

Étude de la formation des sédiments fins glacio-lacustres du lac Barlow-Ojibway : le site d'Olga, Matagami, Québec

Study on the formation of fine-grained glacio-lacustrine sediments of Lake Barlow-Ojibway: the Olga site, Matagami, Québec

Erforschung der Formation der feinen, glazialen Seesedimente des Barlow-Ojibway Sees: Olga-Gegend, Matagami, Québec

Jacques Locat et Guy Lefebvre

Volume 35, numéro 1, 1981

Quatrième Colloque sur le Quaternaire du Québec

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1000381ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/1000381ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

0705-7199 (imprimé)

1492-143X (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Locat, J. & Lefebvre, G. (1981). Étude de la formation des sédiments fins glacio-lacustres du lac Barlow-Ojibway : le site d'Olga, Matagami, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 35(1), 93-103. <https://doi.org/10.7202/1000381ar>

Résumé de l'article

Le site choisi est situé à moins de 10 km au nord-est de Matagami, Québec, sur le Territoire de la Baie-James. Cet article résume les principales informations géologiques obtenues et insiste sur l'analyse détaillée des sédiments fins. Au site de la digue d'essai d'Olga, le dépôt est constitué, à la base, d'un complexe de till et de sable et gravier fluvioglaciaux, d'un dépôt glacio-lacustre et lacustre comprenant une zone altérée au sommet recouvert d'une couche de matière organique. Le tout repose sur des roches métamorphiques et volcaniques de la province du Supérieur. Les sédiments fins glacio-lacustres comprennent des varves distales pouvant atteindre plus de 2,5 cm d'épaisseur à la base de la section. Les sédiments fins ont fait l'objet d'analyses minéralogiques et physico-chimiques détaillées. La minéralogie est dominée par les minéraux non phyllosilicatés et le complexe absorbant du sédiment est saturé en calcium. La teneur en eau moyenne varie de 53% à 74% dans les varves, mais peut atteindre 110% dans les couches foncées. La teneur en eau est légèrement au-dessus de la teneur en eau d'équilibre avec la pression des terres. L'étude illustre l'utilisation de l'épaisseur des couches et de la quantité de sédiments qu'elles contiennent dans l'analyse de la mise en place et du taux de sédimentation. Les taux de sédimentation et d'accumulation sont non linéaires dans le temps et ont varié, depuis le début de la formation du dépôt, de 2,7 cm/an à 0,8 cm/an et de 2,6 g/cm²/an à 0,7 g/cm²/an respectivement.

ÉTUDE DE LA FORMATION DES SÉDIMENTS FINS GLACIO-LACUSTRES DU LAC BARLOW-OJIBWAY : LE SITE D'OLGA, MATAGAMI, QUÉBEC

Jacques LOCAT* et Guy LEFEBVRE, Département de génie civil, université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec J1K 2R1.

RÉSUMÉ Le site choisi est situé à moins de 10 km au nord-est de Matagami, Québec, sur le Territoire de la Baie-James. Cet article résume les principales informations géologiques obtenues et insiste sur l'analyse détaillée des sédiments fins. Au site de la digue d'essai d'Olga, le dépôt est constitué, à la base, d'un complexe de till et de sable et gravier fluvio-glaciaires, d'un dépôt glacio-lacustre et lacustre comprenant une zone altérée au sommet recouvert d'une couche de matière organique. Le tout repose sur des roches métamorphiques et volcaniques de la province du Supérieur. Les sédiments fins glacio-lacustres comprennent des varves distales pouvant atteindre plus de 2,5 cm d'épaisseur à la base de la section. Les sédiments fins ont fait l'objet d'analyses minéralogiques et physico-chimiques détaillées. La minéralogie est dominée par les minéraux non phyllosilicatés et le complexe absorbant du sédiment est saturé en calcium. La teneur en eau moyenne varie de 53% à 74% dans les varves, mais peut atteindre 110% dans les couches foncées. La teneur en eau est légèrement au-dessus de la teneur en eau d'équilibre avec la pression des terres. L'étude illustre l'utilisation de l'épaisseur des couches et de la quantité de sédiments qu'elles contiennent dans l'analyse de la mise en place et du taux de sédimentation. Les taux de sédimentation et d'accumulation sont non linéaires dans le temps et ont varié, depuis le début de la formation du dépôt, de 2,7 cm/an à 0,8 cm/an et de 2,6 g/cm²/an à 0,7 g/cm²/an respectivement.

ABSTRACT *Study on the formation of fine-grained glacio-lacustrine sediments of Lake Barlow-Ojibway: the Olga site, Matagami, Québec.* The test site is located about 10 km northeast of the town of Matagami, Québec. This article summarizes the main geological information obtained and insists on the detailed analysis of the fine-grained sediments. At the Olga site the deposit consists of a complex of till and glaciofluvial sediments overlain by glaciolacustrine and lacustrine (partly weathered near the surface) deposits covered with a mantle of organic matter. All of these rest on the metamorphic and volcanic rocks of the Superior Province. The fine grained glaciolacustrine sediments consist of distal varves up to 2,5 cm thick at the base of the section. The fine grained sediments were the subject of detailed mineralogical and physico-chemical analyses. Non-phyllosilicate minerals are the major mineralogical constituents and the absorbing complex is saturated with calcium. The water content of the whole varve varies from 53% to 74% but can be as high as 110% in the dark layers. The water content of the sediment appears slightly higher than the equilibrium point with the earth pressure. The present study illustrates the use of sediment thickness and weight for each varve in the analysis of the sedimentation process. Sedimentation and accumulation rates were non-linear with respect to time and from the initiation of the sedimentation they varied respectively from 2,7 cm/yr to 0,8 cm/yr and 2,6 g/cm²/yr to 0,7 g/cm²/yr.

ZUSAMMENFASSUNG *Erforschung der Formation der feinen, glazialen Seesedimente des Barlow-Ojibway Sees: Olga-Gegend, Matagami, Québec.* Dieser Artikel beschreibt die wichtigsten erhaltenen geologischen Auskünfte der Gegend. In der Olga-Gegend bestehen die Ablagerungen aus Schichten von Till und glazio-fluvialen Sedimenten, gedeckt von glazialen Seesedimenten (halb verwittert an der Oberfläche), die von einer Schicht organischen Materials bedeckt sind. Alle ruhen auf metamorphischem und vulkanischem Gestein der Province des Supérieur. Die feinen glaziolacustrinen Sedimente bestehen aus distalen Warven, bis zu 2,5 cm dick an der Basis der Sektion. Die feinkörnigen Sedimente wurden durch mineralogische und physisch-chemische Analysen eingehend untersucht. Nicht-phyllosilikatische Mineralien sind die Hauptbausteine, die aufsaugenden Schichten sind von Calcium gesättigt. Der Wassergehalt der ganzen Warve schwankt zwischen 53% und 74%, kann aber in den dunklen Schichten bis zu 110% erreichen. Der Wassergehalt des Sediments erscheint ein wenig höher als der Gleichgewichtspunkt mit dem Bodendruck. Die Forschung illustriert den Gebrauch der Dicke der Schichten und die Quantität der Sedimente für jede Warve in der Analyse des Sedimentationsprozesses. Sedimentations- und Anhäufungsraten sind nicht linear in Bezug auf die Zeit; und seit dem Beginn der Sedimentation haben sie sich von 2,7 cm/Jahr auf 0,8 cm/J. und von 2,6g/cm²/J. auf 0,7g/cm²/J. geändert.

* Adresse actuelle : Département de géologie, université Laval, Sainte-Foy, Québec G1K 7P4.

