

Maîtrise en environnement  
Université de Sherbrooke

Cartographie et classification du terrain à potentiel avalancheux des Chic-Chocs, Québec,  
Canada, à l'aide d'un système d'information géographique.

par

Stéphanie-Caroline Lemieux

Mémoire présenté pour l'obtention du grade de Maître en environnement (M.env.)

Mai 2007

© Stéphanie-C Lemieux, 2007

1-2007



Library and  
Archives Canada

Bibliothèque et  
Archives Canada

Published Heritage  
Branch

Direction du  
Patrimoine de l'édition

395 Wellington Street  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

395, rue Wellington  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

*Your file* *Votre référence*  
*ISBN: 978-0-494-49531-5*  
*Our file* *Notre référence*  
*ISBN: 978-0-494-49531-5*

**NOTICE:**

The author has granted a non-exclusive license allowing Library and Archives Canada to reproduce, publish, archive, preserve, conserve, communicate to the public by telecommunication or on the Internet, loan, distribute and sell theses worldwide, for commercial or non-commercial purposes, in microform, paper, electronic and/or any other formats.

The author retains copyright ownership and moral rights in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

**AVIS:**

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, publier, archiver, sauvegarder, conserver, transmettre au public par télécommunication ou par l'Internet, prêter, distribuer et vendre des thèses partout dans le monde, à des fins commerciales ou autres, sur support microforme, papier, électronique et/ou autres formats.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

---

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.

■ ■ ■  
**Canada**

## **Cartographie et classification du terrain à potentiel avalancheux des Chic-Chocs, Québec, Canada, à l'aide d'un système d'information géographique.**

**RÉSUMÉ :** La cartographie et la classification de terrains avalancheux sont des outils fréquemment utilisés dans la gestion des risques d'avalanches. L'utilisation des systèmes d'information géographique (SIG) pour de telles applications a beaucoup de potentiel, bien qu'elle soit encore en développement. Le terrain potentiellement avalancheux des Chic-Chocs a été cartographié en utilisant la technologie des SIG, des images satellites, des photos aériennes et des cartes topographiques au 1:20 000. Une cartographie des zones forestières prenant en compte trois niveaux de densité forestière a été générée à partir de l'image satellite. Un total de 59 zones, regroupant 249 sous-zones et couloirs, ont été localisées et caractérisées par 16 attributs. Elles représentent 5,8% du territoire. De plus, dans le but de bâtir une mémoire institutionnelle pour l'un des sites les plus fréquentés par les adeptes d'activités récréatives d'hiver au Québec, un système a été créé permettant de cataloguer les événements avalancheux à l'intérieur des cartes de localisation des zones à risque. Cette base de données, actuellement de 48 événements entre 1987 et 2006, liée au SIG, permet de visualiser la distribution spatiale des événements avalancheux tout en servant de base pour étudier les corrélations avec les paramètres topographiques et climatiques. Une autre analyse de terrain a aussi été effectuée pour cerner la problématique de la restriction d'accès au mont Albert, dans le parc national de la Gaspésie. Une classification de zones par degré d'exposition aux terrains avalancheux a été réalisée dans le but de favoriser une gestion plus sécuritaire des activités d'hiver du parc. Les résultats montrent qu'en superficie, 41% du terrain analysé a une cote d'exposition aux avalanches élevée.

## **Mapping and classification of potential avalanche sites in the Chic-Chocs, Québec, Canada, using a geographic information system.**

**ABSTRACT:** Avalanche sites mapping and classification are tools that have been frequently used for managing avalanche risks. The use of geographic information systems (GIS) for such applications has great potential although it is still in development. The potential avalanche sites of the Chic-Chocs Mountains, Québec, Canada, was mapped with GIS technology, satellite images, aerial photos and 1:20 000 topographic maps. A forest map, including three different levels of forest density, was generated from the satellite image. A total of 59 zones composed of 249 sub-zones and paths, were localized and characterised by 16 attributes. Moreover, in order to build the institutional memory bank of one of the most frequented area by winter sports adepts in Québec, a system was created to allow future cataloguing of avalanche occurrences inside the potential avalanche location map. The database, currently having 48 events dated between 1987 and 2006, linked to a GIS allows the visualisation of the spatial distribution of avalanche occurrences and is the basis for the study of potential correlation topographic parameters and weather patterns. Another terrain analysis was also performed to address the challenge of the access restrictions of Mount-Albert in Gaspésie National Park. A terrain classification by exposure to avalanches based on Parks Canada's technical model was performed in order to help safer management of the park's winter activities. The results show that in surface, 41% of the terrain analysed has a high degree of exposition to avalanches. An English version of this thesis is summarized in annex 7.

## Composition du jury

Cartographie et classification du terrain à potentiel avalancheux des Chic-Chocs, Québec, Canada, à l'aide d'un système d'information géographique.

Stéphanie-C Lemieux

Ce mémoire a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Alain Royer, Directeur de recherche

(Département de géomatique appliquée, Faculté des lettres et sciences humaines)

Hardy Granberg, Directeur de recherche

(Département de géomatique appliquée, Faculté des lettres et sciences humaines)

Kalifa Goïta, membre du jury

(Département de géomatique appliquée, Faculté des lettres et sciences humaines)

Bernard Héту, membre du jury

(Département de biologie, de chimie et de géographie, Université du Québec à Rimouski)

# TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES.....	i
LISTE DES FIGURES .....	ii
LISTE DES TABLEAUX .....	iii
REMERCIEMENTS.....	iv
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>1. cadre théorique.....</b>	<b>4</b>
1.1. Travaux antérieurs.....	4
1.1.1 Le risque d'avalanche.....	4
Types d'avalanches.....	5
Terrain avalancheux.....	7
Stabilité de la neige.....	8
Tendances météorologiques .....	9
1.1.2 Les risques d'avalanches au Québec et au Canada.....	10
Canada.....	10
Québec .....	12
1.1.3 Méthode de gestion des risques.....	13
UTILISATION DES SYSTEMES D'INFORMATIONS GEOGRAPHIQUES (SIG) POUR LA CARTOGRAPHIE DES TERRAINS	
AVALANCHEUX .....	16
1.2. Hypothèses de recherche .....	18
1.3. Objectifs .....	18
<b>2. CADRE EXPÉRIMENTAL .....</b>	<b>20</b>
2.1. Site d'étude.....	20
2.2. Description des données.....	23
2.3. Méthodologie.....	24
2.3.1 Classification de la forêt.....	24
2.3.2 Réalisation de l'atlas numérique des avalanches.....	25
2.3.3 Analyse des zones à potentiel avalancheux.....	28
<b>3. RÉSULTATS .....</b>	<b>30</b>
3.1 Cartographie forestière.....	30
3.2 Atlas de localisation des avalanches.....	34
3.2.1 Délimitation des zones avalancheuses.....	34
3.2.2 Analyse de l'efficacité du système d'information géographique (SIG) pour localiser et caractériser les couloirs d'avalanches.....	40

3.3	<i>Inventaire des évènements avalancheux</i> .....	46
3.4	<i>Classification des zones du mont Albert par exposition au terrain avalancheux</i> .....	50
<b>4.</b>	<b>DISCUSSION</b> .....	<b>56</b>
	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>59</b>
	<b>RÉFÉRENCES</b> .....	<b>60</b>
<b>Annexe 1</b>	<b>Carte de terrain avalancheux aux entrées des sentiers de Parc Canada.</b> .....	<b>65</b>
<b>Annexe 2</b>	<b>Modèle technique de l'Échelle d'Exposition au Terrain Avalancheux.</b> .....	<b>66</b>
<b>Annexe 3</b>	<b>Atlas de localisation des zones avalancheuses</b> .....	<b>67</b>
<b>Annexe 4</b>	<b>Image satellite SPOT panchromatique acquise le 10 mai 2004</b> .....	<b>73</b>
<b>Annexe 5</b>	<b>Exemple de la banque de données de l'atlas</b> .....	<b>74</b>
<b>Annexe 6</b>	<b>Légende des codes selon le guide de l'Association Canadienne des Avalanches</b> .....	<b>76</b>
<b>Annexe 7</b>	<b>Banque de données d'avis d'avalanches</b> .....	<b>77</b>
<b>Annexe 8.</b>	<b>Article publié pour le International Snow Science Workshop 2006</b> .....	<b>79</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure 1	Carte des risques d'avalanches au mont Albert.....	3
Figure 2	Carte localisant certains couloirs d'avalanches en Gaspésie. ....	3
Figure 3	Avalanche à départ ponctuel.....	4
Figure 4	Avalanche de plaque.....	5
Figure 5	Givre de surface.....	8
Figure 6	Décès par avalanche par pays membre de l'IKAR de 1991 à 2001. ....	10
Figure 7	Décès par avalanches au Canada de l'hiver 1996 à 2006. ....	11
Figure 8	Les Chic-Chocs.....	20
Figure 9	Secteurs d'études présentés sur l'image satellite Spot rehaussée, d'octobre 2005.....	22
Figure 10	Organigramme pour la réalisation de l'atlas numérique .....	25
Figure 11	Organigramme pour l'analyse des zones à potentiel avalancheux. ....	28
Figure 12	Carte de classification du couvert forestier dérivée de l'image satellite SPOT.....	32
Figure 13	Secteur Monts Vallières-de-St-Réal .....	35
Figure 14	Exemple de délimitation des zones avalancheuses.....	37

Figure 15 Séries chronologiques de photos aériennes démontrant l'évolution des frontières de zones de dépôts.....	38
Figure 16 Exemple d'un profil de couloir d'avalanche et du point bêta des modèles statistiques utilisés pour trouver la position maximale de la zone de dépôt d'un évènement avalancheux « extrême ».....	41
Figure 17 Nombre d'avis d'avalanches par zones et sous-zones.....	49

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Exemple de méthodes de gestion des risques par rapport au type de contrôle désiré. ..	14
Tableau 2 Description des données.....	23
Tableau 3 Exemples de paramètres analysés pour la détermination des cotes d'exposition aux terrains avalancheux. ....	29
Tableau 4 Superficie des classes d'occupation du sol dérivée de l'image satellite. ....	31
Tableau 5 Comparaison des classes de forêts et non forêts dérivées de la carte écoforestière et de l'analyse de l'image satellite SPOT. ....	33
Tableau 6 Comparaison des caractéristiques détaillées des couloirs trouvées à l'aide d'un SIG avec celles de l'étude de Daniel Germain. ....	42
Tableau 7 Comparaison des caractéristiques (moins détaillées) des couloirs trouvés à l'aide d'un SIG avec celles de l'étude de Daniel Germain.....	43
Tableau 8 Comparaison de valeurs trouvées à l'aide d'un SIG avec celles de l'étude de Daniel Germain.....	44
Tableau 9 Exemple d'avis d'avalanches répertorié dans l'atlas qui a été produit dans ce travail .	48

## REMERCIEMENTS

Ce projet a été financé la Conférence Régionale des Élu(e)s (CRÉ), Gaspésie, Îles de la Madeleine et par le Centre d'Applications et de Recherches en Télédétection de l'Université de Sherbrooke. Je remercie particulièrement Dominic Boucher, Jean-Pierre Gagnon, Stéphane Gagnon et Philippe Gautier du Centre d'Avalanche de la Haute-Gaspésie pour leur précieuse collaboration à la réalisation de ce projet. Nous sommes reconnaissants de l'aide et des données fournies par François Boulanger, le directeur du Parc de la Gaspésie et par Daniel Germain. Nous remercions aussi toutes les personnes qui ont participé à la récolte de données sur le terrain et sur les événements avalancheux historiques ainsi que Mark Lague pour le traitement de l'image satellite. Je tiens à remercier personnellement Grant Statham, Pascal Haegeli, Alan Jones et John Kelly qui, de l'autre bout du pays, ont eu la gentillesse de répondre à mes questions. Merci à ma famille, à mes ami(e)s et à mes directeurs Alain Royer et Hardy Granberg pour avoir cru en ce projet et pour leur précieux support moral. Finalement merci au jury Bernard Héту, Alain Royer, Hardy Granberg et Kalifa Goita.



## INTRODUCTION

Dans plusieurs pays où les conditions climatiques et le relief sont favorables, les avalanches de neige ont une incidence directe sur les gens, sur les infrastructures et sur certaines industries. En prenant conscience des coûts totaux, en capitaux et en vies humaines, reliés aux accidents causés par les avalanches, nous ne pouvons rester insensibles aux risques que présentent les avalanches (McClung et Schaerer, 1993). Bien que la plupart des accidents au Canada surviennent en Colombie-Britannique, où 80 % du territoire est montagneux, il existe des risques associés aux avalanches dans l'Est du pays, comme au Québec et à Terre-Neuve (Stethem et al., 2003; Freer et Schaerer, 1980). Le bilan des accidents mortels répertoriés depuis les années 1900 est maintenant d'au moins soixante au Québec. Ce nombre place les avalanches au deuxième rang des risques naturels les plus meurtriers au Québec (Héту, 2006).

Malheureusement, un grave accident semble souvent être la façon la plus efficace pour conscientiser la population aux risques et la motiver à prendre les mesures nécessaires pour les diminuer (Canadian Avalanche Association (ACA), 2002a). C'est, entre autres, ce qui est arrivé au Québec. L'évènement tragique de Kangiqsualujjuaq, au nord du Québec, qui a fait neuf victimes et vingt-cinq blessés le soir du nouvel an 1999, figure maintenant dans la liste des évènements avalancheux les plus importants du Canada (Gouv. Canada, 2006; Héту et Bergeron, 2004; Lied and Domass, 2000). L'année suivante, deux accidents mortels survenus dans les montagnes Chic-Chocs en Gaspésie emportaient deux adeptes de ski de descente en arrière-pays (Héту et Bergeron, 2004). Ces deux évènements ont mis en évidence la présence du risque au Québec et ainsi motivé les gouvernements et le milieu à se pencher sur cette problématique.

