

# MOUVEMENTS DE MASSE SUBAQUATIQUES POSTGLACIAIRES AU LAC JACQUES-CARTIER, RÉSERVE FAUNIQUE DES LAURENTIDES (QUÉBEC) : RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES

Patrick Lajeunesse

Centre d'études nordiques & Département de géographie, Université Laval, Québec, Québec, Canada, G1V 0A6, [patrick.lajeunesse@ggr.ulaval.ca](mailto:patrick.lajeunesse@ggr.ulaval.ca)

Guillaume St-Onge

Institut des sciences de la mer de Rimouski (ISMER) & GEOTOP, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, Québec, Canada G5L 3A1

Kevin Randall et Amélie Moreau-Labrecque

Département de géographie, Université Laval, Québec, Québec, Canada, G1V 0A6

## RÉSUMÉ

Des sondages géophysiques réalisés à l'aide d'un profileur acoustique de sous-surface ont révélé plusieurs formes et dépôts associés à des mouvements de masse sur le fond du Lac Jacques-Cartier (Réserve faunique des Laurentides, Québec). Dans les secteurs centraux du lac, des phénomènes d'instabilités de pentes ont perturbé une épaisse (<20 m) unité de sédiments glaciolacustres déposée pendant une phase de stabilisation du front glaciaire au nord du lac il y a ~10 000 ans BP. Dans cette unité, les profils acoustiques révèlent la présence de réflecteurs internes parallèles et rapprochés qui sont localement affectés par des cicatrices de rupture et possiblement la liquéfaction. Dans les secteurs plus profonds du lac, les sédiments perturbés ont été transportés et mélangés avec des couches de sédiments fins postglaciaires riches en matière organique. Ces dépôts montrent des réflecteurs formant des hyperboles et un relief irrégulier, indiquant leur mise en place par des glissements et des coulées gravitaires. Un carottier à piston a permis de recueillir 8 m de sédiments déposés depuis la déglaciation. Des datations au radiocarbone ( $^{14}\text{C}$  AMS) de matière organique échantillonnée dans cette carotte indiquent la mise en place de plusieurs couches de sédiments déposés rapidement depuis 5800 ans BP. Ces observations indiquent que le lac a été affecté par une succession d'événements de mouvements de masse postglaciaires. Des secousses sismiques sont le mécanisme qui peut le mieux expliquer la récurrence de ces événements de mouvements de masse parce que le lac Jacques-Cartier : i) est un environnement stable qui n'est pas propice aux mouvements de masse (i.e., faible taux de sédimentation); et ii) est situé à proximité de la zone sismique active de Charlevoix-Kamouraska.

## ABSTRACT

Geophysical surveys using a subbottom profiler revealed mass-movement features on the bottom of Lake Jacques-Cartier (Réserve faunique des Laurentides, Québec). In central sectors of the lake, slope instabilities partially disturbed a thick (<20 m) unit of glaciolacustrine sediments deposited during a stabilization phase of the ice margin north of the lake ~10 000 yr BP. Within this unit, acoustic profiles reveal closely-spaced parallel reflectors locally affected by failure scars and possibly liquefaction. In the deeper central sectors of the lake, disturbed sediments were transported downslope and mixed with organic-rich postglacial lacustrine fine-grained sediments. These deposits show hyperbolae reflectors and an irregular relief, indicating their deposition by slumps and gravity flows. A piston corer allowed the recovery of 8 m of sediments deposited since deglaciation. Radiocarbon dating ( $^{14}\text{C}$  AMS) of organic matter sampled in a sediment core indicates the deposition of several rapidly deposited layers during at least the last 5800 yr BP. These observations indicate that the lake was affected by successive postglacial mass-movement events. Seismic triggering is the mechanism that best explain this recurrence of mass-movements because Lake Jacques-Cartier: i) is a stable environment that is not prone to slope instabilities (i.e., low postglacial sediment rates); ii) is located near the active Charlevoix-Kamouraska seismic zone.

## 1. INTRODUCTION

Les formes et dépôts associés aux mouvements de masse sont communs dans les bassins lacustres situés près de zones sismiques actives (e.g., Chapron *et al.* 1999; Monecke *et al.* 2004; Becker *et al.* 2005; Schnellmann *et al.* 2005). Au Québec, certaines études ont déjà permis d'associer des sédiments lacustres perturbés à d'anciens événements sismiques majeurs dans des lacs situés près des zones sismiques de Charlevoix-Kamouraska (ZSCK) (Doig 1988, 1990; Ouellet 1997), du nord des Appalaches (Shilts *et al.* 1992) et de l'ouest du Québec (Doig 1991; Shilts & Clague 1992).

Des études antérieures réalisées au Lac Jacques-Cartier y ont révélé la présence de couches de sédiments déposées rapidement (Doig 1998) et de structures de glissements (Ouellet 1997) qui ont été associées à d'anciennes secousses sismiques. Cependant, aucune étude n'a jusqu'à maintenant été réalisée dans ce bassin lacustre afin de définir le contexte bathymétrique et stratigraphique ainsi que la morphologie de ces mouvements de masse. Le Lac Jacques-Cartier, situé près de la ZSCK, est un environnement idéal pour retracer des événements sismiques passés. Ce bassin lacustre est situé <1 km au sud de la Moraine Mars-Batiscan (Occhietti *et al.* 2004), ce qui fait qu'un important volume de sédiments y a été déposé pendant la déglaciation. De plus, les apports sédimentaires

postglaciaires y sont peu importants à cause du faible débit de son principal affluent, la Rivière Jacques-Cartier, ce qui élimine les effets d'instabilités des pentes associés à une surcharge et une compaction des sédiments.

Cet article, basé sur des sondages de profileur de sédiments, vise à décrire la morphologie, l'épaisseur et la répartition des sédiments perturbés du Lac Jacques-Cartier. Ces nouvelles informations permettront de mieux comprendre la dynamique et l'histoire des mouvements de masse dans ce lac ainsi que des séismes postglaciaires dans la région.