INTRODUCTION

Depuis les travaux d'ANTEVS (1925) et surtout depuis les années quarante, le nord du Québec et de l'Ontario a connu un développement plus intensif lié surtout aux activités minière et forestière, nécessitant une connaissance accrue des argiles glacio-lacustres Barlow-Ojibway. Plus récemment, le développement proposé du complexe hydro-électrique des rivières Nottaway, Broadback et Rupert a permis d'intensifier l'étude de ces dépôts du côté québécois. Le site d'Olga (77°32' long. O, 49°16' lat. N), à moins de 10 km au nord-est de Matagami (fig. 1), a alors été sélectionné comme site pour la construction en 1971, de deux digues d'essais sur les argiles glacio-lacustres. Les matériaux de la première digue (A) furent accumulés jusqu'à la rupture de celle-ci, tandis que la deuxième digue (B) fut érigée pour permettre l'observation à long terme du comportement de la fondation argileuse. En 1976, l'université de Sherbrooke, en collaboration avec la Société d'énergie de la Baie James, a entrepris une étude intensive des caractéristiques mécaniques de la fondation argileuse. Les résultats présentés ici ont trait à l'étude détaillée des varves. Les travaux visent à évaluer le taux de sédimentation et à le discuter sur la base de l'étude du degré de consolidation et de la teneur en eau du sol. En premier lieu, les caractéristiques géologiques (e.g. stratigraphie, minéralogie et physico-chimie) des sédi-

ments seront présentées, et ce plus particulièrement pour les argiles glacio-lacustres. En deuxième lieu, les résultats de l'étude détaillée de la teneur en eau de sédiments varvés seront décrits dans la perspective de l'étude de la compressibilité et du taux de sédimentation. Ces travaux convergeront vers une étude des processus de formation des sédiments fins glacio-lacustres.

ANTEVS (1925) fut parmi un des premiers géologues à étudier en détail les sédiments glacio-lacustres de l'ancien lac Barlow-Ojibway. Plus récemment, BANERJEE (1973) a présenté une étude sédimentologique des sédiments de ce lac et KENNEY (1976) a présenté un résumé exhaustif des données connues sur la formation et les caractéristiques géotechniques des sédiments glacio-lacustres. De son côté, BALLIVY (1970) a fourni des données pertinentes sur la minéralogie et les propriétés géotechniques des argiles glacio-lacustres Barlow-Ojibway. Au site même d'Olga est rattachée une étude géotechnique (DASCAL *et al.*, 1972) de la fondation argileuse sous les deux digues d'essais. Quelques études régionales sont récemment venues fournir un cadre plus précis de la stratigraphie régionale; il s'agit entre autres de VINCENT (1971), SKINNER (1973), TREMBLAY (1974), HARDY (1976), CHAUVIN (1977) et DIONNE (1978).

MÉTHODES D'ANALYSE

La plupart des essais et des mesures effectués dans le cadre des travaux actuels se sont appuyés sur les techniques standard. Les échantillons ont été prélevés à l'aide d'un échantillonneur mis au point à l'université de Sherbrooke (LEFEBVRE et POULIN, 1979) qui permet l'extraction de cylindres de sol ou de tourbe d'environ 25 cm de diamètre sur 50 cm de hauteur. Dans le cas des mesures détaillées, un appareil spécial a permis une coupe de fines lamelles de sol de 1 mm ou plus d'épaisseur. La granulométrie détaillée a été réalisée à l'aide d'un appareil semblable à celui proposé par MOUM (1963) et qui permet l'analyse d'aussi peu que 1 g de sol. La préparation de l'échantillon était conforme à la norme ASTM D 422-63 à ceci près que le sol n'était pas séché au préalable. La surface spécifique a été déterminée à l'aide de l'essai au bleu de méthylène (CUILLE, 1976, TRAN NGOC LAN, 1980). L'analyse minéralogique quantitative a été faite selon la méthode de FOSCAL MELLA (1976) au laboratoire du Département de génie minéral de l'École polytechnique de Montréal. L'évaluation des amorphes a été effectuée selon la méthode dite de Ségalen (SÉGALEN, 1968) au laboratoire de minéralogie et géotechnique de l'I.N.S.A. de Rennes, France. Le dosage des bases échangeables a été réalisé au laboratoire du ministère de l'Agriculture du Québec à Sherbrooke.

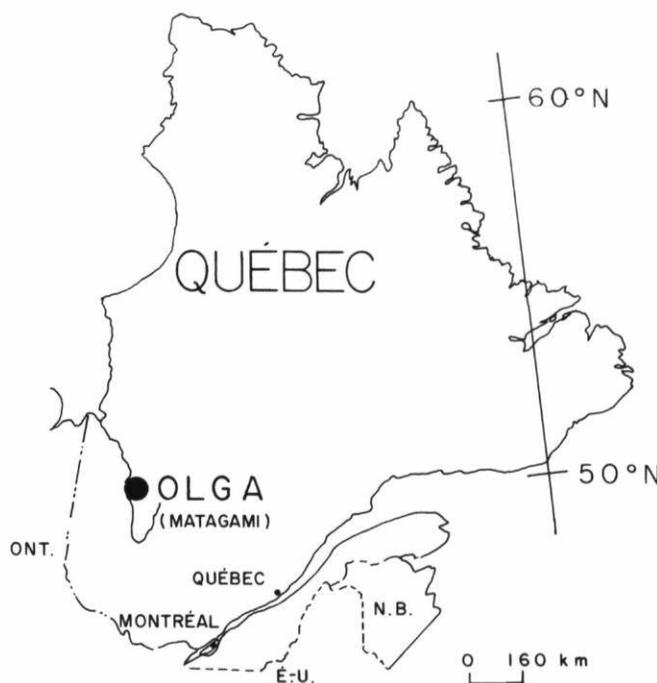


FIGURE 1. Le site d'Olga.
The Olga site.

GÉOLOGIE AU SITE D'OLGA

Le terrain avoisinant les digues d'essais se situe à 262 m d'altitude. La monotonie du paysage local constitué surtout de tourbières et de la plaine glacio-lacustre est brisée par le mont Laurier culminant à près de 466 m d'altitude. À moins de 5 km à l'ouest du site d'Olga coule la rivière Bell, sinueuse et peu encaissée (moins de 5 m). L'ensemble du réseau de drainage avoisinant est jeune et mal développé et se signale par la présence d'une multitude de lacs et de tourbières réticulées. Au nord du site, on retrouve le lac Matagami dans lequel se jettent la rivière Bell et à l'est le lac Olga d'où le site tire son nom.

Le socle rocheux de la région fait partie de la province du Supérieur et se compose principalement de roches méta-volcaniques et méta-sédimentaires (REMICK, 1969). Au droit des digues d'essais, à la base du dépôt, se retrouve un complexe de sédiments glaciaires et fluvio-glaciaires graveleux dont l'épaisseur peut atteindre 6 m. Du fluvio-glaciaire, on passe graduellement, vers le sommet, aux sédiments glacio-lacustres du lac Barlow-Ojibway, d'une puissance maximale d'environ 14 m et qui sont recouverts d'un manteau de matière organique en décomposition de moins de 1 m d'épaisseur. L'unité glacio-lacustre peut se subdiviser en trois sous-unités, sur la base de critères sédimentologiques. La première sous-unité se compose principalement de limon (4 m d'épaisseur au maximum); la deuxième, de limon et d'argile (9 à 10 m d'épaisseur au maximum) marquée par une diminution de l'épaisseur des varves vers le sommet et par une importance relative accrue des couches foncées. Finalement, la troisième sous-unité, de moins de 50 cm d'épaisseur, est non varvée et présente à sa base une faible concentration de galets. Des points de vue mécanique et physico-chimique, il existe une croûte d'altération de surface de moins de 3 m, mais qui ne semble pas avoir affecté la sous-unité lacustre de surface. Cette croûte de surface a d'ailleurs fait l'objet d'une étude sur le terrain (LEFEBVRE *et al.*, 1978), mais dont l'analyse dépasserait le cadre du présent travail. L'ensemble stratigraphique observé au site d'Olga corrobore celui de HARDY (1976) et de CHAUVIN (1977). Les études qui suivent se rapportent uniquement à l'unité glacio-lacustre et principalement à la deuxième sous-unité.

CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET PHYSIQUES DES SÉDIMENTS FINS

BALLIVY (1970) et BALLIVY *et al.*, (1971) ont présenté et examiné des données sur la minéralogie des argiles glacio-lacustres de Matagami. Dans l'ensemble, les résultats obtenus dans la présente étude viennent corroborer et compléter celles déjà existantes. Les résultats sont énumérés au tableau I.