Le Centre d'Avalanche de la Haute-Gaspésie (CAHG), créé en 1999, tombait juste à point pour devenir le « leader » en termes de prévention et de sensibilisation aux risques d'avalanches au Québec. Plus localement, le centre s'occupe de faire la prévision du niveau de danger d'avalanches des secteurs les plus à risques du Parc de la Gaspésie et de la réserve faunique voisine (Boucher et Gagnon, 2002). Cependant, aucune cartographie localisant le danger d'avalanche n'a été réalisée mis à part quelques cartes sommaires comme celle représentant les risques d'avalanches au mont Albert, présentée en figure 1. et celle à l'échelle régionale

représentant certains couloirs d'avalanches en Gaspésie, présentée en figure 2 (Héту et Bergeron, 2004 ; Veillette et Cbutier, 1993). De plus, la mémoire collective des évènements avalancheux reste très sommaire, démontrant le besoin de bâtir une base de données plus précise permettant dans le futur d'étudier individuellement le climat avalancheux des couloirs et d'établir des corrélations entre des paramètres de terrain, les évènements avalancheux et les systèmes météorologiques de la région. Le but principal de cette étude vise donc à cerner cette problématique et à répondre au besoin d'information dans le processus de gestion des risques d'avalanches.



# 1. CADRE THEORIQUE

## 1.1. Travaux antérieurs

Ce chapitre présente de façon générale l'aléa pour approfondir la question de la gestion des risques d'avalanches pour les activités. La première partie de la revue de littérature résume les principaux ouvrages et études sur le phénomène des avalanches de neige, permettant ainsi de connaître les composantes déterminantes des risques d'avalanches. Ensuite, nous présentons le rapport s'intitulant « *Snow avalanche hazard in Canada : a review* » rédigé en 2003 par plusieurs spécialistes canadiens et un deuxième intitulé « *Les avalanches au Québec : Analyse des conditions météorologiques et des facteurs de terrain propices au déclenchement des avalanches* » préparé en 2004 par Bernard Héту et Alain Bergeron. Ces deux rapports donnent une vision générale de la problématique des avalanches au Canada et au Québec respectivement. L'analyse de ces articles, constituant la deuxième partie de la revue de littérature, démontrera la pertinence sociale du projet de maîtrise. La troisième et dernière partie de ce chapitre présentera certaines méthodes de gestion des risques, plus spécifiquement reliées à la cartographie et aux systèmes d'information géographique.

### 1.1.1 Le risque d'avalanche

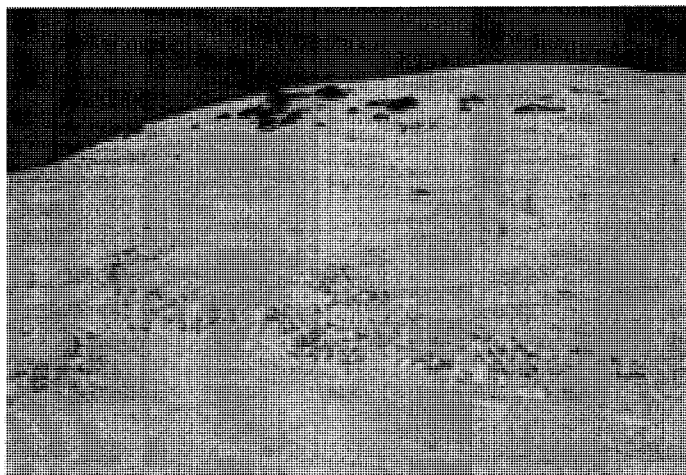
Une avalanche de neige est un volume de neige, habituellement de plus de quelques mètres cubes, déplacé par la gravité à une vitesse perceptible (ACA, 2002a). Plusieurs définitions du risque existent, comme: « La chance de blessure ou de perte définie par la mesure de probabilité et de sévérité sur un effet négatif à la santé, à la propriété, à l'environnement ou à autre chose de valeurs », ou plus simplement : « La résultante de la superposition localement d'un aléa avec un enjeu » (Canadian Standards Association, 1997 ; Min. Éco et dév. Durable, 2006). Dans cette section, le risque d'avalanche sera défini comme étant la résultante de la combinaison du terrain avalancheux, de neige instable et de l'exposition de gens ou d'infrastructures. La dernière composante de ces trois aspects, constituant le triangle de risque d'avalanche, peut aussi porter le nom de «facteur humain », puisque par leurs choix et décisions, les gens s'exposent à plus ou moins de risques (Stethem et al. 2003 ; O'Gorman 2003). Le risque peut donc être nul si

aucune personne n'est exposée au terrain avalancheux ou si la neige de la pente avalancheuse est stable. Ces deux composantes, soit le terrain et la neige, permettent donc d'évaluer le danger d'avalanche.

Malgré toutes les études et l'avancement dans la science des avalanches et de la neige, il n'est toujours pas possible à ce jour de répondre avec exactitude aux questions « où » et « quand » se produira une avalanche. Les prévisionnistes peuvent toutefois analyser empiriquement l'influence des facteurs de terrain, de neige et de conditions météorologiques favorables au déclenchement des avalanches dans une situation donnée pour estimer le danger d'avalanche (Schweizer et al., 2003). Une chose est certaine, le déclenchement des avalanches est un procédé très complexe puisque de nombreux facteurs sont conjugués. De plus, le médium en question, la neige, est très susceptible au changement dans l'espace et dans le temps puisque ses propriétés physiques sont hautement dépendantes de la température et du vent. (Schweizer et al., 2003 ; Stethem et al., 2003). Cette section présentera les types d'avalanche et les facteurs de terrain, de neige et conditions météorologiques influençant le potentiel avalancheux. La majorité des concepts de cette section sont basés sur le manuel «*The Avalanche Handbook* », un livre reconnu comme étant, jusqu'à ce jour, la référence de la science des avalanches (McClung et Schaerer, 2006; McClung et Schaerer, 1993).

### *Types d'avalanches*

Il existe deux types d'avalanche, soit les avalanches à départ ponctuel et les avalanches de plaque. Les deux types peuvent être constitués de neige sèche ou de neige mouillée. L'avalanche



**Figure 3** Avalanche à départ Ponctuel (photo J-P Gagnon)

à départ ponctuel se déclenche par une perte locale de cohésion à la surface et s'élargit en descendant, laissant sur la neige une trace en forme de « V » inversé (figure 3). Ce type est habituellement moins dangereux que celui de plaque parce que ces avalanches sont généralement plus petites. L'avalanche de plaque survient quand une fracture ou un

cisaillement se propage sous une ou plusieurs couches de neige cohésive qui se sont accumulées sur une couche faible. Ceci a pour effet de déclencher le mouvement de la plaque supérieure sans support. La plaque a habituellement la forme d'un bloc rectangulaire de grandeur variable, qui se brisera dans la descente (figure 4).

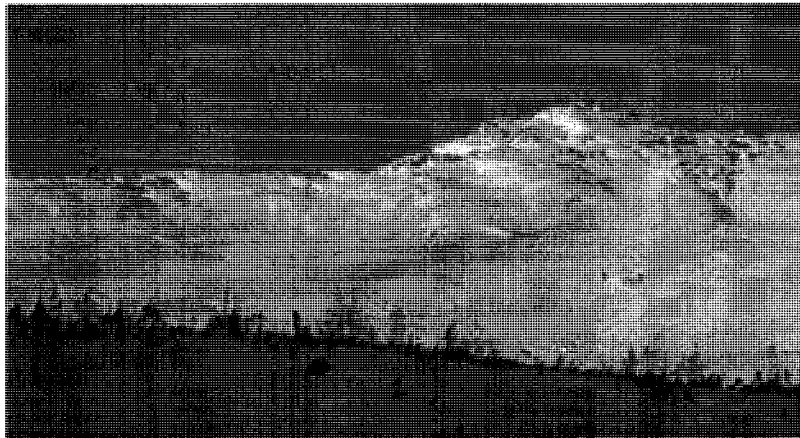


Figure 4 Avalanche de plaque (photo Stéphane Gagnon)

Un couloir d'avalanche se divise en trois parties : la zone de départ, la zone d'écoulement et la zone de dépôt. La première est l'endroit où la neige instable s'est détachée du reste du manteau neigeux et a commencé à bouger. La zone de transition est celle qui unit la zone de départ et la zone de

dépôt. La plus grande vitesse de l'avalanche est atteinte dans cette zone et, naturellement, la longueur de celle-ci varie selon la distance parcourue. La zone de dépôt est l'endroit où la neige ralentit jusqu'à s'arrêter. Les débris de neige s'accumulent dans cette zone.

Les deux types d'avalanche sont pris en considération dans le travail ainsi qu'une autre sorte d'avalanche, classée sous le type d'avalanche de plaque de neige mouillée, soit l'avalanche de neige liquéfiée, plus communément appelée «slushflow». Celle-ci se produit généralement dans des conditions inhabituelles plus souvent retrouvées dans les hautes latitudes. Voici certaines caractéristiques de terrain et les conditions météorologiques favorables aux avalanches de neige liquéfiée : les angles de zones de départ excèdent rarement 25° à 30° et peuvent être aussi faibles que 5°; le manteau neigeux provoquant l'avalanche est partiellement ou totalement saturé d'eau; la surface du sol est presque imperméable à l'eau et le déclenchement est souvent relié à un dégel ou à une pluie intense. La pente faible permet à l'eau de s'accumuler verticalement dans le manteau neigeux, réduisant considérablement la force de résistance au cisaillement. Des densités de dépôt excédant 1000 kg/m<sup>3</sup> ont été mesurées, causées par la combinaison d'eau, de neige, de terre et de roche entraînées par ce type d'avalanche (McClung et Schaerer, 2006).

### *Terrain avalancheux*

Le terrain est la seule variable, ou composante, influençant le potentiel avalancheux qui est constante dans le temps (Schweizer et al., 2003). La caractéristique de terrain la plus importante pour déterminer si une zone est favorable ou non aux avalanches est l'inclinaison de la pente (McCollister et Birkeland, 2006; Stethem et al., 2003; McClung et Schaerer 1993). Les zones de départ d'avalanches destructives (souvent des avalanches de plaque) ont en majorité un angle situé entre 30° et 50°. Une étude de McClung (2001) sur les variables des zones de départ a montré que l'angle moyen de pente produisant les avalanches est de 37°. En dessous de 25°, la force de gravité est rarement assez grande pour qu'il y ait un relâchement du manteau neigeux, et, au-dessus de 55°, l'angle de la pente ne permet pas à la neige de s'accumuler abondamment. Une pente de 55° ou plus produit de petites avalanches mais qui sont plus fréquentes (durant ou suite aux tempêtes de neige) (Weir, 2002).

Les autres caractéristiques principales de terrain sont l'orientation par rapport au vent et au soleil, la densité de la forêt, la rugosité du terrain, la dimension et la configuration de la pente ainsi que l'altitude. L'orientation de la pente est une composante de terrain qui est intimement reliée à la composante de stabilité de la neige. Par exemple, l'orientation de la pente par rapport au soleil influence la quantité d'absorption de radiations solaires du manteau neigeux. Ceci influence la température et la métamorphose de la neige, donc, la stabilité de la neige. L'orientation de la pente par rapport au vent est un autre facteur de terrain qui influence la stabilité de la neige. Le vent pendant et après une tempête de neige est souvent considéré comme le facteur le plus important sur le potentiel avalancheux d'une pente. La neige transportée par le vent est significative et peut causer des suraccumulations par endroits. Les variations dans la vitesse du vent, quant à elles, engendrent des couches de neige de densités et de duretés différentes. Cet effet du vent sur la neige produit des concentrations de stress dans certaines couches du manteau neigeux, les rendant plus prédisposées aux avalanches (Schweizer et al., 2003).

Les dommages environnementaux importants causés par les avalanches à la suite du déboisement témoignent bien de l'influence des arbres sur le potentiel avalancheux (McClung, 2001). En densité suffisante (1000 conifères par hectare sur une pente abrupte) les arbres

supportent le manteau neigeux comme des ancrés. La forêt diminue ainsi le potentiel avalancheux d'une pente par son effet sur la stabilité de la neige. Les arbres diminuent le transport par le vent, l'accumulation au sol par l'interception de la neige sur les branches et modère la température de la surface de la neige (McClung et Schaerer, 1993). L'autre caractéristique de terrain qui nous intéresse dans cette étude est la configuration de la pente. Les zones de départ de forme concave latéralement (terrain en forme de cuillère) sont plus propices au déclenchement des avalanches. Plus particulièrement, les formes convexes en descendant (bosses), créant des variations de pente, provoquent des zones de tensions sur le manteau neigeux, favorisant aussi la formation des avalanches (McClung, 2001).

### *Stabilité de la neige*

Le meilleur indicateur d'instabilité de la neige est l'occurrence d'avalanches naturelles. Ce dernier indique que les pentes avec des caractéristiques topographiques similaires sont probablement instables elles aussi. C'est entre autres pourquoi les observations rapportées par rapport aux événements avalancheux observés sont de grande valeur pour les prévisionnistes. Heureusement, il existe d'autres moyens pour vérifier la stabilité de la neige, comme les tests de stabilité. En général, les tests consistent à appliquer un stress sur un échantillon du manteau neigeux et à noter la pression nécessaire pour qu'il glisse, l'épaisseur de la plaque, etc. Le désavantage de ces tests est que la stabilité de la neige est évaluée seulement pour un secteur restreint du manteau neigeux (McClung et Schaerer, 1993). En effet, les variations spatiales doivent être prises en considération. Dans la revue synthèse de Schweizer et al. (2006), trente-six études sur les variations spatiales ont été analysées. Au moins vingt de ces études ont été réalisées dans le but de comprendre la variation des propriétés physiques et mécaniques du manteau neigeux à l'échelle d'une pente et au moins seize études s'étendent à l'échelle régionale. Bien qu'il existe toujours des incertitudes par rapport à la variation spatiale, d'importantes découvertes ont été faites. Par exemple, les propriétés des couches de neige et le caractère de la fracture à la suite d'un test de stabilité sont moins variables que les résultats de test de stabilité ou stress nécessaires pour faire fracturer une couche (Schweizer et al., 2006).

