

**Projet ParaChute:  
Développement d'un outil de gestion intégrée des chutes de  
pierres le long d'infrastructures linéaires**

**Retour sur le 1<sup>er</sup> atelier sur les effets potentiels des  
changements climatiques sur les mouvements  
gravitaires au Québec  
31 janvier 2017 à l'Université Laval**

Auteurs

**Catherine Cloutier<sup>1</sup>**

**Kevin Hébert<sup>2</sup>**

**Jacques Locat<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Département de géologie et de génie géologique, Université Laval*

<sup>2</sup>*Département de génie civil et de génie des eaux, Université Laval*



**Transports,  
Mobilité durable  
et Électrification  
des transports**



**Sécurité publique**



Glissement de Saint-Luc-de-Vincennes  
(Novembre 2016)



**Mai 2017**

## Résumé

Le premier atelier sur l'effet des changements climatiques sur les mouvements gravitaires au Québec s'est tenu le 31 janvier 2017, à l'Université Laval. Il a débuté par quatre présentations plénières, suivies d'un tour de table des participants. L'après-midi a été entièrement dédié à des discussions, animées par la présentation des résultats d'un sondage remplis par les participants préalablement à l'événement. L'atelier a impliqué quarante-six participants, dont trente-sept ont pris part à la journée entière. L'événement a permis d'amorcer les réflexions sur le sujet pour le Québec et de mettre en lumière la pertinence de ce sujet et la nécessité d'effectuer des études pour mieux cerner les impacts potentiels. Au Québec, les coulées de débris, les glissements superficiels, les glissements côtiers et les mouvements dans le pergélisol seraient les types de rupture les plus sensibles au climat et à ses variations futures.

## Table des matières

1	Introduction.....	1
2	Horaire de la journée.....	2
3	Participants.....	3
4	Plénières.....	4
5	Discussions .....	5
5.1	Compilation du sondage .....	5
5.1.1	Fonctionnement du tableau .....	7
5.1.2	Compilations des réponses .....	9
5.2	Comprendre et projeter .....	16
5.2.1	Scénarios de changements climatiques .....	16
5.2.2	Réseaux des stations météorologiques et modélisation du climat au Québec .....	16
5.2.3	Études par bassins versants .....	17
5.2.4	Nord-du-Québec .....	17
5.2.5	Glissements côtiers .....	18
5.2.6	Glissements superficiels .....	18
5.2.7	Grands glissements de terrain dans les dépôts argileux.....	18
5.2.8	Chutes de pierres .....	19
5.3	Adapter .....	20
6	Plan d'actions .....	20
7	Synthèse.....	21
8	Références .....	22
9	Annexe .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.1	Diapositives présentées lors des conférences plénières	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.2	Document d'invitation à l'atelier .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.3	Documents d'informations fournis aux participants .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## Table des illustrations

Tableau 1 Participants présents à l'atelier du 31 janvier.....	3
Tableau 2 Le sondage était présenté aux répondants sous la forme d'un tableau avec 88 cases à remplir.....	6
Tableau 3 Réponses à la première question: « est-ce que le climat peut influencer ce type de glissement? ».....	12
Tableau 4 Compilation des réponses pour la deuxième question : « est-ce que le climat peut influencer la fréquence de ce type de glissements et de quelle manière? » .....	12
Tableau 5 Compilation des réponses pour la troisième question : « est-ce que le climat peut influencer le volume de ce type de glissements et de quelle manière? » .....	13
Tableau 6 Compilation des réponses des questions de catégories 2 et 3 pour les glissements côtiers de tous types.....	13
Tableau 7 Compilation des réponses des questions de catégories 2 et 3 pour les mouvements en présence de pergélisol dans les dépôts fins et granulaires en plaine .....	13
Tableau 8 Compilation des réponses des questions de catégories 2 et 3 pour les glissements de terrain superficiels.....	14
Tableau 9 Compilation des réponses des questions de catégories 2 et 3 pour les coulées de débris de tous types .....	14
Tableau 10 Compilation des réponses des questions de catégories 2 et 3 pour les chutes de pierres.....	14
Tableau 11 Compilation des réponses des questions de catégories 2 et 3 pour les glissements multiples qui surviennent suite à un événement peu fréquent et particulier (par exemple, les glissements survenant suite à une inondation, à un séisme, ou à une pluie intense). .....	15
Tableau 12 Compilation des réponses des questions de catégories 2 et 3 pour les grands glissements dans les argiles post-glaciaires (étalements et coulées).....	15
Tableau 13 Compilation des réponses des questions de catégories 2 et 3 pour les glissements rocheux .....	15

# 1 Introduction

L'intérêt concernant les effets des changements climatiques sur les mouvements de terrain est récent (e.g. Crozier 2010, Cloutier et al. 2016, Gariano et Guzzetti 2016). Par contre, les effets des composantes du climat, et de l'eau en particulier, sont depuis longtemps pris en compte dans la compréhension de l'évolution de la stabilité d'un talus (Varnes 1958). À ce sujet, en 1978, Lafleur et Lefebvre (1978) ont présenté une étude des relations entre les précipitations et les glissements au Québec qui démontre que les glissements sont plus fréquents aux périodes de l'année où l'apport en eau vers les sols est grand. Alors comment faire le lien entre nos connaissances des effets du climat actuel sur la stabilité des pentes et les préoccupations reliées aux changements climatiques ?

Au Québec, la question commence seulement à être posée. Pourtant, les mouvements gravitaires sont bien une préoccupation, puisque quelques centaines de glissements surviennent annuellement. La majorité des cas ont de faibles conséquences, mais 25 cas sont responsables de 124 décès depuis 1970. C'est pour stimuler la réflexion sur l'effet des changements climatiques sur les mouvements gravitaires au Québec que s'est tenu l'atelier du 31 janvier 2017.

L'atelier s'est déroulé à l'Université Laval et a été financé par le projet de recherche *ParaChute*, lui-même financé par ArcelorMittal Infrastructures Canada et le Ministère des Transports de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports, via le Fonds vert. Au total, trente-sept personnes ont participé à la journée entière et neuf personnes ont assisté seulement aux présentations plénières de la matinée.

Les participants étaient invités à préparer une présentation de quelques minutes pour partager en quoi le sujet les concerne et à fournir des thèmes de discussion pour l'après-midi. De plus, un sondage sur les effets potentiels de certaines variables climatiques sur les glissements de terrain a été distribué aux participants quelques semaines avant l'atelier. Les participants ont répondu au sondage avant l'événement et la présentation des résultats a démarré les discussions.

Ce rapport résume l'événement, en débutant par la présentation de l'horaire de la journée et des participants. Il se poursuit par une courte description des présentations plénières qui ont débuté la journée, puis enchaîne avec les thématiques abordées au cours des discussions en après-midi. Cette section inclut la présentation des résultats du sondage. Une reproduction des diapositives présentées lors des conférences plénières, ainsi que l'invitation et les documents d'information fournis aux participants avant l'événement se trouvent en annexe.

## 2 Horaire de la journée

La journée s'est déroulée conformément à l'horaire prévu, qui est présenté ci-dessous. La première partie de la journée était réservée à quatre présentations plénières qui ont permis d'introduire des concepts et des études de cas pertinents aux discussions subséquentes. Suite aux présentations, les participants se sont présentés, à tour de rôle, en mentionnant leurs préoccupations face aux impacts potentiels des changements climatiques sur les glissements de terrain ou en quoi ces thèmes ont des impacts sur leurs travaux. Enfin, l'après-midi était réservée à des discussions. Ces discussions ont été introduites et guidées par la présentation des résultats d'un sondage construit sous la forme d'un tableau, qui avait été distribué aux participants avant l'atelier.