TABLEAU I

Résumé des données minéralogiques et physico-chimiques des argiles d'Olga

% < 2 μ m	40-95
Limite liquide (%)	50-70
Indice de plasticité (%)	15-40
Teneur en eau (%)	44-110%
Surface spécifique (m ² /g)	48-81
Bases échangeables (m.e.q./100 g)	15-60
Somme des cations (m.e./100 g)	
K	0-1
Ca	10-52
Mg	2-5
Na	0-3
C.E.C.	10-44
Minéralogie globale (% poids):	
Quartz	11-26
Plagioclase	29-43
Microcline	10-13
Hornblende	8-11
Calcite	0-2
Dolomite	1-3
Illite (mica)	9-25
Chlorite	5-20
Amorphes:	
Silice	5,6
Alumine	3,0
Fer	1,7

Le sol analysé présente, de par son caractère varvé, une variation de la fraction argileuse de 40 à 95%. La finesse du matériau se reflète par diverses caractéristiques: limites de liquidité et de plasticité élevées, quantité relativement importante (25% par poids) de phyllosilicates. La minéralogie est dominée par les non phyllosilicatés tels que le quartz et le plagioclase, ce qui est typique des matériaux d'abrasion glaciaire (KARROW, 1961). L'illite et la chlorite composent la majeure partie des phyllosilicates. L'activité de surface des particules est importante avec une surface spécifique globale de 48 à 81 m²/g et une capacité d'échange cationique de l'ordre de 40 m.e.q./100 g. L'extraction d'amorphes à base de silice, d'alumine et de fer donne environ 15% de la masse totale du sédiment. Ces résultats représentent des valeurs optimales puisque la technique de Ségalen permet d'extraire à la fois les gels d'amorphes de même que les zones amorphisées des particules ayant subi une altération ou des pressions importantes (LE RIBAUT, 1977) et peut même permettre de dissoudre en partie certains minéraux (BENTLEY, 1980).

Les caractéristiques purement physiques d'un sol peuvent inclure plusieurs aspects tels que la dimension des particules, leurs formes et leurs arrangements, de même que le volume relatif des pores et donc de la quantité d'eau qui peut s'y loger. Les structures sédi-

mentaires telles que les micro-failles ou les varves pourraient aussi être considérées. Le présent travail se limite à l'étude, au niveau des varves, de la granulométrie, de la teneur en eau et de l'épaisseur des couches. L'équilibre du milieu poreux avec la pression ambiante est abordé subséquemment. L'étude a été effectuée sur deux sites de forage : OLC et OL-105 (fig. 2).

Tel qu'illustrée par EDEN (1955), DELORY (1961), CHAN et KENNEY (1973) et d'autres, la mesure détaillée de la teneur en eau des varves permet une visualisation

directe de la variabilité interne des couches pâles et foncées de même que de leur épaisseur absolue. Les critères de mesure de l'épaisseur des couches et de la teneur en eau moyenne sont illustrés à la figure 3. Les données recueillies pour chacun des échantillons analysés sont regroupées aux tableaux II et III. La figure 4 compare les résultats obtenus pour les échantillons prélevés à 2,3 et 6,5 m sous la surface du sol. À moins de 2 m sous la surface, la teneur en eau moyenne des couches pâles et foncées est respectivement de 85% et 95%. Aux profondeurs maximales étudiées, l'écart est de loin supérieur, soit de 40% à 110%. L'allure des profils de teneurs en eau dans les varves illustrés aux figures 3 et 4 indique aussi que le passage du pôle grossier au pôle fin est graduel, alors que dans le sens inverse le changement est abrupt, reflétant possiblement l'apport rapide de sédiments.

Du point de vue granulométrique, les sédiments glacio-lacustres contiennent tout l'éventail possible : des blocs jusqu'aux argiles fines. Au niveau des varves étudiées, l'épaisseur relative des couches pâles par rapport au couches foncées diminue vers le sommet et, ainsi, la proportion de la fraction argileuse augmente donc d'autant. Comme l'indiquent les mesures, l'épaisseur des couches foncées est soit égale ou supérieure à celle des couches pâles, ce qui est typique des varves distales (BANERJEE, 1973). Afin d'évaluer la variation granulométrique au niveau des couches, la méthode proposée par MOUM (1963) fut utilisée. La figure 5 montre un profil de teneur en eau et la fraction argileuse ($< 2 \mu\text{m}$) obtenue sur des échantillons pris en

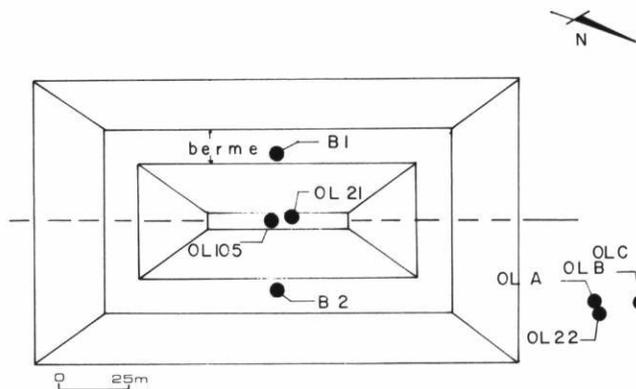


FIGURE 2. Localisation des forages de la digue Olga B.
Location of boreholes at the Olga B dyke.

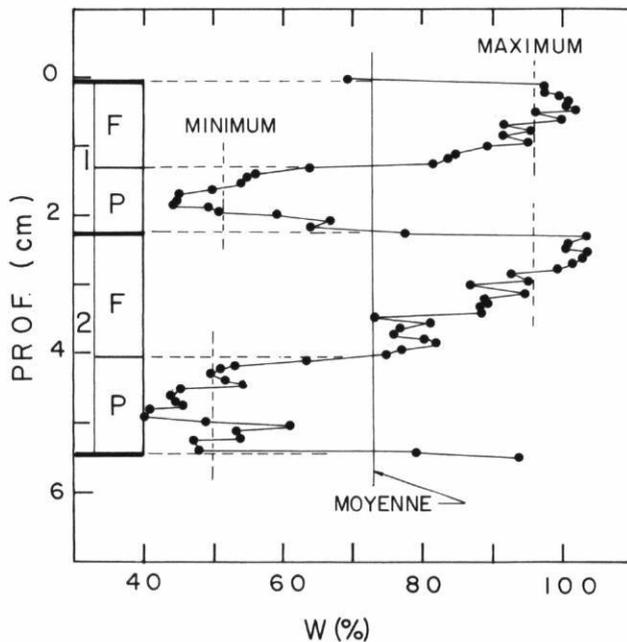


FIGURE 3. Méthode de mesure des paramètres d'épaisseur et de teneur en eau des varves (P : couche pâle ; F : couche foncée).
Method of measurement of thickness and water content parameters of varves (P : light layer ; F : dark layer).

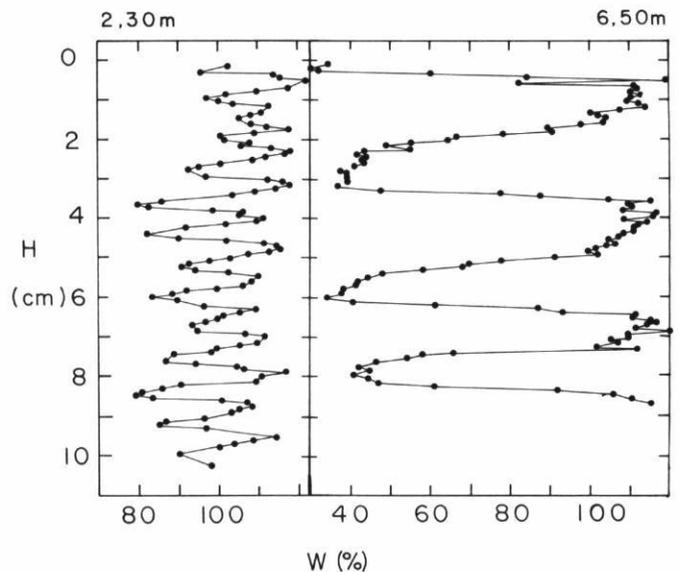


FIGURE 4. Exemple de profils de teneurs en eau au site de forage OLC pour les échantillons 01A et 11A (cf. tabl. I).
Examples of water content profiles at borehole OLC for samples 01A and 11A (Table I).

