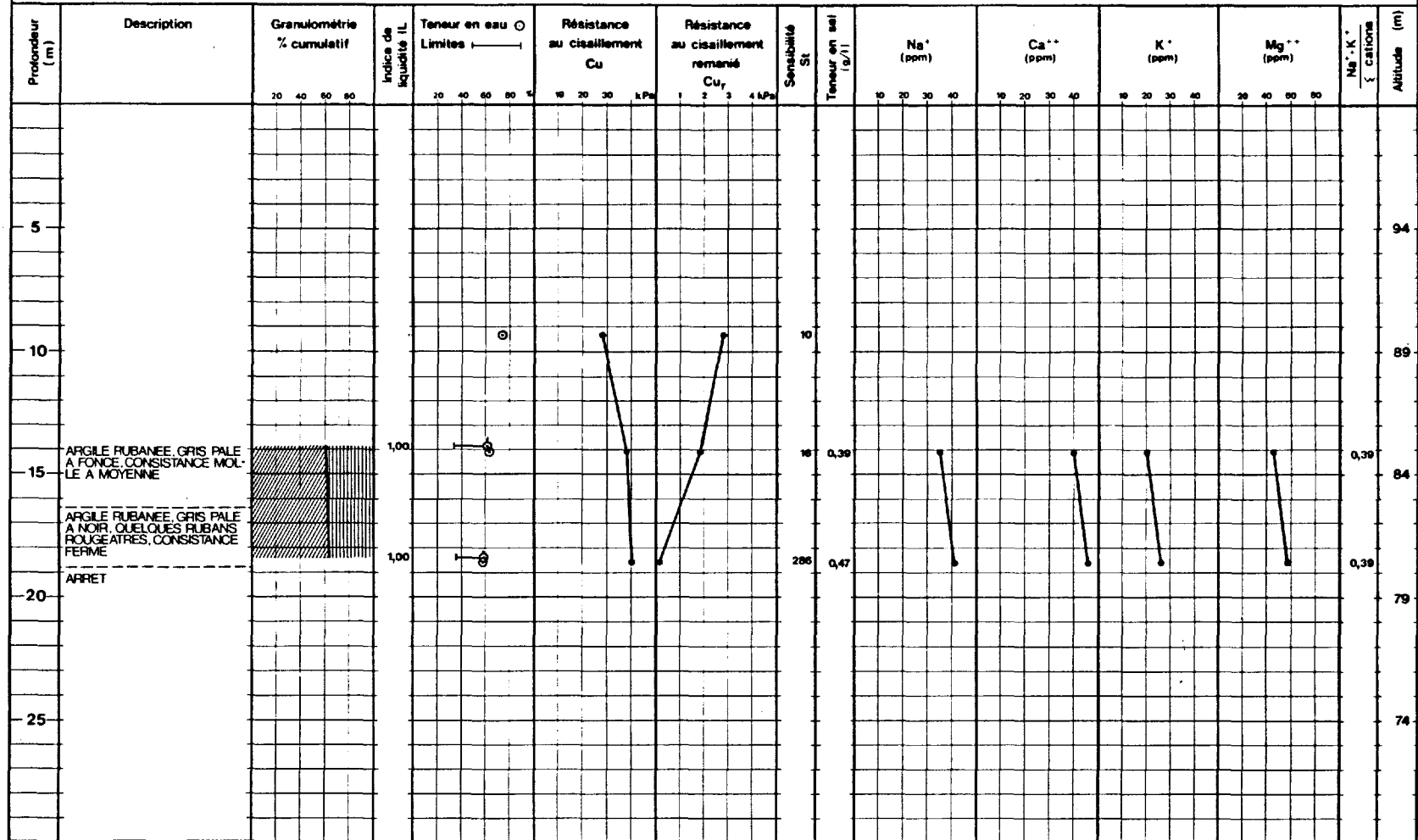
no d'identification: 7902107



## Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses

Provenance: Gatineau

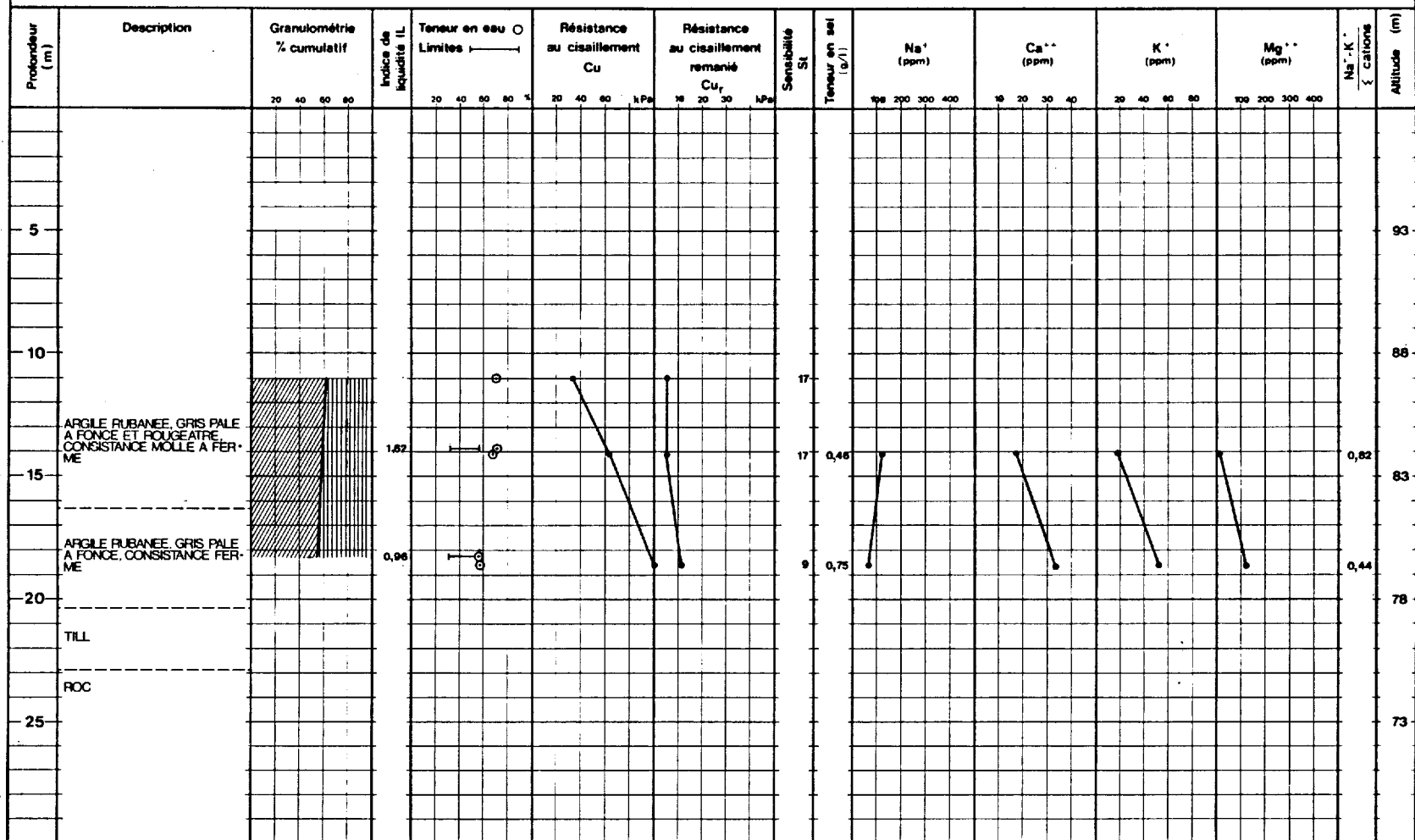
no d'identification: 7902108



# Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses

Provenance: Gatineau

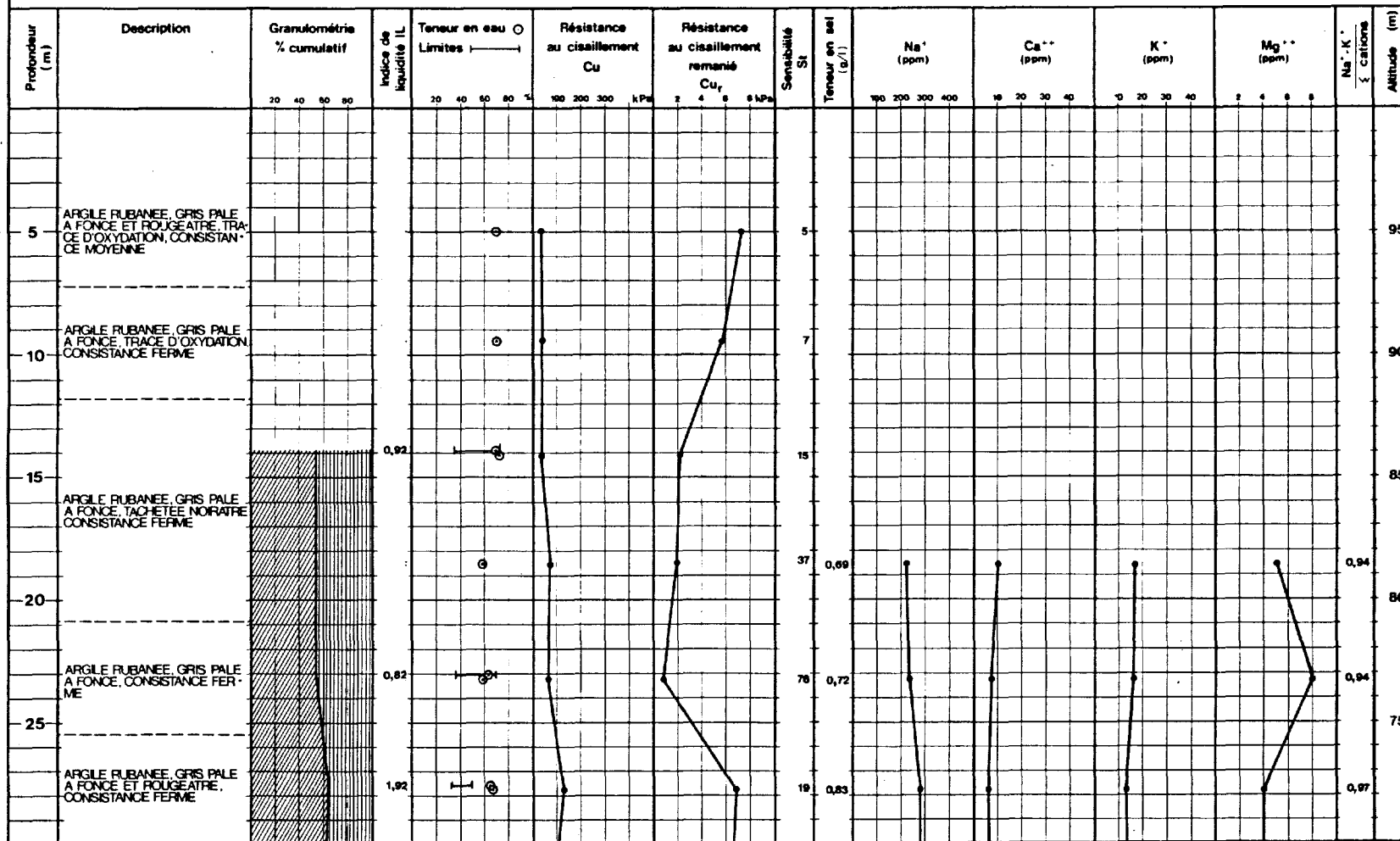
no d'identification: 7902109



# Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses

Provenance: Chelsea

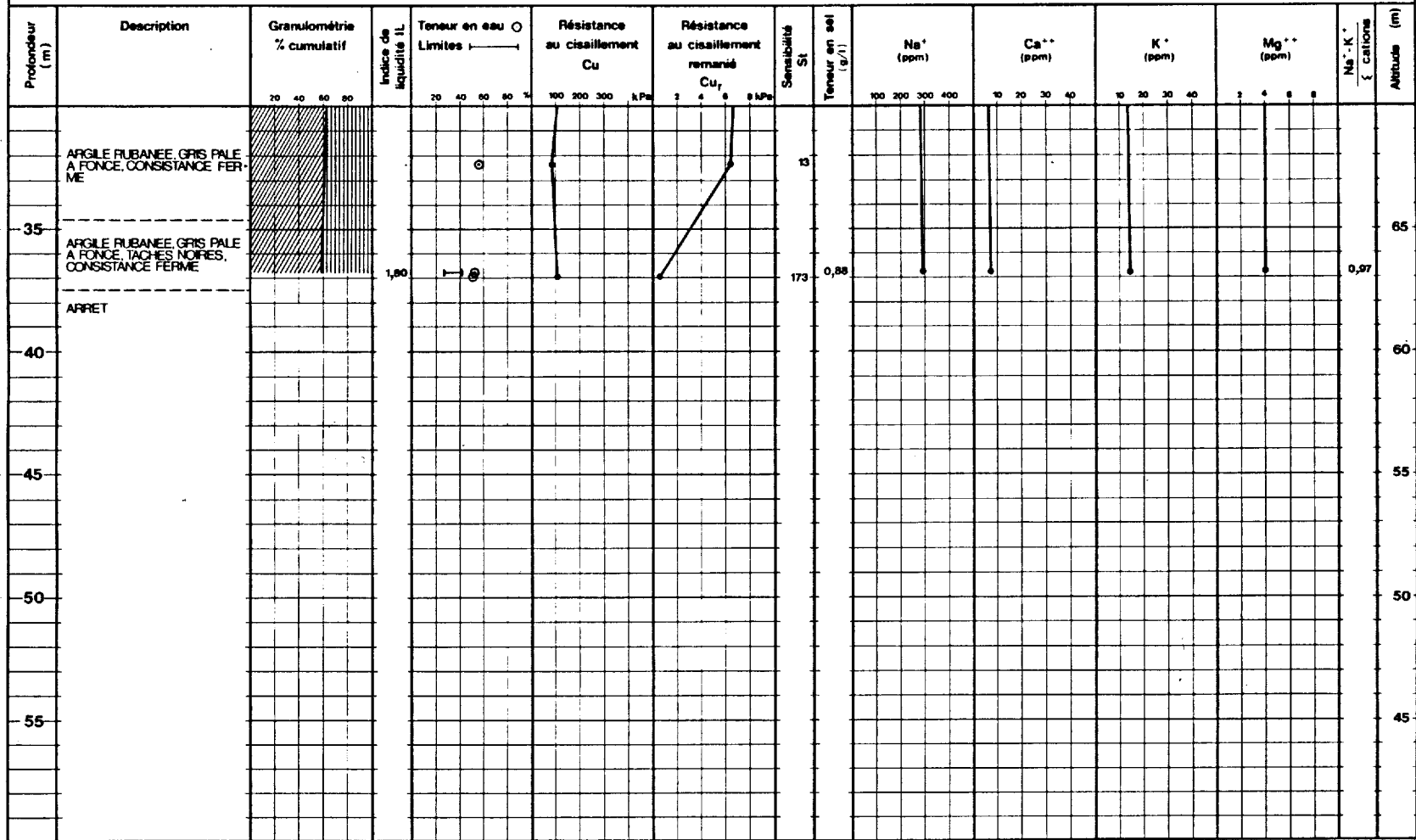
no d'identification: 7902113



# Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses

Provenance: Chelsea

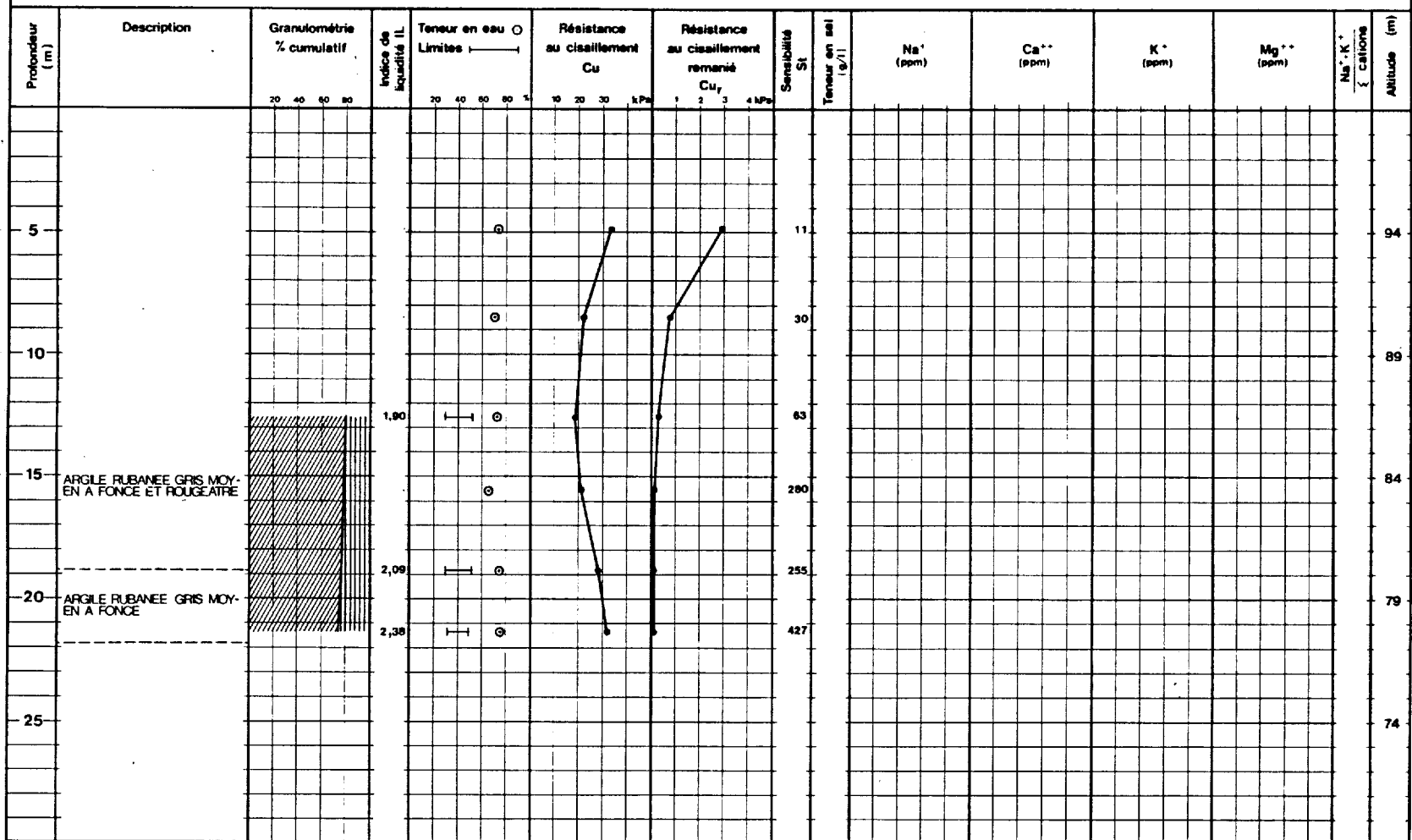
no d'identification: 7902113-suite



## Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses

Provenance: Templeton

no d'identification: 7802120



**Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses**

Provenance: Gatineau

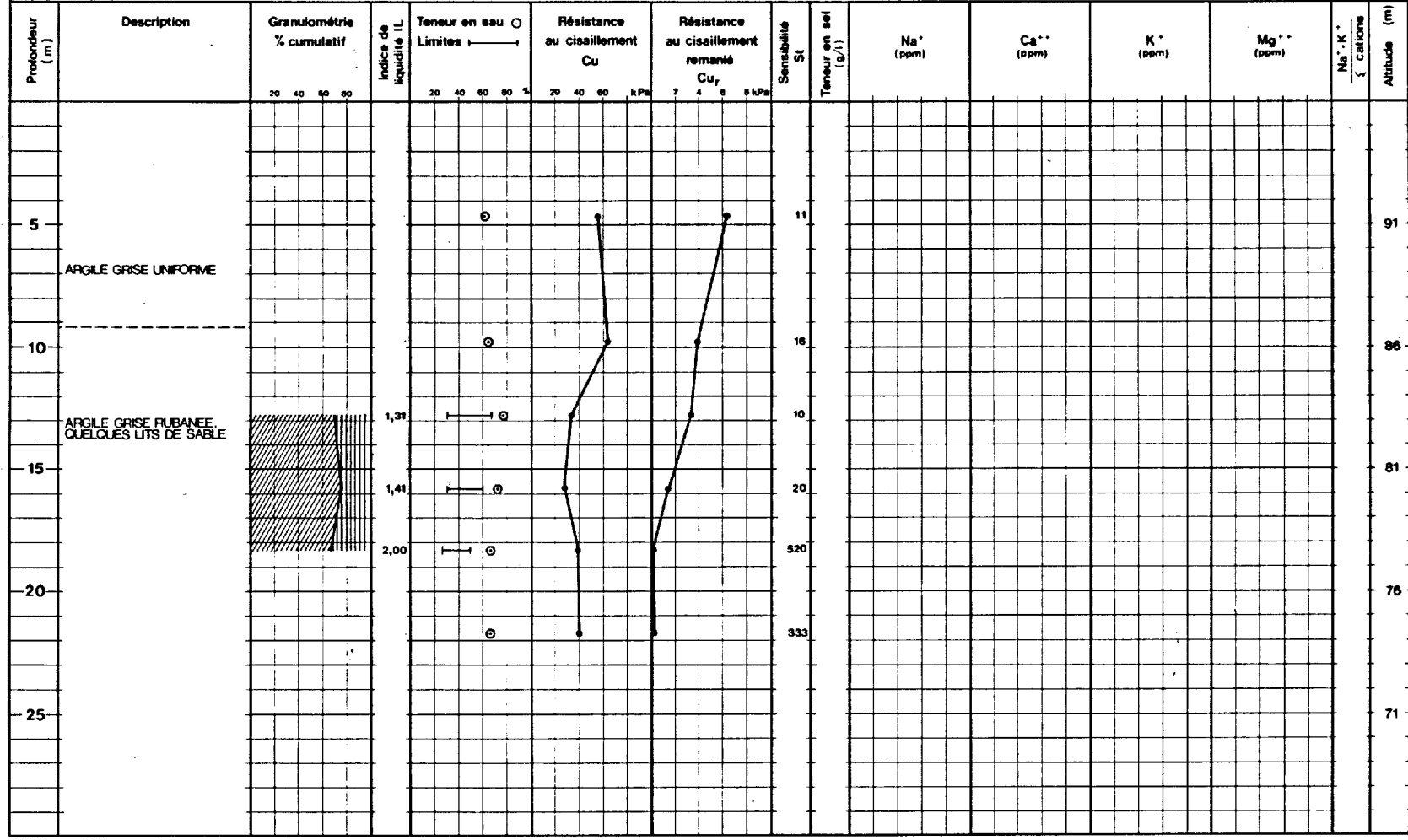
no d'identification: 7802121

Profondeur (m)	Description	Granulométrie % cumulatif	Indice de liquidité IL	Teneur en eau $\omega$ Limites	Résistance au cisaillement $C_u$	Résistance au cisaillement remanié $C_{ur}$	Sensibilité $S_t$	Teneur en sel (g/l)	Na <sup>+</sup> (ppm)	Ca <sup>++</sup> (ppm)	K <sup>+</sup> (ppm)	Mg <sup>++</sup> (ppm)	Na <sup>+</sup> · K <sup>+</sup> cations	Altitude (m)
5														94
10														89
15	ARGILE GRISE RUBANÉE		1,06	60	40	40	126							84
20	ARGILE GRISE UNIFORME		4,00	60	40	40	560							79
20	ARGILE GRISE RUBANÉE, LITS DE SABLE FIN		1,73	60	40	40	893							79
25			3,00	60	40	40	130							74

Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses

Provenance: Gatineau

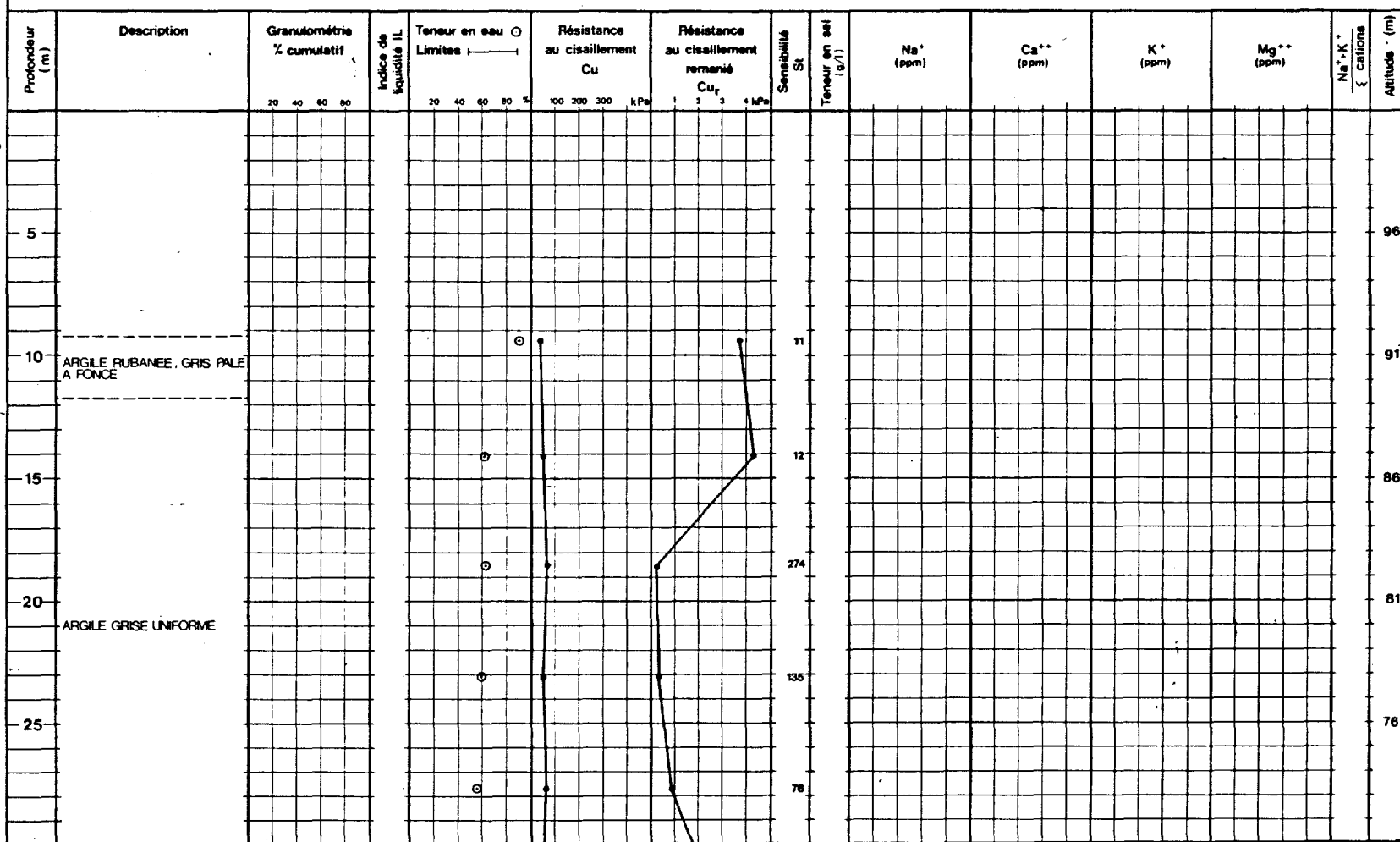
no d'identification: 7802123



### Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses

Provenance: Chelsea

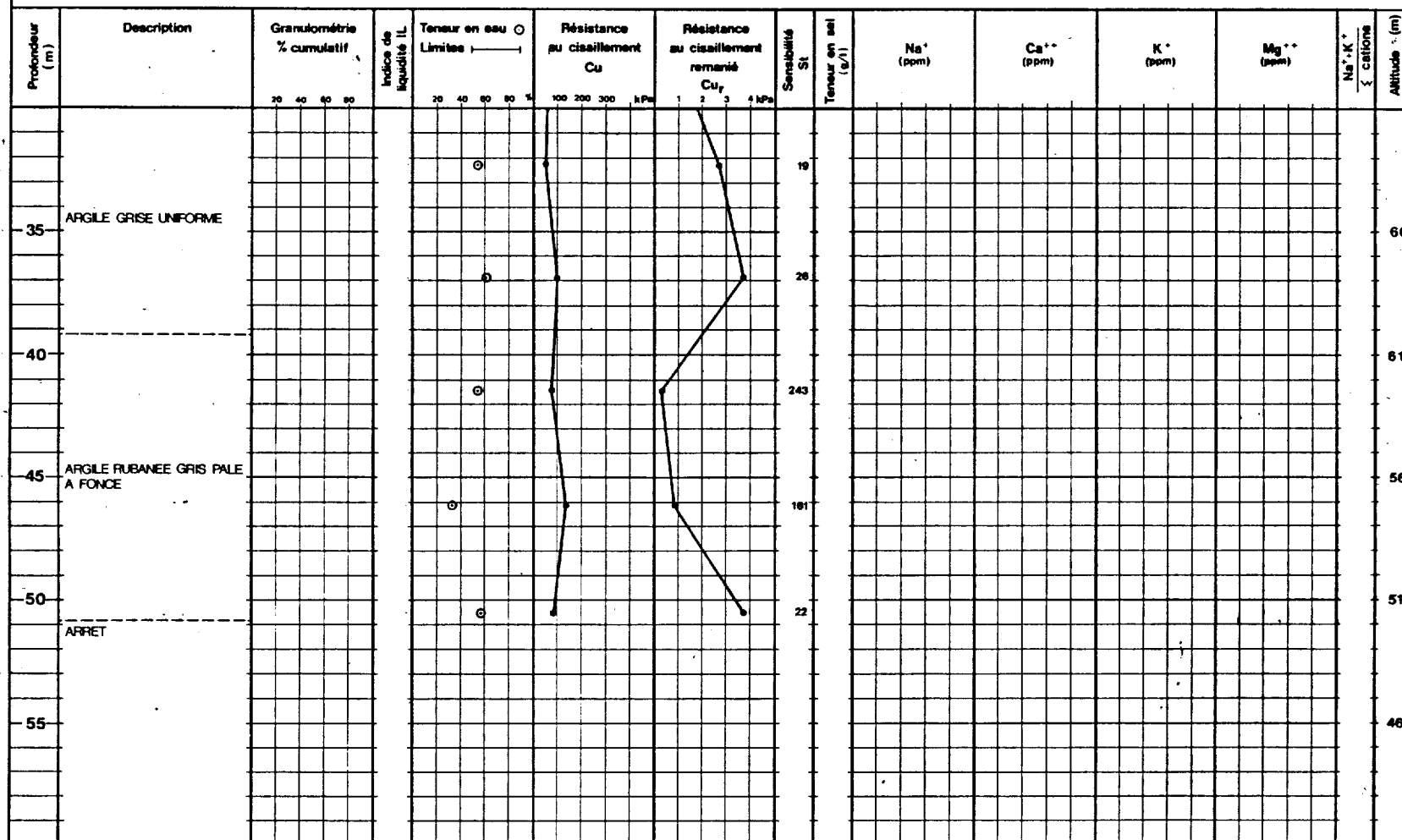
no d'identification: 8002140



## Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses

Provenance: Chelsea

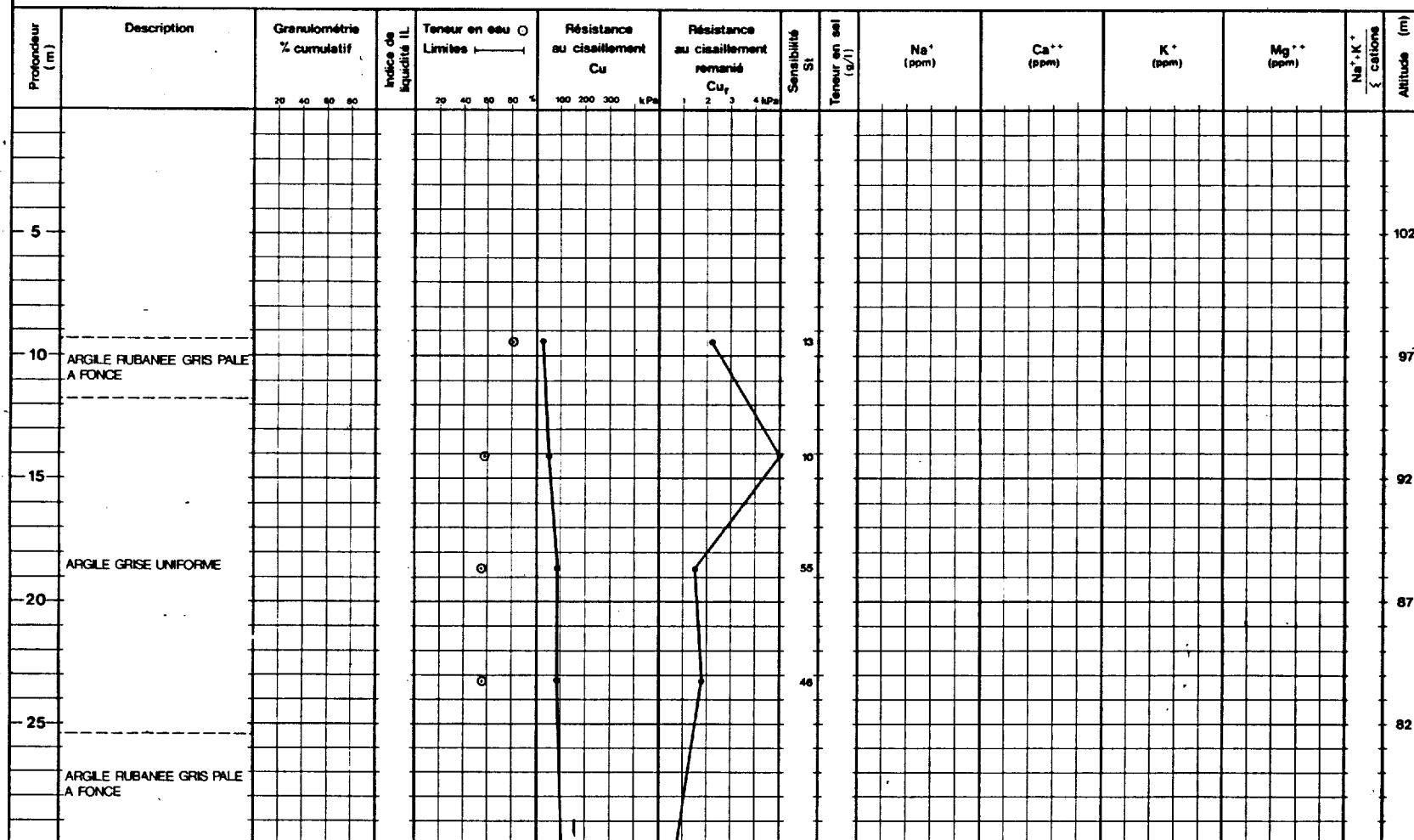
no d'identification: 8002140-suite



## Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses

Provenance: Chelsea

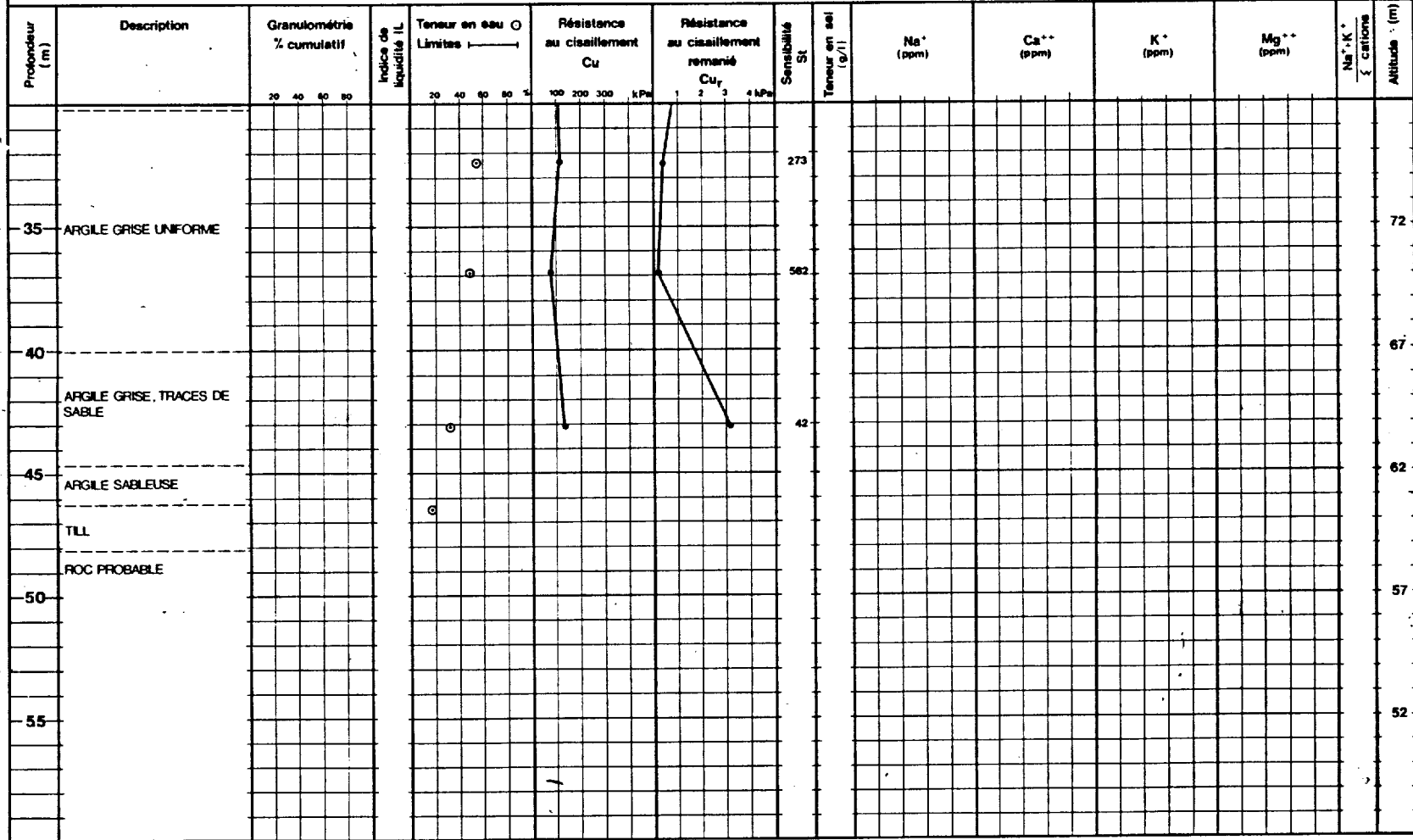
no d'identification: 8002141



## Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses

Provenance: Chelsea

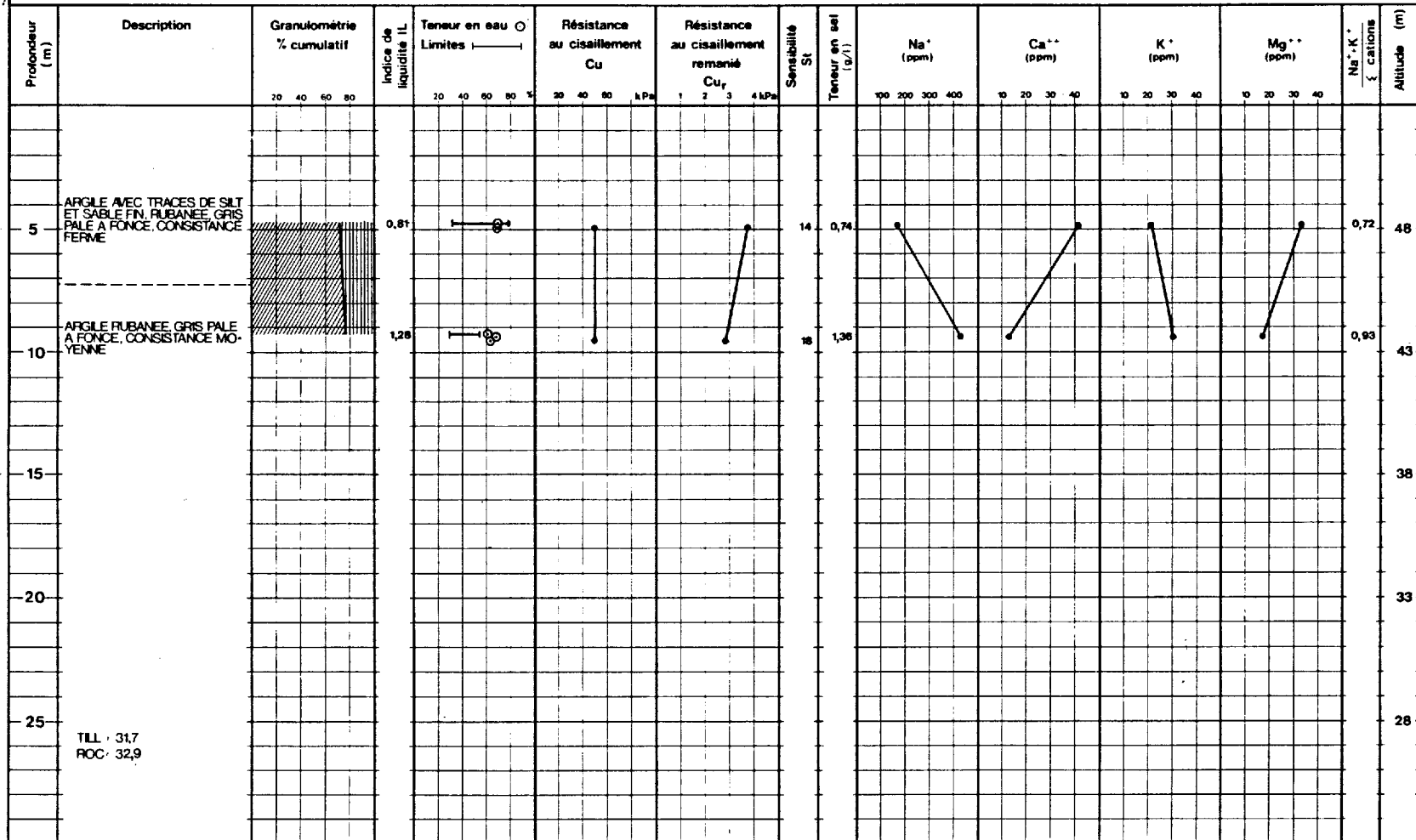
no d'identification: 8002141-suite



## Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses

Provenance: Gatineau

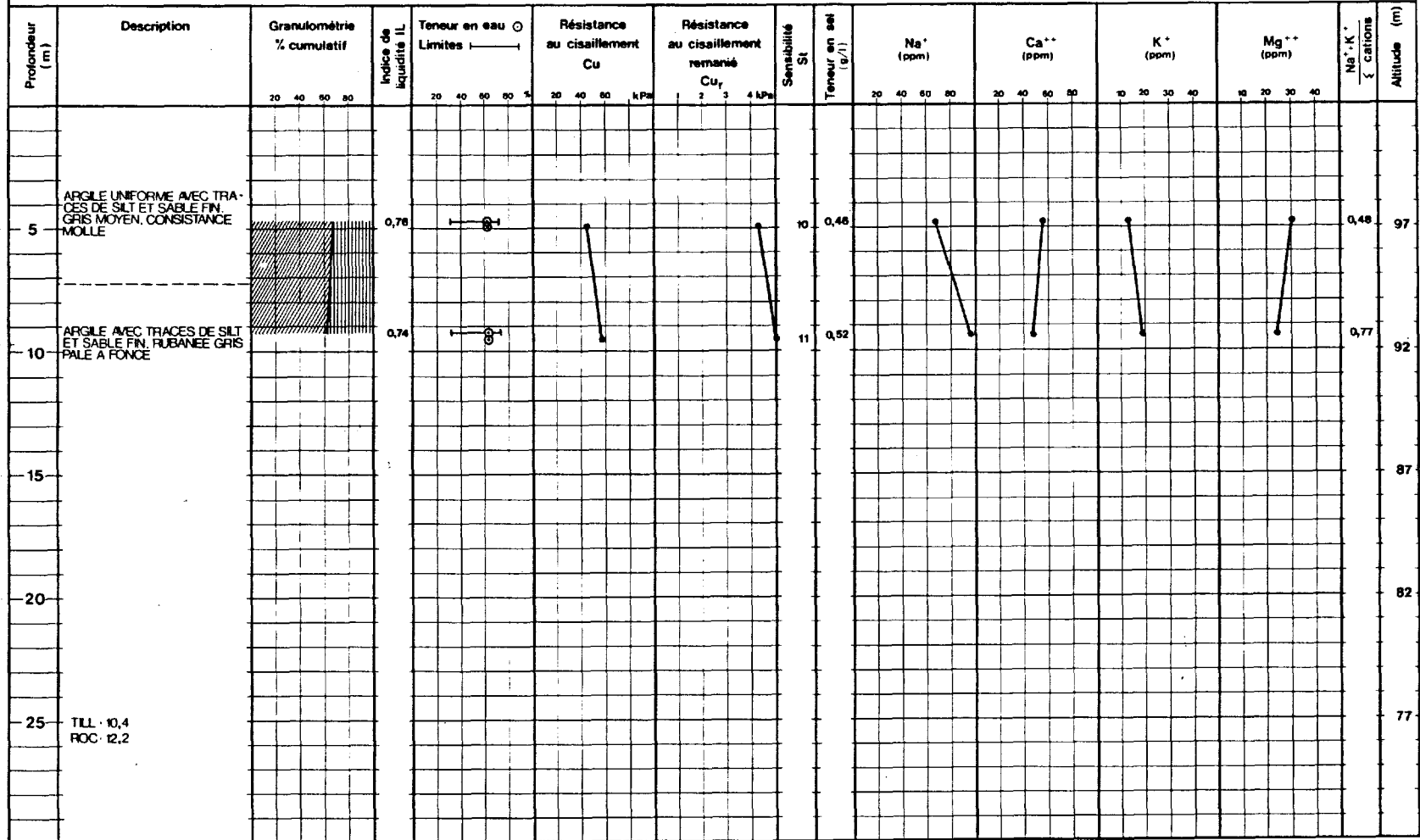