- 8h30 Mot de bienvenue (**René Therrien**, vice-doyen à la recherche, Faculté des sciences et de génie, Université Laval)
- 8h40 Les glissements de terrain et les changements climatiques (**Jacques Locat et Catherine Cloutier**, Université Laval)
- 9h10 Vue des scénarios et services climatiques (**Élyse Fournier**, Ouranos)
- 9h30 Retour sur le déluge du Saguenay (**Didier Perret**, Commission géologique du Canada)
- 9h50 L'érosion côtière et les mouvements de terrain dans l'est (**Francis Gauthier**, UQAR)
- 10h15 Pause santé
- 10h30 Table ronde
- 12h00 Dîner
- 13h00 Discussions
- 15h15 Pause santé
- 15h30 Synthèse des discussions et plan d'actions
- 16h00 Réseautage et fin des discussions

### 3 Participants

Les participants présents à l'atelier sont indiqués au tableau 1. La deuxième section du tableau 1 dresse la liste des personnes ayant assisté seulement aux présentations plénières. Les quelques participants qui devaient être présents, mais qui ont dû annuler leur présence sont énumérés sous le tableau.

Les participants provenaient de trois ministères provinciaux, de deux compagnies ferroviaires, d'une société d'état, d'un organisme fédéral, d'un consortium scientifique et de deux universités. Approximativement 34% sont des chercheurs et étudiants universitaires et 10% des chercheurs de la Commission géologique ou du Consortium Ouranos. 44% des participants provenaient de ministères et le dernier 10% de l'industrie (Hydro-Québec, CN et ArcelorMittal).

**Tableau 1 Participants présents à l'atelier du 31 janvier**

Prénom	Nom	Organisation	Service
<b>Participants à la journée entière</b>			
René	Therrien	ULaval	Vice-doyen à la recherche FSG
Jacques	Locat	ULaval	GGL-GLG
Dominique	Turmel	ULaval	GGL-GLG
Catherine	Cloutier	ULaval	GGL-GLG
Ariane	Locat	ULaval	GCI-GEX
Kevin	Hébert	ULaval	GCI-GEX
Michel	Allard	ULaval	Centre d'Études Nordique
Jean-Michel	Lemieux	ULaval	GGL-GLG
Martin	Grenon	ULaval	GMN
Francis	Gauthier	UQAR	Géographie
Michel	Michaud	MTMDET	Direction de l'environnement et de la recherche
Chantal	Jacob	MTMDET	Sécurité ferroviaire
Eric	Auzolles	MTMDET	Sécurité ferroviaire
Denis	Demers	MTMDET	Section des Mouvements de terrain
Pascal	Locat	MTMDET	Section des Mouvements de terrain
Alexis	Fortin	MTMDET	Section des Mouvements de terrain
Pierre	Dorval	MTMDET	Section des Mouvements de terrain
François	Bossé	MTMDET	Section des Mouvements de terrain
Amélie	Soucy	MTMDET	Centre de la coordination de la sécurité civile
Etienne	Quirion	MTMDET	Centre de la coordination de la sécurité civile
Chantal	Bilodeau	MSP	Direction de la prévention et de la planification
Pascal	Marceau	MSP	Direction de la prévention et de la planification
Nathalie	Martel	Ouranos-MDDELCC	
Simon	Ricard	MDDELCC	Direction de l'expertise hydrique
Jean-Denis	Bouchard	MDDELCC	Direction de l'expertise hydrique
France	Maurice	MDDELCC	Direction principale des barrages publics
Pierre	Gionet	ArcelorMittal	Contremaître principal - Entretien voie ferrée
Andrée	Blais-Stevens	CGC - Ottawa	Chercheuse scientifique
Didier	Perret	CGC - Québec	Chercheur scientifique
Mario	Ruel	CN	Directeur principal géotechnique & géo-risques
Nathalie	Bleau	Ouranos	Environnement Bâti

Prénom	Nom	Organisation	Service
Eric	Peloquin	Hydro-Québec	Direction Barrages et infrastructures
Élyse	Fournier	Ouranos	Groupe scénarios et services climatiques
Luc	Harvey	Hydro-Québec	Direction Barrages et infrastructures
Julie	Therrien	ULAVAL	MTMDET ET GCI-GEX
Mélanie	Mayers	ULAVAL	GGL-GLG
Heather	Brooks	ULAVAL	GCI-GEX
Hubert	Michaud	ULAVAL	GCI-GEX
<b>Participants à la première partie de la journée</b>			
Prénom	Nom	Organisation	Service
Denis	Robitaille	MTMDET	Section des Mouvements de terrain
Frédérique	Tremblay-Auger	ULAVAL	GCI-GEX
Janelle	Potvin	MTMDET	Section des Mouvements de terrain
Catherine	Thibault	MTMDET	Section des Mouvements de terrain
Maryse	Létourneau	MTMDET	Section des Mouvements de terrain
Stéphane	Paradis	MTMDET	Section des Mouvements de terrain
Karine	Bélanger	MTMDET	Section des Mouvements de terrain
Rémi	Mompin	MTMDET	Section des Mouvements de terrain
Thomas	Fournier	MTMDET	Section des Mouvements de terrain

#### **Participants absents**

Benoît Dubeau, SEPAQ  
 Annick Bigras, Hydro-Québec  
 Diane Chaumont, Ouranos  
 Pascal Bernatchez, UQAR  
 Richard Fortier, ULAVAL  
 Patrick Lajeunesse, ULAVAL

## **4 Plénières**

Quatre présentations, l'une de 30 minutes et trois de 20 minutes ont amorcé la rencontre. Le matériel visuel qui a été présenté a été rendu disponible par les cinq présentateurs et est fourni en annexe à ce rapport. Une version informatique a déjà été fournie aux participants.

La première présentation, donnée par Catherine Cloutier et Jacques Locat, avait pour but de faire une revue globale des divers mécanismes qui peuvent conduire à des glissements de terrain et comment le climat et les événements météorologiques peuvent influencer ces mécanismes. De plus, la situation québécoise en termes de glissement de terrain a été survolée.

La seconde présentation, donnée par Élyse Fournier du consortium Ouranos, a présenté les services de modélisation climatiques offerts par le groupe et a fait une revue des scénarios climatiques disponibles pour le secteur étudié dans le cadre du projet *ParaChute*. Cette présentation a permis de cibler certaines variables climatiques pertinentes à l'étude des mouvements gravitaires.



Didier Perret, de la Commission géologique du Canada, a ensuite présenté l'événement de fortes précipitations de juillet 1996 dans la région du Saguenay-Lac-St-Jean qui a causé un grand nombre de glissements de terrain de divers types. Des exemples de glissements ont été détaillés et le rôle des précipitations sur leur déclenchement a été investigué. Au cours de la présentation, il a rappelé les conséquences humaines, économiques et géomorphologiques de l'événement.

La dernière présentation, donnée par Francis Gauthier, professeur à l'UQAR, traitait des effets potentiels des changements climatiques sur les mouvements de versant dans l'est du Québec. Il a abordé les activités torrentielles dans les petits cours d'eau, telles que les coulées de débris et les crues soudaines, qui sont déclenchées par les événements de précipitations abondantes et souvent très localisées. Actuellement, le territoire couvert par les stations météorologiques est insuffisant pour mesurer convenablement ces événements, qui sont parfois des orages très localisés. Il a discuté de l'effet du régime thermique, dont la profondeur du gel et les cycles de gel-dégel, sur l'altération des massifs rocheux et la production de chutes de pierres. Pour conclure, l'érosion côtière et ses effets sur la stabilité des côtes ont été présentés.