TABLEAU II

Sommaire des résultats de la mesure détaillée de la teneur en eau d'échantillons varvés du site de forage OLC à Olga (les profondeurs correspondent au sommet des échantillons)

Prof. (m)	Échant. n°	N° varve	Mesures sur les varves						Échant. total		W _{sp} g/cm ²	W _{sf} g/cm ²	W _{sv} g/cm ²	W _{sp} /W _{sf}	H _p /H _f	N
			H (cm)		W (%)				W (%)							
			P	F	min.	max.	P	F	varv.	cont.						
2,30	01A	12	0,4	0,4	70,3	93,8	72,7	91,2	80,8	80,1	0,38	0,31	0,69	1,23	1,0	117
3,30	03C	6	0,4	0,6	84,4	93,6	83,1	95,0	88,3	—	0,34	0,46	0,81	0,74	0,7	126
3,70	04A	2	0,7	0,7	63,0	99,8	69,2	96,3	85,0	87,0	0,66	0,53	1,16	1,24	1,0	117
3,82	04B	5	0,6	0,6	74,9	102,4	76,7	101,5	89,8	—	0,53	0,44	0,95	1,21	1,0	79
3,94	04C	11	0,5	0,6	74,0	119,2	81,3	109,7	95,4	—	0,43	0,41	0,84	1,05	0,8	318
4,70	06B	1	1,0	1,0	103,8	65,3	97,4	97,4	83,0	87,1	0,99	0,75	1,68	1,32	1,0	152
5,50	08A	4	1,0	1,1	55,9	102,0	61,4	95,0	79,4	81,4	1,02	0,84	1,82	1,21	0,9	122
5,97	09C	4	1,0	1,1	43,1	100,3	51,5	95,1	73,1	71,1	1,14	0,84	1,93	1,36	0,9	142
6,50	11A	3	1,1	1,5	37,0	118,5	43,9	107,3	73,0	64,0	1,37	1,05	2,39	1,31	0,7	135

P: couche pâle; F: couche foncée; H: épaisseur; cont.: teneur en eau d'une tranche de sol obtenue sur toute la hauteur de l'échantillon, W_{sp}: poids sec de la couche pâle; W_{sf}: poids sec de la couche foncée; W_{sv}: poids sec de la varve entière; N: nombre de teneurs en eau mesurées.

TABLEAU III

Sommaire des résultats de la mesure détaillée de la teneur en eau d'échantillons varvés du site de forage OL-105 à Olga (les profondeurs correspondent aux sommets des échantillons)

Prof. (m)	Échant. n°	N° varve	Mesures sur les varves						Échant. total		W _{sp} g/cm ²	W _{sf} g/cm ²	W _{sv} g/cm ²	W _{sp} /W _{sf}	H _p /H _f	N
			H (cm)		W (%)				W (%)							
			P	F	min.	max.	P	F	varv.	cont.						
3,67	04-4	8	0,4	0,4	68,4	78,4	69,4	77,6	74,1	—	0,38	0,35	0,73	1,09	1,0	109
4,70	02-1	4	0,6	0,5	63,0	85,9	65,5	83,1	73,8	72,1	0,59	0,49	1,00	1,20	1,2	73
5,80	07-2	6	0,7	0,8	47,0	94,3	53,6	86,5	70,0	70,0	0,84	0,61	1,41	1,38	0,9	119
6,05	07-4	4	1,2	0,7	55,4	87,9	58,8	85,5	72,3	63,5	1,26	0,56	1,75	2,25	1,7	85
6,55	08-4	3	1,4	1,3	35,2	84,5	41,6	73,3	56,0	61,0	1,80	1,19	2,93	1,51	1,1	114
7,42	09-2	4	1,1	1,2	24,3	85,8	28,7	79,1	53,2	—	1,69	1,04	2,57	1,63	0,9	65

alternance. Pour l'exemple illustrée à la figure 5, la fraction argileuse passe de 50% à près de 95% pour les couches pâles et foncées respectivement.

À partir des mesures de teneur en eau effectuées dans le cadre des études géotechniques sur le site de forage OLC et des résultats actuels, il a été possible d'élaborer le profil de teneur en eau de l'ensemble de la formation glacio-lacustre (fig. 6). À l'aide des critères de mesure de l'épaisseur des couches pâles et foncées présentés à la figure 3, la répartition de l'épaisseur des couches en fonction de la profondeur a pu être établie (fig. 7). Ces profils montrent que, pour les niveaux considérés, la teneur en eau moyenne des varves se maintient entre 60 et 80%, alors que dans les couches fon-

cées la teneur en eau peut atteindre près de 110%. Un tel écart suggère une compressibilité plus grande des couches foncées que des couches pâles. Le profil de teneur en eau indique aussi que dans l'ensemble la teneur en eau augmente dans les couches pâles de la base au sommet, alors qu'elle se maintient à près de 100% dans les couches foncées.

La variation importante des teneurs en eau entre les couches pâles et foncées est reliée à l'équilibre qui s'établit entre les pressions inter-granulaires existant dans le dépôt et la porosité du sol, équilibre qui varie selon la granulométrie du sédiment. Dans les sols très compressibles, la porosité, et donc la quantité de sédiments par unité de volume, pourra varier de façon importante

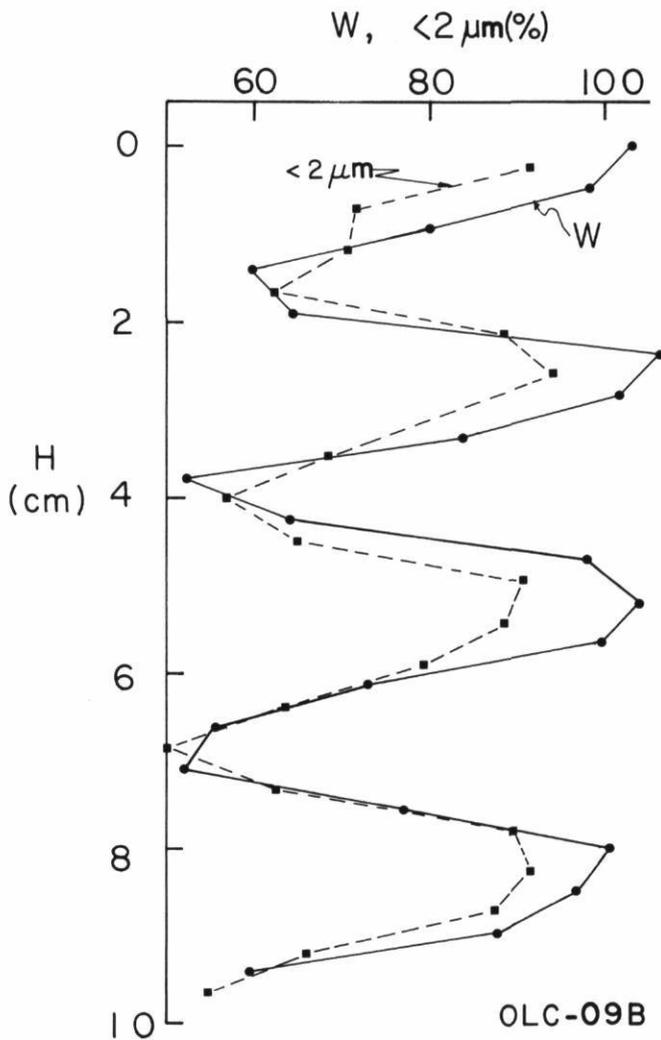


FIGURE 5. Profil détaillé de la teneur en eau en alternance avec la fraction argileuse du sol (échantillon à la profondeur 5,7 m).

Detailed profile of alternating water content and clay content (sample from 5,7 m deep).

avec la profondeur, remettant ainsi en question l'évaluation du taux de sédimentation basé uniquement sur des données d'épaisseurs (e.g. épaisseur des varves).

