

Analyse des déplacements du glissement de Gascons, Gaspésie, par couplage d'observations aéroportées et terrestres



P.-E. Lord, J. Locat et C. Cloutier,

Département de géologie et de génie géologique, Université Laval, Québec, Québec, Canada

R. Couture, F. Charbonneau et V. Singhroy

Ressources naturelles Canada, Secteur des sciences de la Terre, Ottawa, Ontario, Canada

A. Pedrazzini.

Institut de géomatique et d'analyse du risque, Lausanne, Suisse

ABSTRACT

In the Gaspé Peninsula, an unstable rock slope has been identified near Port-Daniel-Gascons. This unstable slope stands approximately from sea level up to 110 m above the Baie des Chaleurs. Sixty-three meters above mean sea level, a railway runs across the rockslide. In 2009, a complete monitoring network was installed. One part of this system is monitoring opening of rock fissures. In order to understand the displacement values occurring along these fissures, a block model has been proposed by integrating structural data and LiDAR digital elevation model.

RÉSUMÉ

En Gaspésie, dans la municipalité de Port-Daniel-Gascons, un secteur montrant des évidences de mouvement de terrain dans un talus rocheux a été identifié. Ce mouvement de terrain prend pied au niveau de la mer et se termine approximativement à 110m d'élévation. À 63 m, un chemin de fer traverse d'est en ouest le glissement. En 2009, un système de surveillance a été mis en place afin de suivre l'ouverture des fractures dans le secteur. Dans ce contexte, à partir de données structurales et de données LiDAR, un modèle blocométrique a été défini afin de lier les valeurs mesurées avec les déplacements du massif en général.

1 INTRODUCTION

Les chemins de fer permettent de transporter de grands volumes de matériel et d'équipements sur de grandes distances. Ainsi, un arrêt des activités ferroviaires causé par un mouvement de masse sur une période de temps indéterminée aurait des impacts tant économiques qu'humains. En Gaspésie, dans la municipalité de Port-Daniel-Gascons, un secteur montrant des évidences de mouvement de terrain de plus de 500 000 m³ dans un talus rocheux a été identifié. Le tracé du chemin de fer de la Gaspésie traverse l'amphithéâtre du glissement. Tout mouvement de masse important futur à proximité du chemin de fer entraînerait une fermeture plus ou moins longue du réseau desservant l'est de la Gaspésie. Dans un contexte d'analyse de l'aléa de mouvement de terrain (Locat et al. 2010), diverses méthodes ont été développées afin de mieux comprendre le glissement rocheux de Gascons.

Le massif rocheux à l'étude, ci-après appelé Gascons, est situé en bordure de la Baie des Chaleurs, entre les municipalités de Port-Daniel-Gascons et de Chandler (figure 1). À son extension maximale, le glissement s'étend sur 200 m d'est en ouest et sur 200 m du nord au sud. Ce dernier, construit avant 1930, traverse la zone instable à une élévation de 63m. Le site présente un historique de mouvements de masse documentés par la firme de génie-conseil Génilab-BSL en 1988, par l'Université Laval (1993-1994) ainsi que par la firme Journeaux Bédard et associés en 2000 et 2003.

L'étude menée par l'Université Laval (Locat & Couture 1995) avait révélé la présence de six familles de discontinuités dont

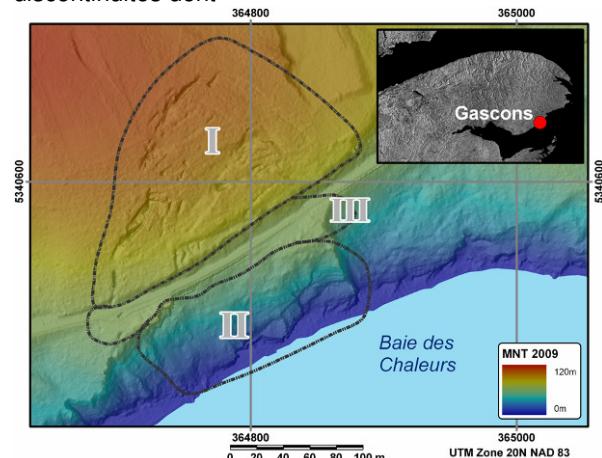


Figure 1. Localisation du site d'étude. Encadré : © Le ministère des Ressources naturelles Canada. Tous droits réservés.

certaines avaient été instrumentées à l'aide de couples de tiges métalliques installés de part et d'autre de fractures ouvertes. Suite à une série de lectures de déplacements sur ces tiges, s'étalant de novembre 1993 à septembre 1994, les vitesses d'ouverture de ces

fractures leur avaient permis de prédire la rupture éventuelle d'un secteur à proximité du chemin de fer, laquelle s'est finalement produite en juillet 1998. La

rupture a alors emporté une partie du remblai sous le rail, bloquant ainsi les activités ferroviaires pour quelques