## 5 Discussions

Cette section présente les points principaux ayant ressortis de la discussion qui s'est déroulée de 13h à 16h. Les discussions se sont faites au fil de la présentation du sondage sur les impacts potentiels du climat sur les divers types de mouvements gravitaires. Les discussions étaient donc en partie liées à un type de mouvement ou à un environnement.

### 5.1 Compilation du sondage

L'objectif principal de ce sondage était d'amorcer la réflexion des participants sur les effets potentiels des changements climatiques sur les divers types de mouvements gravitaires, afin de stimuler les discussions de l'atelier. Le second objectif était de créer un outil pour animer la période de discussion. L'exercice a bien répondu à ces deux objectifs. Secondairement, le sondage permet de connaître les impressions des répondants par rapport aux variables climatiques qui pourraient être plus susceptibles d'influencer le déclenchement des glissements et quels effets pourraient avoir le climat sur les glissements, soit en termes de fréquence, de volume, de saisonnalité, etc.

Il s'agissait de la première fois que nous utilisons une telle approche, et si c'était à refaire, quelques changements seraient apportés au tableau (tableau 2) et à la manière de le présenter aux participants. Étant donné les objectifs principaux de l'exercice, celui-ci a été présenté aux participants avec très peu d'explications. Certaines consignes portaient à confusion et ont nui à la validité des réponses. Le niveau de connaissances techniques des mécanismes de rupture varie beaucoup entre les participants. Ainsi, ces résultats doivent être pris dans leur contexte et sont présentés uniquement à titre indicatif et pour venir appuyer le résumé des discussions présentés à la section 5.2. Lors des discussions, les répondants ont discutés des raisons de leurs réponses au sondage, indiquant par le fait même l'ambiguïté de certaines questions.

Cette section présente d'abord le tableau tel qu'il a été présenté aux participants (tableau 2). Puis, les résultats seront présentés, en faisant ressortir quelques aspects intéressants. Vingt et un (21) tableaux complétés ont été compilés. Certains ont été remplis par deux personnes d'une même organisation.

Tableau 2 Le sondage était présenté aux répondants sous la forme d'un tableau avec 88 cases à remplir.

	Est-ce que le climat peut influencer ce type de glissement? En terme de fréquence ou/et de volume?			De quelle manière les changements projetés des variables climatiques suivantes impacteront l'occurrence des glissements de terrain ? Inscrivez si le changement projeté causera une augmentation ou une diminution de la fréquence et de l'intensité des divers types de glissements, ou si l'effet est incertain ou nul.						Dans le futur, comment les variables suivantes influenceront-elles la susceptibilité du territoire québécois aux glissements de terrain?	
	Degré affecté	Fréquence	Volume	Augmentation de la T [°]	Augmentation des Précip. annuelles [mm]	Épisodes de précipitations abondantes plus fréquents	Diminution des chutes de neige et maximum atteint plus tôt dans l'hiver	Changements saisonniers du régime hydrique	Augmentation du niveau moyen des mers	Utilisation du territoire (Impact activité humaine)	Augmentation des feux de forêt
<b>Utilisez les menus déroulant pour compléter le tableau</b>											
Grands glissements dans les argiles marines post-glaciaires (coulée et étalement)											
Glissements côtiers (tous types)											
Glissements de terrain superficiel											
Glissements rocheux											
Chutes de pierres											
Coulées de débris											
Mouvements en présence de pergélisol dans les dépôts fins et granulaires, en plaines											
Glissements multiples suite à un événement (séisme, météo, inondation)											

### 5.1.1 Fonctionnement du tableau

Le sondage envoyé aux participants de l'atelier prenait la forme d'un tableau Excel de huit lignes, représentant chacune un type de mouvement gravitaire ou un type d'environnement, énuméré ci-dessous :

1. grands glissements dans les argiles marines post-glaciaires (coulée et étalement);
2. glissements côtiers (tous types);
3. glissements de terrain superficiels;
4. glissement rocheux;
5. chutes de pierres;
6. coulées de débris (tous types);
7. mouvements en présence de pergélisol dans les dépôts fins et granulaires, en plaines;
8. glissements multiples suite à un événement (séisme, météo, inondation).

Pour chacun des huit types énumérés, le répondant devait répondre à onze questions en sélectionnant un choix parmi un menu déroulant. Les questions sont les colonnes du tableau. Accessoirement, le répondant pouvait inscrire des commentaires dans une douzième colonne. Au total, 88 cases étaient à remplir ; le tableau était donc assez long à remplir. Pour cette raison, nous avons tenté de limiter le nombre de types de mouvements gravitaires en les regroupant sous certains thèmes et en éliminant certains.

Les onze questions sont regroupées en trois catégories, décrites ci-dessous.

#### Catégorie 1 (3 colonnes en bleu)

Dans cette première catégorie, on se demande si le climat et la météo agissent comme éléments déclencheurs ou prédisposants et si oui, si les changements projetés pourraient avoir un quelconque effet. La première question et les choix de réponses sont retranscrits ici. Le numéro à gauche de la question indique le numéro de la colonne du tableau.

1. Est-ce que le climat peut influencer ce type de glissement ?
  - incertain
  - aucunement
  - légèrement
  - significativement

Si la réponse à la première question est oui (incertain, légèrement, significativement), alors il faut répondre au reste de la ligne concernant ce type de mouvement gravitaire. Si « aucunement » est la réponse choisie, le répondant passe à la prochaine ligne.

Ensuite, on doit indiquer si l'effet envisagé sera d'augmenter ou de diminuer la fréquence (nombre de glissements par années) et le volume (l'ampleur des événements), ou alors s'il n'y aura pas d'effet.

2. Est-ce que le climat peut influencer la fréquence de ce type de glissements et de quelle manière?
3. Est-ce que le climat peut influencer le volume de ce type de glissements et de quelle manière ?
  - incertain

- aucun changement
- faible augmentation
- augmentation
- faible diminution
- diminution

### **Catégorie 2 (6 colonnes en turquoise)**

Cette catégorie vise à investiguer lesquelles des multiples variables climatiques auraient le potentiel d'influencer les glissements de terrain. Les variables climatiques peuvent être définies d'une multitude de façons. Par exemple, les précipitations, et leurs changements anticipés, sont décrits en utilisant divers paramètres, tels que les précipitations moyennes annuelles, l'intensité des précipitations, etc. Seulement six variables climatiques ont été sélectionnées pour l'exercice, sur la base de leur simplicité et de la disponibilité de projections de leur variation. La description fournie aux participants était limitée à ce qui est inscrit dans les colonnes. Pour cinq des six paramètres, le changement anticipé pour le Québec, ou pour certaines régions, est aussi mentionné. Il a été déterminé à partir des informations disponibles dans la synthèse d'Ouranos (2014) et Fournier et al. (2016). La question posée était : « de quelle manière les changements projetés des variables climatiques suivantes impacteront l'occurrence des glissements de terrain? ». Les six variables climatiques sont énumérées ci-dessous. L'abréviation indiquée entre parenthèses sera utilisée dans les tableaux de ce rapport.