CONSOLIDATION ET TAUX DE SÉDIMENTATION

Dès qu'il y a déposition des particules ou agrégats de sol, le processus de consolidation débute. Le processus de consolidation et de tassement comprend l'expulsion de l'eau des pores du sol au fur et à mesure de la diminution de la porosité « n » liée à l'enfouissement du sédiment. Les varves étudiées au site d'Olga correspondent à une accumulation cyclique de sédiments qui est possiblement annuelle (DE GEER, 1940 ; TERASMAE, 1963). Avec le temps, le sol atteindra un équilibre avec la

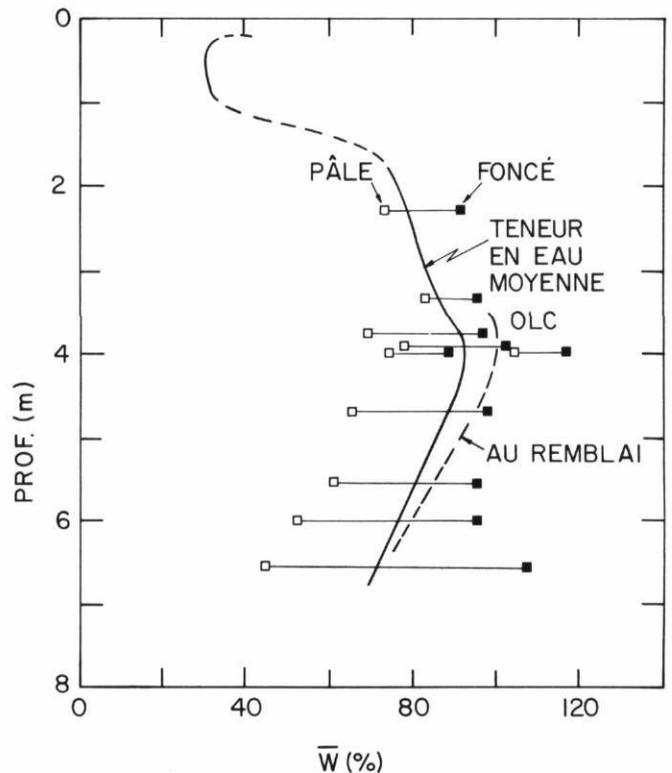


FIGURE 6. Profil de la teneur en eau au site d'Olga (la teneur en eau au remblai provient de données obtenues au centre de la digue avant son érection).

Water content profile at the Olga site (the water content profile at the dyke is taken from data obtained at the centre of the dyke before construction).

pression ambiante. Toutefois, des phénomènes physico-chimiques se produisant lors de la sédimentation ou peu de temps après, tels que la thixotropie et la cimentation, pourraient partiellement prévenir la diminution de la porosité (DENISSOV, 1965). Dans le cas de sédiments varvés, la compacité atteinte pourra être illustrée par l'épaisseur des varves. Pour un sédiment homogène, la teneur en eau devrait diminuer graduellement avec la profondeur au fur et à mesure de l'enfouissement et donc de l'augmentation de la pression. En mécanique des sols, l'importance des pores est généralement quantifiée en termes d'indice des vides « e » ou de teneur en eau « w », propriétés souvent reliées l'une à l'autre :

$$e = \frac{n}{1 - n} \tag{1}$$

$$e = wS\gamma_s \tag{2}$$

où S = saturation
 γ_s = densité des solides (2,8 à Olga)

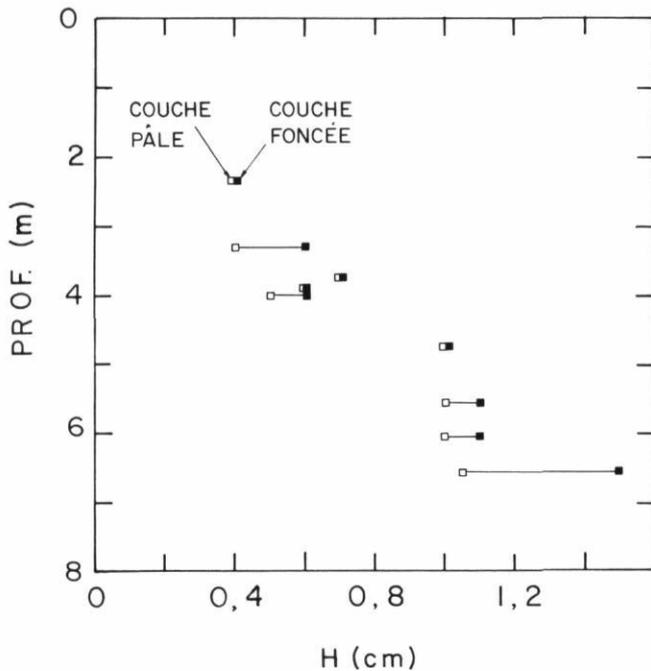


FIGURE 7. Épaisseurs des couches pâles et foncées au site de forage OLC.

Thicknesses of light and dark layers at borehole OLC.

RICHARDS (1976), dans ses travaux sur les sédiments marins de la Baltique, a montré qu'il existait une relation entre l'indice des vides et la profondeur, donc la pression (fig. 8). La courbe en trait continu de la figure 8 représente l'estimation à partir d'un échantillon prélevé à 10 m de profondeur (RICHARDS, 1976). L'essai œdométrique permet la simulation du phénomène de consolidation. Le même type d'essai réalisé sur un matériau artificiellement sédimenté en laboratoire permet d'obtenir une courbe d'équilibre entre la pression et l'indice des vides. De tels essais ont été réalisés sur des échantillons intacts et sédimentés artificiellement dont un exemple est présenté à la figure 9. L'échantillon analysé provient d'une profondeur de 4,5 m et l'échantillon sédimenté le fut dans une eau ayant une salinité, mesurée par conductivité électrique, de 0,2 g/L, alors que la salinité mesurée sur le sol intact est de 0,4 g/L. Sur la figure 9, la flèche indique le point sur la courbe du sol intact qui correspond à l'indice des vides et à la pression existant à 4,5 m de profondeur. Si on admet que la courbe de consolidation obtenue en laboratoire représente les conditions d'équilibre entre l'indice des vides et la pression, le sol intact apparaît alors comme étant légèrement au-dessus de son point d'équilibre. À l'analyse des figures 8 et 9, il apparaît clairement qu'avec l'augmentation de la pression causée par un enfouissement graduel, l'indice des vides diminue sensiblement. Ainsi pour le sol analysé à la figure 9, prélevé à 4,5 m

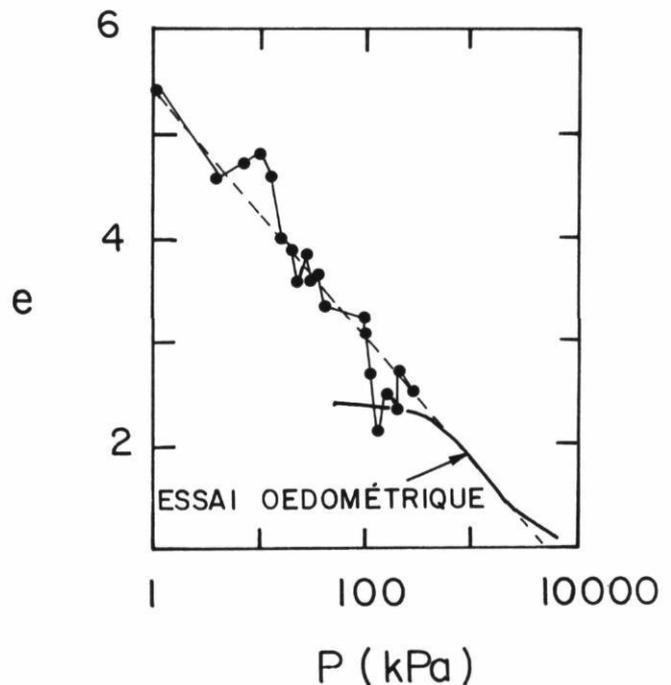


FIGURE 8. Indice des vides et pression d'enfouissement pour le bassin de Djuprenna près d'Oslo établis à partir de données de teneur en eau et de consolidation (d'après RICHARDS, 1976).

Void ratio and burial pressure for the Djuprenna Basin near Oslo obtained from water content and consolidation data (from RICHARDS, 1976).

de profondeur, l'indice des vides est de 2,5; pour un enfouissement subséquent à une profondeur de 50 m ($p \approx 750$ kPa), l'indice des vides ne serait plus que de 1,2 soit une diminution de plus de 50%. Donc, la même varve, dont l'indice des vides est initialement de 2,5, serait deux fois plus mince à 50 m de profondeur. Ainsi, un taux de sédimentation calculé uniquement à partir de l'épaisseur d'un dépôt ou sur l'épaisseur relative des varves risque de provoquer certaines erreurs.