## 2. SITE D'ÉTUDE

Le Lac Jacques-Cartier (Fig. 1; 47°35'N; 71°13'20"W) est situé à 800 m d'altitude dans la Province géologique de Grenville. Il a une longueur de 9,2 km, une largeur de ~1,2 km et une superficie 12 km<sup>2</sup>. La déglaciation de la région a eu lieu vers 10 000 ans BP (années <sup>14</sup>C conventionnelles) et a été marquée par deux phases de stabilisation de la marge sud de l'Inlandsis laurentidien : une première à quelques km au sud du lac (Moraine de St-Narcisse) et une seconde près de la limite nord du lac (Moraine de Mars-Batiscan) (Occhietti *et al.* 2004). Cette dernière phase de stabilisation a mené à la mise en place d'un sandur constitué de sédiments sableux et graveleux. Selon les sondages géophysiques réalisés par Ouellet (1997), le lac atteint une profondeur maximale de 69 m. Le lac est situé à ~60 km à l'ouest du centre de la ZSCK, la zone sismique la plus active de l'est du Canada. Cinq séismes majeurs ont été documentés dans la ZSCK depuis 1663 : 1663, M=7; 1791, M=6; 1860, M=6; 1870 (M=6,5); et 1925 (M=6,2) (Lamontagne 2000). La majorité des séismes de cette zone ont comme épicycle le centre de l'estuaire du St-Laurent, entre le Comté de Charlevoix, sur la rive nord, et de Kamouraska, sur la rive sud (Fig. 1) (Lamontagne 2000). Le lac est situé à ~60 km au sud de l'épicycle du séisme (M=5,9) du Saguenay de 1988.

## 3. ÉTUDES ANTÉRIEURES

Doig (1991, 1998) est le seul à avoir analysé des sédiments prélevés dans des lacs de la ZSCK pour trouver des traces d'anciens séismes. Une carotte de sédiment de 150 cm recueillie au Lac Jacques-Cartier (Doig 1998) montrait la présence de deux couches distinctes de silt de 2 cm d'épaisseur à des profondeurs de 48 et 102 cm et d'une troisième de 1 cm d'épaisseur à 95 cm. Des échantillons de matière organique prélevés dans ces trois couches ont été datés au <sup>14</sup>C à 750, 2000 et 1800 ans BP, respectivement. Selon Doig (1998), la discontinuité à 48 cm correspondrait au séisme de 1663.

Les profils acoustiques réalisés par Ouellet (1997) au Lac Jacques-Cartier y ont révélé la présence de perturbations dans les sédiments. De telles structures ont aussi été observées dans d'autres lacs de la région (Tadoussac, Séminaire, Pohénégamook et Témiscouata) situés à 41,8 ± 15 km du centre de la ZSCK. Seuls les lacs situés à

l'intérieur de 34,5 ± 5 km du centre de la ZSCK (Buteux, Au Basque, Au Porc-Épic, Des Martres, Barley et Petit Malbaie) ont montré des indices de perturbations plus importantes sur les profils acoustiques.

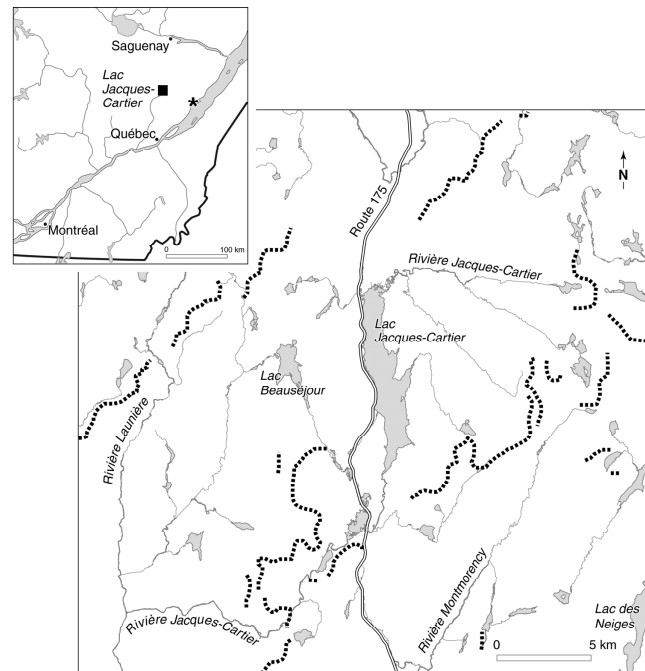


Figure 1. Carte de localisation du Lac Jacques-Cartier, Réserve faunique des Laurentides, et de la Zone sismique de Charlevoix-Kamouraska (son centre est identifié par l'astérisque sur la carte du haut). Les traits en noir représentent la Moraine de Saint-Narcisse (au sud du lac) et de Mars-Batiscan (au nord du lac) (tiré de Occhietti *et al.* 2004).

## 4. MÉTHODOLOGIE

Les sondages géophysiques ont été réalisés avec un échosondeur mono-faisceau bi-fréquences Knudsen 320 BP installé sur une embarcation gonflable de type Zodiac. Ces sondages ont fourni des données bathymétriques (interface eau-sédiment, canal 200 kHz) et des profils de sous-surface (Chirp, canal 12 kHz) (Fig. 2a). La navigation et l'enregistrement des lignes de sondage ont été réalisés à l'aide du logiciel Hypack®. Les données bathymétriques ont ensuite été importées dans ArcGIS® pour produire une représentation des profondeurs du Lac Jacques-Cartier. Enfin, une carotte de sédiment de 8 m a été prélevée à l'hiver 2007 à l'aide d'un carottier à piston Uwitec® (Fig. 2b). Des échantillons de matière organique ont été prélevés et datés au <sup>14</sup>C à l'aide d'un accélérateur de particules (AMS).