4. Augmentation de la température (T)
5. Augmentation des précipitations annuelles (Précip. an.)
6. Épisodes de précipitations abondantes plus fréquents (Forte précip.)
7. Diminution des chutes de neige et maximum atteint plus tôt dans l'hiver, car les hivers seront plus courts (Neige)
8. Changements saisonniers du régime hydrique. Cette variable représentait les variations de périodes de crues et d'étiage, et les changements que cela pourraient engendrer de l'érosion et de la sédimentation. Le nombre limité d'explications a fait en sorte que cette variable n'a pas été bien comprise par les répondants et les résultats ne reflètent probablement pas bien l'impression des répondants. (Hydrique)
9. Augmentation du niveau moyen des mers (NMM)

Les choix de réponses étaient :

- incertain;
- aucun changement;
- faible augmentation;
- augmentation;
- faible diminution;
- diminution.

### **Catégorie 3 (2 colonnes en vert)**

La troisième catégorie visait à sonder les répondants par rapport à d'autres variables, qui ne sont pas nécessairement climatiques, mais qui pourraient influencer les glissements de terrain. Ces variables étaient:

10. l'utilisation du territoire et l'impact de l'activité humaine (Humain);

11. et l'augmentation des feux de forêts (Feux de forêt).

Les choix de réponses étaient :

- incertain;
- aucun changement;
- faible augmentation;
- augmentation;
- faible diminution;
- diminution.

### **5.1.2 Compilations des réponses**

Les résultats du sondage permettent de représenter l'impression d'un groupe de personnes sur les effets potentiels des changements climatiques sur les mouvements gravitaires, un sujet que l'on débute à peine à investiguer au Québec. Les conclusions que l'on peut tirer de la compilation des réponses sont limitées, étant donné les quelques éléments de confusion créés par le manque de clarté des définitions des types de mouvements et des variables climatiques. Il est probable que, si le tableau avait été rempli de nouveau après la rencontre par les mêmes répondants, un plus grand consensus aurait été atteint.

Les réponses à la première question sont indiquées au tableau 3. En somme, une majorité de répondants considère que les huit types de mouvements gravitaires seront potentiellement affectés de manière significative ou légèrement par les changements climatiques. Les types les plus affectés seraient les glissements côtiers, les mouvements dans le pergélisol, les glissements de terrain superficiels et les coulées de débris. Les réponses aux questions 2 et 3 indiquent que les répondants considèrent que l'effet se fera sentir davantage sur la fréquence d'occurrence des événements que sur leur volume (tableaux 4 et 5). Toutefois, pour les mouvements dans le pergélisol, les glissements côtiers et les coulées de débris, les répondants ont indiqué qu'une augmentation du volume était probable ou que l'effet était incertain.

Les compilations des questions des catégories 2 et 3 sont présentées par type de mouvements aux tableaux 6 à 13. Le nombre de répondants varie entre 20 et 21, car certaines cases avaient été laissées vides.

La variable «événements de précipitations abondantes» est celle qui revient le plus fréquemment comme pouvant causer une augmentation des mouvements gravitaires. Cette augmentation est associée à la fréquence d'occurrence, tel que la compilation présentée au tableau 4 l'indique. Les résultats montrent que l'influence des fortes précipitations est sans équivoque pour les coulées de débris et les glissements superficiels. Les deux types de mouvements sont reliés, car le dernier peut alimenter le premier. Le rôle des précipitations abondantes comme élément déclencheur de ces deux mécanismes de rupture est bien connu.

La variable « précipitation annuelle totale » est la deuxième variable à être la plus fréquemment associée à une augmentation des mouvements de terrain, principalement pour les glissements superficiels et les coulées de débris. De manière moins significative, les répondants ont aussi indiqué que l'augmentation de précipitation annuelle totale pourrait accroître la fréquence des mouvements dans le pergélisol, des glissements côtiers, des chutes de pierres, des événements de glissements multiples, des glissements dans les argiles et des glissements rocheux.

Les prochains paragraphes discutent des résultats par type de glissement.

#### **Glissements côtiers (tableau 6)**

18 répondants sur 21 ont indiqué que l'augmentation du niveau moyen des mers pourrait augmenter de manière significative l'occurrence des glissements côtiers. L'augmentation des températures pourrait aussi augmenter l'occurrence des glissements, probablement par leur rôle sur la diminution de la banquise, qui entraîne une augmentation de l'érosion des berges. Les côtes s'ajusteront aux effets combinés de l'augmentation du niveau des mers, de la perte de la banquise et de l'augmentation des tempêtes, qui sont tous responsables d'érosion. La grandeur de l'impact de chacun de ces facteurs n'est pas mentionnée dans le sondage. Toutefois, il est possible, aux latitudes où se trouve le Québec, que l'augmentation du niveau moyen des mers ne soit pas l'agent principal de l'augmentation de l'érosion. Enfin, l'effet des changements anticipés sur la neige et le régime hydrique sont incertains.

#### **Mouvements gravitaires en présence de pergélisol dans les dépôts fins et granulaires en plaine (tableau 7)**

Selon les réponses au sondage, la variable qui aura le plus d'impact sur la fréquence et le volume des mouvements gravitaires dans le pergélisol est l'augmentation des températures, qui cause la dégradation du pergélisol. L'effet des changements anticipés sur la neige et le régime hydrique sont incertains. Un seul répondant a opté pour le choix «faible diminution» et ce, pour la variable «diminution des chutes de neige» et aucun répondant n'a opté pour une diminution et ce pour tous les paramètres.

#### **Glissements superficiels (tableau 8)**

Pour les glissements superficiels, les deux variables concernant les précipitations obtiennent à l'unanimité un potentiel d'augmenter de manière significative ou légèrement la fréquence d'occurrence de ce type de mouvements. Les changements au régime hydrique obtiennent sept votes pour une augmentation significative et cinq pour une faible augmentation. Ainsi, les changements dans le débit d'écoulement des rivières pourraient avoir un impact, en raison de leur rôle sur l'érosion. L'impact, plutôt que d'être sur la fréquence ou le volume des glissements, pourraient aussi être sur leur répartition spatiale qui peut être modifiée suite à une modification de la rivière. Il a été noté que l'occurrence d'un seul glissement majeur dans une rivière peut changer son profil d'érosion de manière significative, peut-être de façon plus marquée que ce qui pourrait être causé par les changements climatiques. L'impact potentiel des diminutions du couvert neigeux sont plutôt incertains, mais notons que cinq participants croient qu'une faible diminution pourrait en résulter, en lien avec l'effet potentiel de diminution de la recharge de la nappe par les eaux de fonte.

#### **Coulées de débris (tableau 9)**

Les résultats des coulées de débris sont très similaires à ceux des glissements superficiels. Les deux variables concernant les précipitations sont les principales à affecter l'occurrence des coulées de débris selon les participants. Il a été noté que l'augmentation potentielle du nombre de glissements superficiels pourrait contribuer à fournir en débris les couloirs sujets aux coulées.

### **Chutes de pierres (tableau 10)**

Selon les réponses au sondage, le rôle du climat sur les événements de chutes de pierres est moins important que pour les glissements superficiels et les coulées de débris. Les effets de l'augmentation de la température moyenne annuelle et de la diminution des chutes de neige sont incertains. Les changements du régime hydrique ne devraient pas causer d'effets marqués et l'augmentation du niveau moyen des mers n'aura aucun effet selon les réponses.

### **Événements de glissements multiples (tableau 11)**

Outre les variables associées aux précipitations, les autres n'auraient pas d'impact ou alors, l'impact est incertain.