no d'identification: 8002150



## Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses

Provenance: Pointe-Gatineau

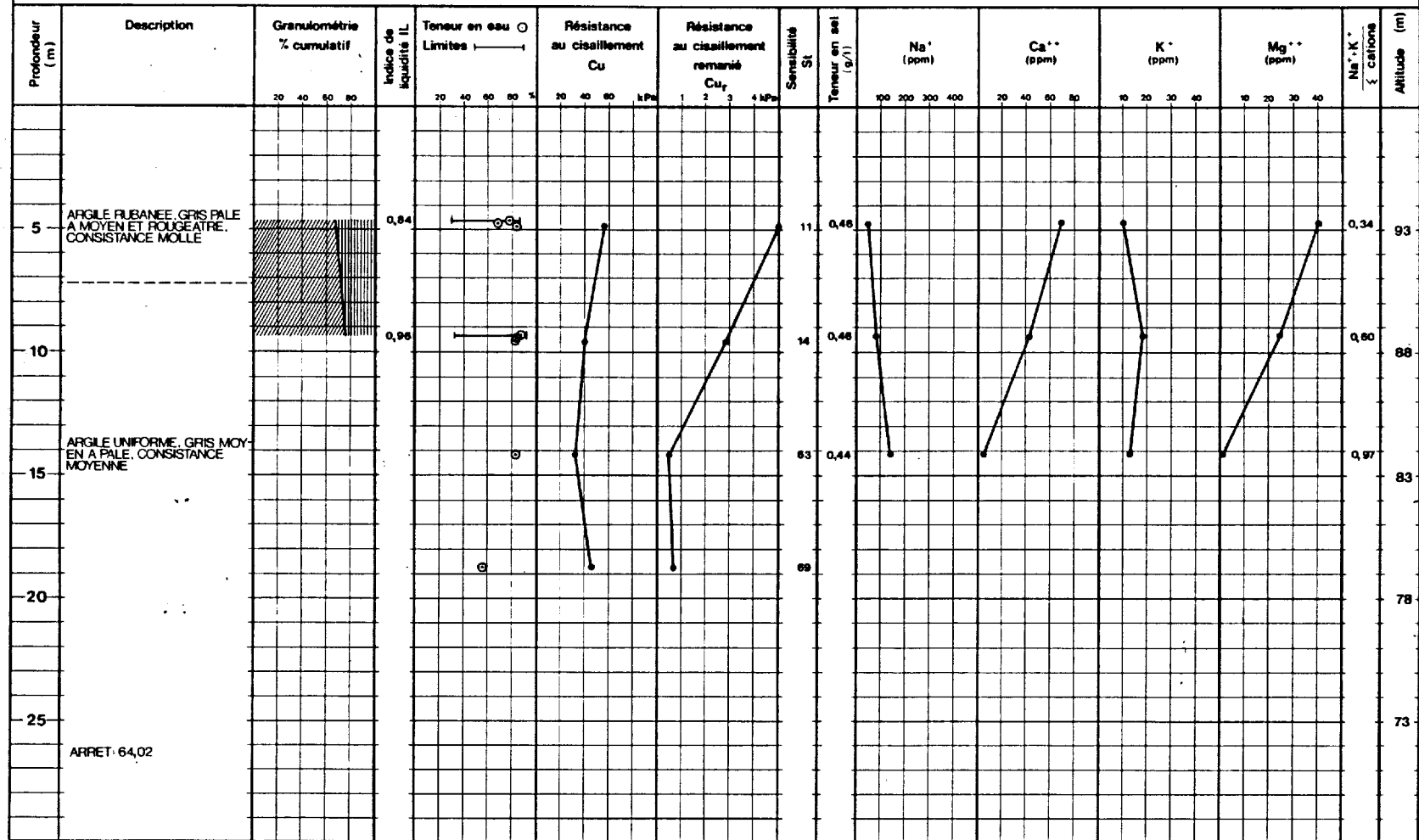
no d'identification: 8002151



# Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses

Provenance: Hull

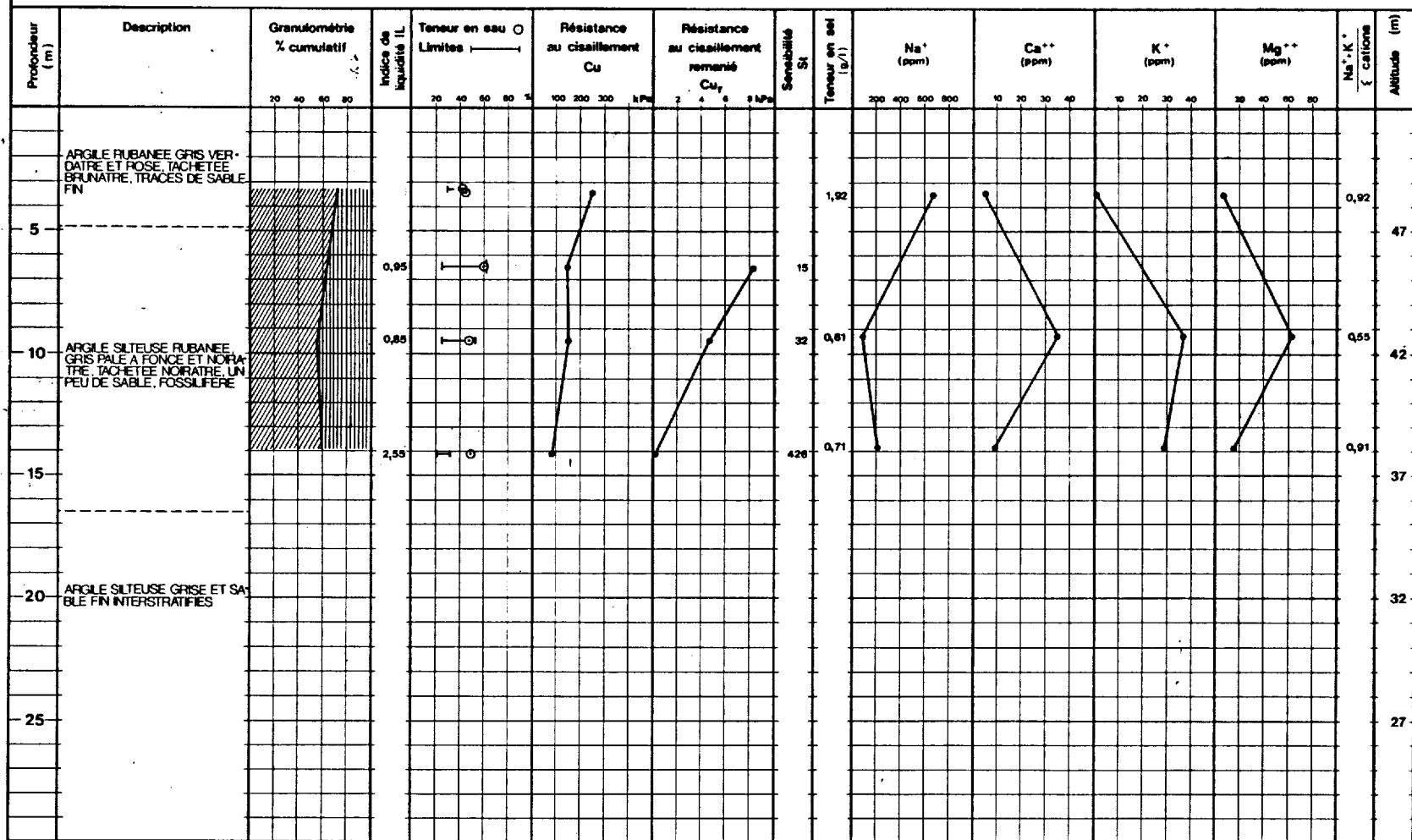
no d'identification: 8002152



# Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses

Provenance: Hull

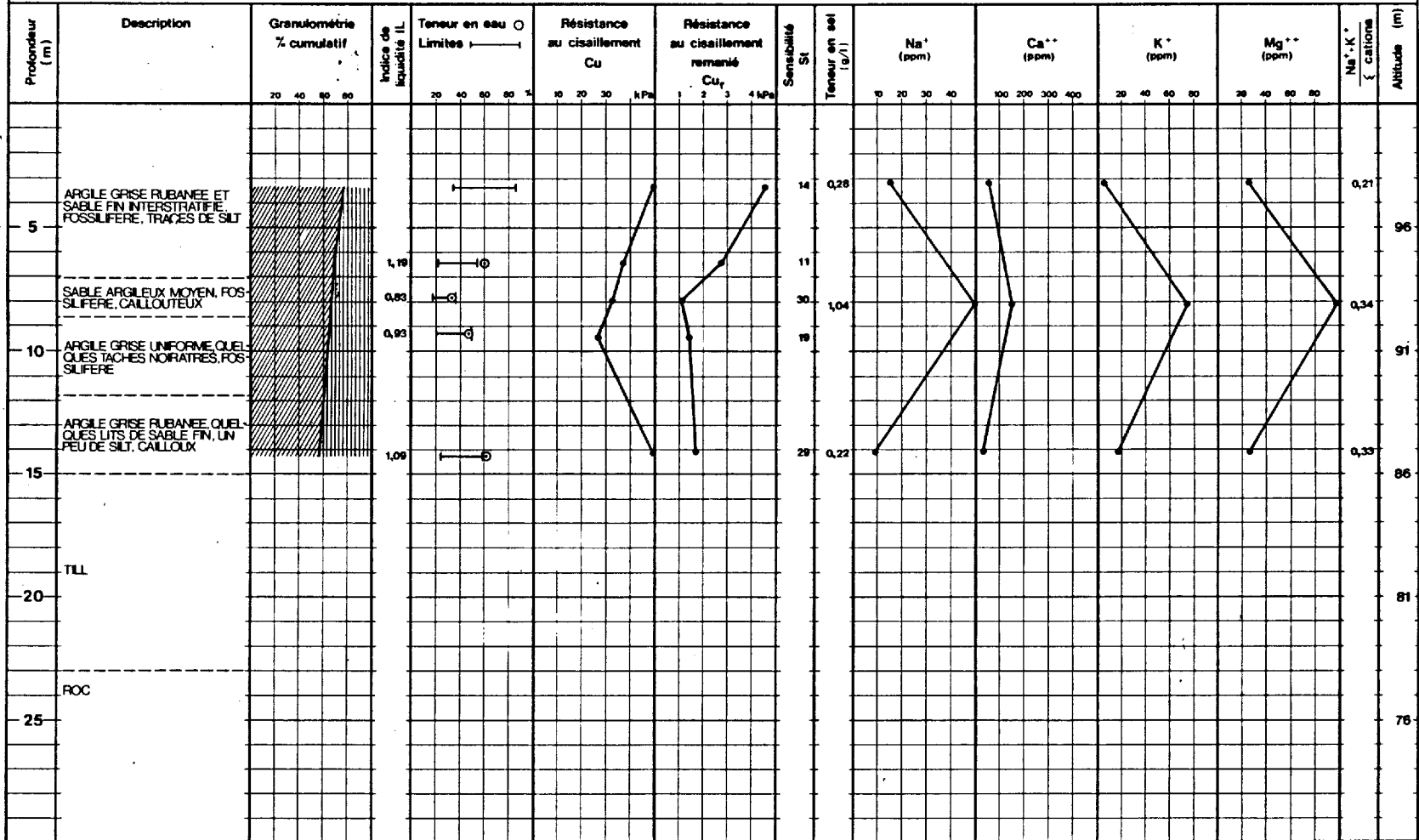