## 5. RÉSULTATS

### 5.1 Bathymétrie

La bathymétrie du lac est caractérisée par un bassin longitudinal s'étendant dans un axe NW-SE (Fig. 2a). Dans la partie centrale du lac, ce bassin atteint 800 m de largeur. Celui-ci a une profondeur moyenne de ~60 m et est bordé par des versants abrupts variant entre 30° et 45°. Le bassin atteint 71 m de profondeur dans sa partie centre-ouest et sa présence est moins documentée dans les extrémités nord et sud du lac, à cause de la moins grande couverture des sondages. On présume qu'il fait <300 m de largeur et que sa profondeur moyenne est >30 m. Les versants y sont donc moins prononcés. Sur toute sa longueur, le bassin du lac est généralement en forme de cuvette en "U". Un plateau faiblement incliné atteignant 32 m de profondeur est présent entre les rives du lac et les versants du bassin.

### 5.2 Profils de sous-surface

Les profils acoustiques de sous-surface ont permis de distinguer cinq unités sédimentaires. La première unité (U1) peut être observée à la base des profils acoustiques. Le réflecteur correspondant à la surface de cette unité est parfois visible lorsque l'épaisseur des unités acoustiques sus-jacentes est <20 m, ce qui est généralement le cas près des rives. Le manque de pénétration du sonar utilisé ne permet pas de préciser si cette unité correspond au roc ou à des sédiments (till).

La deuxième unité (U2) est caractérisée par une absence de pénétration du signal acoustique. Cette unité est présente dans les zones peu profondes du lac, près de sables et graviers fluvioglaciers qui affleurent sur les rives nord et centre ouest du lac (Fig. 2a). Cette répartition suggère que les sédiments de cette unité sont des dépôts fluvioglaciers. De plus, certains dépôts grossiers pourraient avoir été mis en place lors de la construction de la route 175 (Fig. 1), recouvrant ainsi des dépôts plus fins.

La troisième unité (U3) est caractérisée sur les profils de sous-surface par une série de réflecteurs parallèles (Figs. 3-7). Cette unité varie entre 5 et 20 m d'épaisseur et est présente sur la moitié de la superficie totale du lac. Son relief est généralement horizontal sur les plateaux bordant le bassin central et irrégulier dans le bassin. Cette unité recouvre de façon conforme la topographie et les unités sous-jacentes. La carotte LJC-01 a permis de démontrer que les sédiments de cette unité sont des rythmites glaciolacustres (possiblement des varves) (Figs. 2b, 8) déposées pendant la stabilisation de la marge glaciaire au nord du lac (phase Mars-Batiscan). Les réflecteurs parallèles rapprochés de cette unité sont aussi typiques de sédiments glaciolacustres observés dans d'autres lacs du Québec (Shilts & Clague 1992; Shilts *et al.* 1992; Ouellet 1997; Turgeon *et al.* 2003). Sur certains profils, les réflecteurs parallèles de cette unité sont aussi partiellement perturbés *in situ* (Figs. 3,5,6). Des perturbations dans ces couches parallèles sont souvent observées dans des secteurs plats (Fig. 3). De telles structures ont été observées par Shilts & Clague (1992) ont été associées soit

à du glissement, soit à une liquéfaction du matériel. Il est par contre possible que la présence de gaz ou des fractures dans le matériel soient à l'origine de ces perturbations du signal.

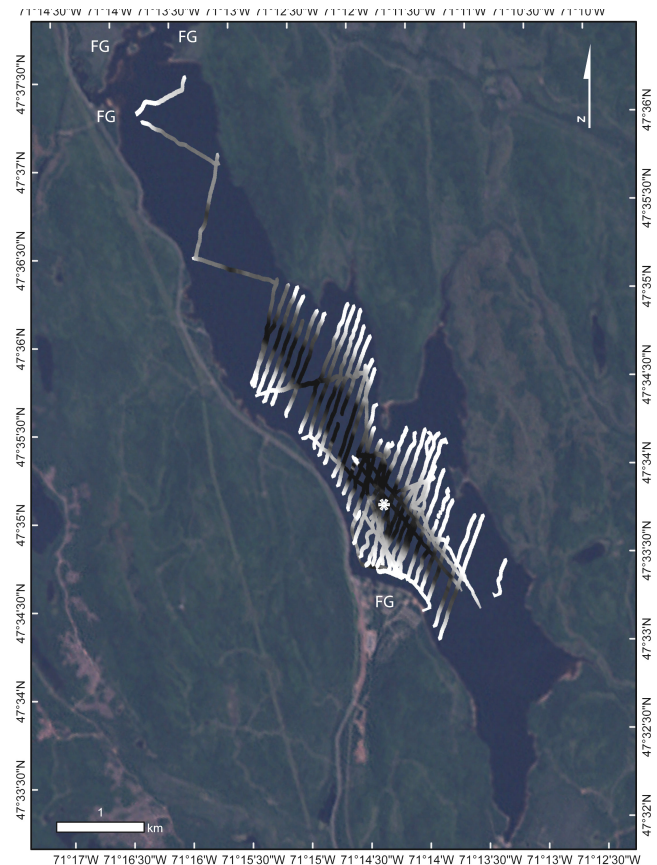


Figure 2a. Bathymétrie du Lac Jacques-Cartier dérivée des sondages de sonar mono-faisceau. Les tons plus foncés représentent les profondeurs  $\geq 40$  m. Chaque ligne correspond aussi à un profil de sous-surface. Le site de la carotte LJC-01 est représenté par l'astérisque blanc. FG : dépôts fluvioglaciers. Fond de carte : image Landsat 7TM (source : Geobase®).

La quatrième unité (U4) est caractérisée par une teinte opaque et une absence de stratifications (Figs. 3-6). Elle est trouvée sur environ 30% de la surface du lac, mais elle est surtout présente dans le bassin central. La pénétration du signal dans cette unité atteint parfois 40 m, mais elle se limite généralement à 20 m. Sa morphologie de surface est variable, allant de lisse à chaotique. Les sédiments de cette unité remplissent souvent les cuvettes du bassin central et montrent plusieurs indices de perturbations. Dans le bassin central, cette unité est parfois caractérisée par une superposition de réflecteurs en hyperboles. Sur les versants, elle a souvent une topographie irrégulière en escaliers. Plus de 6 m de sédiments de cette unité sont présents dans la carotte LJC-01. Ces sédiments sont constitués de plusieurs couches de silts alternant de façon irrégulière avec des lits de matière organique (Fig. 9).