### **Grands glissements dans les argiles marines post-glaciaires (étalement et coulée) (tableau 12)**

L'impact des variables climatiques sur les étalements et les coulées argileuses est limité. Ce type de mouvement gravitaire se classe parmi les trois moins affectés, toujours selon les réponses au sondage. Effectivement, à l'exception des deux variables concernant les précipitations dont l'impact pourrait être une faible augmentation de leur fréquence d'occurrence, les effets des autres variables sont incertains ou nuls. Ce type de glissement est celui ayant reçu le plus grand nombre de votes pour les réponses « faible diminution » et « diminution », dont la majorité est pour la variable « diminution de la neige ». Le nombre de votes demeure toutefois négligeable, soit de sept.

### **Glissement rocheux (tableau 13)**

Les effets possibles du climat sur les glissements rocheux semblent limités à l'effet des précipitations annuelles et des événements de précipitations abondantes.

Les éléments de discussion soulevés lors de la présentation du sondage sont rapportés dans la prochaine section du rapport. Ils nuancent et apportent de nouvelles considérations par rapport au rôle du climat. À la lumière des réponses, il semble que les participants soient particulièrement concernés par les effets potentiels des événements de précipitations abondantes sur les coulées de débris et les glissements superficiels, par l'effet de l'augmentation de la température sur les mouvements dans le pergélisol et par l'effet de l'érosion côtière sur les glissements côtiers.

**Tableau 3 Réponses à la première question: « est-ce que le climat peut influencer ce type de glissement? »**

	<b>Classement</b>	<b>Incertain</b>	<b>Aucune- ment</b>	<b>Légère- ment</b>	<b>Significa- tivement</b>
Glissements côtiers	<b>1</b>	0	0	2	<b>18</b>
Mouvements en présence de pergélisol	<b>2</b>	2	0	1	<b>17</b>
Glissement superficiel	<b>3</b>	3	1	2	<b>14</b>
Coulées de débris	<b>4</b>	1	0	7	<b>12</b>
Chutes de pierres	<b>5</b>	2	1	10	<b>7</b>
Glissements multiples	<b>7</b>	4	0	10	<b>6</b>
Grand glissement dans les argiles	<b>8</b>	2	1	13	<b>4</b>
Glissement rocheux	<b>6</b>	1	1	15	<b>3</b>

**Tableau 4 Compilation des réponses pour la deuxième question : « est-ce que le climat peut influencer la fréquence de ce type de glissements et de quelle manière? »**

	<b>Incertain</b>	<b>Aucune- ment</b>	<b>Faible augmen- tation</b>	<b>Augmen- tation</b>	<b>Faible diminution</b>	<b>Diminution</b>
Glissements côtiers	0	0	1	<b>19</b>	0	0
Mouvements en présence de pergélisol	2	0	0	<b>18</b>	0	0
Glissements superficiels	1	0	1	<b>18</b>	0	0
Coulées de débris	2	0	6	<b>12</b>	0	0
Chutes de pierres	2	0	9	<b>8</b>	1	0
Glissements multiples	2	1	6	<b>11</b>	0	0
Grand glissement dans les argiles	2	0	11	<b>7</b>	0	0
Glissement rocheux	1	0	<b>15</b>	<b>4</b>	0	0



**Tableau 5 Compilation des réponses pour la troisième question : « est-ce que le climat peut influencer le volume de ce type de glissements et de quelle manière? »**

	Incertain	Aucune- ment	Faible augmen- tation	Augmen- tation	Faible diminution	Diminution
Glissements côtiers	2	5	4	9	0	0
Mouvements en présence de pergélisol	7	1	0	12	0	0
Glissements superficiels	6	5	5	4	0	0
Coulées de débris	6	4	3	7	0	0
Chutes de pierres	7	9	3	0	1	0
Glissements multiples	8	3	7	2	0	0
Grands glissements dans les argiles	6	11	3	0	0	0
Glissement rocheux	6	7	5	2	0	0

**Tableau 6 Compilation des réponses des questions de catégories 2 et 3 pour les glissements côtiers de tous types**

	T	Précip. an	Forte précip.	Neige	Hydrique	NMM	Humain	Feux de forêt
<b>Glissements côtiers</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>21</b>
incertain	3	2	2	8	8	1	2	5
aucunement	5	4	1	5	1	1	2	14
faible augmentation	2	7	5	2	5	0	2	0
augmentation	11	7	12	3	7	18	12	2
faible diminution	0	1	1	3	0	0	3	0
diminution	0	0	0	0	0	1	0	0

**Tableau 7 Compilation des réponses des questions de catégories 2 et 3 pour les mouvements en présence de pergélisol dans les dépôts fins et granulaires en plaine**

	T	Précip. an	Forte précip.	Neige	Hydrique	NMM	Humain	Feux de forêt
<b>Mouvements en présence de pergélisol</b>	<b>21</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
incertain	1	6	5	9	10	6	4	9
aucunement	0	0	0	0	0	10	0	6
faible augmentation	0	4	4	3	3	2	7	3
augmentation	20	10	11	7	7	2	9	2
faible diminution	0	0	0	1	0	0	0	0
diminution	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tableau 8 Compilation des réponses des questions de catégories 2 et 3 pour les glissements de terrain superficiels**

	T	Précip. an	Forte précip.	Neige	Hydrique	NMM	Humain	Feux de forêt
<b>Glissements superficiels</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>20</b>
incertain	7	0	0	7	4	2	3	3
aucunement	6	0	0	3	4	14	2	2
faible augmentation	5	4	0	5	5	1	4	6
augmentation	3	17	20	1	7	3	11	9
faible diminution	0	0	0	5	0	0	1	0
diminution	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tableau 9 Compilation des réponses des questions de catégories 2 et 3 pour les coulées de débris de tous types**

	T	Précip. an	Forte précip.	Neige	Hydrique	NMM	Humain	Feux de forêt
<b>Coulées de débris</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
incertain	8	0	0	7	5	3	5	5
aucunement	3	2	0	5	4	16	7	3
faible augmentation	6	7	1	1	5	1	2	5
augmentation	3	11	18	2	6	0	6	7
faible diminution	0	0	1	5	0	0	0	0
diminution	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tableau 10 Compilation des réponses des questions de catégories 2 et 3 pour les chutes de pierres**

	T	Précip. an	Forte précip.	Neige	Hydrique	NMM	Humain	Feux de forêt
<b>Chutes de pierres</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
incertain	9	1	0	10	5	3	4	5
aucunement	3	2	3	6	9	16	5	10
faible augmentation	2	10	7	2	4	1	8	3
augmentation	3	6	10	0	2	0	3	2
faible diminution	3	1	0	2	0	0	0	0
diminution	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tableau 11 Compilation des réponses des questions de catégories 2 et 3 pour les glissements multiples qui surviennent suite à un événement peu fréquent et particulier (par exemple, les glissements survenant suite à une inondation, à un séisme, ou à une pluie intense)**

	T	Précip. an	Forte précip.	Neige	Hydrique	NMM	Humain	Feux de forêt
<b>Glissements multiples</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
incertain	11	7	3	11	9	4	10	13
aucunement	4	0	0	3	2	7	2	2
faible augmentation	2	7	3	2	3	3	4	3
augmentation	3	6	14	2	6	5	4	2
faible diminution	0	0	0	2	0	1	0	0
diminution	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tableau 12 Compilation des réponses des questions de catégories 2 et 3 pour les grands glissements dans les argiles post-glaciaires (étalements et coulées)**