D'autres indices de stabilité peuvent être retrouvés dans le manteau neigeux en analysant sa structure interne ou stratigraphie. Tandis que les tests de stabilité mentionnés plus tôt donnent



une réponse directe sur la stabilité de la neige, l'analyse plus détaillée et continue de la stratigraphie permettra d'anticiper les changements de stabilité dans le temps. Les variables telles que le type et la grosseur des grains de neige dans chaque couche, le gradient de température dans le manteau neigeux et ainsi que d'autres variables sont étudiées (McClung et Schraerer, 1993).

### *Tendances météorologiques*

D'après une étude effectuée par Alan Jones et Bruce Jamieson (2001), les variables météorologiques les plus importantes pour la prédiction d'avalanches sont la quantité de neige tombée durant une tempête et la direction du vent. D'autres facteurs qui peuvent influencer la stabilité de la neige sont la température, la vitesse du vent et le type de nouvelle neige. De façon empirique, tous ces facteurs peuvent être utilisés pour tirer des conclusions sur la présence, la force et le chargement d'une couche faible. Toutefois, les facteurs météorologiques sont les plus complexes et ils sont les indicateurs de stabilité les moins directs (McClung et Schraerer, 1993). Par exemple, le changement de la température et la vitesse de celui-ci peuvent affecter la stabilité

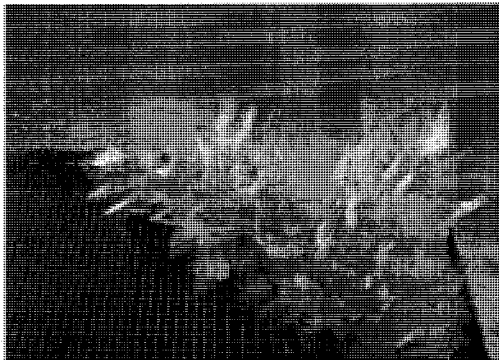


Figure 5 Givre de surface (photo Mt-Washington Av. Center)

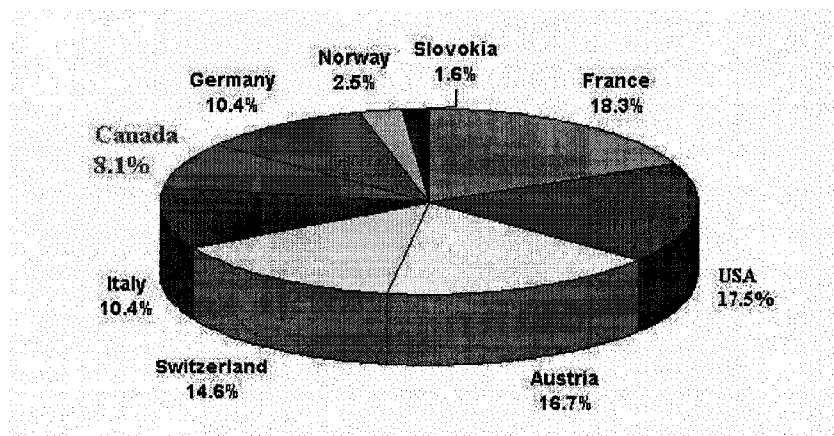
de la neige de différentes façons. Une augmentation constante de la température durant une tempête ou une augmentation rapide après la tempête peuvent engendrer dans la neige des propriétés mécaniques favorables à l'instabilité. Étonnamment, un temps très froid soutenu peut aussi contribuer à l'instabilité du manteau neigeux parce qu'il provoque la métamorphose de la neige, comme le facettage ou la formation du givre de surface, cristaux n'offrant pas de lien solide entre les couches (figure 5) (Colbeck et Jamieson, 2001; Jamieson et Schweizer, 2000; Jamieson et Johnson, 1999; McClung et Schraerer, 1993).

La détermination du danger d'avalanches réside dans l'habileté à reconnaître le terrain avalancheux et à évaluer la stabilité de la neige. La complexité du phénomène des avalanches est une des raisons pour lesquelles l'utilisation de technologies, comme les SIG, est en plein développement dans plusieurs pays où il existe une longue histoire de gestion du risque d'avalanches. C'est en partie ce que couvrira la dernière portion de la revue de littérature.

## 1.1.2 Les risques d'avalanches au Québec et au Canada

### *Canada*

Six cents accidents mortels reliés aux avalanches ont été rapportés au Canada depuis le milieu des années 1800. Toutefois, sur les 1,5 million d'avalanches potentiellement destructives chaque année au Canada, seulement 2 à 5% menacent les milieux publics comme les habitations, les routes ou les milieux de pratiques récréatives en arrière-pays (Stethem et al., 2003; Schaerer, 1984). Dans une perspective globale, 8,1% de tous les décès par avalanche reportés par les dix-sept pays membres de la Commission Internationale du Secours Alpin (IKAR) entre 1991 et 2001 sont survenus au Canada (figure 6) (Utah Avalanche Center, 2006). Puisqu'une des composantes du risque d'avalanche est reliée au nombre de personnes et à leur temps d'exposition, ce pourcentage démontre que certains pays, comme l'Autriche, sont plus à risque à cause de la concentration de gens qui vivent en milieu montagneux.



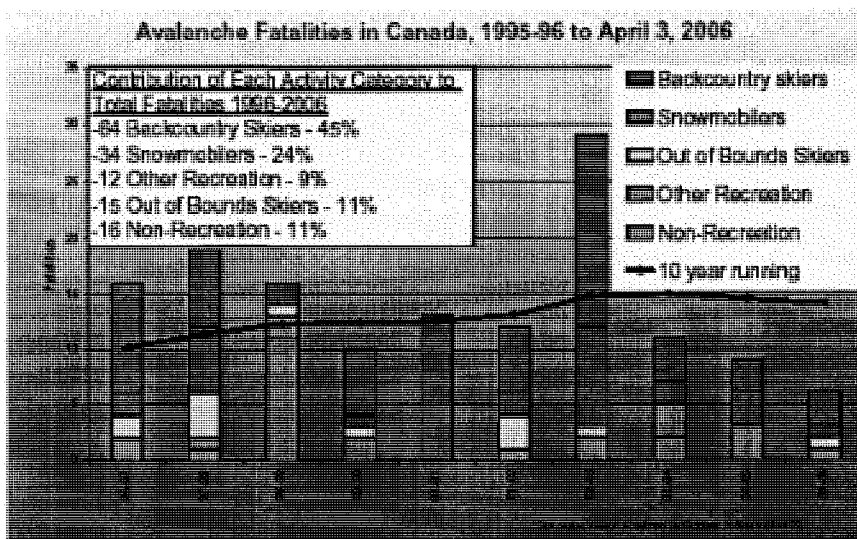
Modifié de Utah Avalanche Center

**Figure 6 Décès par avalanche par pays membre de l'IKAR de 1991 à 2001.**

Il existe toutefois une tendance similaire se manifestant au Canada, en Autriche et dans les autres pays membres de l'IKAR quant au profil des victimes. La grande majorité des accidents mortels sont maintenant associés aux activités à risque volontaire, comme le ski en arrière-pays, comparativement au début du siècle où la majorité des accidents étaient de type involontaire, c'est-à-dire reliés au transport, au travail ou aux endroits habités (Holler, 2006 ; ACA 2006a ; Jamieson et Geldsetzer 1996 ; McClung et Schaerer, 1993). L'augmentation du nombre moyen de décès au Canada par année, qui est passé de 8,5 (entre 1970 et 1990) à 12,5 (entre 1990 et 2000),

témoigne de la popularité et du niveau d'achalandage croissant des activités en arrière-pays (Stethem et al, 2003).

Comme le montre la figure 7, le ski ou la planche à neige en arrière-pays et, plus récemment, la motoneige sont les activités récréatives principalement touchées (ACA, 2006a; Stethem et al., 2003). Ce dernier groupe a vu ses adeptes augmenter considérablement depuis quelques années, et ce, autant au Canada qu'aux États-Unis (O'Gorman et al., 2003). Le fait que les gens s'aventurent hors des centres de ski ou des opérations commerciales récréatives en arrière-pays, où les risques sont contrôlés à l'aide de zonage, de structures de protection, de contrôle par explosifs, de fermeture temporaire de sections de montagne en temps d'instabilité du manteau neigeux et autres mesures préventives, les relègue à l'autogestion des risques.



Tiré du Centre Canadien des Avalanches

Figure 7 Décès par avalanches au Canada de l'hiver 1996 à 2006.

Plusieurs universités canadiennes ont des programmes subventionnés pour la recherche sur la neige et les avalanches. Les principaux domaines de recherche sur les avalanches au Canada se résument à: l'effet du changement climatique sur les avalanches, l'amélioration de la prévision d'avalanche, la pénétration des avalanches dans les forêts, les indices de changements dans les couches de neige faibles, la variabilité spatiale de la stabilité de la neige sur une pente, les modèles dynamiques de simulation des avalanches et l'application de la dendrochronologie pour déterminer la fréquence des avalanches.

## *Québec*

Le rapport de Héту et Bergeron (2004) sur les risques d'avalanches au Québec a apporté un certain éclairage sur l'aspect méconnu et sous-estimé de cette problématique, comme le fait qu'elle existe même dans les régions sans relief vigoureux comme les Cantons de l'est. Héту et Bergeron (2004) ont cerné les facteurs de terrain et les conditions météorologiques propices aux déclenchements des avalanches dans le contexte topographique et climatique du Québec. Pour ce faire, ils ont analysé quinze accidents qui ont causé trente-deux décès au Québec depuis 1970. La conclusion générale montre que « toutes les pentes de plus de 25° doivent être considérées comme à risque, en particulier si elles sont dominées par une surface plane entièrement dénudée telle un plateau ou le replat d'une terrasse » et que « les tempêtes de neige accompagnées de vents violents soufflant en blizzard (poudrerie) représentent la principale situation à risque. » (Héту et Bergeron, 2004, p.54). Ils concluent aussi que le risque est maximal durant la tempête, mais qu'il reste présent le lendemain et dans les jours qui suivent. De plus, le risque concernerait non seulement les adeptes de ski hors-piste, mais aussi de motoneige, de raquettes, et ce, quel que soit le contexte (montagne, simple colline, flanc d'un ravin, berge d'une rivière encaissée, falaise marine, mine à ciel ouvert, teruil, etc.).

Bien que les risques d'avalanches n'épargnent aucune région physiographique, la Gaspésie reste une des régions les plus touchées par les avalanches (Veillette et Cloutier, 1993). Les zones les plus exposées sont les secteurs fréquentés des Chic-Chocs par les récréationnistes<sup>1</sup> et la zone côtière nord où la route est surplombée de couloirs d'avalanches par endroits (Héту et Bergeron, 2004). Plusieurs études ont été effectuées sur les avalanches en Gaspésie, comme la reconstitution de l'historique de certains couloirs par la dendrochronologie et leurs impacts géomorphologiques (Dubé et al., 2004; Boucher et al., 2003; Larocque et al., 2001; Héту et Vandelac, 1989; Héту, 1986). Quelques études sur le risque ont aussi été réalisées, dont les cartes de risque présentées au début du présent document (Héту et Bergeron, 2004 ; Boucher et Gagnon, 2002; Veillette et Cloutier, 1993). Tout récemment, l'étude de Germain (2005) a apporté une vision plus régionale de la fréquence séculaire des avalanches et s'est aussi penchée sur la question de l'impact qu'aurait le réchauffement climatique sur le régime avalancheux (fréquence-

<sup>1</sup>

---

Le mot « récréationniste » est utilisé pour nommer les gens pratiquant des activités récréotouristiques

intensité). Comme les autres études d'historiques des avalanches de la Gaspésie, celle-ci fait ressortir une fréquence accrue des grosses avalanches depuis le milieu du XX<sup>ème</sup> siècle. Il apparaît que «dans la perspective du réchauffement climatique anticipé, on pourrait s'attendre à une fréquence accrue des avalanches en milieu subalpin dans la mesure où la variabilité météorologique favoriserait une fréquence élevée de redoux hivernaux » et qu' «en revanche, une diminution de la précipitation en neige pourrait se traduire par une fréquence moins élevée des grosses avalanches au sein des vallées côtières, dans les basses terres. » (Germain, 2005, p.86) Il faut toutefois mentionner que les résultats sont limités par le peu de variables météorologiques et que celles-ci viennent de stations le long de la côte où les conditions météorologiques diffèrent de celles des haut-plateaux de la Gaspésie centrale, et que l'historique des grosses avalanches provient d'analyses dendrochronologiques dont les traces d'évènements plus anciens auraient pu être effacées par les plus récents. Certains couloirs de la Gaspésie centrale ont aussi servi à la calibration d'un modèle statistique et dynamique pour l'estimation de la distance des zones de dépôt des avalanches extrêmes sur pentes courtes (Jones, 2002).