Tel qu'invoké auparavant, l'épaisseur des varves diminuera sensiblement avec l'enfouissement, et ce, surtout pour les varves argileuses, plus compressibles. Le taux de sédimentation est habituellement donné en cm/an ou mm/an. Dans le cas de sédiments fortement consolidés (ou enfouis), cette technique peut s'avérer adéquate. Pour des sédiments jeunes et encore très compressibles comme ceux d'Olga, et voire même des argiles post-glaciaires en général, cette technique pose des problèmes d'interprétation. ATHY (1930), de même que ROBBINS et EDGINGTON (1975) ont tenu compte de la présence de l'eau en appliquant au taux de sédimentation, toujours exprimé par les unités LT^{-1} (L = hauteur, T = temps), une correction tenant compte de la porosité. La quantité de sédiment (poids sec, W_s)

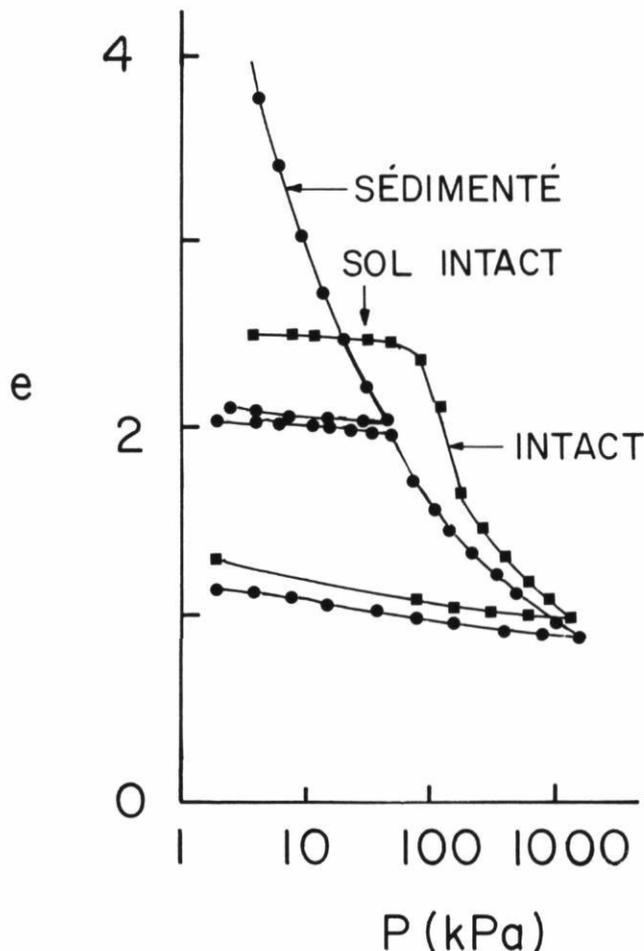


FIGURE 9. Courbes d'essais œdométriques obtenues pour des échantillons du site d'Olga à l'état intact et resédimenté.

Oedometer curves obtained on samples from Olga in both intact and re-sedimented states.

déposé durant la période de temps considérée (habituellement 1 an) ne change pas pendant la diagénèse. En considérant les varves comme annuelles, il ne reste plus qu'à calculer la quantité de sol sec compris à l'intérieur de chacune des varves.

La concentration «c» de sédiment dans une varve peut se calculer comme suit :

$$c = W_s / V_T \quad (3)$$

où V_T = volume total du sol humide
 c = concentration, g/cm³

Le volume total du sol peut se subdiviser en trois composantes : eau, sol, air ; alors :

$$c = \frac{W_s}{\frac{W_w}{\gamma_w} + \frac{W_s}{\gamma_s} + \frac{W_A}{\gamma_A}} \quad (4)$$

où W_w, γ_w = poids et densité de l'eau
 W_A, γ_A = poids et densité de l'air
 W_s, γ_s = poids et densité des particules

Pour un sol saturé, ce qui est le cas à Olga sous le niveau de la nappe phréatique, $W_A / \gamma_A = 0$. À partir de la définition de la teneur en eau «w» ($w = W_w / W_s$), l'équation n° 4 peut se réécrire de la façon suivante pour un sol saturé à 100% :

$$c = \frac{\gamma_s}{W \gamma_s + 1} \quad (5)$$

Donc, à partir de la teneur en eau et de la densité des solides, il est possible de calculer la concentration de sédiments. Ce que l'on cherche à connaître est le poids sec W_s compris dans un volume donné :

$$W_s = c * V_T \quad (6)$$

En utilisant l'unité sédimentaire que constitue une varve et en considérant une surface unitaire de 1 cm², il devient possible de mesurer V_T à partir uniquement de l'épaisseur de la varve (H_v) ou des deux couches (H_f, H_p ; fig. 10). Ainsi le poids sec par varve, W_{sv} évalué pour une surface unitaire de 1 cm², sera :

$$W_{sv} = c_f H_f + c_p H_p \quad (7)$$

où c_f = concentration dans la couche foncée
 c_p = concentration dans la couche pâle
 H_f = hauteur de la couche foncée
 H_p = hauteur de la couche pâle

Pour simplifier, il est possible de ne considérer que la teneur en eau moyenne de la varve ; l'équation (7) devient donc :

$$W_s = c_v * H_t \quad (8)$$

où c_v = concentration dans la varve
 H_t = hauteur totale de la varve

La valeur moyenne de γ_s à Olga est de 2,76. Les résultats obtenus en utilisant l'équation n° 8 sont inscrits aux tableaux II et III. La répartition des valeurs de W_{sv} en fonction de la profondeur est illustrée à la figure 11. Si l'on admet que la varve correspond à une période d'une année, le poids sec ainsi mesuré correspond au poids s'accumulant sur une surface de 1 cm² en une année. Le rapport du poids sec de la couche pâle (W_{sp}) sur le poids sec de la couche foncée (W_{sf}) augmente graduellement avec la profondeur (fig. 12).

Les figures 11 et 12 illustrent aussi la distribution des valeurs de H_t et du rapport H_p / H_f en fonction de la profondeur «Z». Puisque W_{sv} est une fonction de H_t et donc de H_p et H_f , les profils de la figure 11 sont assez semblables. Toutefois, les valeurs obtenues pour W_{sv} permettent d'évaluer la correspondance possible entre les deux sites de forage. À première vue, il semble que les couches de OLC et de OL-105 ne correspondent pas et que l'on puisse difficilement faire de comparaison

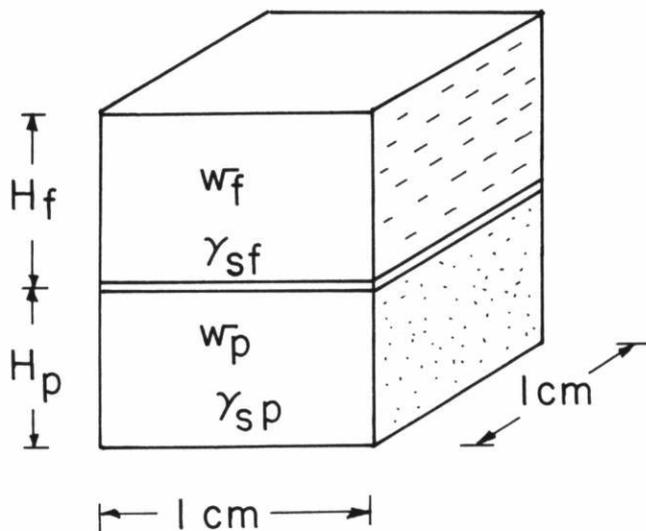


FIGURE 10. Illustration des paramètres utilisés pour le calcul du poids sec de chaque couche (voir le texte pour symboles).

Illustration of the parameters used to calculate the dry weight of each layer (see text for symbols explanation).

absolue entre deux mêmes niveaux. Toutefois, si l'ensemble des deux profils de W_s est représentatif, il indiquerait une fraction argileuse relativement plus importante en allant de OLC vers OL-105. Ceci pourrait en partie expliquer la teneur en eau généralement supérieure des sédiments sous le remblai (fig. 6). Le rapport W_{sp}/W_{st} (fig. 12) étant à peu près le même aux deux endroits, la possibilité de corrélation entre les deux sites de forage est d'autant plus plausible.