	T	Précip. an	Forte précip.	Neige	Hydrique	NMM	Humain	Feux de forêt
<b>Grands glissements dans les argiles</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>21</b>
incertain	8	4	4	9	12	3	4	6
aucunement	11	0	0	5	1	9	3	10
faible augmentation	1	11	9	1	3	5	5	3
augmentation	1	5	8	1	5	3	7	2
faible diminution	0	1	0	4	0	0	2	0
diminution	0	0	0	1	0	1	0	0

**Tableau 13 Compilation des réponses des questions de catégories 2 et 3 pour les glissements rocheux**

	T	Précip. an	Forte précip.	Neige	Hydrique	NMM	Humain	Feux de forêt
<b>Glissement rocheux</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
incertain	7	1	1	10	6	2	5	8
aucunement	7	3	2	5	8	14	5	10
faible augmentation	4	13	11	1	3	3	7	1
augmentation	2	3	6	0	3	1	3	1
faible diminution	0	0	0	3	0	0	0	0
diminution	0	0	0	1	0	0	0	0

## **5.2 Comprendre et projeter**

### **5.2.1 Scénarios de changements climatiques**

Les spécialistes d'Ouranos peuvent produire des scénarios de changements climatiques taillés sur mesure selon les besoins de l'utilisateur. Les scénarios de changements climatiques peuvent être produits pour différentes variables météorologiques (température, précipitation, vent, etc), pour différents pas de temps (journalier, hebdomadaire, etc), pour différents horizons temporels (2050, 2080, etc) et ce, soit sous forme de grille, soit à un endroit donné. Des indicateurs climatiques, dérivés des variables météorologiques, peuvent également être produits; ils permettent notamment de caractériser l'intensité et la fréquence de certains événements. Selon le phénomène climatique à l'étude, les résultats peuvent être produits rapidement; ceci est le cas pour les phénomènes reliés à la température comme le nombre de cycles gel-dégel. D'autres phénomènes, comme la pluie verglaçante, encore au stade de la recherche, prendront plus de temps à fournir. Pour évaluer l'impact de l'augmentation des précipitations sur les mouvements gravitaires, il est essentiel de distinguer si l'augmentation est causée par les événements isolés et locaux de fortes précipitations ou plutôt causée par une augmentation distribuée sur l'année.

Les développements en modélisation du climat visent à mieux comprendre les scénarios possibles d'évolution. Pour être utiles aux diverses applications, les développements devraient se faire en fonction de mieux simuler et projeter certaines variables climatiques clés, spécifiques à certaines applications. Ainsi, les chercheurs en mouvements gravitaires doivent cibler les variables climatiques pertinentes à leurs études et travailler en collaboration avec les spécialistes du climat. L'atelier du 31 janvier a mis en relation climatologues et scientifiques. Il semble évident que la recherche sur les effets des changements climatiques sur les mouvements gravitaires doit se faire en équipe pluridisciplinaire pour relever les défis liés à la complexité des phénomènes en jeu.

### **5.2.2 Réseaux des stations météorologiques et modélisation du climat au Québec**

Afin de bien comprendre les effets des changements climatiques sur les mouvements gravitaires au Québec, les conditions climatiques sur l'ensemble de la province du Québec devraient être disponibles. Des données météorologiques de bonne qualité et à une échelle adéquate sont essentielles à l'étude d'un phénomène local (les mouvements gravitaires). La densification du réseau météorologique pour répondre aux besoins de recherche sur les mouvements gravitaires est difficilement envisageable, puisque qu'elle fait l'objet de budgets et de ressources limitées.

Les spécialistes d'Ouranos peuvent fournir des données météorologiques de paramètres spécifiés par les usagers pour des endroits précis. Ces données peuvent être issues de produits d'interpolation. Notamment, le MDDELCC produit un krigeage dans lequel la plage d'incertitude de ces données est définie et est fonction de la région et des stations météorologiques présentes. L'interpolation des données tient également compte de l'altitude. Un autre type de produit climatique est disponible, il s'agit des réanalyses. Ce produit donne des résultats de bonne qualité et est un outil très important, notamment pour la région du Nord-du-Québec, où la dimension du territoire ne permet pas l'installation d'un grand nombre de stations météorologiques. Les réanalyses sont forcées avec des données de stations météorologiques existantes. Ces données sont toutefois de meilleure qualité pour la température que pour les

précipitations notamment lorsque l'on s'intéresse aux valeurs extrêmes à l'échelle quotidienne. Par ailleurs, quelques stations météorologiques ont été installées dans divers villages du Nord-du-Québec et les données recueillies sont accessibles via le site internet de Nordicana D<sup>1</sup> du Centre d'Études Nordiques.

### **5.2.3 Études par bassins versants**

Pour l'étude des mouvements gravitaires, ainsi que pour celles des régimes hydriques, il est pertinent de considérer l'effet des changements climatiques à l'échelle des bassins versants. Cette approche semble faciliter l'intégration de certains phénomènes, tels que l'accumulation de sédiments et l'évaluation des phénomènes de crues torrentielles. La dimension d'un bassin versant semble influencer sa réponse aux changements climatiques. Les grands bassins versants sont plus résilients et les variations climatiques y seraient moins marquées. Il est fort probable que les effets des changements climatiques soient plus marqués dans les petits bassins versants, qui sont sensibles aux variations d'apport en eau. Par exemple, les événements de pluies torrentielles dans les bassins versants de montagnes en Gaspésie causent des dommages importants et sont souvent localisés à un seul bassin versant.

Par ailleurs, il semble que la pointe de crue au printemps ne soit pas corrélée avec l'épaisseur du couvert nival, mais qu'elle soit plutôt fonction de la combinaison de la fonte du couvert nival et des précipitations en fin de période de dégel. À l'horizon 2050, il n'y a toujours pas de consensus quant à la variabilité des crues de printemps, sauf dans la région de l'extrême sud du Québec, où l'intensité des crues printanières diminuerait due à une disparition, ou presque, du couvert nival.

### **5.2.4 Nord-du-Québec**

Dans le nord du Québec, les enjeux sont principalement d'ordre socio-économique, avec l'adaptation des communautés nordiques aux risques naturels, dont la dégradation du pergélisol. Des événements de thermo-érosion, soit l'écoulement de l'eau directement au contact du sol gelé, surviennent de plus en plus fréquemment en été, créant d'importantes problématiques allant du fort ravinement, jusqu'à la segmentation de villages en deux par une rivière. L'augmentation de la température et des précipitations annuelles pourraient entraîner une amplification de ces événements.

L'augmentation de température aura un grand effet sur les glissements de terrain de la couche active, et l'augmentation des précipitations entraînera une accélération du dégel du pergélisol et des affaissements dû au dégel (« thaw slumps »). L'augmentation de la température est le facteur le plus important à considérer par rapport aux changements climatiques. De nombreux facteurs entrent en jeu dans la dégradation du pergélisol, tels que les degrés-jour de dégel, l'épaisseur du couvert nival (qui joue un rôle d'isolant pour le pergélisol), la relation neige-pergélisol-végétation, les feux de toundra qui affectent la couleur du sol et modifient le régime thermique, etc. Ces facteurs peuvent interagir pour se contrebalancer ou à l'inverse, pour accélérer les changements du territoire. La dégradation du pergélisol étant certaine, il semble essentiel d'encourager le développement de mesures d'adaptation, afin de prévenir les problématiques reliées au dégel du pergélisol.