no d'identification: 8002153



## Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses

Provenance: Aylmer

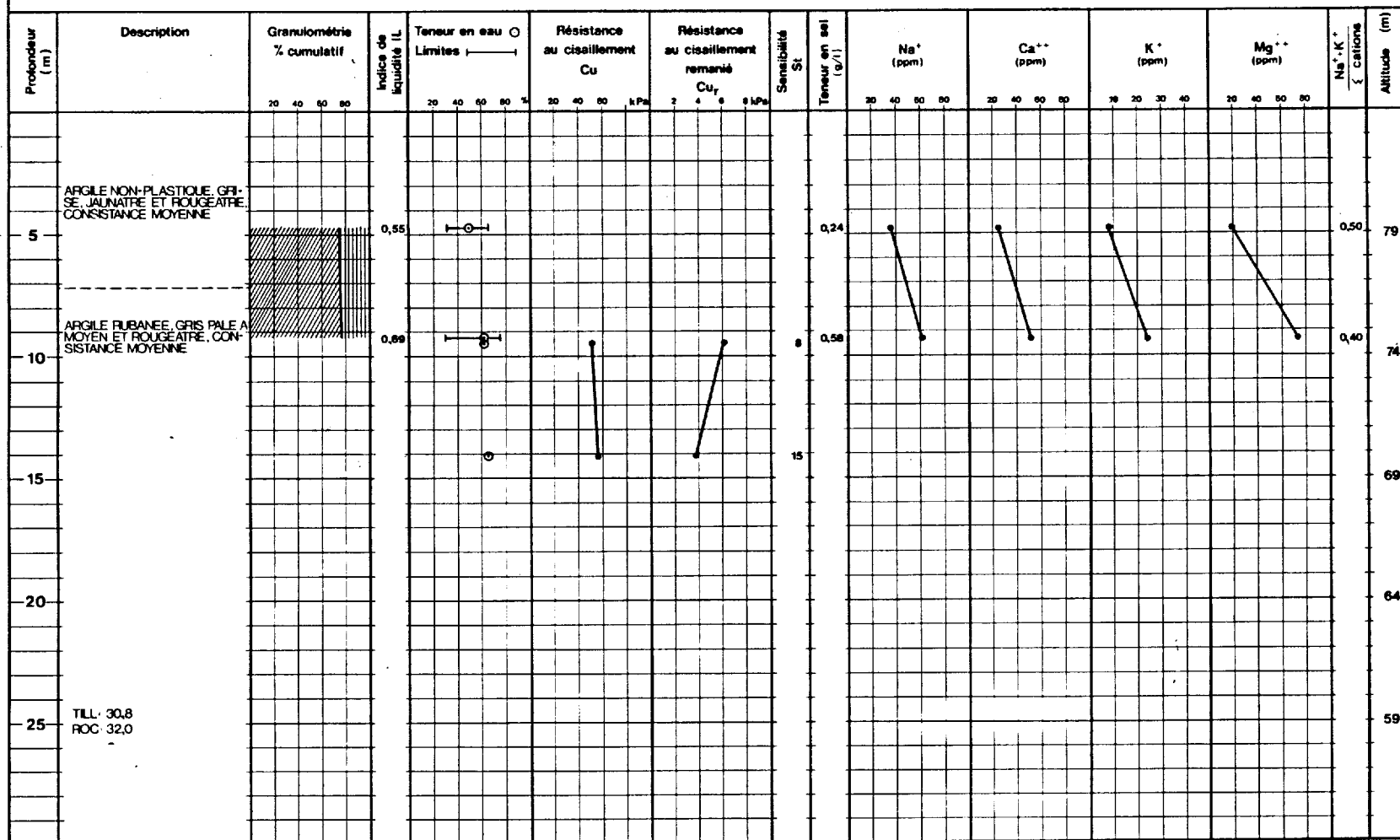
no d'identification: 8002154



# Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses

Provenance: Templeton

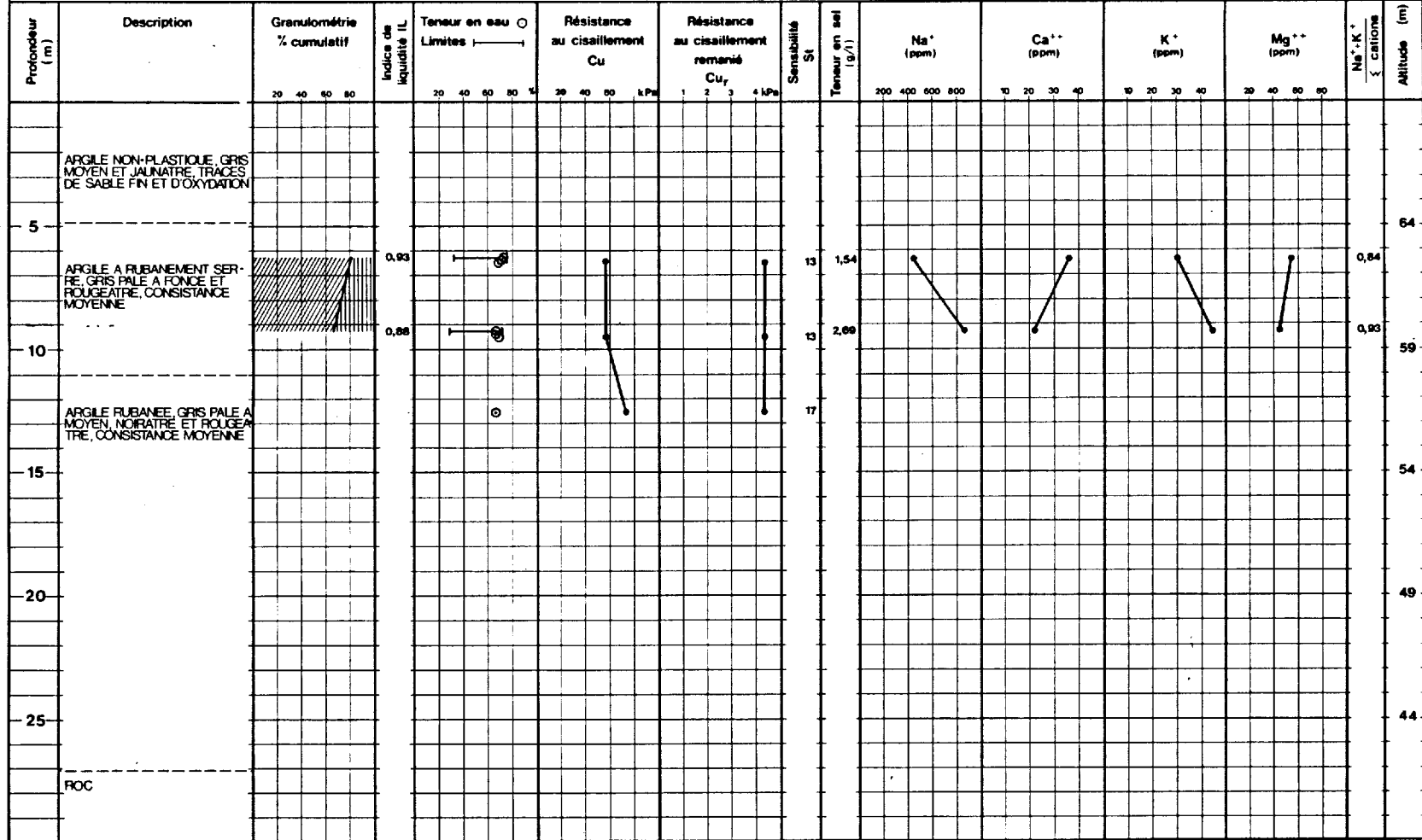
no d'identification: 8002155



## Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses

Provenance: Templeton