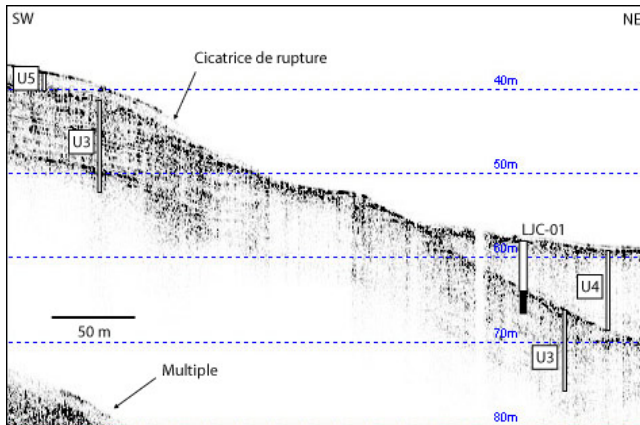


Figure 2b. Localisation de la carotte LJC-01 sur un profil de sous-surface. Les sédiments des unités 3 (en noir, Fig. 8) et 4 (en blanc, Fig. 9) sont présents dans cette carotte.

Ces couches de silt montrent les mêmes caractéristiques que les couches déposées rapidement identifiées par Doig (1998) dans différents lacs de la région de Charlevoix et qui ont été associées à des séismes. Des échantillons de matière organique prélevés à de 75, 130, 140, 274 et 336 cm de profondeur dans la carotte LJC-01 ont daté respectivement 965 (UCIAMS-36011), 2240 (UCIAMS-36010), 1370 (UCIAMS-36009), 5380 (UCIAMS-36012) et 5765 (UCIAMS-36013) années  $^{14}\text{C}$  BP. Les dépôts de cette unité sont associés à différents événements de mouvements de masse postglaciaires. Des dépôts perturbés ayant des propriétés semblables (absence de stratifications, teinte opaque, hyperboles, etc.) ont été observés sur les fonds d'autres lacs du Québec situés près de zones sismiques actives (Shilts & Clague 1992; Shilts et al. 1992).

La cinquième unité (U5) est caractérisée par un aspect transparent et des réflecteurs parallèles internes très subtils ou absents (Figs. 3,7). Elle varie entre 2 et 4 m d'épaisseur et est présente sur 35 à 40 % de la surface du lac. Elle se trouve principalement aux endroits où les sédiments n'ont pas été remaniés ou perturbés. Cette unité est généralement absente dans les zones d'eau peu profondes (seuils et près des rives), sur les versants et à la surface sédiments perturbés. Elle drape les sédiments sous-jacents et forme parfois une surface chaotique. Cette unité du Lac Jacques-Cartier présente aussi les mêmes caractéristiques de la couche de gyttja (sédiments fins de surface riches en matière organique) observée sur des profils acoustiques d'autres lacs du Québec (Shilts & Clague 1992; Shilts et al. 1992; Ouellet 1997; Turgeon et al. 2003).

### 5.3 Mouvements de masse

Quatre différentes morphologies associées à des mouvements de masse subaquatiques ont été identifiées sur les profils de sous-surface du Lac Jacques-Cartier : i) les cicatrices de rupture; ii) les dépôts de coulées gravitaires; iv) les dépôts de glissements; et iv) les chenaux.

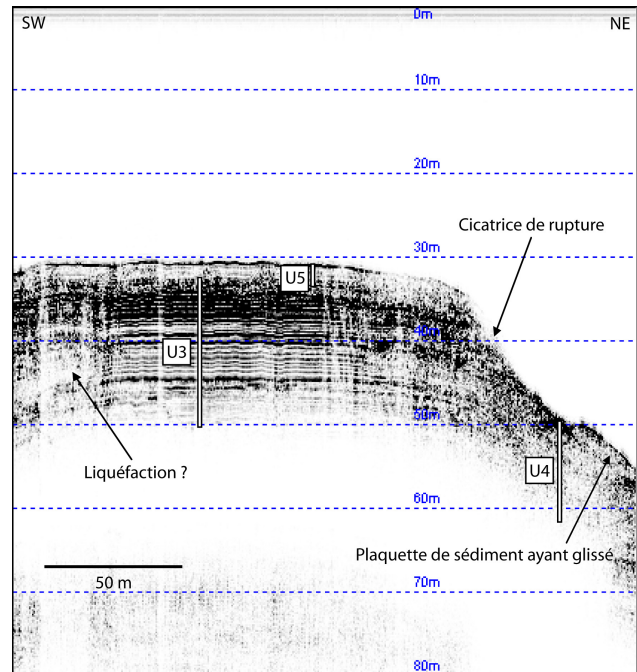


Figure 3. Profil de sous-surface montrant des dépôts glaciocastres (U3) sur le plateau du lac et des dépôts perturbés (U4) dans le bassin du lac. Une mince couche de gyttja (U5) recouvre les sédiments glaciocastres. Une cicatrice de rupture associée à un glissement affecte aussi les unités 3 et 5. Une plaquette de sédiment cohésif ayant glissé sur la pente est aussi présente sur le versant.

#### 5.3.1 Cicatrices de rupture

Les cicatrices de ruptures forment des discontinuités abruptes dans les dépôts glaciocastres (U3) et la gyttja (U5) (Fig. 3). Elles sont souvent présentes dans les parties supérieures des versants bordant le bassin central et sont particulièrement prononcées sur les versants du sud-ouest. Ces cicatrices sont généralement inclinées. Elles correspondent au plan de décrochement des sédiments (Figs. 3,5,6) et à une interruption franche des réflecteurs parallèles dans la partie supérieure du versant. Elles sont associées à des ruptures dans les unités glaciaires (U3) et postglaciaires (U5). Les cicatrices affectant la gyttja varient généralement entre 2,5 et 4 m de hauteur; celles affectant les sédiments glaciocastres sont de 8 m en moyenne, mais peuvent atteindre 12 m. Dans le premier cas, il est possible de percevoir des réflecteurs parallèles de l'unité 2 dans le versant affecté par la rupture. Dans le second, les réflecteurs stratifiés ne sont jamais visibles sur le versant.