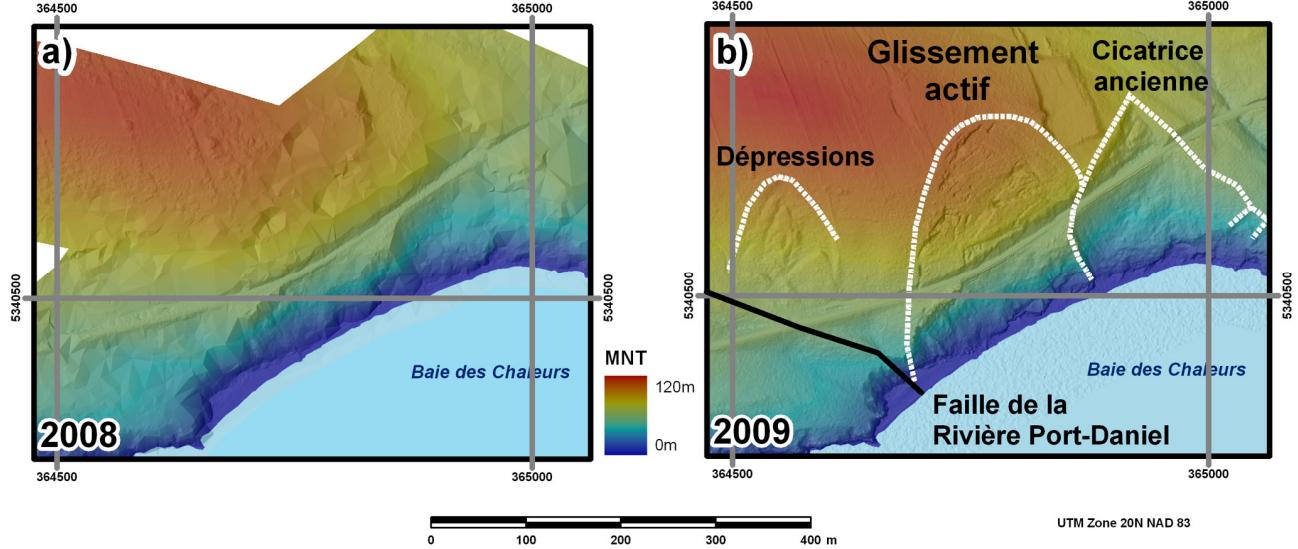


Figure 2. Différence entre les levés LiDAR aéroportés 2008 et 2009. a) MNT 2008. b) MNT 2009.

jours. En 2009, afin d'aider à la compréhension des phénomènes en jeu, le site a été instrumenté avec divers appareils permettant autant de faire le suivi des déplacements que celui des pressions interstitielles dans le massif rocheux (Cloutier et al. 2010).

L'objectif principal de cet article est de développer un modèle blocométrique permettant d'intégrer les déplacements observés sur le terrain tant à partir de mesures terrestres le long de fractures, que satellitaires par des points identifiés (Couture et al. 2010). Les sections qui suivent vont présenter le site à l'étude, la méthodologie utilisée ainsi que les premiers résultats d'analyse de la blocométrie du talus et des premières observations sur l'ampleur des déplacements des diverses fractures. Ce modèle servira de cadre de référence pour l'intégration des données de déplacement satellitaires (Couture et al. 2010) et l'analyse cinématique du glissement.

2 SITE D'ÉTUDE

Le chemin de fer découpe le massif en trois secteurs distincts par les fonctions des infrastructures présentes ou des types de mouvements observables (figure 1).

Le secteur I, situé en amont de la voie ferrée, ci-après appelée massif, est un secteur couvert de végétation, présentant de larges fissures ouvertes dont la cartographie a tout d'abord été réalisée en 1993 (Locat & Couture 1995) et augmentée par les levés de 2009. La pente moyenne de ce secteur est d'environ 15°.

Le secteur II, en aval du chemin de fer, se caractérise par une falaise rocheuse dont le trait de côte est orienté à environ 60° N avec un talus présentant des pentes variant d'ouest en est entre 40° et 60° avec quelques

surplombs. Ce secteur présente quelques îlots de végétation éparses.

Le secteur III est constitué du chemin de fer, de son remblai ainsi que de deux murs de soutènement (caissons de bois et berlinois). L'intégrité de ce secteur est influencée par les secteurs amont et aval selon l'amplitude et la nature des mouvements.

De plus, à l'ouest du glissement actif de Gascons, on retrouve la faille de la rivière Port-Daniel (figure 2b). À proximité de cette dernière, on observe un changement dans le pendage des litages. On y retrouve des pendages subverticaux (Cloutier et al. 2010).

3 MÉTHODOLOGIE

Le développement du modèle blocométrique a été réalisé à partir de l'intégration des méthodes suivantes : levés LiDAR (Light Detection And Ranging) aéroporté et terrestre, localisation, cartographie et instrumentation des divers linéaments et fissures ainsi que l'identification des divers blocs dans les secteurs I et III. Pour ce faire, deux campagnes de terrain ont été effectuées pour mettre en place le système de surveillance intégré (Locat et al. 2010).

3.1 LiDAR aéroporté

Dans le secteur, deux campagnes de levés LiDAR aéroportés ont été effectuées successivement en 2008 ainsi qu'en 2009 (figure 2). En 2008 (figure 2a), le capteur LiDAR aéroporté a survolé la zone à l'étude à basse altitude (i.e. 300m) et l'a balayé à une fréquence de 30kHz à l'aide d'un faisceau laser. En 2009 (figure 2b), le capteur LiDAR aéroporté a survolé le secteur à une altitude de 500 m et l'a balayé à haute fréquence

(i.e. 100kHz). Ainsi, chaque faisceau atteignant une cible permet à l'appareil d'enregistrer une coordonnée XYZ avec une résolution horizontale et verticale variant entre 10 et 20 cm. À l'aide du nuage de points trois dimensions, on peut ainsi dériver un modèle numérique de surface (MNS) en 3D.

Les nouvelles technologies LiDAR permettent à un seul faisceau laser d'effectuer jusqu'à quatre réflexions. Ainsi, en milieu forestier, dépendamment de la densité et du type de végétation, le premier retour est habituellement le sommet du couvert végétal tandis que le dernier correspond habituellement au sol. Les retours intermédiaires correspondent à des interactions du faisceau laser avec des éléments situés entre le sol et le haut du couvert végétal (i.e. feuilles, troncs, branches). Ainsi, la densité de points au sol est principalement influencée par l'occupation au sol, par la saison et par le type de végétation (Baltsavias, 1999). Puisque le LiDAR interagit avec différents éléments situés au-dessus du sol (i.e. feuilles, arbres, habitations), il faut supprimer ces derniers afin d'obtenir la contribution du sol seulement. On obtient alors un modèle numérique de terrain (MNT).