En terme d'épaisseur totale des varves, l'écart illustré à la figure 11 entre les valeurs de H_i aux deux sites de forage ne peut être complètement dû à l'accroissement des pressions au site de OL-105; il est possible que les couches soient plus minces ou encore, la granulométrie étant plus fine et la teneur en eau plus élevée, que les couches sous la digue soient plus compressibles. Toutefois, l'écart entre le rapport H_p/H_f des sites de forage OLC et OL-105 (fig. 12) est à peu près constant. Avant la construction de la digue, la teneur en eau au droit du trou de forage OL-105 était légèrement supérieure à celle du trou de forage OLC. Comme la valeur de W_{sv} au site de forage OL-105 est plus faible qu'au site de forage OLC et que les rapports W_{sp}/W_{st} sont à peu près les mêmes aux deux sites, le rapport H_p/H_f au site de OL-105 aurait dû être à peu près le même mais probablement pas supérieur à celui de OLC. Après la construction de la digue, on observe que le rapport H_p/H_f au site OL-105 est supérieur à celui du site de forage OLC. Ceci appuie l'hypothèse voulant que les couches argileuses surtout (ou foncées) se soient relativement davantage comprimées.

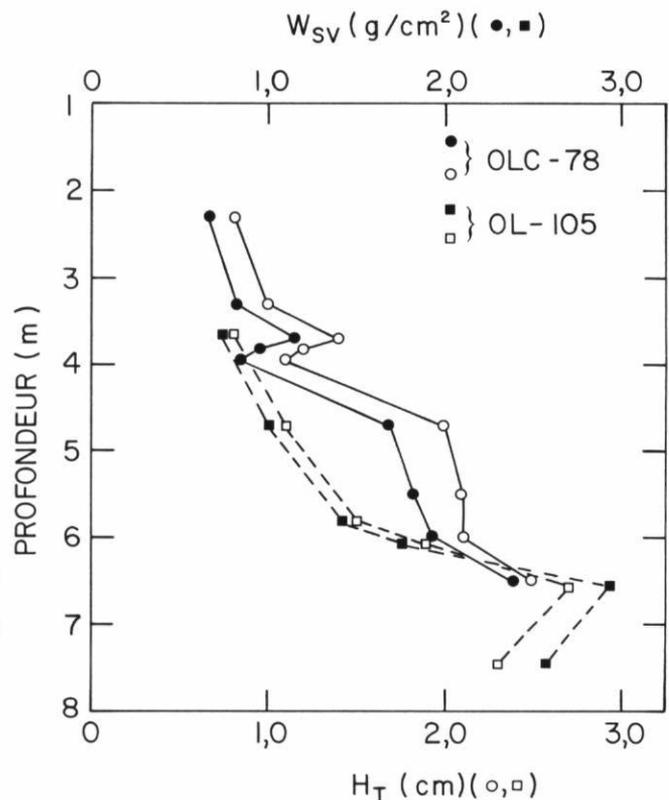


FIGURE 11. Profil illustrant la variation du poids sec pour chacune des varves (W_{sv}) et de l'épaisseur des varves (H_T) en fonction de la profondeur au site d'Olga.

Profile showing the variation of the dry weight per varve (W_{sv}) and the thickness of varve (H_T) as a function of depth at the Olga site.

DISCUSSIONS

NATURE DES VARVES

Cette recherche a permis l'étude détaillée des varves tant du point de vue de la teneur en eau que celui de la granulométrie. La technique de détermination de l'épaisseur des couches pâles et foncées est plus imprécise pour des varves de faible épaisseur (moins de 0,5 cm). À l'intérieur d'une même couche, on note des oscillations mineures indiquant l'irrégularité de l'apport de sédiments et de leur mise en place. À partir de l'observation de l'épaisseur relative des couches pâles et foncées, il appert que les varves sont généralement distales (fig. 7). Toutefois, du point de vue de la quantité de sédiments, le poids de sol contenu dans les couches pâles est habituellement plus important (fig. 12). Le passage du pôle pâle au pôle foncé est graduel, alors que dans le sens inverse le changement est brusque. Ceci dénote l'accumulation rapide de la fraction grossière, alors que la fraction fine s'accumule subséquentement et plus lentement.

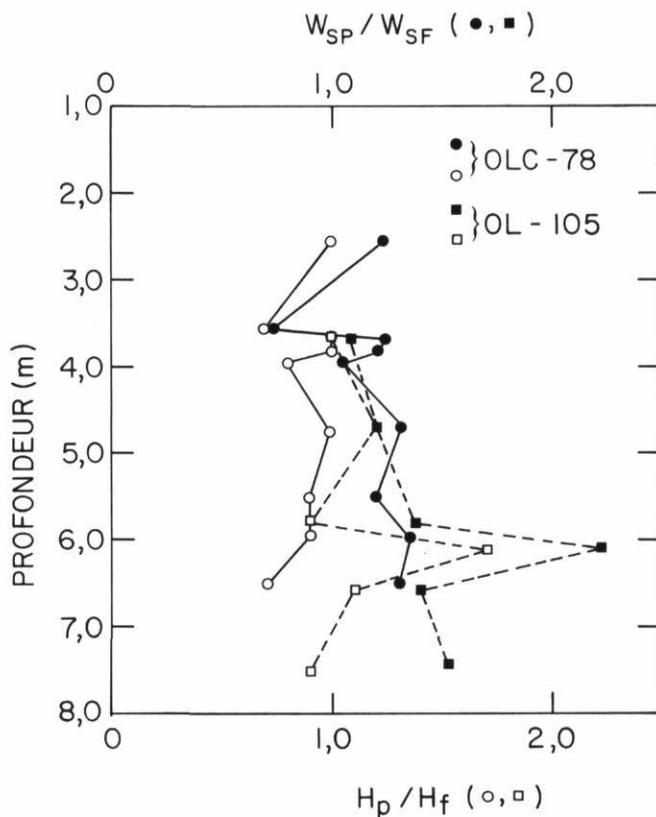


FIGURE 12. Rapports des poids secs des couches d'une varve (W_{sp}/W_{sf}) et des épaisseurs des couches (H_p/H_f) en fonction de la profondeur au site d'Olga.

Ratios of dry weight of varve layers (W_{sp}/W_{sf}) and of layer thickness (H_p/H_f) as a function of depth at the Olga site.

La quantité de sédiments compris dans chaque varve augmente avec la profondeur (fig. 11) en même temps que le rapport W_{sp}/W_{sf} (fig. 12). Au moins deux facteurs peuvent influencer la quantité de sédiments et le rapport W_{sp}/W_{sf} : la distance du point d'entrée des sédiments dans le lac et la quantité qui s'y présente. L'impact de ces deux facteurs ne pourrait être complètement évalué qu'à partir de profils, tels que ceux illustrés aux figures 11 et 12, établis à différents endroits à partir de la source. Théoriquement, il serait possible d'envisager quelques hypothèses. Ainsi, si la quantité de sédiments entrant dans le lac diminue, la valeur de W_{sv} devrait diminuer, mais le rapport W_{sp}/W_{sf} devrait demeurer constant. Inversement, si la source s'éloigne, le rapport W_{sp}/W_{sf} devrait diminuer, et ce pour un même apport à la source. En supposant que la source principale de sédiments suivait la position du front du glacier, la source de sédiments devait s'éloigner graduellement vers le nord et l'ouest. Avec l'amincissement du glacier et la diminution relative de l'énergie des eaux de fonte, la quantité de sédiments entrant dans le lac diminuait donc au fur et à mesure du retrait des glaces.

Conformément aux hypothèses énoncées plus haut, les figures 11 et 12 indiquent une diminution de W_{sv} vers le sommet avec une faible diminution du rapport W_{sp}/W_{sf} . Dans les deux cas, il serait intéressant d'évaluer la répartition spatiale de W_{sv} et du rapport W_{sp}/W_{sf} .

TAUX DE SÉDIMENTATION

À partir d'observations sur la teneur en eau des sédiments fins et de leur forte compressibilité, il appert que l'évaluation du taux de sédimentation, basée uniquement sur l'épaisseur des varves, est inadéquate. Le problème se pose pour tous les sédiments fins peu consolidés et donc compressibles. Au cours du processus de consolidation, la quantité de sol sec accumulée pendant une période de temps donnée ne change pas. Ainsi, la valeur de W_{sv} peut être considérée comme l'accumulation annuelle de sédiments exprimés en poids sec par unité de surface (g/cm^2). Étant donné la forte compressibilité d'un tel sol et la variabilité latérale de l'accumulation de sédiments, il est plus aisé de comprendre les difficultés rencontrées dans la corrélation à de grandes distances (plus de 1 km) de profils d'épaisseurs de varves. De plus, la comparaison d'un bassin à un autre, faite en termes d'épaisseur, devrait tenir compte du degré d'enfouissement relatif des niveaux comparés et d'autres facteurs énumérés plus haut.