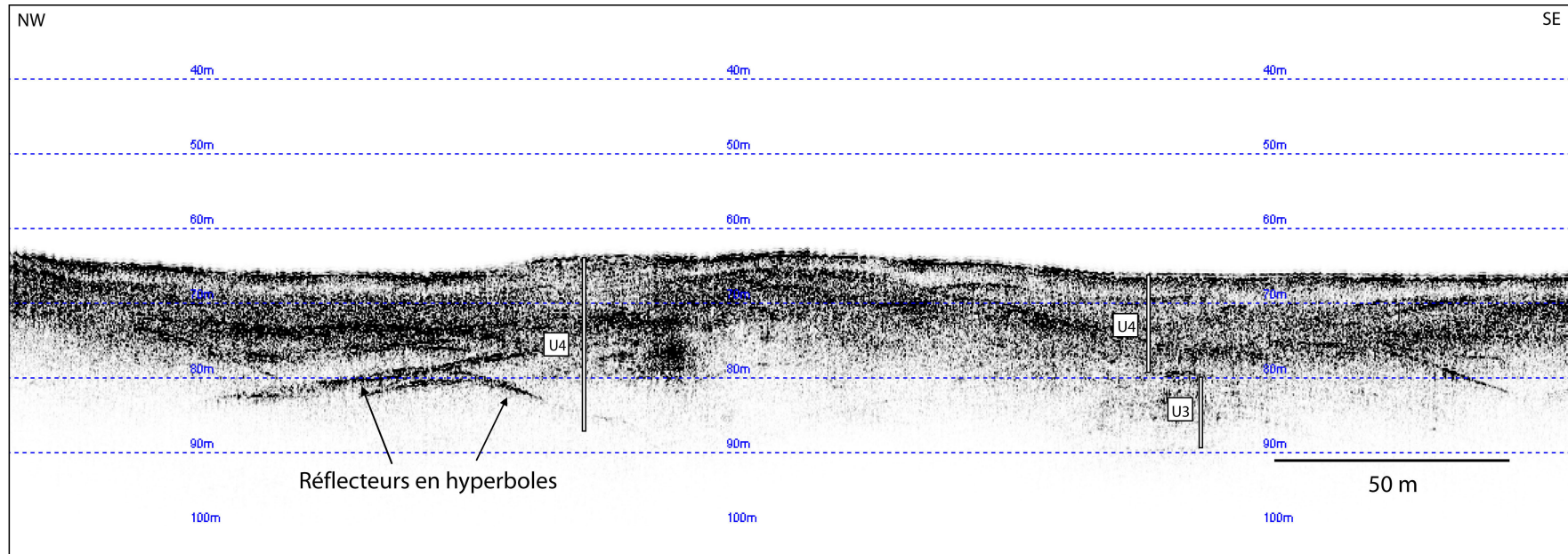


Figure 4. Profil de sous-surface montrant un empilement de dépôts de coulées gravitaires (Unité 4) dans le bassin central du lac. Les réflecteurs parallèles de l'unité 3 sont aussi visibles.

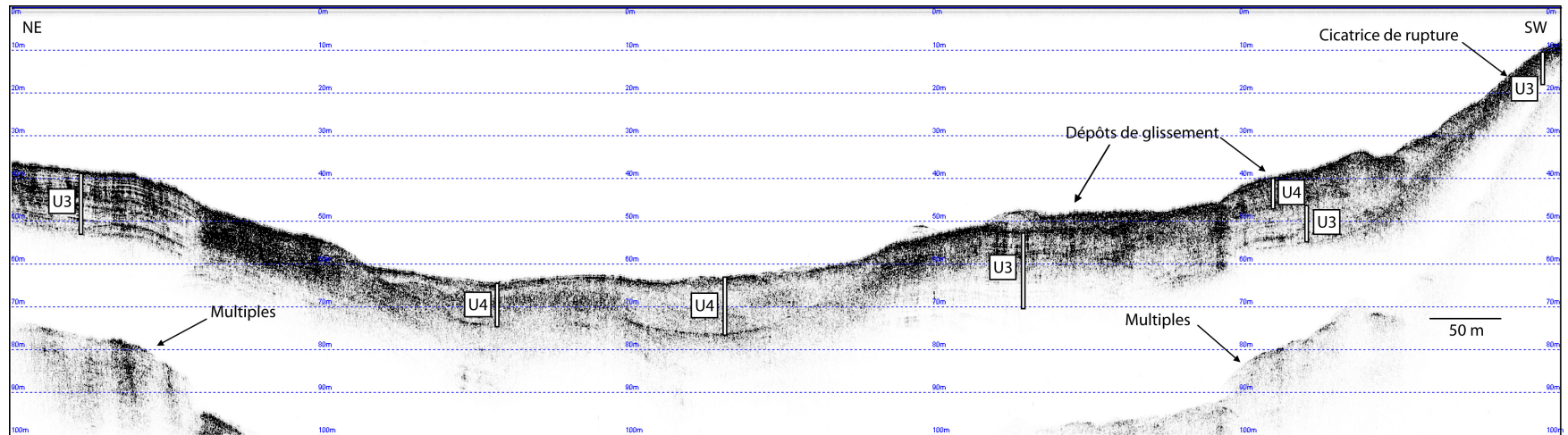


Figure 5. Profil de sous-surface montrant une cicatrice de rupture sur le versant sud-ouest du bassin central ainsi qu'une cuvette comblée par des dépôts de coulées gravitaires de l'unité 4. Les réflecteurs parallèles de l'unité 3 sont aussi visibles sous ces dépôts.