Dans le levé LiDAR aéroporté 2009 de Gascons, la densité de points désirée, afin d'être en mesure d'apprécier la morphologie du glissement (MNT), avait été estimée à 4 points/m². Ainsi, 13 millions de points LiDAR ont été nécessaires pour obtenir cette densité sur une superficie inférieure à 1 km².

3.2 LiDAR terrestre

En plus du LiDAR aéroporté, les secteurs falaise (II) et remblai (III) ont également été balayés par un LiDAR terrestre en juillet 2009. À partir du nuage de points 3D, un modèle numérique de surface (MNS) ainsi qu'un modèle numérique de terrain (MNT) ont été générés par des étapes de post-traitements. Contrairement à la méthode aéroportée, le LiDAR terrestre prend des prises de vue à partir du sol. Il est alors sujet à générer des zones d'ombres (i.e. absence de coordonnées XYZ). Ces zones se forment derrière des obstacles où le faisceau laser ne traverse pas la cible. Pour éviter de telles zones, il est nécessaire d'effectuer plusieurs prises de vues afin de construire le modèle. Dans le cas de Gascons, treize prises de vues ont été effectuées, réparties entre le haut et le bas du talus rocheux afin de couvrir les secteurs falaise (II) et remblai (III). La résolution horizontale et verticale du levé LiDAR terrestre de Gascons est de 5 cm. De plus, le LiDAR terrestre permet d'acquérir des données de pentes verticales et surplombantes.

Ce levé constitue la première acquisition d'une série d'acquisitions qui permettront de détecter et de quantifier les changements en XYZ attribuables au mouvement de terrain (Rosser et al. 2005).

3.3 Linéaments et fissures

Les linéaments ont été identifiés à partir des images LiDAR et reportés sur un plan. On considère ici comme linéament toute forme de terrain droite ou incurvée qui dénote une déformation du massif rocheux ou mettant en

relief un élément structural (e.g. faille, escarpement, fracture, dépressions, etc.). Par la suite, diverses visites sur le site ont permis de valider leur position sur le terrain et aussi d'identifier et de décrire les principales fractures ainsi que les conditions structurales générales du site (Cloutier et. al. 2010). La cartographie du glissement a été réalisée par l'intégration de données de terrain récoltées lors d'une campagne d'arpentage à l'aide d'une station totale et en complément, par la numérisation d'éléments manquants à partir du MNT 2009 (figure 2b).

3.4 Mesure des déplacements

Diverses méthodes ont été utilisées afin de faire le suivi des déplacements de divers compartiments du massif rocheux. Pour commencer, cinq campagnes de terrain ont été menées au cours de l'année 2009, afin de mettre en place un système de surveillance à distance intégrant des instruments à lecture manuelle et automatique (Locat et al. 2010).

La première campagne a permis de mettre en place une trentaine de tiges extensométriques fixées dans la roche de part et d'autre de fractures ouvertes. Par la suite, à chaque visite, des lectures de l'ouverture relative des fractures ont été effectuées sur ces couples extensométriques afin d'obtenir des mesures de déplacements (tableau 1). La fréquence de lecture est d'environ une fois par deux mois. L'appareil utilisé est un ruban extensométrique, modèle Convex Ealey dont la résolution est de $\pm 0.01\text{mm}$.

Afin d'automatiser les lectures d'ouverture de certaines fractures dans le secteur II où l'accès est difficile, six fissuromètres à corde vibrante ont été installés et connectés à un système d'acquisition automatisé. Les mesures d'ouverture des fissures sont enregistrées à chaque heure et permettent donc de faire leur suivi à distance. Selon l'ouverture initiale des fractures instrumentées, quatre fissuromètres dont l'élongation maximale est de 300 mm et deux autres de 150 mm ont été installés. La précision de ces appareils correspond à 0.1% de leur élongation totale. Les fissuromètres ont été mis en place avec une ouverture initiale correspondant à 50% de leur élongation afin de supporter des déplacements en ouverture ou en fermeture.

Les mesures de terrain regroupent les valeurs observées depuis la mise en place des instruments à lecture manuelle ou automatique sur le site, c'est-à-dire depuis juin 2009 en ce qui concerne les tiges extensométriques et depuis novembre 2009 pour les fissuromètres et cela jusqu'à la fin avril 2010.

Ces appareils ont été positionnés le plus perpendiculairement possible à l'orientation des fissures instrumentées. Ainsi, il est assumé que les valeurs mesurées correspondent à l'orientation du déplacement maximal. De plus, ces valeurs de déplacements seront utilisées afin de créer des vecteurs de déplacements absolus s'ils sont rattachés à l'extérieur du glissement ou bien relatifs, s'ils sont situés entre deux compartiments.

Sur le mur de soutènement en caissons de bois, un clinomètre bi-axial de technologie MEMs (Micro-Electro-Mechanical Systems) a été installé. Ce dernier mesure

les variations angulaires selon deux axes. L'axe « A », est orienté perpendiculairement au mur de soutènement, vers la mer, tandis que l'axe « B » est parallèle au mur.

3.5 Critères d'identification des blocs

L'identification des blocs (ou compartiments) a été réalisée en considérant les hypothèses suivantes : (1) dans la plan horizontal, un linéament se termine à la rencontre d'un autre ; (2) dans le plan vertical, le bloc se termine à la rencontre de la surface de rupture. Un bloc existe s'il est possible d'y observer des signes de déplacements sur au moins une de ses arêtes. On considère ici comme signe de déplacement des pentes mises à nue, une ouverture de fissures, une forte dénivellation locale dans le mort terrain (> 50 cm) et la présence de cavités.