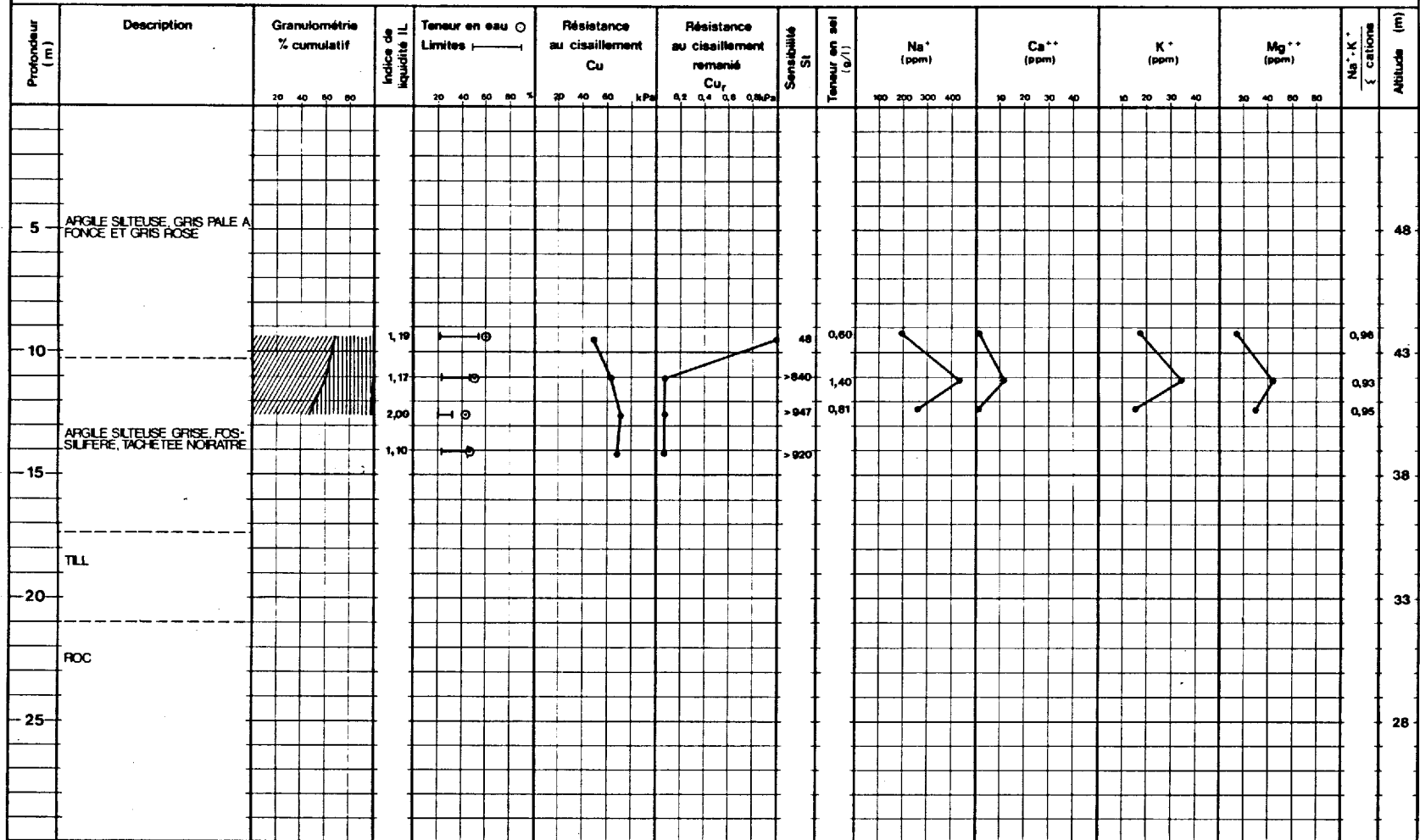
no d'identification: 8002156



## Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses

Provenance: Gatineau

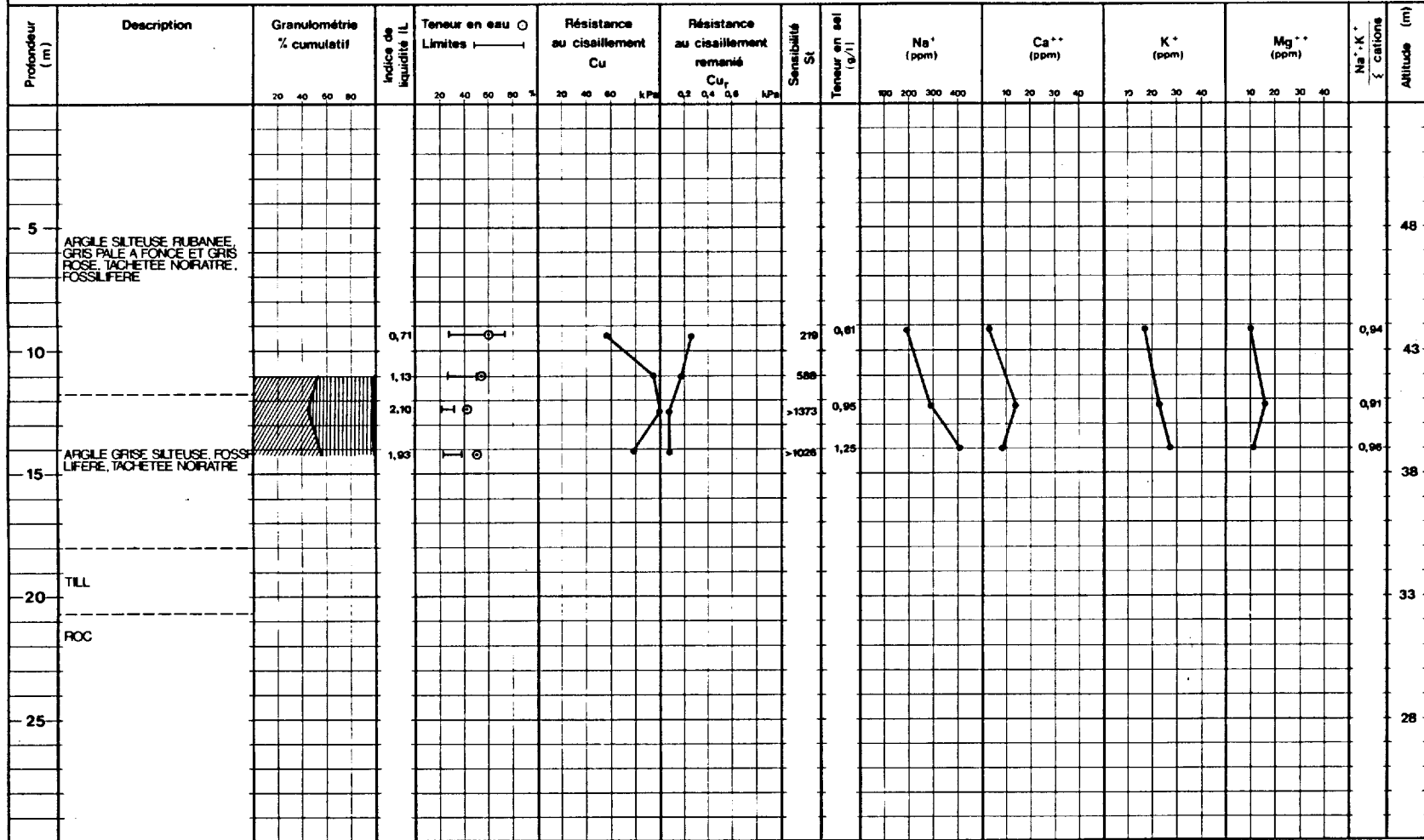
no d'identification: 8002157



Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses

Provenance: Gatineau

no d'identification: 8002158



# Laboratoire du Service de la Géotechnique — Résultats d'analyses

Provenance: Gatineau

no d'identification: 8002159