### **1.1.3 Méthode de gestion des risques**

Depuis 2002, le Canada possède un guide des standards recommandés pour identifier, délimiter et atténuer les risques d'avalanches à un niveau acceptable (ACA, 2002a ; ACA, 2002b). Ce niveau varie suivant l'utilisation du territoire et la nature de ce qui est exposé. Les standards sont basés sur le «Canadian Standards Association» et sur un consensus entre une variété de «stakeholders» canadiens. Les opérations et infrastructures à risque sont : les corridors de transport, d'énergie et de communication ; les installations industrielles occupées temporairement et de façon permanente (résidences ou autres); les sites de travail comme certains sites de foresterie ou autres ; les opérations commerciales récréatives en arrière-pays ; les centres de ski et leurs installations.

Quand l'élimination du danger n'est pas possible, nous pouvons réduire les risques en posant des barrières de prévention et/ou de protection. La première vise à réduire la probabilité d'un accident par le contrôle de l'aléa (neige instable et terrain avalancheux). Ces méthodes de prévention peuvent être permanentes, comme l'installation de structures pour retenir la neige

dans les zones de départ, ou ponctuelles, comme le déclenchement des avalanches par des explosifs après une tempête (McClung et Schaerer, 1993). La deuxième méthode, les barrières de protection, a pour objectif de réduire la conséquence de l'accident ou de l'avalanche. Les structures de déflexion de la neige et de renforcement pour les infrastructures ou le matériel spécialisé comme l'appareil de recherche pour victime d'avalanche (ARVA) sont quelques exemples de barrière de protection. Le tableau 1 montre quelques exemples de méthodes pour diminuer les risques d'avalanches.

**Tableau 1 Exemple de méthodes de gestion des risques par rapport au type de contrôle désiré.**

		<b>Exemples de méthodes de gestion des risques</b>	
		<b>Prévention (diminuer la probabilité)</b>	<b>Protection (diminuer la conséquence)</b>
<b>Composantes des risques d'avalanches</b>	<b>Neige</b>	Compaction de la neige	ND
		Explosifs	
	<b>Terrain</b>	Protection de la forêt	Interdiction d'accès temporaire
		Structures pour retenir la neige dans les zones de départ.	Zonage
	<b>Gens et infrastructure</b>	Éducation/information (ex : bulletin de neige)	Éducation/information (ex. bulletin de neige)
			Matériel de sécurité en cas d'avalanche
			Structures de déflexion de la neige ou de renforcement.

Il est important de mentionner l'activité associée au plus grand nombre de décès par avalanches, soit la récréation motorisée ou non dans l'arrière-pays sur les terres publiques, n'est pas inclus dans le cadre de gestion des risques du nouveau guide de l'ACA. Néanmoins, la clientèle avide de défi dispose de plusieurs moyens pour gérer le risque par la prise de décisions sécuritaires. Le document de Stethem et al. (2003) mentionne quelques moyens disponibles pour réduire les risques lors des activités récréatives en terrains avalancheux : suivre des cours de sécurité en terrain avalancheux, consulter les bulletins d'avalanche, être prêt à secourir un compagnon, voyager avec des gens d'expérience et observer les tendances climatiques, nivales et

avalancheuses pour choisir un itinéraire sécuritaire. La sécurité des récréationnistes dépend donc de la quantité et de la qualité d'informations disponibles, de leurs connaissances et de leur expérience.

Depuis le tragique hiver 2003, la sécurité en terrain avalancheux est devenue un sujet d'intérêt public. Les organisations « responsables » des programmes de sécurité en avalanche pour le public comme l'ACA, le CAHG et Parc Canada ont dû revoir l'efficacité de leurs programmes (Haegeli P. et al., 2006). C'est en réponse à plusieurs recommandations de Parc Canada et du gouvernement de la Colombie-Britannique que de nouveaux outils d'aide à la prise de décision se voulant mieux adaptés au niveau de connaissance et d'expérience des amateurs furent développés. Un de ces outils, développé par Parc Canada, est l'échelle d'exposition au terrain avalancheux (EETA). Comme son nom le dit, cet outil vise l'évaluation de l'exposition au terrain avalancheux, un concept important dans le choix d'itinéraire des récréationnistes s'aventurant dans l'arrière-pays. L'outil est construit de façon à ce qu'il permette de « mesurer » quantitativement le niveau d'exposition. Ensuite, les différentes cotes d'exposition sont décrites et communiquées de façon simple pour le public moins expérimenté ou de façon plus détaillée par un modèle technique. Ce nouvel outil de gestion s'est avéré très profitable mais il doit être réalisé avec rigueur, puisqu'il peut aussi servir à contrôler l'accessibilité au terrain (Statham, 2006). Un autre outil visant les récréationnistes fût développé par l'ACA : L' « Avaluateur ». Cet outil d'aide à la prise de décision a été créé par des experts qui se sont basés sur la science sociale pour rejoindre un groupe cible, sur les tendances et les données des accidents canadiens et américains et sur d'autres recherches et informations spécifiques au Canada. L'objectif de l'outil est d'assister les amateurs dans la planification de leurs activités et faciliter les prises de décisions sur le terrain. L'outil conseille sur le niveau d'exposition de terrain à choisir en fonction du niveau de risque associé à la neige. Après seulement une saison d'utilisation et d'enseignement dans les cours d'introduction de sécurité en terrain avalancheux (AST level 1), quelques questionnements sont soulevés par rapport à son approche peut-être trop conservatrice, à l'échelle casi-régionale de classification des itinéraires et sur l'utilisation plus consultative que décisionnelle de l'outil (Klassen, 2007).

### *Utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) pour la cartographie des terrains avalanches*

Il semble y avoir un engouement, dans plusieurs pays devant faire des prévisions avalanches, à trouver une plate-forme numérique efficace pour tous les types de données associées aux avalanches. Quelques projets, comme celui de McNeally et al. (2006), tentent de créer des modèles de visualisation des données dans le but de faire de meilleurs diagnostics et de la façon plus efficace. Au Canada, l'initiative du «Canadian Avalanche Data System» est en développement pour améliorer les programmes de partage et de visualisation des données avalanches au Canada (ACA, 2006b). Cette nouvelle mission de l'ACA est un exemple où la technologie des SIG sera utilisée.

À ce jour, il existe deux utilisations principales des SIG dans le monde des avalanches : pour la cartographie du terrain avalancheux et pour la prévision des avalanches. Certains travaux comme ceux de Gruber et Haefner (1995), Furdada et al. (1995) et McLaren (2001) ont été réalisés dans le but d'automatiser l'évaluation du terrain avalancheux. Leurs modèles utilisent les données numériques d'altitude (DNA) pour analyser les informations topographiques (pente, altitude et orientation) et des images satellites ou des cartes écoforestières pour les données de couvert végétal. Les résultats donnent une idée générale de la distribution spatiale du terrain avalancheux à l'échelle régionale de façon rapide et efficace. Présentement, le manque de précision dû à la résolution de certaines données doit être compensé par les techniques classiques comme la vérification sur le terrain ou la photointerprétation (McCollister et Birkeland, 2006). Notre travail s'inscrit dans cette démarche.

L'intégration des SIG dans la prévision des avalanches est une utilisation beaucoup plus complexe étant donné que l'évaluation de la stabilité de la neige s'additionne au potentiel avalancheux du terrain. Un modèle sophistiqué de prévision des avalanches prenant en compte les données ponctuelles de la stabilité du manteau neigeux, les conditions météorologiques affectant celle-ci et le potentiel avalancheux du terrain est une idée audacieuse mais qui n'est pas encore au point (McCollister et Birkeland, 2006). Les modèles suisse et français SNOWPACK et SAFRAN-CROCUS peuvent évaluer relativement bien l'évolution du manteau neigeux et même identifier certaines couches faibles en un point donné (Bellaire et al. 2006; Haraldsdottir et al.,



2001). Mais ce ne sont pas des modèles distribués spatialement. Certaines complications, comme la redistribution de la neige par le vent sur les surfaces irrégulières et les variations spatiales de la stabilité du manteau neigeux, font en sorte que les résultats de ces modèles fonctionnent mieux sur des surfaces planes et qu'ils ne sont pas applicables à l'échelle d'un couloir avalancheux.

Sans nécessairement être au point pour la prévision automatique, les SIG peuvent être un outil d'aide à la prise de décision pour les prévisionnistes et les récréationnistes. Les organisations comme Canadian Mountain Holidays, le centre de ski Jackson Hole et l'Institut Fédérale pour l'Étude de la Neige et des Avalanches de la Suisse utilisent maintenant les SIG comme outil pour visualiser et interpréter le volume toujours croissant de données. Un exemple de produit qui a été développé pour aider les prévisionnistes est l'utilisation du SIG avec l'approche méthodologique du plus proche voisin. En reliant les données météorologiques historiques avec les données avalanches historiques géoréférencées, il est possible de savoir comment les couloirs d'avalanches ont réagi dans le passé face à des conditions météorologiques similaires à celles que nous vivons dans le présent (McCollister et Birkeland, 2006; McCollister, 2004). L'intégration des données avalanches historiques dans un SIG peut aussi servir simplement à visualiser la distribution spatiale des événements avalancheux en fonction des paramètres temporels, spatiaux et météorologiques (Hendrikx et al, 2004). Dans le secteur du public, plusieurs utilisations des SIG sont aussi en développement. La plus commune des suggestions est la présentation au public du niveau de danger d'avalanches selon l'orientation et l'élévation sur des cartes géoréférencées régionales. Malheureusement, plusieurs questions se posent par rapport à la fausse certitude de précision que pourraient laisser sous-entendre de telles cartes (McCollister et Birkeland, 2006). Parc Canada a trouvé une belle utilisation au SIG pour mieux informer le public. Des cartes de terrains avalancheux spécifiques aux randonnées sont disposées aux entrées d'accès de celles-ci. Les endroits plus exposés représentant plus de risques ont été cartographiés à la main sur des modèles de terrain 3D faits à partir de photos aériennes obliques (voir annexe 1).

## **1.2. Hypothèses de recherche**

Malgré le fait que ce projet de maîtrise est de type méthodologique, nous proposons les deux hypothèses qui suivent :

a) Un SIG, en plus des autres techniques de traitement de données plus conventionnelles, s'avèrera un outil efficace pour localiser les zones avalancheuses, pour analyser certaines propriétés physiques de ces dernières et pour y introduire des données sur les évènements avalancheux antérieurs.

b) L'analyse des caractéristiques topographiques et du milieu physique par zones, selon le modèle technique de l'échelle d'exposition au terrain avalancheux de Parc Canada, peut être réalisée avec un SIG et les résultats seront utiles pour classer de futurs itinéraires.

## **1.3. Objectifs**

Le but principal du projet est de créer un outil pour les gestionnaires du Parc de la Gaspésie et pour les professionnels du Centre d'avalanche de la Haute-Gaspésie (CAHG), qui pourrait aider à la gestion des risques d'avalanche dans leurs régions. Le premier objectif spécifique consiste en la réalisation d'un atlas numérique de localisation des zones d'avalanches pour identifier et qualifier les couloirs d'avalanches des secteurs les plus accessibles et les plus fréquentés du massif des Chic-Chocs par les récréationnistes, soit les sept secteurs suivants : le mont Albert, le mont Hog's Back, les Champs de Mars, le mont Blanche Lamontagne, les monts Vallières-de-Saint-Réal, le lac aux Américains et les Mines Madeleine. Les coûts directs et indirects associés aux avalanches peuvent être diminués en améliorant la reconnaissance et la cartographie du terrain à potentiel d'avalanches (ACA, 2002a). L'étape de la création d'une carte de localisation des zones d'avalanches est cruciale dans le développement d'un programme de sécurité en terrain avalancheux. Malheureusement, cette étape a été mise de côté par le passé à cause du manque de ressources et de temps (Dominic Boucher, communication personnelle).

De plus, les activités avalancheuses ne sont que très rarement rapportées de façon claire et méthodique et elles ne sont pas intégrées dans une banque de données. La compilation de telles données permettrait de mieux connaître le comportement de chaque couloir et, ainsi, d'attribuer à chacun une signature avalancheuse. Donc, l'atlas des zones d'avalanches comprend aussi un inventaire des évènements avalancheux antérieurs. Le but est de créer une plate-forme dans laquelle nous avons entamé la compilation des évènements avalancheux bénéficiant de détails suffisants et de les intégrer dans l'atlas à l'aide d'un SIG. À long terme, l'intégration de ces données dans le SIG réalisé permettra d'étudier le climat avalancheux des Chic-Chocs et de visualiser la distribution de la fréquence des avalanches par rapport aux paramètres enregistrés.

Le deuxième objectif spécifique est de classifier les zones à potentiel avalancheux du secteur du mont Albert selon l'EETA de Parc Canada. Cet outil de classification est destiné à informer les utilisateurs sur le potentiel avalancheux en attribuant une cote aux itinéraires des parcs nationaux canadiens. Sa spécificité est l'évaluation du potentiel avalancheux en se basant sur le terrain plutôt que sur la neige. Cet outil est nouveau et n'a jamais été utilisé en Gaspésie. Quelques variantes ont été apportées au modèle technique de Parc Canada, étant donné la réalité du climat gaspésien et de la topographie des Chic-Chocs. En particulier, la plus grande variante est la classification de zones plutôt que d'itinéraires dans un premier temps. La restriction d'accès à la grande majorité du territoire du mont Albert pour la protection des caribous des bois est la raison principale invoquée pour limiter les itinéraires. Ceux-ci ne sont donc pas représentatifs du potentiel récréotouristique du Parc de la Gaspésie. Comparativement au produit de l'Ouest canadien visant à informer les utilisateurs de l'état du terrain avalancheux leur étant accessible, la classification des zones du mont Albert se veut une analyse de terrains dédiée aux gestionnaires pour cerner la problématique de l'offre d'activités au mont Albert. Selon plusieurs experts en risques d'avalanches, les restrictions d'accès, comme celles du mont Albert, contribuent à augmenter les risques d'avalanches, puisque les utilisateurs ne disposent d'aucun choix de terrains adaptés à leurs compétences, à leur expérience, à leur degré de tolérance par rapport aux risques et, surtout, à l'état de la stabilité de la neige, qui peut changer très rapidement selon l'orientation par rapport au vent et au soleil (Boucher et Gagnon, 2002).