4 RÉSULTATS

4.1 Modèle de terrain de référence

Le modèle numérique de référence haute résolution (i.e. celui de 2009) tel que présenté à la figure 2b permet d'analyser la morphologie du glissement actif avec un haut niveau de détails. Or suite à ce levé, la présence de certains éléments a été observée pour la première fois puisque ces derniers étaient situés sous un fort couvert végétal. Le premier élément consiste en la mise en évidence d'une cicatrice ancienne, adjacente et située à l'est du glissement étudié. Cette dernière est située sous un large couvert forestier. Les orientations des escarpements latéraux de ce glissement ancien présentent des similarités avec les fractures ouvertes délimitant le glissement actif. Le deuxième élément consiste en une zone dont l'origine de formation est encore inexpliquée. Cette zone présente des dépressions plus ou moins alignées et est située à l'ouest du glissement actif.

Afin d'observer les variations topographiques du MNT 2009 le long de la voie ferrée, un profil topographique a été échantillonné le long de ce dernier à chaque 0.5m, de l'ouest vers l'est. Les points de départ et d'arrivée du profil sont situés à l'extérieur du glissement étudié. Les points observables sur le MNT (figure 3b) présente le début et la fin du profil. Les limites du glissement actif et ancien sont indiquées à la figure 3a par les traits pointillés verticaux. Dans le haut de ce graphique, on observe divers marqueurs étant situés à proximité du chemin de fer. Les marqueurs A, E et O correspondent au nom des fractures tandis que les marqueurs Ex

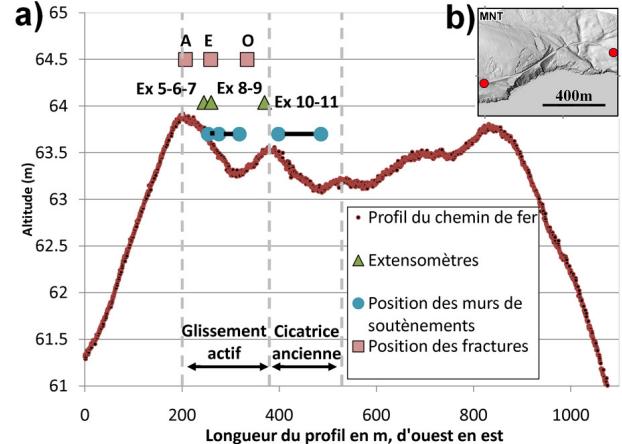


Figure 3. a) Profil topographique du chemin de fer extrait à partir du modèle numérique de surface (LiDAR aéroporté 2009). Notons que l'exagération verticale est d'environ 195x. b) MNT 2009 indiquant le début et la fin du profil.

correspondent à des couples extensométriques dont les déplacements seront discutés dans la section suivante. Les positions de ces marqueurs sont présentées à la figure 4.

Sur la figure 3a, dans le glissement actif, il est intéressant de remarquer que le segment séparant la fracture « E » et la fin du mur de soutènement (≈ 60 m) du glissement actif, a une pente négative de 0.34° . Il sera intéressant de comparer davantage les mouvements du ballast à partir des mesures de déformations in situ afin de voir si cette pente pourrait avoir été influencée par les mouvements de terrain. Ainsi, dans le cas du glissement de Gascons, le modèle numérique de terrain dérivé du levé LiDAR aéroporté 2009 (figure 2b) présente des évidences morphologiques liées au mouvement de terrain qui ont été cartographiées (figure 4) ce qui n'aurait pas été possible avec le modèle numérique de terrain réalisé en 2008 (figure 2a).

4.2 Cartographie des linéaments

Les linéaments qui serviront à définir le modèle bloc-cométrique ont été identifiés à la figure 4a et b. Étant donné que ces linéaments se sont développés dans des roches sédimentaires, la rossette des éléments structuraux du massif rocheux a été insérée pour illustrer le contrôle structural sur l'orientation générale des linéaments.

Le secteur I présente une série de linéaments qui sont fortement concentrés dans la partie ouest où on note la présence de larges fractures ouvertes et profondes (e.g. fissure G, fig. 4c). La paroi ouest de ces fractures coïnciderait approximativement avec la limite ouest du glissement de Gascons.

Le secteur III illustré dans la figure 4b présente plusieurs linéaments rapprochés et souvent plus courts que dans le secteur II. La longueur des fissures est principalement contrôlée par la proximité de ces dernières avec le haut de talus, favorisant la chute en

pied de talus des sections instables. De plus, le prolongement nord de ces fissures est masqué par la présence d'un remblai. L'ouverture des fractures de ce secteur varient entre 20 et 60 cm. Puisque le secteur remblai (III) subit régulièrement des travaux d'entretien, les fractures de ce secteur sont généralement remplies de matériel jusqu'en surface. Toutefois, selon nos observations dans les fissures « B », « D » et « M' », les profondeurs observées varient entre 2 et 4 m. Dans ce même secteur, à environ 2 m au nord du rail, une fracture orientée OSO-ENE, plus ou moins parallèle au chemin de fer, avait été cartographiée dans les rapports de Journeaux, Bédard & associés inc (2000 et 2003).

Toutefois, cette dernière n'a pas été observée depuis le début de nos travaux (i.e. juin 2009). Pour le secteur II, on remarquera que les linéaments n'ont pas été définis puisque ce dernier est caractérisé par de fortes pentes rendant la prise de données ardue. De plus ce secteur est partiellement recouvert de débris qui masquent la roche en place. Une analyse plus poussée des données en provenance du LiDAR terrestre permettra probablement de mettre en lumière certains éléments qui n'étaient pas visibles. Dans ce même secteur, la carte des pentes de la figure 4a permet d'observer le litage dans les secteurs plus pentus (parties située à l'extrême