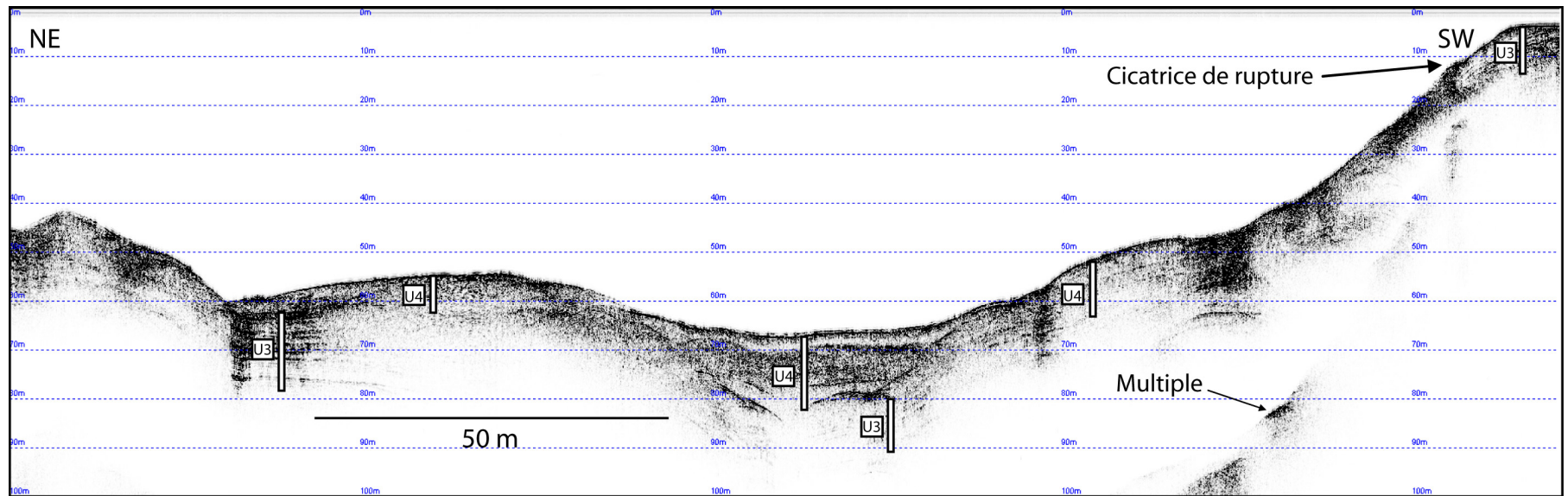


Figure 6. Profil de sous-surface montrant une cicatrice de rupture, un dépôt de glissement au bas d'un versant et des dépôts de coulées gravitaires (U4) remplissant une cuvette au centre du bassin du lac et recouvrant les sédiments glaciolacustres (U3).

### 5.3.2 Coulées gravitaires

Sur les profils de sous-surface, les dépôts de coulées gravitaires ont une apparence généralement massive présentant des hyperboles (Figs. 4-6). Ces dépôts font partie de l'unité 4 et sont associés à des mouvements de masse non-cohésifs. Les coulées gravitaires peuvent regrouper des sédiments mis en place par des turbidites, des hyperpycnites ou des coulées de débris. Ces dépôts sont localisés dans les zones plus profondes du lac et recouvrent la totalité du bassin central. Leur épaisseur moyenne est de 7,6 m, mais elle peut atteindre 12 m par endroit. Ces dépôts remplissent la dépression du bassin central du lac et s'accumulent sur les versants faiblement inclinés jusqu'au talus. Ils comblent aussi les cuvettes du fond du bassin. Les réflecteurs sub-horizontaux et les hyperboles présents dans ces dépôts sont interprétés comme des dépôts de coulées gravitaires. La présence de ces réflecteurs au même site correspond à une superposition de dépôts de coulées gravitaires mis en place par des événements de mouvement de masse successifs. La présence de réflecteurs parallèles de l'unité 3 sous les dépôts de coulées gravitaires est observée à plusieurs endroits (Figs. 4-6). Certaines cicatrices de ruptures sont aussi présentes dans des dépôts de coulées gravitaires reposant au fond du bassin central.

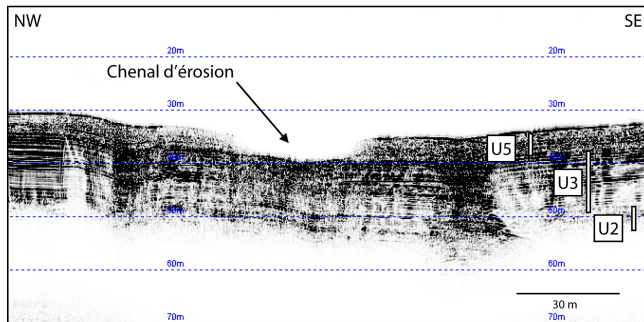


Figure 7. Chenal d'érosion à travers la couche de gyttja (U5) formé par des coulées gravitaires.

### 5.3.3 Dépôts de glissements

Des dépôts de glissements constitués de matériel cohésif sont présents sur certains versants affectés par des ruptures (Fig. 6). Ces dépôts ont une surface chaotique et irrégulière et font partie de l'unité 4. Ils ont une apparence massive et recouvrent souvent les sédiments glaciolacustres (U3). Dans plus de 80 % des profils montrant des dépôts de glissement de matériel cohésif, l'épaisseur des dépôts est >4 m. Dans certains cas, des plaquettes de sédiments cohésifs produites par des glissements se trouvent sur les versants (Fig. 3).

### 5.3.4 Chenaux

Quelques chenaux d'érosion sont présents près de la limite inférieure du plateau, sur les versants et dans le bassin central du lac. Ces chenaux sont généralement peu profonds (<5 m) et affectent principalement la gyttja (U5)

(Fig. 7). Dans certains cas, des chenaux de 8 à 9 m de profondeur sont incisés dans des sédiments glaciolacustres affleurant sur des versants du bassin central. Ces formes sont attribuées à l'érosion produite par des coulées gravitaires.