## 2. CADRE EXPÉRIMENTAL

### 2.1. Site d'étude

Situé au centre-nord de la Gaspésie, le massif des Chic-Chocs s'étend à travers la réserve faunique de Matane, le Parc de la Gaspésie et la réserve faunique des Chic-Chocs (Figure 8). Ce « mur impassable », comme le définit son nom micmac, fait partie de la chaîne des Appalaches. L'orogénèse de ses principaux sommets date de deux périodes, soit de l'Ordovicien et du Dévonien et est issue d'intrusions multiples et variées traversant la formation sédimentaire (De Romeer, 1977). Toutefois, les sommets actuels résultent d'une longue érosion différentielle. Les vallées creuses et les diverses formes d'érosion, comme des cirques glaciaires, témoignent de la présence et du recul des glaciers à plusieurs reprises (Richard et al. 1997; Ministère des Loisirs, de la Chasse et de la Pêche, 1982).

Des hauts plateaux surplombant les vallées avec des pentes très escarpées du côté nord et abruptes du côté sud, soulignent généralement la forme du massif. L'élévation de ces plateaux varie entre 750 et 1270 mètres (Hétu et Gray, 1985). Ces caractéristiques topographiques font de cette zone un site propice aux avalanches. De plus, les dangers d'avalanches sont accentués par l'absence d'ancrage pour la neige dans plusieurs endroits, comme les versants et les plateaux dénudés d'arbres, permettant ainsi le transport de la neige par le vent et le glissement de la neige par la gravité en plaques ou en départs ponctuels (Stethem et al., 2003).

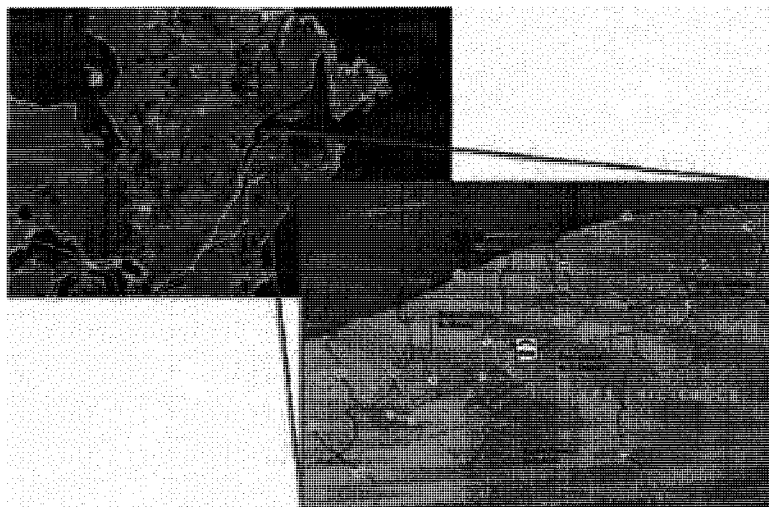


Figure 8 Les Chic-Chocs

Une étude effectuée sur le climat de la région démontre que l'altitude des Chic-Chocs crée un microclimat qui détermine les températures et les précipitations (Gagnon, 1970). Cette région est effectivement reconnue pour être plus froide, plus enneigée et pour offrir peu de similitudes avec les autres régions du Québec méridional. En plus de recevoir plus de neige, les hauts plateaux jouent le rôle de zones de déflation de la neige par les vents dominants du nord-ouest, qui eux aussi ne sont pas à négliger : les parcs d'éoliennes situés autour et sur le massif en sont la preuve. Ces trois conditions (neige, haut plateau dénudé et vent) ont pour résultat de suralimenter les versants sous le vent, généralement les versants est et sud-est des montagnes, pour y créer des plaques à vent, qui sont souvent une cause d'instabilité dans le manteau neigeux (Girard et Héту, 1989).

Les sites d'études spécifiques ont été choisis en fonction des offres d'activités récréatives hivernales, soit les secteurs les plus achalandés, donc à plus haut risque. Ce risque pourrait même s'accroître avec le temps étant donné la popularité grandissante du parc en hiver (Communication personnelle, Francois Boulanger; Gephart, 2006; National Geographic, 2001). De plus, la proximité relative entre les sites sélectionnés était un élément favorable. Les sept secteurs d'études spécifiques, s'étendant sur 20 kilomètres carrés, sont représentés dans la figure 9.



**Figure 9 Secteurs d'études présentés sur l'image satellite Spot rehaussée, d'octobre 2005.**

A) Monts Vallières-de-Saint-Réal B) Blanche Lamontagne C) Hog's Back D) Champs de Mars E) Mont Albert F) Lac aux Américains  
G) Mines Madeleine. Fonds d'images satellites SPOT multispectrales datant d'octobre 2005.

## 2.2. Description des données

Le tableau 2 résume l'ensemble des données utilisées et traitées afin d'accomplir les deux objectifs principaux.

**Tableau 2 Description des données.**

Données	Type	Résolution	Utilisation	Fournisseurs	Logiciel d'intégration
Photos aériennes	Noir et blanc Hiver 1975	1:15 000	Photo- interprétation des zones avalancheuses	Parc de la Gaspésie	ARCGIS 9.0
	Noir et blanc Été 1963	1: 15 000		UQAR	
	Noir et blanc Été 1975-1976	1:15 000		UQAR	
	Infrarouge Été 1986	1: 15 000		Ministère des Ressources naturelles	
	Infrarouge Été 1992	1:15 000		Ministère des Ressources naturelles	
Données topographiques	Banque de données topographiques du Québec (BDTQ) numérique	1:20 000	Analyse spatiale et cartographie	Parc de la Gaspésie	
Sentiers et nouveaux aménagement forestiers	« Shapefiles » Polygones et lignes	1:20 000	Analyse spatiale et cartographie	Parc de la Gaspésie	
Images satellites	SPOT Panchromatique Mai 2004	5 mètres	Classification du type de végétation et densité du couvert forestier	Université de Sherbrooke et ministères des Ressources naturelles secteur forêt	ARCGIS 9.0 et Ecognition
	SPOT Multispectrale Octobre 2005	10 mètres			
Données des événements avalancheux	Bulletin de neige	Sans objet	Validation des zones avalancheuses et création de la base de données sur les événements avalancheux	CAHG	ARCGIS 9.0 et Microsoft Office ACCESS
	Enquête auprès des personnes locales			Personnes clés locales	
	Dossier sur les événements avalancheux			Parc de la Gaspésie	

## **2.3. Méthodologie**

### **2.3.1 Classification de la forêt**

Pour analyser le potentiel d'avalanches de neige, le terrain doit présenter des caractéristiques spécifiques comme l'angle de pente entre 20° et 50° et la présence ou non de forêt. Cette dernière a tendance à stabiliser la neige en agissant comme ancrage et peut aussi faire obstacle au vent et au rayonnement solaire (McClung et Schaerer, 1993). Toutefois, la forêt doit avoir une couverture assez dense pour diminuer la probabilité d'avalanche. Comme le démontre McClung (2001) dans son article sur l'influence des coupes à blanc sur la dynamique des avalanches, il existe une tendance à avoir moins d'évènements avalancheux quand la couverture végétale est dense. Comme c'est le cas dans cette étude, l'évaluation de la couverture de la forêt ou des autres paramètres de terrain se fait typiquement à l'aide d'une méthode de récolte de données mixtes à partir de photos aériennes, de visites sur le terrain et de cartes écoforestières. Dans le cadre de notre projet, nous avons utilisé une source de données supplémentaire, soit l'image satellite multispectrale SPOT à haute résolution. L'addition de cette source de données aux plus conventionnelles pour effectuer la classification de la densité de la forêt a pour but de tester son efficacité et aussi d'augmenter l'efficacité de la cartographie des zones des avalanches étant donné l'ampleur du terrain à couvrir.

L'image satellite SPOT multispectrale à dix mètres de résolution a été acquise le 5 octobre 2005, ce qui nous donne l'avantage d'avoir des données très récentes sur le couvert forestier. L'image panchromatique acquise en 2004 n'a pas servi à la classification de la densité du couvert forestier mais plutôt à l'étape de la réalisation de l'atlas d'avalanches pour la délimitation des zones avalancheuses.

Dans un premier temps, l'image satellite a été géoréférencée avant de commencer les étapes de classification de l'image. Premièrement, une segmentation grossière a été réalisée sur l'image à l'aide du logiciel Ecognition. La segmentation implique le groupage de pixels adjacents pour représenter un amalgame cohérent d'objets spatiaux ainsi que leurs relations mutuelles (Baatz et al., 2004). La segmentation à l'échelle grossière vise d'abord à produire des objets



suffisamment grands pour couvrir la variabilité de la région étudiée. Elle est appliquée en premier pour faire ressortir les objets spatiaux facilement discernables comme les nuages, le couvert forestier et l'eau (Mark Lague, 2006). Deuxièmement, le niveau de segmentation à l'échelle fine dissèque l'information de l'échelle grossière en plusieurs nouveaux objets plus petits et plus homogènes comme la végétation basse, la végétation haute, les feuillus, les résineux, etc. Finalement, ce dernier niveau a été subdivisé en plusieurs classes de densité de végétation soit, 0-40%, 41-80% et 81-100% de couverture. Les résultats de la classification sont présentés et analysés dans la section 4 des Résultats.

### 2.3.2 Réalisation de l'atlas numérique des avalanches

L'atlas des avalanches et des événements avalancheux a été construit en fonction des directives du *Guide sur la cartographie et de la détermination des risques d'avalanches* ainsi que des *Directives d'observation et des normes d'enregistrement des conditions météorologiques*, du manteau neigeux et des avalanches de l'Association Canadienne des Avalanches (ACA). La figure 10 représente l'organigramme des étapes pour la réalisation de l'atlas numérique des avalanches lié à une base de données avalancheuses.

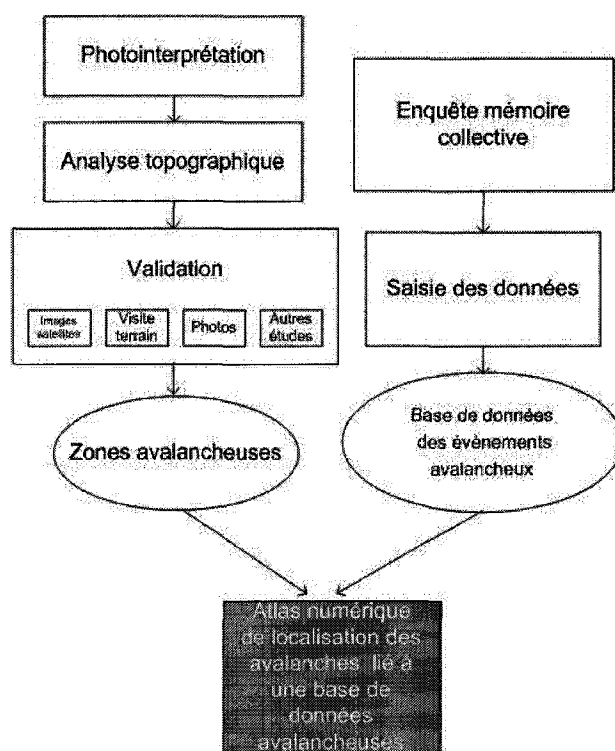


Figure 10 Organigramme pour la réalisation de l'atlas numérique

La photointerprétation du site d'étude a permis de localiser les endroits avec des indices et des caractéristiques avalanches, comme un couloir dans la forêt pour le subalpin et une cuve aux pentes raides pour l'alpin. Les photos sont ensuite numérisées et géoréférencées pour permettre la création de fichiers ArcGIS géoréférencés «shapefiles », correspondant à des zones en forme de polygone ou de lignes pour les couloirs de moins de 30 mètres de large dans le logiciel ArcGIS. Les polygones des nouveaux travaux forestiers, délimités à partir de «shapefiles » fournis par le Parc de la Gaspésie, ont été pris en considération dans l'atlas en les indiquant comme de nouvelles zones ayant un potentiel avalancheux.

Les données topographiques de la BDTQ ont ensuite été traitées en données numériques d'altitude (DNA) avec une résolution de dix mètres et avec différentes classes de degrés de pentes, la pente étant la variable primordiale permettant à une avalanche de se produire et d'accélérer (Stethem et al., 2003). Voici les seuils de pentes considérés permettant de délimiter les différentes zones caractérisant les avalanches. Ces seuils découlent d'études et de communications personnelles (McClung et Schaerer, 2006; Stethem et al., 2003; Jones, 2002; McClung, 2001; Jones, communication personnelle ):

- 10° : Le point de référence de la zone de dépôt d'avalanches de grande magnitude.
- 15° : Le point de référence qui marque la transition entre la zone d'écoulement et la zone de dépôt.
- 24° : L'angle auquel la force de cisaillement n'est plus assez forte pour déclencher les avalanches de plaques et aussi le point de référence pour les zones de dépôt d'avalanches sur des pentes courtes (moins de 275 m) selon l'étude d'Alan Jones (2002).
- 30° : L'angle de zone de départ où peuvent se produire de rares mais larges avalanches de plaques.
- 35° : Plus précisément, l'angle de pente de 37° a été calculé dans une étude de McClung (2001) comme étant l'angle où de grosses avalanches de plaques étaient les plus fréquentes.
- 40° : L'angle où les avalanches sont petites et plus fréquentes.