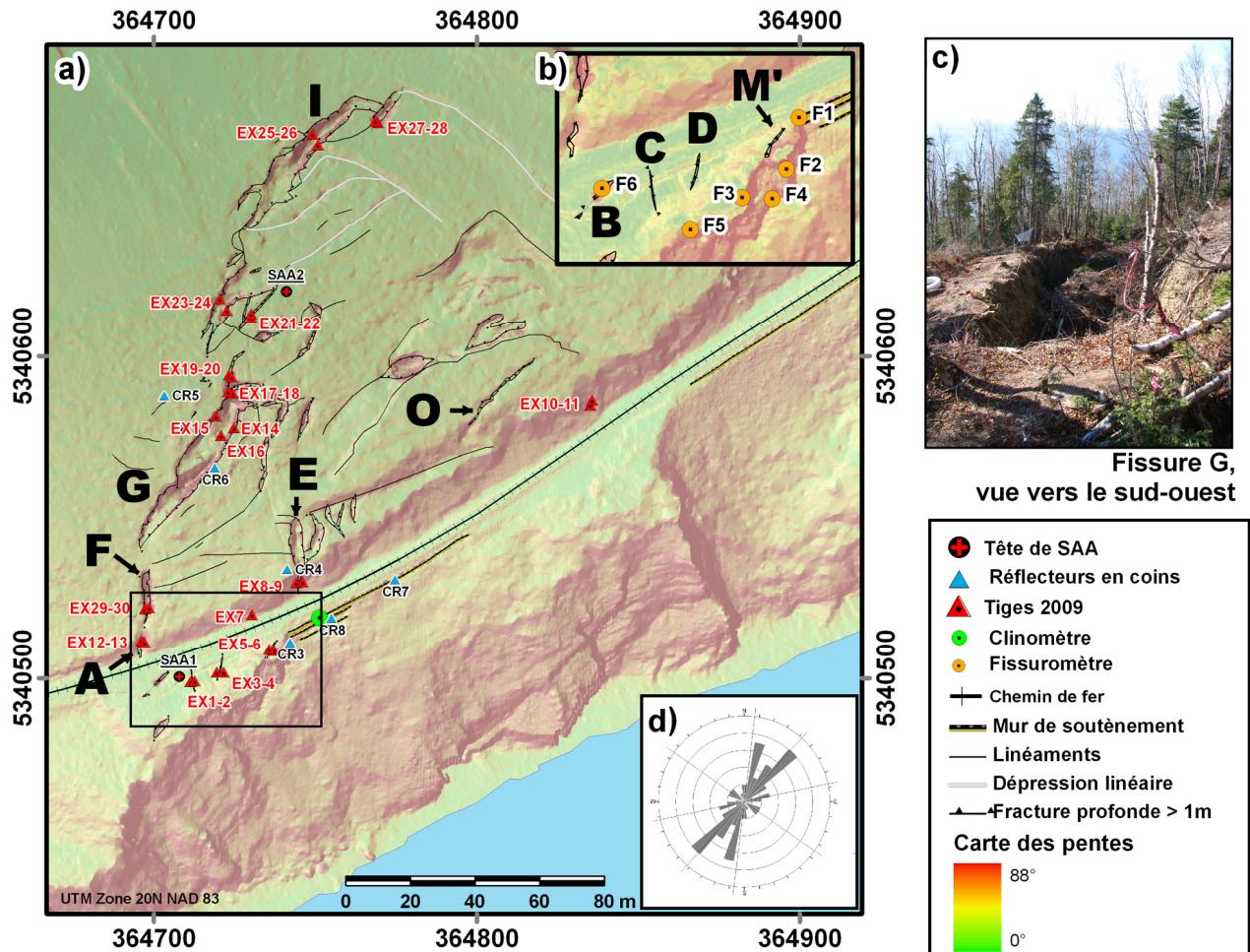


Figure 4. a) Cartographie des fractures et positionnement des appareils. Les lettres représentent le nom des principales fractures (tiré de Locat & Couture, 1995). L'arrière plan de la figure est une superposition du MNT 2009 et de sa carte des pentes. b) agrandissement du secteur remblai (III). c) photographie de la fissure G, la fissure fait environ 10 m en largeur. d) Rosette des éléments structuraux.

est et ouest du secteur II) où l'accumulation de débris n'est pas possible. Ainsi, à partir des orientations prédominantes liées à la structure du glissement (figure 4d), soit SO-NE, SSO-NNE, NO-SE et OSO-ENE et en se basant sur nos hypothèses de travail quant à la définition des blocs, il est possible d'interpoler ou

d'extrapoler la continuité de ces éléments afin de définir des blocs.

4.3 Le modèle blocométrique

La figure 5 présente les divers compartiments impliqués dans le glissement de Gascons et qui en définissent le

modèle blocométrique. Ces derniers ont été délimités en couplant la cartographie des fractures avec la morphologie du glissement. Ces blocs ont été délimités en prolongeant les éléments du réseau de fracture (i.e. fracture, linéament et dépression linéaire) selon la même orientation que la portion cartographiée (figure 4a et b). Or, lorsque les prolongements des éléments se croisaient, les arrêtes du compartiment étaient définies. Il est assumé que l'extérieur du glissement ne subit aucun déplacement (i.e. absence de bloc). Les espaces vides de la figure 5 correspondent aux grandes fractures du glissement (figure 4c). Les blocs tels que définis dans la figure 5 dont la délimitation est connue (i.e. sans traits pointillés) ont une superficie moyenne variant entre 20m² et 1400m². À l'intérieur du glissement, on observe

également que les blocs sont plus segmentés dans le secteur II, plus particulièrement en amont de la falaise ainsi que dans le secteur III (figures 5b et c). À ce moment, la surface de rupture n'étant pas clairement défini pour l'ensemble des secteurs du glissement (Cloutier et al. 2010), mais si on considère que la profondeur à la surface de rupture est comprise entre 20 et 40m, les volumes calculés varient de 400 à 56 000 m³.