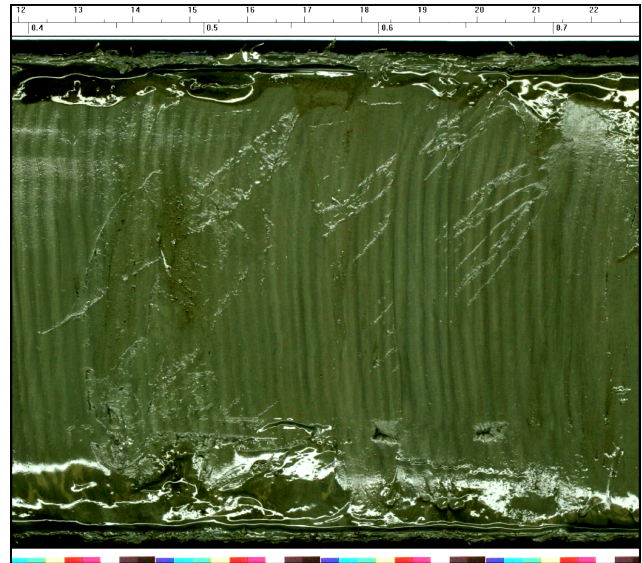


Figure 8. Photographie de la base de la carotte LJC-01 montrant des rythmites glaciolacustres (probablement des varves) non perturbées de l'unité U3 (échelle en cm).

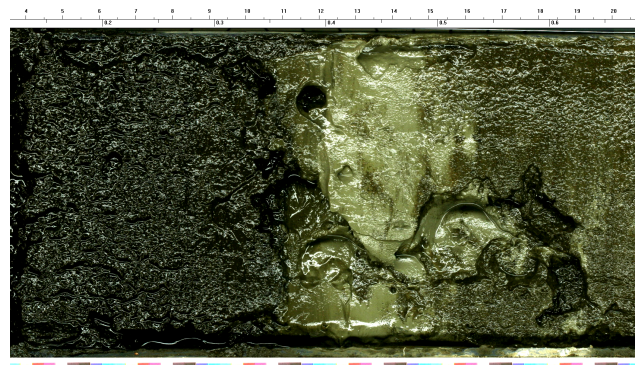


Figure 9. Photographie du sommet de la carotte LJC-01 montrant une couche gris pâle déposée rapidement. Cette couche accidentelle est la plus récente. Le faciès foncé riche en matière organique est typique d'une gyttja.

## 6. DISCUSSION ET CONCLUSION

Des sondages de profileur de sous-surface ont permis d'identifier des dépôts de glissements (i.e., de nature cohésive) et de coulées gravitaires (i.e., de nature non-cohésive) présents sur plusieurs versants et sur toute la surface du bassin central du Lac Jacques-Cartier. Ces mouvements de masse ont remobilisé d'épaisses couches de sédiments glaciolacustres (U2) déposées lors de la

phase de stabilisation Mars-Batiscan au Dryas récent (11 100 à 10 000 ans BP; Broecker 2006) au nord du lac. La présence de plusieurs perturbations dans les sédiments plus récents (gyttja, U5) indique que des mouvements de masse se sont aussi produits récemment. Les cicatrices de ruptures observées sur les parties supérieures de plusieurs versants sont associées à des glissements. Pendant leur progression vers le bas de la pente, les sédiments de ces glissements ont graduellement perdu leur cohésion pour devenir des coulées gravitaires sur le fond du lac.

La datation de lits de matière organique retrouvés dans des dépôts gravitaires (U4) indique que plusieurs événements de mouvements de masse se sont produits depuis ~5800 ans BP dans le Lac Jacques-Cartier. La superposition de réflecteurs sub-horizontaux et d'hyperboles, correspondant à des dépôts de coulée gravitaire, indique que ces dépôts ne se sont pas mis en place lors d'un seul événement, mais plutôt à la suite d'une succession de mouvements de masse. Par ailleurs, l'inversion de l'âge  $^{14}\text{C}$  à 130 cm dans la carotte LJC-01 pourrait s'expliquer par une remobilisation du matériel organique plus vieux des versants du lac vers les parties plus profondes lors de mouvements de masse. Ces inversions sont typiques de dépôts perturbés (e.g., Monecke *et al.* 2004, 2006).

Les travaux de Shilts *et al.* (1992) réalisés dans des lacs du Québec ont permis d'inférer que des glissements ont été causés par des séismes en observant, en autres, que : 1) les couches perturbées étaient retrouvées partout au fond du lac, sans égard aux types de berges et aux processus; 2) les dépôts perturbés semblaient souvent former des glissements coalescents à leur base, donc générés à partir de différents points sur les côtés du bassin des lacs; 3) certains mouvements de masse peuvent être produits préférentiellement sur certains côtés des lacs, tout dépendant de l'épicentre du séisme; 4) la présence d'un fond sédimentaire ayant une morphologie de surface chaotique, des structures non typiques dans des lacs localisés loin des zones sismiques actives; et 5) d'épaisses séquences de sédiments acoustiquement laminés ont été perturbées sur place.

Au Lac Jacques-Cartier, les cas #1, 2, 4 et 5 de Shilts *et al.* (1992) s'appliquent aussi. Les sédiments perturbés sont présents partout dans le bassin du lac (#1), des cicatrices de glissements ont été observées sur la plupart des versants de lac (#2), des surfaces irrégulières et chaotiques sont présentes sur une grande surface du bassin central (#4), et les sédiments glaciolacustres montrent des réflecteurs internes parallèles perturbés *in situ* (#5) et, ce, sans aucune influence de la pente. Cependant, il n'a pas été possible d'observer de façon non-équivoque que les glissements ont affecté un versant plus qu'un autre (#3).