Les données numériques d'altitude ont aussi été utilisées dans le logiciel ArcGIS pour réaliser des opérations, comme « steepest path » (ligne la plus pentue) pour connaître la direction d'écoulement ou « flow direction » (direction de l'écoulement), et aussi pour créer des profils longitudinaux.

La validation des résultats s'est faite à partir de visites sur le terrain et de données de terrain provenant du projet de doctorat de Daniel Germain (Germain, 2005). Six des sept secteurs ont été visités durant l'hiver 2006 avec les professionnels du Centre d'avalanche de la Haute-Gaspésie et ont été photographiés dans le but de valider les zones potentiellement avalancheuses. La localisation des couloirs d'avalanches de Daniel Germain et les caractéristiques topographiques associées à ceux-ci furent aussi comparées aux résultats. Certaines modifications ont dû être apportées à la délimitation des zones avalancheuses après ces vérifications.

À la suite de la localisation des zones avalancheuses, une enquête a été effectuée auprès de personnes-clés dans le but d'obtenir le plus de détails possible sur les événements avalancheux associés aux couloirs, à leurs caractéristiques topographiques et à leur nom, lorsqu'ils en avaient. Huit personnes ont participé, dont un garde de parc, les professionnels du CAHG, un récréationniste et deux guides en ski de descente en arrière-pays. Le dossier du Parc de la Gaspésie concernant les avalanches a aussi fait ressortir quelques détails sur plusieurs événements avalancheux marquants.

La dernière étape pour la réalisation de l'atlas est de lier la base de données des événements avalancheux, appelés « avis d'avalanche », aux zones avalancheuses en format « shapefile ». Le champ commun créé entre les « shapefiles » et les avis d'avalanche, appelé « numéro de l'avis », servira de lien entre les deux. De cette façon, un polygone peut contenir plusieurs avis d'avalanche.

### 2.3.3 Analyse des zones à potentiel avalancheux.

La figure 11 représente l'organigramme des étapes à suivre pour la réalisation de la classification des zones du mont Albert selon l'échelle d'exposition aux terrains avalancheux proposée par Parc Canada.

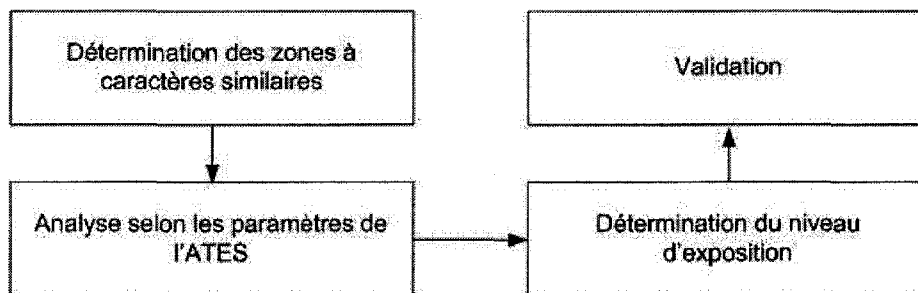


Figure 11 Organigramme pour l'analyse des zones à potentiel avalancheux. (ATES : avalanche terrain exposure scale)

Grant Statham, le responsable et l'un des créateurs de ce nouveau produit des parcs de l'Ouest canadien, nous a confirmé que cette démarche serait efficace (Grant Statham, communication personnelle). La délimitation de ces zones devient une étape cruciale, étant donné que l'analyse sera faite selon des zones plutôt que des itinéraires, ces derniers étant quasi inexistant en raison de la restriction d'accès au mont Albert. Un premier essai pour délimiter les frontières des zones est effectué pour ensuite être discuté et corrigé avec les professionnels du CAHG. Nous avons procédé à l'analyse de chaque zone en fonction de chaque paramètre du modèle technique, à l'exception du dernier paramètre « glacier », pour ensuite attribuer à chacune de ces zones une première cote d'exposition aux terrains avalancheux (annexe 2). Le tableau 3 résume quelques paramètres utilisés par rapport aux cotes d'exposition aux terrains avalancheux qui leur sont attribuées. Tous les paramètres doivent être pris en considération pour l'attribution de la cote finale aux zones. Cependant, les cotes indiquées en italique devront être appliquées par défaut aux zones signalées en raison de leur importance. Une première cote est ainsi attribuée aux zones pour ensuite être discutée et corrigée avec le CAHG.

**Tableau 3 Exemples de paramètres analysés pour la détermination des cotes d'expositions aux terrains avalancheux.**

Paramètres	Source des données et outil utilisé dans ArcGIS	Classes de niveau d'exposition aux terrains avalancheux		
		1 Faible	2 Moyen	3 Élevé
Pente	Données numériques d'altitude	=30° (85 % de la zone)	=35° (15 % de la zone)	=35° (85 % de la zone)
Forme du terrain	« Curvature tool » dans ArcGIS	Uniforme	Quelques convexités	Plusieurs zones de départ convexes
Couvert forestier	Images satellites, photo aérienne et analyse visuelle	100 % couvert d'arbres (quelques ouvertures)	50 % couvert	50 % à 0 % couvert

### 3. RÉSULTATS

#### 3.1 Cartographie forestière

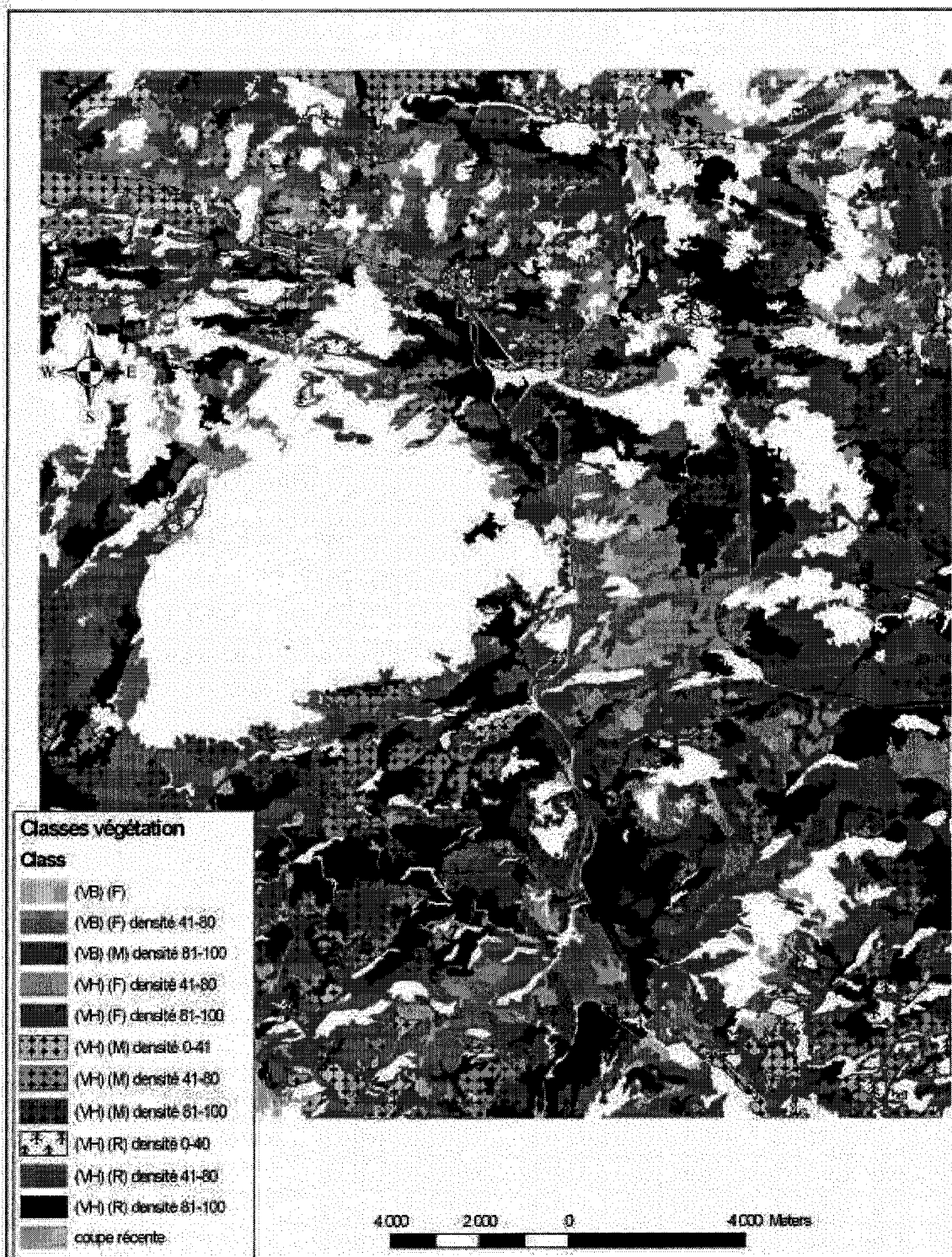
L'image satellite SPOT multispectrale a été classifiée en douze classes de végétation et de densité. La carte de classification du couvert forestier selon quatre classes (forêt feuillue, mixte et conifère et coupes récentes) et deux types de végétation (végétation basse et végétation haute) est présentée dans la figure 12. Pour chacune de ces classes, la densité forestière est indiquée en trois niveaux selon le pourcentage de couverture de la cime des arbres relativement au sol (OIFQ, 1997). La carte montre qu'environ 62% de la zone étudiée est couverte de forêt.

Le tableau 4 donne la superficie totale en kilomètres carrés de chacune des classes de densité de forêt faite à partir de l'image satellite. D'après l'image satellite, les forêts de feuillus, mixtes et de conifères représentent respectivement 11,4, 16,7, et 34,2 % du territoire. La superficie des coupes récentes représente environ 8,5 km<sup>2</sup>, soit 1,6 % de la zone étudiée. Pour fins d'analyse, les classes dérivées de l'image satellite sont comparées dans le tableau 5 à celles dérivées de la carte écoforestière de la région (Ministère des Ressources naturelles, 2000), bien que les définitions des classes ne soient pas exactement les mêmes. Par exemple, il n'existe pas de classe de densité de moins de 25 % pour la carte écoforestière, que nous avons intégrée dans la classe « faible densité » (0 – 40%) dans l'analyse de l'image satellite. Par ailleurs, la carte écoforestière distingue la classe « arbres entre 1,5 et 6 mètres de hauteur », dont les arbres sont trop courts relativement au potentiel de coupes forestières. Dans le tableau 5, nous avons regroupé tous les types de végétation ou sans végétation, incluant l'étage alpin, pour faire une classification selon la densité forestière et non selon le type de végétation. En regroupant les classes de faible densité et sans végétation pour les 2 types de données, nous retrouvons des superficies équivalentes (203 km<sup>2</sup> pour la carte écoforestière et 196 km<sup>2</sup> pour l'image satellite). Il apparaît aussi que l'image satellite surestime les zones de forte densité (81-100%) par rapport à la carte écoforestière, qui, elle, surestime les zones de densité moyenne (41-80%). Cela peut provenir de la signature spectrale de la végétation sous-jacente, qui peut perturber l'analyse des données satellite, ainsi que des effets de pente qui modifient la réflectivité de la végétation. Une

correction de ces effets dus à la topographie serait nécessaire préalablement à l'analyse de classification.

**Tableau 4 Superficie des classes d'occupation du sol dérivée de l'image satellite (voir Figure 12).**

Classes	Superficie Km <sup>2</sup> (%)	Classes	Densité (%)	Superficie Km <sup>2</sup>
Feuillus	61 (11,4)	Végé. Basse	0-40	8,1
		Végé. haute	41-80	14
			41-80	15,5
			81-100	23,4
Mixte	88,7 (16,7)	Végé. Basse	81-100	12,1
		Végé. haute	0-40	16
			41-80	30,1
			81-100	30,5
Conifères	181,7 (34,2)	Végé. Haute	0-40	7,7
			41-80	87,2
			81-100	86,8
Coupe récente	8,5 (1,6)			
Autres (toundra et zones sans végétation)	192 (36,1)			
Total	531,9			



**Figure 12** Carte de classification du couvert forestier dérivée de l'image satellite SPOT du 2 octobre 2005. VB : végétation basse ; VH : végétation haute ; F : feuillus ; M : forêt mixte ; et R : résineux. Les zones en blanc correspondent aux zones de végétation autre que la forêt (comme la toundra alpine), les zones sans végétation ou les nuages cachant la surface de la terre.



**Tableau 5 Comparaison des classes de forêts et non forêts dérivées de la carte écoforestière et de l'analyse de l'image satellite SPOT.**

	<b>Pas de forêt</b>	<b>0-40%</b>	<b>25-40%</b>	<b>41-80%</b>	<b>81-100%</b>	<b>Arbres entre 1.5 et 6 mètres de hauteur</b>
<b>Carte écoforestière</b>	107 km <sup>2</sup>	NA	86 km <sup>2</sup>	217 km <sup>2</sup>	76 km <sup>2</sup>	10 km <sup>2</sup>
<b>Image satellite</b>	164 km <sup>2</sup>	32 km <sup>2</sup>	NA	147 km <sup>2</sup>	153 km <sup>2</sup>	NA

L'image satellite utilisée (SPOT multispectrale) ayant une résolution spatiale de dix mètres (taille du pixel) ne peut avoir la même précision que la carte écoforestière qui a été faite à partir de photos aériennes de meilleure résolution. Cependant, l'analyse de l'image satellite, basée sur la signature spectrale des éléments, permet une cartographie automatique, systématique et homogène de toute la zone. De plus, cette analyse peut être faite de façon régulière au cours du temps, à chaque passage du satellite, permettant ainsi une mise à jour fréquente des données. Des images satellites du type Ikonos ou QuickBird ayant une résolution de l'ordre du mètre donneraient de meilleurs résultats, mais à coût bien supérieur.