Puisque les fissures et linéaments servent à définir les blocs, les arrêtes de ces derniers présentent alors des orientations concordant avec la rosette de la figure 4d. Les formes ainsi définies correspondent plus ou moins à des parallélépipèdes allongés. À l'ouest, l'axe principal des ces formes est presque orienté parallèlement au

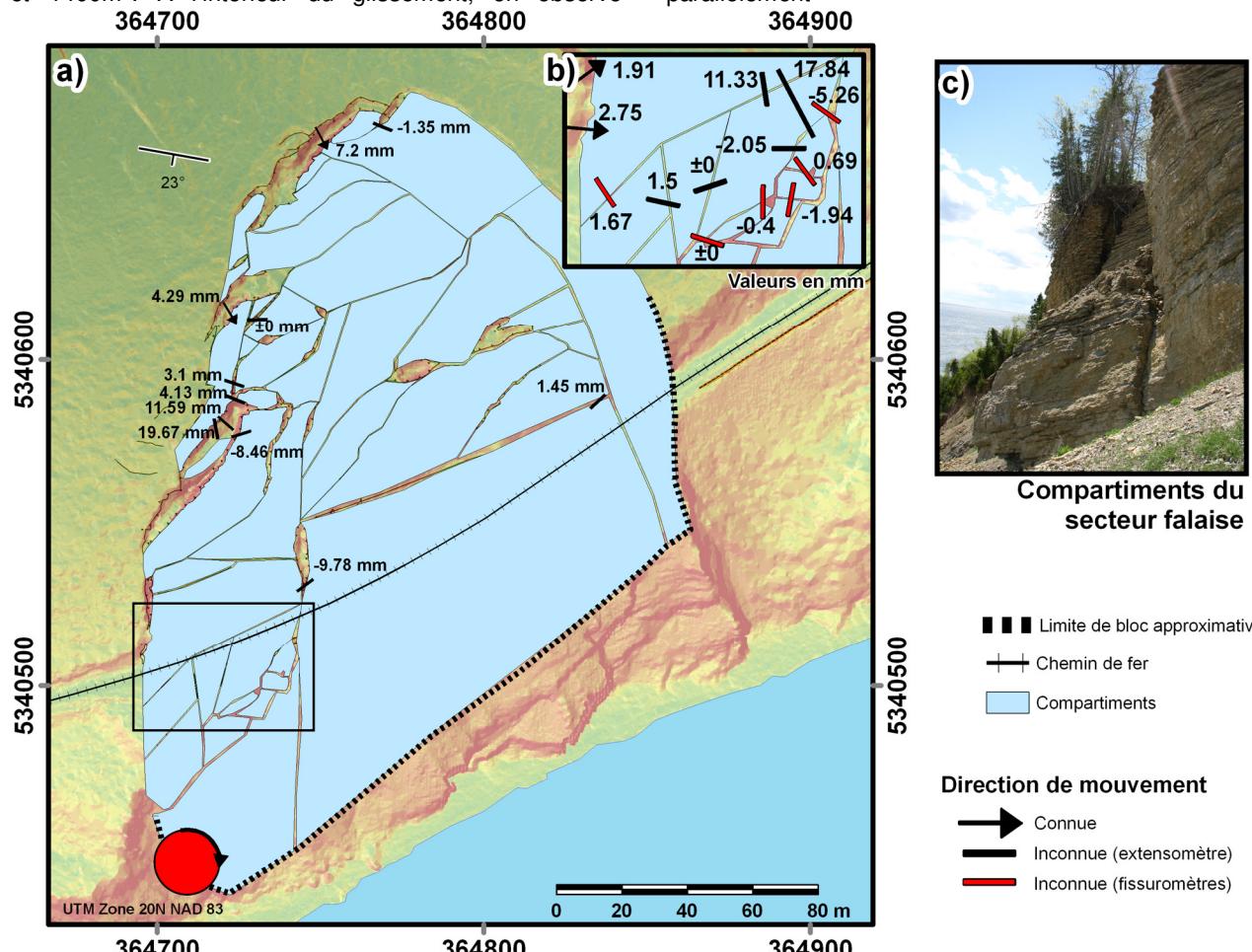


Figure 5. a) Les compartiments impliqués dans le glissement de Gascons et leurs valeurs de déplacement mesurées selon une orientation de lecture. L'orientation de lecture est donnée par l'orientation du trait tandis que la direction du mouvement selon cette orientation, par la flèche. Le point rouge accompagné d'une flèche suggère l'emplacement du point de pivot ainsi qu'un sens de rotation. b) Agrandissement du secteur remblai (III) où les compartiments sont de plus petite taille. c) Compartiments à la limite des secteurs falaise (II) et remblai (III).

pendage du litage. À l'est, ce même axe effectue une légère rotation horaire de quelques degrés.

Dans le secteur II, les blocs ne sont pas encore clairement déterminés. Par contre, en utilisant une projection de la surface de rupture proposée par Cloutier

et al. (2010) et illustrée par la ligne pointillée dans la falaise, on peut délimiter l'extension maximale des blocs dans le talus. Ce faisant, il est supposé que la trace de la surface de rupture serait à une altitude d'environ 10 m à

l'ouest du secteur II tandis qu'à l'extrême est, à une altitude d'environ 40m.

4.4 Valeurs de déplacements

Les mesures de terrain regroupent les valeurs observées depuis la mise en place des instruments à lecture manuelle ou automatique sur le site, c'est-à-dire depuis juin 2009 en ce qui concerne les tiges extensométriques et depuis novembre 2009 pour les fissuromètres.

Le tableau 1 présente les instruments, l'orientation de lecture, les déplacements mesurés selon cette orientation, le nombre de jours écoulés depuis la mise en place des instruments ainsi que le nombre de lectures effectuées. Ces informations sont également présentées à la figure 4a et b quant à la position des équipements tandis que les orientations de lecture et les déplacements mesurés sont présentés à la figure 5a et b.