---

<sup>1</sup> <http://www.cen.ulaval.ca/nordicanad/index.aspx>

### **5.2.5 Glissements côtiers**

L'impact sur les glissements côtiers sera fonction, entre autre, de l'augmentation du niveau marin, et donc de la rapidité et la magnitude de cette augmentation. Celle-ci sera différente d'une région à une autre, notamment pour les régions affectées par le relèvement isostatique dû à la dernière période de glaciation. De plus, il est primordial de prendre en compte d'autres facteurs tels que l'ampleur des marées par rapport au niveau marin relatif, ainsi que les crues de tempêtes, l'effet des vents sur les vagues et la diminution du couvert de glace. Avec la diminution du couvert de glace (aussi du pied de glace), les crues de tempêtes causeront plus d'érosion.

### **5.2.6 Glissements superficiels**

La disponibilité de matériel instable est une condition sine qua non des mouvements gravitaires. Ainsi, on peut se questionner sur l'effet d'une fréquence accrue de glissements sur la disponibilité de matériel instable. Pour ce qui est des glissements pelliculaires sur le roc (colluvions), un événement agit comme une purge. Une fois l'événement produit, il n'y a plus de risques étant donné qu'il n'y a plus de matériel, et que celui-ci se régénère lentement ou uniquement dans le cas d'une glaciation. Ce n'est pas le cas avec les talus argileux, où il y aura toujours du matériel, puisque la couche active se régénère en quelques années par l'effet combiné des cycles de mouillage-séchage et de gel-dégel.

Les glissements superficiels dans les dépôts argileux se produisent souvent au printemps, plus ou moins en même temps que la fonte du couvert nival et d'événements de précipitations. Ils ont souvent lieu lorsque le sol est encore partiellement gelé, avec la couche de sol non gelé en surface qui glisse sur la zone de sol gelé. Ils peuvent également être provoqués par des événements de précipitations extrêmes, tels que le déluge du Saguenay de 1996, lequel par contre s'est produit en été. Il serait intéressant d'identifier des seuils critiques de précipitations qui permettraient de déclencher des alertes « glissements » en vue d'informer la population et les gestionnaires qui pourraient agir en prévention.

Toutefois, la relation entre le déclenchement d'un glissement de terrain et les conditions climatiques n'est pas simple. Un seuil critique d'intensité des pluies n'est pas évident à instaurer, car il est également nécessaire de prendre en compte les pluies antérieures (niveau de saturation du sol), qui affectent le niveau de précipitations nécessaires afin de déclencher un glissement de terrain lors d'une pluie abondante. Des événements météorologiques extrêmes, tels que le déluge du Saguenay, permettent de purger les pentes qui étaient près de la rupture. Par le fait même, il est très peu probable qu'un glissement survienne au même endroit par la suite, du moins dans une courte période de temps. D'après les observations, il faut environ une trentaine d'années pour redévelopper les conditions propices à obtenir un glissement de terrain dans les dépôts argileux. De plus, l'effet de l'augmentation des températures pourrait induire un épaissement de la croûte argileuse et donc, possiblement augmenter le volume impliqué lors d'un glissement de terrain superficiel.

### **5.2.7 Grands glissements de terrain dans les dépôts argileux**

Les grands glissements de terrain dans les argiles sensibles sont moins susceptibles d'être affectés par les changements climatiques, car la surface de rupture est en profondeur et la pression d'eau y est plus stable parce que peu affectée par les événements météorologiques ponctuels en surface.

Les changements climatiques pourraient avoir un effet sur l'initiation des grands glissements qui est souvent précédée par une première rupture de plus petit volume. Les changements climatiques pourraient affecter la fréquence des petits glissements qui, s'ils augmentent, peuvent à leur tour initier davantage de grands glissements, mais cela n'a toutefois pas été observé lors du déluge de 1996.

Le potentiel de glissements de terrain d'une région est également fonction de la dynamique d'érosion et du processus de formation de la vallée dans ces dépôts argileux. À ce propos, il y a deux approches. L'approche gradualiste indique que le relief et les cours d'eau évoluent graduellement. L'approche catastrophiste indique plutôt une période « morte » qui vient être chamboulée par un événement ponctuel qui va modifier le relief de façon importante. Quel est le lien entre l'intensité d'érosion et la probabilité que ce type d'événement se produise? Afin de mieux cerner le potentiel de glissements de terrain, il serait nécessaire d'ausculter les points d'érosion sur différentes rivières, d'avoir un inventaire de base et de faire de la surveillance.

Toutefois, contrairement à ce qui a été remarqué par Marten Geertsema en Colombie-Britannique, il y a eu moins de grands glissements de terrain au Québec dans les 20 dernières années et même dans les 50 dernières années. Ici, les paramètres géotechniques et les variations de contraintes effectives dues à l'impact de l'activité humaine (harnachage des rivières, drainage agricole et déforestation) pourraient avoir un impact plus important que les changements climatiques comme tel, car leur effet sur la stabilité serait notablement plus marqué que les changements du niveau de la nappe. Il a aussi été observé qu'avec les années, le début de la « saison » des glissements de terrain n'a pas changé (avril). Par contre, les glissements surviennent de plus en plus tard en fin de saison, voir jusqu'en janvier ce qui pourrait être en lien avec des changements climatiques.

Le MTMDET, en collaboration avec le MSP et l'Université Laval, a un projet de recherche sur *l'Instrumentation pour le suivi des pentes dans les argiles sensibles du Québec* qui permettra de bâtir un réseau de stations d'observation sur divers sites dans les sols argileux du Québec. Ces sites permettront de mieux comprendre le lien entre les conditions climatiques et le déclenchement de glissements de terrain dans ces dépôts argileux. Pour ce projet particulier, des stations météorologiques seront installées directement ou à moins d'un kilomètre des sites d'études afin d'obtenir de bonnes corrélations et des données localement précises, ce qui est nécessaire pour l'étape de compréhension. La modélisation permettra par la suite d'obtenir des modèles régionaux à partir des résultats obtenus.

### **5.2.8 Chutes de pierres**

La sensibilité aux chutes de pierres dépend des types de lithologies. Les roches appalachiennes sont plus sensibles à l'action des cycles de gel-dégel que les roches pré-cambriennes retrouvées sur la rive nord du fleuve Saint-Laurent. Les glissements pelliculaires seraient davantage observés en Gaspésie, dans ces matériaux plus fragiles, où le roc désagrégé glisse sur le roc sain. Sur la Côte-Nord, la problématique est plus ponctuelle et il s'agit de zones mieux ciblées et connues, où le contrôle structural est plus important. Plusieurs paramètres sont à prendre en compte, notamment le niveau de fracturation avec la profondeur, la profondeur de gel (volume de la rupture), le nombre et l'intensité des cycles de gel-dégel et la présence d'arbres.

Les cycles de gel-dégel peuvent être définis de diverses façons et Ouranos utilisera la définition fournie par l'utilisateur pour générer une réponse. Le Centre de Géomorphologie de Caen, en Normandie, a fait plusieurs études sur le nombre et l'intensité des cycles de gel-dégel et la

profondeur d'atteinte dans le roc qui pourraient aider à définir ce qui constitue un cycle de gel-dégel. C'est donc aux chercheurs à indiquer aux climatologues les variables de sorties des modèles climatiques.