Ikonos : <http://www.satimagingcorp.com/gallery-ikonos.html>,

Quickbird : <http://www.digitalglobe.com>

Le type de couverture du sol est un paramètre important de l'analyse du potentiel d'avalanches. En particulier, les coupes forestières et la végétation de faible densité peuvent être des facteurs affectant directement la retenue de la neige. L'analyse présentée ici à partir d'une image SPOT montre le potentiel du type d'image qui a été intégrée dans le système d'information géographique décrit dans ce rapport. Il est ainsi possible de savoir pour chaque zone étudiée la couverture végétale du sol. Cependant, lors de l'analyse qui a été réalisée dans un but de classification générale du territoire, il est apparu que la résolution de l'image n'était pas suffisante pour une analyse précise des faibles densités forestières (entre 0 et 25 % de

couverture). Il y aurait lieu d'approfondir cet aspect pour mieux définir les limites de la méthode. Il apparaît aussi que la classe de plus basse densité de la carte écoforestière n'est pas assez précise pour évaluer le potentiel avalancheux du terrain en fonction des caractéristiques de densité de la végétation.

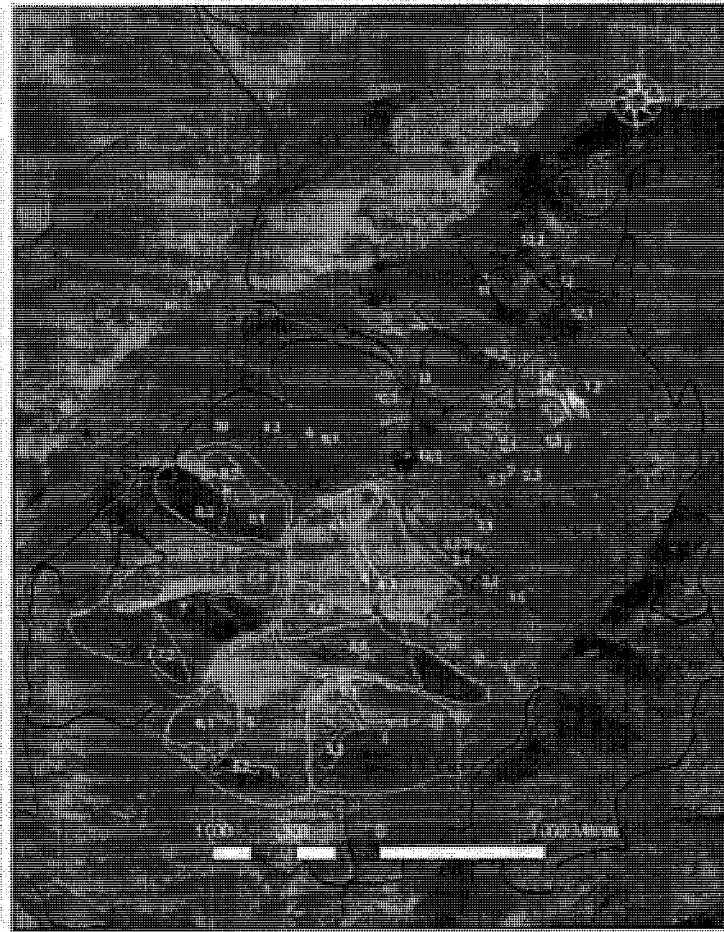
Dans la suite du travail sur les zones et couloirs à fort potentiel d'avalanches, nous avons complété l'analyse de la couverture du sol à partir de photographies aériennes numérisées et photointerprétées visuellement. Les résultats sont présentés dans les sections suivantes.

## **3.2 Atlas de localisation des avalanches**

### **3.2.1 Délimitation des zones avalancheuses**

Dans la région étudiée, nous avons identifié cinquante-neuf zones divisées entre deux et douze sous-zones ou couloirs avalancheux bien individualisés. En tout, deux cent quarante-neuf sous-zones et couloirs ont été localisés, numérotés et caractérisés. Une centaine de ces sous-zones et couloirs ont été validés sur le terrain. En terme de pourcentage de la région étudiée, les zones avalancheuses constituent 5,8 % de la superficie totale, soit approximativement 31 km<sup>2</sup> sur 532 km<sup>2</sup>. En ce qui concerne l'activité avalancheuse, quarante-huit évènements situés entre 1987 et 2006 ont été répertoriés.

Les zones, sous-zones et couloirs d'avalanches sont présentés pour les sept secteurs de la région d'étude à l'annexe 3. À chaque zone est attribué un nombre entier et, dans le cas où des sous-zones ou des couloirs existent à l'intérieur de ces zones plus générales, ces derniers sont identifiés par le même nombre entier suivi d'une décimale qui leur est spécifique. Par exemple, nous pouvons remarquer dans la figure 13 que la zone avalancheuse 1 du secteur de Mont Vallières-de-Saint-Réal contient les sous-zones 1,1, 1,2 et 1,3. Les zones, sous-zones et couloirs de couleur jaune ont été validés sur le terrain, les couloirs noirs sont ceux caractérisés et localisés par l'étude de Daniel Germain et ceux en rouge ont été délimités par photo-interprétation et par analyse topographique.



**Figure 13** Secteur Monts Vallières-de-St-Réal ; Zones d'avalanches (nombres entiers) et sous-zones (codes décimales) répertoriées. Les zones et sous-zones en jaune ont été validées sur le terrain et celles en rouge par photo-interprétations et analyse topographique. Les traits noirs sont les couloirs localisés et caractérisés par l'étude de Daniel Germain (Germain, 2006).

Les zones sont généralement plus grandes que les sous-zones. Elles entourent les sous-zones et/ou les couloirs et indiquent que tout endroit à l'intérieur est potentiellement exposé à des avalanches d'ampleurs diverses. Les sous-zones ont une emprise mieux individualisée, c'est-à-dire que, contrairement aux zones, elles ne regroupent pas plusieurs zones de départ ou plusieurs zones de dépôt. Il en est de même pour les couloirs avalancheux individuels avec la caractéristique d'avoir une largeur approximative de 30 mètres et moins. La représentation plus générale des zones permettait d'inclure, dans l'atlas des avalanches, le terrain potentiellement avalancheux mais sans trace de végétation visible à l'instar la topographie de l'étage alpin. C'est le cas des secteurs Hog's Back, Mont-Vallières-de-St-Réal, Blanche Lamontagne et quelques

zones des autres secteurs d'étude. L'étage alpin, contrairement au subalpin, est dénudé d'arbres, donc sans indice végétal témoignant clairement de l'activité avalancheuse. C'est pourquoi nous avons inclus dans l'atlas des sections alpines sans indice explicite mais qui ont des caractéristiques topographiques avalancheuses.

Comme il est mentionné plus en détail dans le chapitre sur la méthodologie, la délimitation des zones de départ et de dépôt s'est faite en se basant sur des caractéristiques de pente et de végétation. Quand l'information ou les indices végétaux étaient disponibles, nous avons délimité les zones de dépôt à partir des limites connues des avalanches de plus grande magnitude. La délimitation des zones de dépôt, faite par l'analyse de la pente et du couvert forestier ou par les événements avalancheux de grande magnitude, sert à localiser avec le plus de précision possible l'extension maximale des couloirs ou des zones.

La figure 14 illustre un exemple de la délimitation des frontières des zones avalancheuses du secteur Hog's Back. La première image montre une photo aérienne de 1992 à l'échelle 1:15 000 géoréférencée. Dans un premier temps, elle a été interprétée par stéréoscopie pour délimiter les zones avalancheuses par rapport au couvert forestier pour ensuite servir de fond d'écran dans le SIG pour bien localiser les zones avalancheuses. La deuxième image montre les zones avalancheuses sur le fond de carte de classification du couvert forestier faite à partir de l'image satellite SPOT de 2005. Comme il est possible de remarquer, les zones avalancheuses se situent sur un fond blanc, donc dénudées de forêt. La troisième image est une classification de la pente faite à partir des données d'altitude reclassifiées à l'aide d'un outil du SIG pour créer les classes de pente qui nous intéressaient en termes d'angle de pente de référence des avalanches mentionnées dans le chapitre sur la méthodologie. Nous avons aussi utilisé l'image satellite SPOT panchromatique acquise en mai 2004 pour la localisation et la délimitation des zones avalancheuses. Le contraste entre la neige qui persiste au printemps sur un sol nu nous a permis de voir des indices de zones avalancheuses. Par exemple, les endroits où il y a de plus grandes accumulations de neige dans les zones de dépôt, les endroits de forme concave agissant comme des «trappes à neige» ou les endroits situés sous le vent. L'image panchromatique est montrée en annexe 4.

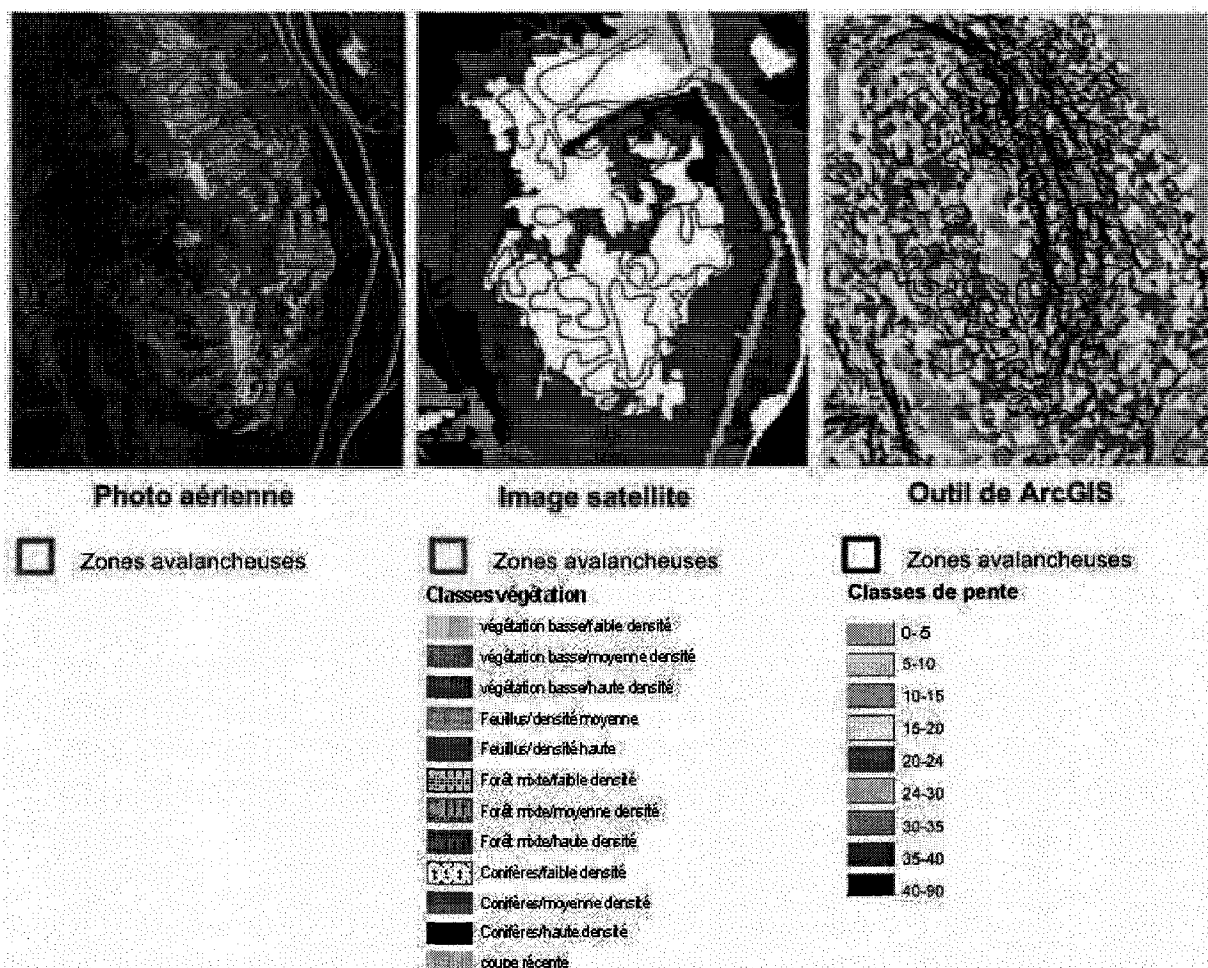
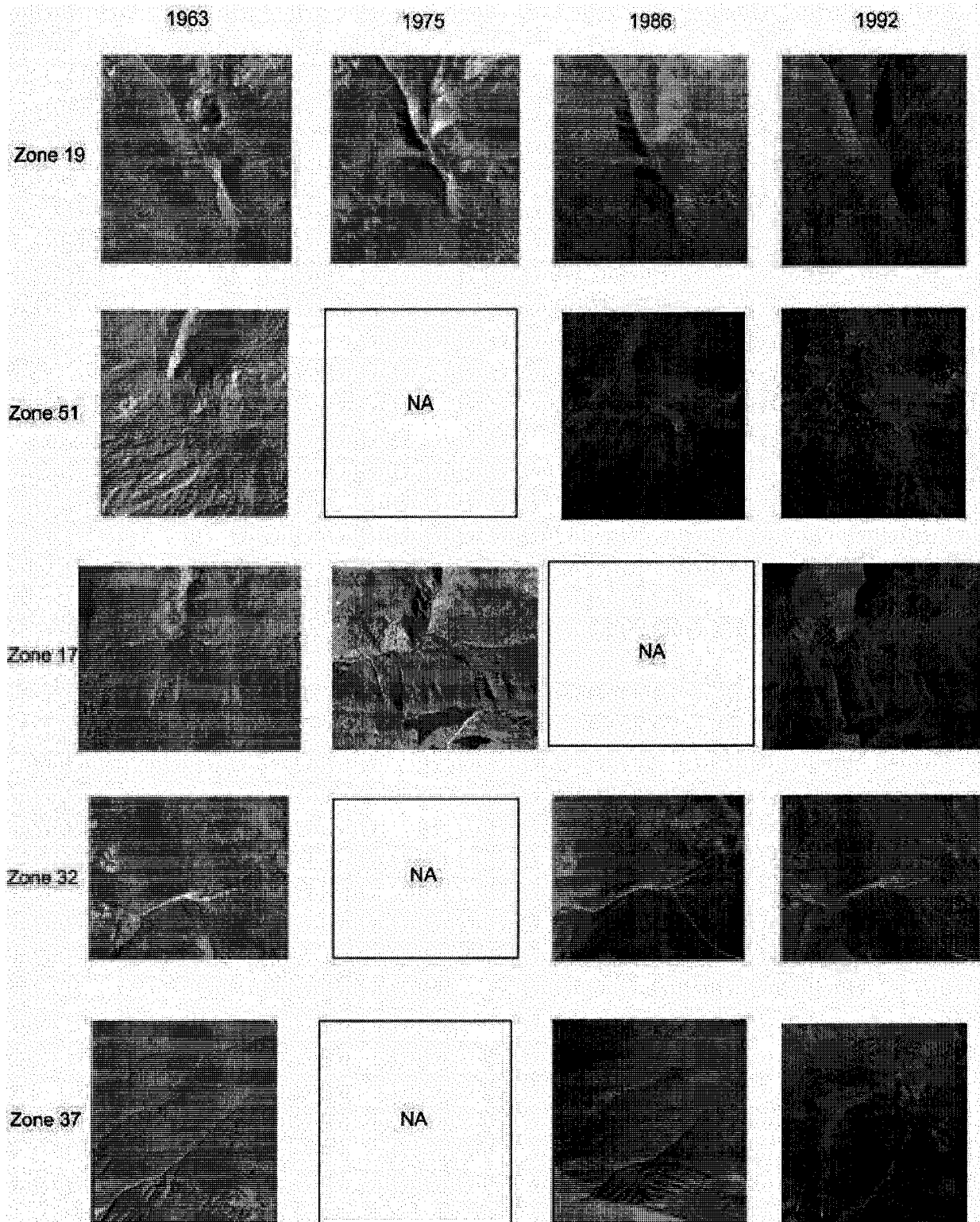