La figure 5 présente l'orientation des déplacements et la direction de mouvement si elle est connue. Pour certains instruments, les directions de mouvement selon l'orientation de lecture sont connues puisqu'un côté de l'instrument est ancré à l'extérieur du glissement ; c'est le cas pour les instruments situés dans la fissure « A », « F » et « I ». Pour les autres, la direction de mouvement est considérée comme inconnue au moment de la rédaction de cet article.

Dans le secteur massif (I), c'est à l'intérieur des grandes fractures telles que « G » et « I » que l'on observe les déplacements avec la plus grande amplitude. Pour ces fissures, des déplacements orientés NO-SE variant entre 7 et 20 mm ont été observés pour une période de 9 mois. Dans la zone présentée dans la figure 5b, on observe des déplacements moyens de plus faible amplitude (1-5mm) pour les mesures orientées E-O à l'exception de la valeur pour la fissure « E » (-10mm). Les valeurs de déplacements de cette même zone (figure 5b), ayant une orientation N-S, on observe des déplacements de plus grande amplitude dont le maximum atteint presque 19mm.

Dans l'ensemble du glissement, des valeurs négatives sont observées (e.g. fissure « E », « G » et « M », figure 4a) et atteignent 10mm. Ces valeurs négatives reflètent la complexité des déplacements que l'on observe au site de Gascons. Elles permettront de mieux comprendre les déplacements des compartiments définis dans le modèle blocométrique.

Tableau 1. Caractéristiques des déplacements mesurés. Les orientations sont par rapport au nord géographique. (EX : tiges extensométriques, F : fissuromètres). Voir figure 4 pour la localisation des instruments.

Référence	Déplacement mesuré (mm)	Orientation de lecture (°)	Nb. de jours écoulés	Nb. de lectures
EX1-2	1.50	102	277	12
EX3-4	± 0	71	277	13
EX5-6	- 2.05	89	277	7

EX5-7	11.33	171	277	7
EX6-7	17.84	155	277	7
EX8-9	- 9.78	233	277	6
EX10-11	1.45	227	277	6
EX12-13	2.75	95	277	7
EX14-15	11.59	131	277	6
EX14-16	- 8.46	253	277	6
EX15-16	19.67	170	277	6
EX17-18	4.13	111	277	6
EX19-20	3.10	108	277	6
EX21-22	± 0	87	277	6
EX23-24	4.29	149	277	6
EX25-26	7.20	152	277	6
EX27-28	- 1.35	111	277	6
EX29-30	1.91	54	88	3
F1	- 5.26	305	174	2612
F2	0.69	143	174	2612
F3	- 0.40	0	174	2612
F4	- 1.94	190	174	2612
F5	± 0	107	174	2612
F6	1.67	146	174	2612

5 DISCUSSION

5.1 Qualité du modèle numérique de terrain

La figure 2 montre l'importance d'effectuer un levé LiDAR avec une densité de points adéquate afin de déceler des éléments difficilement repérables sous le couvert végétal. Le levé 2009 a été fait suite à l'analyse d'une première campagne LiDAR en 2008 effectuée pour le Ministère de la Sécurité publique du Québec. Ce dernier a une densité jugée insuffisante pour générer un modèle numérique de terrain précis (0,025 points/m²). Dans cette figure on observe de grandes différences à ce qui a trait au niveau de détails visibles. Ainsi, il est important de définir un modèle de référence de qualité, plus particulièrement lorsque les évidences de mouvements de terrain sont situées sous un large couvert forestier.

5.2 Cinétique et directions de déplacements observables

Suite à l'analyse des données recueillies sur le site, des compartiments ont été délimités par le prolongement des fractures, des linéaments et des dépressions. Ainsi, les valeurs mesurées avec les instruments en place permettent de mieux comprendre les déplacements des compartiments selon une orientation de lecture fixe. Or, pour le moment, il est difficile de créer un vecteur de déplacement pour chacun de ces compartiments. L'ajout de nouvelles tiges, des combinaisons supplémentaires entre les tiges extensométriques ainsi que l'ajout des données satellitaires permettront de définir un vecteur de déplacement indépendant de l'orientation de lecture. C'est à partir d'une analyse plus poussée des déplacements se produisant à l'interface des blocs (i.e.

fractures, linéaments, etc.) qu'il sera possible de définir un sens de mouvement et une vitesse de déplacement pour un bloc donné.

De plus, à partir des données actuellement disponibles, des différences sont mesurées entre l'amont et l'aval du glissement. Ainsi, les fissures « G » et « I » présentent des valeurs de déplacements vers la mer variant entre 7 et 20 mm pour une période de 9 mois, tandis que la partie aval (secteur II) présente des déplacements moyens variant entre 1 et 5 mm pour la même période. Or cette différence suggérerait que le massif se désarticule plus rapidement, en amont qu'en aval.

Au-delà de cette tendance, l'orientation des arrêtes des compartiments, la forme des blocs ainsi que la forme en éventail de la fracture « G » suggère que le massif se déplace en effectuant une rotation horaire dont le point de pivot serait situé à l'extrémité sud-ouest du glissement actif (point rouge, figure 5a). Or, la position de ce point de pivot concorde au renversement de pendages causé par la faille de la rivière Port-Daniel. Ainsi, l'effet structural de la faille sur les strates créerait une butée qui limiterait le glissement selon une direction de mouvement NE-SO. De plus, la présence d'une pente plus abrupte et de surplombs dans la partie est du secteur falaise (II) suggère que l'érosion en pied de talus y est plus active à l'est qu'à l'ouest. Ainsi, les compléments d'instrumentation (i.e. données satellitaires et combinaisons de tiges extensométriques) à l'intérieur du glissement actif permettront de confirmer ou d'inflimer ces hypothèses.