La méthode d'évaluation du taux d'accumulation de sédiment basée sur le poids sec ne sera précise que s'il est possible d'évaluer les unités lithologiques et la période de mise en place, ce qui est vrai de toute méthode. Sur la base de la quantité de sédiment, la comparaison d'un site à un autre ne sera plus influencée par le degré d'enfouissement et ne nécessitera pas l'introduction d'un facteur de correction pour la porosité. Toutefois, cette méthode a été mise au point pour des sols saturés, mais elle pourrait être adaptée à d'autres conditions si le degré de saturation est connu.

Finalement, le taux de sédimentation exprimé selon la méthode conventionnelle serait passé de plus de 2,7 cm/an à moins de 0,8 cm/an entre le début et la fin de la phase glacio-lacustre. Les sédiments au site d'Olga se sont accumulés à un rythme décroissant de 2,6 $g/cm^2/an$ à moins de 0,7 $g/cm^2/an$. Le taux d'accumulation ou de sédimentation n'aurait pas été constant, mais aurait plutôt varié de façon parabolique.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier la Société d'énergie de la Baie James (SEBJ) de même que le ministère de l'Éducation du Québec (FCAC) pour l'octroi de contrats et de subventions de recherche permettant la réalisation de ces travaux.

RÉFÉRENCES

- ANTEVS, E. (1925): *Retreat of the Last Ice Sheet in Eastern Canada*, Geol. Surv. Can., Mém. 146, 142 p.
- ATHY, L.F. (1930): Density, Porosity and Compaction of Sedimentary Rocks, *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 14, p. 1-24.
- BALLIVY, G. (1970): *Contributions à l'étude des caractéristiques géologiques et géotechniques des dépôts d'argile du nord-ouest du Québec (région de Matagami-Rupert)*, thèse M.Sc.A., École polytechnique, Québec, non publ., 222 p.
- BALLIVY, G., POULIOT, G. et LOISELLE, A.A. (1971): Quelques caractéristiques géologiques et minéralogiques des dépôts d'argile du nord-ouest du Québec, *Journ. can. Sci. Terre*, 8, p. 1525-1541.
- BANERJEE, I. (1973): *A: Sedimentology of Pleistocene Glacial Varves in Ontario, Canada. B: Nature of the Grain-Size Distribution of Some Pleistocene Glacial Varve of Ontario, Canada*, Géol. Surv. Can., Bull. n° 226, 60 p.
- BENTLEY, S.P. (1980): Significance of Amorphous Material Relative to Sensitivity in Some Champlain Clays: Discussion, *Rev. can. Géotechn.* 17, p. 632-634.
- CHAN, H.T. et KENNEY, T.C. (1973): Laboratory Investigation of Permeability Ratio of New Liskard Varved Soil, *Rev. can. Géotechn.*, 10(3), p. 453-472.
- CHAUVIN, L. (1977): *Géologie des dépôts meubles de la région de Joutel-Matagami*, Min. Rich. nat. du Québec, DPV-539, 106 p.
- CUILLE, C. (1976): *Qualité des sables fins auversiens et stampiens de la région parisienne*, thèse, Univ. Pierre et Marie Curie.
- DASCAL, O., TOURNIER, J.-P., TAVENAS, F. et LAROCHELLE, P. (1972): Failure of a Test Embankment on Sensitive Clay, *Proceedings of Performance of Earth and Earth-Supported Structures*, A.S.C.E., I, part 1, p. 129-158.
- DE GEER, G. (1940): *Geochronologia Suecica Principes, Kungl. Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar*, Ser. 3., 18(6).
- DELORY, F.A. (1961): A Preliminary Study of Geotechnical Properties of Varved Clays as Reported in Canadian Engineering Case Records, Nat. Res. Council. Can., *Ass. Com. on Soil on Snow Mech.*, Tech. Mem. 69, p. 229-230.
- DENISOV, N.Y. (1965): Pore pressure and Strength of Underconsolidated Clay Soils, *6th. I.C.S.M.F.E.*, vol. 1, p. 208-212.
- DIONNE, J.-C. (1978): Le glacier en Jamésie et en Hudsonie, Québec subarctique, *Géogr. phys. Quat.*, 32, p. 3-70.
- EDEN, W. J. (1955): A Laboratory Study of Varved Clay from Steep Rock Lake, Ontario, *Amer. J. Sci.*, 253, p. 659-674.
- FOSCAL-MELLA, G. (1976): *Analyse minéralogique des argiles glaciaires*, mémoire M.Sc.A., École polytechnique, Montréal, 148 p.
- HARDY, L. (1976): *Contribution à l'étude géomorphologique de la portion québécoise des basses terres de la Baie de James*, thèse doctorat, Dép. géogr., Univ. McGill, Montréal, 264 p.
- KARROW, P. F. (1961): The Champlain Sea and its Sediments, in *Soils in Canada*, R.F. Legget (édit.), Soc. Can. Sp. Publ. n° 3, Univ. of Toronto, p. 97-107.
- KENNEY, T.C. (1976): Formation and Geotechnical Characteristics of Glacial Lake Varved Soils, p. 15-39, in *Laurits Bjerrum Memorial Volume — Contributions to Soil Mechanics*, Janbu, N., Jørstad, F., Kjaernsli, B. (édit.), N.G.I., Oslo, 262 p.
- LEFEBVRE, G., LOCAT, J. et PHILIBERT, A. (1978): *Identification des couches superficielles au site Olga, observations et prélèvements d'octobre 1977*, Rapp. GEO-78-07, Univ. de Sherbrooke (présenté à la S.E.B.J.) 33 p.
- LEFEBVRE, G. et POULIN, C. (1979): A New Method of Sampling in Sensitive Clay, *Rev. can. Géotechn.*, 16, p. 226-233.
- LE RIBAUT, L. (1977): *L'exoscopie des quartz. Techniques et méthodes sédimentologiques*, Masson, Paris, 150 p.
- MOUM, J. (1963): Falling Drop Used for Grain-Size Analysis of Fine-Grained Materials, *Sedimentology*, 5, p. 343-347.
- REMICK, J. H. (1969): *Région d'Harricana-Turgeon, Comtés d'Abitibi-est et d'Abitibi-ouest*, Min. de l'Énergie et des Ressources du Québec, rapp. prélim. n° 564, 255 p.
- RICHARDS, A.F. (1976): Marine Geotechnics of the Oslofjorden Region, in *Laurits Bjerrum Memorial Volume*, Janbu, N., Jørstad, F., Kjaernsli, B. (édit.), N.G.I., Oslo, p. 41-43.
- ROBBINS, J.A. et EDGINTON, D.N. (1975): Determination of Recent Sedimentation Rates in Lake Michigan using Pb-210 and Cs-137, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 39, p. 285-304.
- SEGALEN, P. (1968): Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols à hydroxydes tropicaux, *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, 6(1), p. 105-126.
- SKINNER, R.G. (1973): *Quaternary Stratigraphy of the Moose River Basin, Ontario*, Geol. Surv. Can., Bull. n° 225, 77 p.
- TERASMAE, J. (1963): Notes on Palynological Studies of Varved Sediments, *J. Sed. Petrol.*, 33(2), p. 314-319.
- TRAN NGOC, L. (1980): L'essai au bleu de méthylène — Un progrès dans la mesure et le contrôle de la propreté des agrégats, *Bull. de Liaison, Lab. Ponts et Chaussées*, n° 107, p. 130-135.
- TREMBLAY, G. (1974): *Géologie du Quaternaire, régions de Rouyn-Noranda et d'Abitibi, comtés d'Abitibi-est et d'Abitibi-ouest*, Min. de l'Énergie et des Ressources du Québec, DP-236, 100 p.
- VINCENT, J.-S. (1971): *Le Quaternaire des cantons de Guigues, Baby, Duhamel et Laverlochère, Cté Témiscamingue, Québec*, mémoire de maîtrise, Dép. de géogr., Univ. d'Ottawa, 146 p.