Les parois qui font face au sud subissent plus de cycles de gel-dégel et il y a plus d'éboulis et de fragmentation dans ces parois par rapport à celles faisant face au nord. Est-ce qu'il y aura une diminution des cycles de gel-dégel dû au raccourcissement de la période de gel et donc une diminution des éboulis? Au nord, on pourrait aussi avoir une augmentation du nombre de cycles de gel-dégel par une augmentation des températures. Si l'intensité des précipitations est plus élevée, est-ce que cela conduira à davantage de chutes de pierres? S'il y a davantage d'écaillage, cela peut-il avoir un effet de purge et éventuellement diminuer les chutes de pierres? L'évaluation de l'effet du climat sur les chutes de pierres doit considérer plusieurs variables climatiques, et il est incertain comment la fréquence des chutes de pierres sera influencée. Chose certaine, la variabilité ne sera pas la même pour tout le Québec et dépendra de la lithologie, de l'orientation de la paroi et de la région climatique.

### 5.3 Adapter

Au Québec, la gestion des risques associés aux glissements en terrain argileux repose sur la cartographie de la susceptibilité du territoire à ce type de glissements, réalisée pour le MSP au MTMDET. Le MTMDET fournit les données et des cartes pour les municipalités afin de mieux gérer le territoire en fonction des risques de mouvements de terrain (cartes de contrainte à l'utilisation du sol). Ces cartes sont facilement utilisables pour les personnes responsables de l'aménagement du territoire et les données sont gratuites, via Données Québec<sup>2</sup>. Des démarches d'accompagnement du milieu municipal sont effectuées afin de soutenir l'utilisation des cartes et bien informer les habitants. Toutes les données pourront également être utilisées par les spécialistes d'ici quelques années. Les fichiers géoréférencés (shapefiles) seront disponibles dans « Le grand portail ». Beaucoup d'efforts sont déployés au MTMDET afin d'éviter que les gens s'installent dans les zones à risque de glissements de terrain, et ce grâce à la cartographie. Les cas de délinquance sont faibles par rapport aux cas évités et qui ne sont généralement pas soulignés. Nous ne sommes toutefois jamais à l'abri de décisions douteuses et de la délinquance. De plus, compte tenu du fait que les designs sont conçus avec les pires conditions d'eau souterraine, les changements climatiques ne feront pas en sorte que les designs antérieurs ne soient plus bons. Il faudra toutefois s'assurer que l'érosion ne brisera pas les protections en place, telles que les contrepoids utilisés dans les stabilisations.

## 6 Plan d'actions

Les versants naturels sont en équilibre avec les divers processus climatiques, géologiques et géomorphologiques qui les ont façonnés. Tout changement dans le régime climatique peut donc se traduire dans un reprofilage des versants. Par contre, avant de pouvoir projeter les impacts de tels changements, il nous faut bien comprendre le rôle actuel du climat sur le processus de stabilité et d'érosion des pentes, donc de leur évolution spatio-temporelle. L'amélioration de cette compréhension est donc une priorité pour les 5 à 10 prochaines années dans ce domaine par le biais d'installation d'observatoires appropriés. Il faut également continuer à travailler de pair avec

---

<sup>2</sup> <https://www.donneesquebec.ca/fr/>



les municipalités afin d'intégrer de bonnes pratiques quant à l'utilisation du territoire, notamment avec les cartes de contrainte à l'utilisation du sol. Ceci permet de favoriser la compréhension des citoyens face à la problématique des glissements de terrain et de l'aménagement du territoire. Dans le cas où les gens habitent déjà dans des zones cartographiées comme à risque, des programmes de prévention sont en place.

Il est important de maintenir et d'améliorer la recherche dans le domaine, ainsi que de former la relève et d'obtenir de l'expertise sur les différentes disciplines qui sont affectées par les effets potentiels des changements climatiques. En bout de ligne, l'important est de viser la protection du public. À cet effet, le Québec est un chef de file en ce domaine au Canada par son appui à des programmes de soutien du public via des travaux de recherche universitaire très diversifiés. De plus, le réseautage et la planification peut permettre davantage de partage sur les travaux de recherche et apporter des nouvelles idées de projets de recherche.

Enfin, le MDDELCC a débuté un réseau d'échange interne via une plate-forme d'échange interactive qui permet le partage d'informations. La création d'un forum sur le Web pourrait donc être une idée intéressante pour permettre aux participants de l'atelier et autres personnes impliquées dans le domaine d'échanger et de continuer la discussion sur les effets potentiels des changements climatiques sur les mouvements gravitaires au Québec.

En fin de discussion, plusieurs participants ont mentionné avoir apprécié la formule de l'atelier et souhaiterait qu'il s'en tienne d'autres sur des thématiques plus spécifiques, ce premier atelier étant plutôt général.

## 7 Synthèse

Le premier atelier sur les effets potentiels des changements climatiques sur les mouvements gravitaires au Québec a été un franc succès. Il s'est tenu le 31 janvier 2017 et a permis la rencontre de quarante-six personnes concernées par les mouvements gravitaires et leur évolution en lien avec les changements climatiques projetés. Il est clair que cette problématique stimule l'intérêt et est pertinente pour le Québec. Elle permettra d'établir des collaborations scientifiques, dont certaines bases ont été érigées au cours de cette journée riche en discussions.

Il ressort de cet atelier que les changements climatiques pourraient avoir des effets sur plusieurs types de mouvements gravitaires et particulièrement, sur leur fréquence d'occurrence. Les événements de précipitations abondantes constituent une variable climatique importante et qui devra être étudiée pour son rôle déclencheur de coulées de débris et de glissements superficiels. L'augmentation de la température aura potentiellement des impacts sur les mouvements dans le pergélisol. Enfin, l'effet du climat sur l'érosion côtière pourrait amorcer plus de glissements en région côtière qui contribuent au recul des côtes. Les effets sont toutefois incertains, et parce que l'interaction climat – stabilité des talus est très complexe, des études seront nécessaires pour investiguer la réponse des talus aux changements climatiques projetés. Dans un premier temps, l'effet du climat actuel devra être analysé, puis les impacts des conditions futures pourront être modélisés.

Nous souhaitons d'ailleurs remercier tous les participants pour leur apport aux discussions et les travaux préalables qu'ils ont accomplis. Nous remercions particulièrement Élyse Fournier, Didier

Perret et Francis Gauthier pour avoir accepté de préparer et nous entretenir sur des sujets spécifiques afin de mettre la table à cette journée. Ces présentations ont aussi constitué une activité de formation pour neuf personnes qui sont venues assister à cette partie de l'atelier uniquement. Enfin, la journée d'atelier a été financée par le projet de recherche *ParaChute*, lui-même financé par ArcelorMittal, le Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports, via le Fonds vert.

## 8 Références

- Cloutier, C., Locat, J., Geertsema, M., Jakob, M. & Schnorbus, M. (2016) Chapter 2 Potential impacts of climate change on landslides occurrence in Canada. Eds. K. Ho, S. Lacasse & L. Picarelli, *Slope Safety Preparedness for Impact of Climate Change*, CRC Press, 71-104. ISBN: 978-1-315-38778-9
- Crozier, M.J. (2010) Deciphering the effect of climate change on landslide activity: a review. *Geomorphology*, 124(3-4): 260-267
- Gariano, S. & Guzzetti, F. (2016) Landslides in a changing climate, *Earth-Science Reviews*, 162: 227-252.
- Lafleur, G. & Levebvre (1978). L'influence des écoulements souterrains sur la stabilité des pentes naturelles d'argiles. Rapport GEO-78-08, Département de Génie civil, Université de Sherbrooke, Québec.
- Varnes, D.J., 1958. Landslides types and processes. Chapitre 3 dans *Landslides and engineering practice*, 20-47.