5.3 Compatibilité entre les mesures

Avec l'instrumentation en place sur le site de Gascons, certains appareils situés à proximité les uns des autres présentent des compatibilités de mesures. Ainsi, certains secteurs présentent des périodes où différents instruments mesurent des déplacements de même amplitude.

De plus, des données satellitaires issues de la technique PTA-InSAR (Couture et al. 2010) seront bientôt disponibles. L'avantage de cette méthode sera de définir des valeurs de déplacements absolues sur les blocs instrumentés. Ces valeurs donneront une toute autre dimension aux valeurs de déplacements relatives mesurées jusqu'à présent (extensomètres, fissuromètres) ce qui facilitera l'analyse des mouvements relatifs de divers compartiments. Les données satellitaires seront disponibles selon un intervalle de 24 jours. Ainsi, les appareils de mesure situés à proximité des réflecteurs en coin permettront de valider les mesures satellitaires avec les mesures terrain.

Lors de prochaines campagnes de terrain, des compléments d'information seront obtenus. Plus particulièrement en effectuant des combinaisons entre des tiges extensométriques afin de mieux comprendre le sens des déplacements des compartiments les uns par rapport aux autres. D'autres données structurales plus détaillées en amont et en aval des fractures permettront

de lier la morphologie du glissement avec les mouvements des compartiments.

6 CONCLUSION

Le site de Port-Daniel-Gascons a été instrumenté afin de mieux évaluer la stabilité du massif rocheux qui sert d'assise pour la voie ferrée du chemin de fer de la Gaspésie. L'intégration des données aéroportées (LiDAR) et structurales a permis de proposer un premier modèle blocométrique et aussi de quantifier la variation de la topographie du profil du chemin de fer. Par la suite, les résultats préliminaires provenant des lectures des couples extensométriques et des fissuromètres ont démontré que le massif est en mouvement. Le couplage des valeurs en provenance du ruban extensométrique et des fissuromètres a rendu possible la surveillance de mouvements de masse de diverses dimensions.

Il a été illustré qu'il est nécessaire d'effectuer un levé LiDAR avec une densité de points adéquate afin de déceler des éléments difficilement repérables sous le couvert végétal.

La cinématique du mouvement rocheux qui affecte le massif de Gascons a été ébauchée. Une analyse plus poussée des vitesses de déplacements ainsi que des mécanismes de rupture se produisant à Gascons permettra de mieux interpréter les déplacements mesurés par certains instruments. Cette analyse permettra de raffiner la compréhension globale du glissement.

Finalement, avec les données présentées ici, il a été possible de proposer un premier modèle blocométrique du glissement de Gascons, lequel sera essentiel pour l'intégration des données de déplacements satellitaires (Couture et al. 2010).

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier leurs partenaires financiers sans quoi, la réalisation de ce projet serait impossible : le ministère des Transports du Québec, le ministère de l'Éducation, du Loisirs et du Sport du Québec et l'Agence Spatiale Canadienne. Nous soulignons également la participation de Transports Canada. Nous remercions aussi le Secteur des Sciences de la Terre pour sa contribution (No. 20100062) ainsi qu'à Andrée Blais-Stevens pour ses corrections et suggestions. Merci à ceux qui ont participé aux travaux de terrain : les étudiants du LERN, les employés de la Société des Chemins Fer de la Gaspésie ainsi que Stéphan Gravel (B-VER) pour les travaux en falaise.

BIBLIOGRAPHIE

- Baltsavias, E. 1999. A comparison between photogrammetry and laser scanning. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, Elsevier BV. vol. 54, n°2-3, 83-94.
- Cloutier, C., Locat, J., Lord, P.-E., and Couture, R., 2010, Caractérisation des instabilités côtières dans le secteur de Port-Daniel-Gascons, Gaspésie, Québec. *63^{ème} Conférence Canadienne de Géotechnique*, Calgary, Septembre 2010, 8p.
- Couture, R., Charbonneau, F., Murnaghan, K., Singhroy, V., Lord, P.-E., et Locat, J., 2010. PTA-InSAR rock slope monitoring at the Gascons site, Gaspé Peninsula, Quebec. *63^{ème} Conférence Canadienne de Géotechnique*, Calgary, Septembre 2010, 8p.
- Génilab BSLG Inc. 1988. Rapport 88805 Stabilité et crevasses pour le Bureau de la protection civile du Québec. Rimouski, Qc, Canada : 10, non publié.
- Journeaux, Bédard & associés inc. 2000. Rapport S-00-1133 Évaluation du site de l'affaissement P.M. 30.5 (Gascons est) pour le Chemin de fer de la Matapédia et du Golfe, Mont-Joli, Qc, Canada: 13, non publié.
- Journeaux, Bédard & associés inc. 2003. Rapport S-03-1460 Inspection des zones d'instabilité, Mile 30.6 Chandler Ouest et mile 96.28 Chandler est pour le Chemin de fer de la Matapédia et du Golfe, Mont-Joli, Qc, Canada : 28, non publié.
- Locat, J. et Couture, R. 1995. Rapport final : Analyse de la stabilité du massif rocheux au millage 30.5, Division de Chandler, Anse-aux-Gascons, Gaspésie, Québec. GREGI, Université Laval- non publié.
- Locat, J., Cloutier, C., Lord, P.-E., Jacob, J., Couture, R., Charbonneau, F., Singhroy, V., Danisch, L., Jaboyedoff, M., Pedrazinni, A., Gravel, S., 2010. An integrated mass movement monitoring system for rockslide hazard assessment at Gascons, Gaspé Peninsula, Québec: *63^{ème} Conférence Canadienne de Géotechnique*, Calgary, Septembre 2010, 8p.
- Rosser, N.J., Petley, D.N., Lim, M., Dunning, S.A., Allison, R.J. 2005. Terrestrial laser scanning for monitoring the process of hard rock coastal cliff erosion, *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, vol. 38, n°4:363-375