La faible épaisseur de la couche de gyttja (2-4 m) recouvrant les sédiments glaciolacustres du Lac Jacques-Cartier démontre que ce lac est un environnement caractérisé par un apport relativement faible de sédiments postglaciaires (~0,06 cm/an). Les mouvements de masse que s'y sont produits ne sont donc pas associés à une surcharge causée par un important apport sédimentaire, à

l'instabilité sur le front d'un delta (les unités perturbées du Lac Jacques-Cartier ne sont pas associées à un delta) ou à l'échappement de l'eau générée par la compaction des dépôts. De plus, les sédiments glaciolacustres du Lac Jacques-Cartier sont de nature stable et ont été perturbés plusieurs milliers d'années après leur mise en place. Puisque le Lac Jacques-Cartier est situé à proximité de la ZSCK et de l'épicentre du séisme du Saguenay de 1988, la sismicité de la région est le mécanisme le plus plausible pour expliquer l'ampleur et la récurrence des mouvements de masse subaquatiques qui y sont observés.

Les prochains travaux à être réalisés au Lac Jacques-Cartier à partir de sonars à balayage latéral et multifaisceaux permettront une analyse détaillée de la morphologie et de la répartition des mouvements de masse. Finalement, l'analyse sédimentologique détaillée jumelée à la datation ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{14}\text{C}$ , paléomagnétisme) des couches accidentelles (voir St-Onge *et al.* 2008, ce livre) permettra possiblement d'établir la fréquence des séismes dans la région depuis la déglaciation.

## 7. REMERCIEMENTS

Nous remercions le personnel de la Sépaq de la Réserve faunique des Laurentides pour leur accueil et leur aide lors des deux campagnes de levés géophysiques et de la mission de carottage sur le Lac Jacques-Cartier. Nous remercions aussi les deux évaluateurs, Emmanuel Chapron (Université d'Orléans) et Mathieu Duchesne (Commission géologique du Canada), pour leurs commentaires qui ont permis d'améliorer la qualité du manuscrit. Marilou Girard-Thomas, Anthea Saint-Laurent Vallée, Sylvain Leblanc, Gilles Desmeules, Richard Niederreiter et Jacques Labrie ont participé aux campagnes de terrain. Serge Duchesneau, du Laboratoire de cartographie de l'Université Laval, a réalisé la Figure 1. Cet article est la publication du GEOTOP no. 2008-0014.

## 8. RÉFÉRENCES

- Becker, A., Ferry, M., Monecke, K., Schnellman, M. and Giardini, D. 2005. Multiarchive paleoseismic record of late Pleistocene and Holocene strong earthquakes in Switzerland. *Tectonophysics*, 400, pp. 153-177.
- Broecker, W.S. 2006. Was the Younger Dryas triggered by a flood? *Science*, 312, pp. 1146-1148.
- Chapron, E., Beck, C., Pourchet, M. and Deconinck, J.-F. 1999. 1822 earthquake-triggered homogenite in Lake Le Bourget (NW Alps). *Terra Nova*, 11, pp. 86-92.
- Doig, R. 1986. A method for determining the frequency of large-magnitude earthquakes using lake sediments. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 23, pp. 930-937.
- Doig, R. 1990. 2300 yr history of seismicity from silting events in Lake Tadoussac, Charlevoix, Québec. *Geology*, 18, pp. 820-823.
- Doig, R. 1991. Effects of strong seismic shaking in lake sediments, and earthquake recurrence interval,



- Témiscaming, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 28, pp. 1349-1352.
- Doig, R. 1998. 3000-year paleoseismological record from the region of the 1988 Saguenay, Quebec, earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88, pp. 1198- 1203.
- Lamontagne, M. 2000. Geotechnical impact of Eastern and Northern Canadian earthquakes. 53<sup>e</sup> Conférence canadienne de géotechnique, Montréal, Québec. *Comptes-rendus*, pp. 145-151.
- Monecke, K., Anselmetti, F.S., Becker, A., Sturm, M., and Giardini, D. 2004. The record of historic earthquakes in lake sediments of Central Switzerland. *Tectonophysics*, 394, pp. 21-40.
- Monecke, K., Anselmetti, F.S., Becker, A., Schnellmann, M., Sturm, M., and Giardini, D. 2006. Earthquake-induced deformation structures in lake deposits: A Late Pleistocene to Holocene paleoseismic record for Central Switzerland. *Eclogae geol. Helv.*, 99, pp. 343-362.
- Occhietti, S., Govare, É., Klassen, R., Parent, M. and Vincent, J.-S. 2004. Late Wisconsinan – Early Holocene deglaciation of Québec-Labrador. In Ehlers, J. and Gibbard, P.L. (Éds) Quaternary Glaciations – Extent and Chronology, Part II, pp. 243-273,
- Ouellet, M. 1997. Lake sediments and Holocene seismic hazard assessment within the St. Lawrence Valley, Québec. *Geological Society of America Bulletin*, 109, 631-642.
- Schnellmann, M. Anselmetti, F.S., Giardini, D., and McKenzie, J.A. 2005. Mass movement-induced fold-and-thrust structures in unconsolidated sediments in Lake Lucerne (Switzerland). *Sedimentology*, 52, pp. 271-289.
- Shilts, W.W., Rappol, M., and Blais, A. 1992. Evidence of late and postglacial seismic activity in the Témiscouata – Madawaska Valley, Quebec – New Brunswick, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 29, 1043-1069.
- Shilts, W.W., and Clague, J.J. 1992. Documentation of earthquake-induced disturbance of lake sediments using subbottom acoustic profiling. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 29, 1018-1042.
- St-Onge, G., Chapron, E., Guyard, H., Rochon, A., Lajeunesse, P., Scott, D., Locat, J., Stoner, J.S., and Hillaire-Marcel, C. 2008 (ce livre). High-resolution physical and magnetic properties of rapidly deposited layers associated with landslides, earthquakes and floods. In Locat, J. (Éd.) *Geohazards*. Presses de l'Université Laval, Québec, Canada.
- Turgeon, S., Dubois, J.-M., Ouellet, M. et Poulin, A. 2003. Sismostratigraphie des lacs Brompton, Memphrémagog et Massawippi, sud du Québec, Canada : déglaciation et paléoenvironnements sédimentaires du tardi-Quaternaire appalachien. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 1, pp. 13-32.