Figure 14 Exemple de délimitation des zones avalancheuses

C'est dans l'étape de la délimitation des zones avalancheuses, à l'aide des différentes photos aériennes prises de 1963 à 1992 et des images satellites, que nous avons pu remarquer que les frontières de quelques zones de dépôt s'étaient parfois progressivement effacées ou au contraire allongées d'une décennie à l'autre. Ceci démontre que les couloirs en question ont été marqués par des avalanches de grande amplitude qui avaient le potentiel de détruire la forêt mature. Il est important de noter que ces zones incluent les avalanches de neige liquéfiée, appelées communément « slushflow ». Celles-ci sont décrites avec plus de détails dans la section « types d'avalanche » au début du mémoire. Grâce aux indices fournis par les photos aériennes, nous connaissons maintenant mieux la signature avalancheuse de ces couloirs et nous avons une idée de la période de retour des événements avalancheux de cette envergure. La figure 15 présente les séries de photos aériennes en ordre chronologique et ce, pour chacun des couloirs ayant des changements flagrants en ce qui concerne la frontière de leurs zones de dépôt.



**Figure 15** Séries chronologiques de photos aériennes démontrant l'évolution des frontières de zones de dépôts. (Voir annexe 3 pour localiser les zones)

La zone 19 du secteur du mont Albert a été marquée par un évènement qui a balayé une partie de la forêt mature avant ou en 1963. Nous pouvons remarquer qu'aucun évènement d'une telle envergure ne s'est produit par la suite, puisque la végétation a graduellement réintégré la zone détruite. La zone 51, aussi du secteur du mont Albert, a été perturbée par un incident notable entre 1963 et 1986. La zone 17, située dans le secteur des Champs de Mars, a vu la naissance de quelques couloirs d'avalanches avant ou en 1975. Contrairement aux couloirs précédents, dont les zones de départ sont situées dans l'étage alpin, les nouveaux couloirs des Champs de Mars se trouvent dans l'étage sub-alpin. Les coupes forestières réalisées sur le sommet après 1963 seraient possiblement la cause de la création de ces nouveaux couloirs d'avalanches. La zone 32, la coulée des Mélèzes, est un endroit assez bien connu et documenté puisque le sentier croise la zone de dépôt et que la zone est marquée d'évènements avalancheux impressionnants.

L'étude de Larocque (2001) s'est penchée sur le phénomène à la suite de l'avalanche de neige liquéfiée de 1988 qui a détruit une section de forêt et dépassé le sentier menant au cœur du mont Albert. La coulée des Mélèzes rencontre les conditions favorables au déclenchement de ce type d'avalanche de plaque mouillée (McClung et Schaerer, 2006; Larocque et al., 2001). Par dendrochronologie, l'étude de Larocque (2001) a permis d'identifier des évènements d'avalanches de neige liquéfiée de grandes amplitudes datant de 1925, 1964 et 1988. Dans la série de photos aériennes pour cette zone, il est possible de voir la perturbation du couvert végétal causée par l'évènement de 1988. De plus, il sera peut-être possible de remarquer dans la future série de photos aériennes le «slushflow» de l'hiver 2006 qui a aussi atteint le sentier et partiellement détruit la forêt. La dernière série de photos aériennes représente les couloirs faisant face au Gîte du mont Albert où un épisode avalancheux de grande envergure a détruit la forêt mature entre 1963 et 1983. Cet évènement a été répertorié par un employé du Parc de la Gaspésie et est noté sous le numéro de couloir 37 dans l'annexe 7 du présent ouvrage. Le témoignage de ce dernier, M. Marc L'Italien, a permis une meilleure connaissance de l'ampleur de l'avalanche qui aurait détruit une forêt mature, de 30-40 ans, en 1976 et de plusieurs autres évènements avalancheux plus récents dans ce couloir.

Cette analyse de l'évolution des zones de dépôt nous a permis de délimiter les frontières des couloirs en prenant en considération la fréquence des évènements avalancheux pouvant avoir

une période de retour d'un maximum de quarante ans. Les traces laissées par les avalanches de quarante ans de période de retour étaient pratiquement rendues invisibles sur les photos les plus récentes. Effectivement, les indicateurs de fréquence des avalanches par la végétation issus de l'étude de Mears nous informent que les zones de dépôt marquées d'évènements avalancheux avec une période de retour entre trente et cent ans auront déjà laissé place à une forêt d'espèces pionnières (Mears, 1992). On peut constater ce phénomène pour la zone 19.

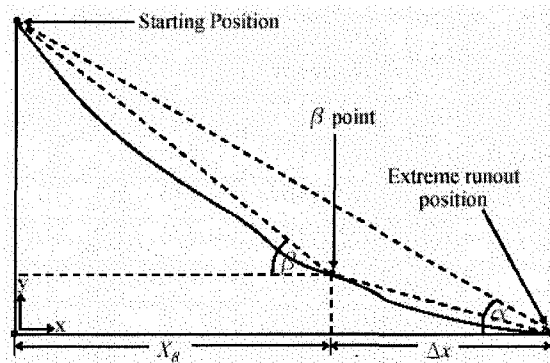
### **3.2.2 Analyse de l'efficacité du système d'information géographique (SIG) pour localiser et caractériser les couloirs d'avalanches.**

Trente-quatre des trente-six couloirs d'avalanches cartographiés dans le cadre de la thèse de Daniel Germain intitulé « Dynamique des avalanches de neige en Gaspésie, QC., Canada » (Germain, 2005) ont été repérés par la méthode de notre étude. Les deux couloirs faisant exception sont relativement courts, soit entre soixante et quatre-vingt mètres de dénivelée. L'absence de visite dans le secteur dans lequel ils se trouvent et leurs petites dimensions expliqueraient pourquoi ils n'ont pas été repérés sur les photos aériennes ou sur les images satellites. Avant de procéder à une comparaison plus détaillée des données de l'étude de D. Germain avec les résultats de la présente étude, il est important d'informer le lecteur que le but de cet exercice n'est pas de comparer deux méthodes, mais bien de mettre en lumière une façon de valider et de vérifier la signification de nos résultats par rapport à la réalité du terrain rapportée par les données de l'étude de D. Germain.

Les tableaux 6, 7 et 8 comparent les caractéristiques topographiques des couloirs étudiés par l'étude de D. Germain qui coïncidaient avec les sous-zones ou couloirs trouvés à l'aide de la méthode de notre étude. Les numéros des zones qui sont comparées dans les tableaux correspondent à ceux de l'atlas en annexe 2. Le tableau 6 présente les couloirs pour lesquels l'étude de D. Germain donne le plus d'informations. En plus des valeurs de pente, d'altitude, de dénivelée et d'orientation disponibles, des calculs ont été effectués pour caractériser les zones de dépôt, soit la longueur bêta et l'angle bêta (voir figure 16). Ces données, intégrées dans les atlas d'avalanches quand elles sont disponibles, ont pour but de calculer à l'aide de modèles statistiques adaptés aux couloirs longs et courts, la longueur de la zone de dépôt d'une avalanche



« extrême », dont la période de retour est de 100 ans. Ainsi, des profils longitudinaux ont été effectués pour les couloirs qui avaient plus ou moins la valeur du point bêta comme valeur de pente de la zone de dépôt. Le point bêta est le point où l'angle de la pente est de  $24^\circ$  pour les couloirs courts (275 m ou moins) et de  $10^\circ$  pour les couloirs longs (275 m. et plus) (Jones, communication personnelle; Jones et Jamieson, 2004; Jones, 2002). La comparaison entre les valeurs des données de D. Germain et celles trouvées avec le SIG permet de confirmer qu'elles correspondent en général assez bien. Les valeurs qui correspondent le moins sont illustrées en caractère gras.



Tiré de Jones 2002

**Figure 16 Définition d'un profil de couloir d'avalanche et du point bêta des modèles statistiques utilisés pour trouver la position maximale de la zone de dépôt d'un évènement avalancheux « extrême ».**

**Tableau 6 Comparaison des caractéristiques détaillées des couloirs trouvées à l'aide d'un SIG avec celles de l'étude de Daniel Germain (2005). (Les angles sont en degré et les longueurs et altitudes en mètre. Les valeurs en caractères gras correspondent à celles montrant des différences importantes.)**

Couloirs Secteur  Paramètres	10,1 Monts Vallières		10,2 Monts Vallières		11 Monts Vallières		37 Mont Albert	
	D. Germain	SIG	D. Germain	SIG	D. Germain	SIG	D. Germain	SIG
	<b>Angle de pente dans la zone de départ</b>	35,6	30-40	34,6	24-35	<b>30,6</b>	<b>35-40</b>	38,9
<b>Altitude de la zone de départ</b>	840	870	840	900	840	800	995	930
<b>Angle de pente de la zone de dépôt</b>	<b>21,5</b>	<b>10</b>	25,1	24	23,3	24	16,4	10
<b>Altitude de la zone de dépôt</b>	600	570	635	570	600	540	390	400
<b>Dénivelée</b>	240	300	<b>205</b>	<b>330</b>	240	260	605	530
<b>Orientation</b>	N	N	NO	NO	NO	NO	NE	NE
<b>Longueur bêta</b>	<b>500</b>	<b>725</b>	<b>360</b>	<b>625</b>	430	490	1400	1250
<b>Angle bêta</b>	25,6	22,4	29,6	27,8	29,1	27,9	23,4	22,9

Les tableaux 7 et 8 comparent aussi les données de caractéristiques de terrain de D. Germain avec celles trouvées par notre méthode d'analyse. Cependant, moins de paramètres ont été mesurés sur le terrain pour ces couloirs lors de l'échantillonnage, ce qui ne permet pas, par exemple, de calculer l'angle bêta et la longueur bêta. Les valeurs en caractères gras sont celles qui correspondent le moins.

**Tableau 7 Comparaison des caractéristiques (moins détaillées) des couloirs trouvés à l'aide d'un SIG avec celles de l'étude de Daniel Germain (Germain, 2005). (Les angles sont en degré et les longueurs et altitudes en mètre. Les valeurs en caractères gras correspondent à celles montrant des différences importantes.)**

Couloirs Secteur	40,1 Mont Albert		16,1 Hog's Back		16,2 Hog's Back		14,1 Blanche Lamontagne		14,2 Blanche Lamontagne		12,1 Monts Vallières	
	D. Germain	SIG	D. Germain	SIG	D. Germain	SIG	D. Germain	SIG	D. Germain	SIG	D. Germain	SIG
Paramètres												
Angle de pente dans la zone de départ	34,2	30-40	34,7	30-40	34,7	35-40	34,7	35-40	33,2	30-35	34,3	30-35
Altitude de la zone de départ	950	950	800	790	800	800	830	830	830	890	870	890
Angle de pente de la zone de dépôt	11,5	10	24,3	24	22,7	20	<b>29,4</b>	<b>10</b>	<b>30,9</b>	<b>10-20</b>	<b>31,6</b>	<b>15</b>
Altitude de la zone de dépôt	830	820	450	430	450	360	590	500	670	580	680	610
Dénivelée	120	130	350	360	350	440	240	330	<b>160</b>	<b>310</b>	190	280
Orientation	SE	S	NE	NE	NE	E	N	N	NO	NO	N	N

**Tableau 8 Comparaison de valeurs trouvées à l'aide d'un SIG avec celles de l'étude de Daniel Germain (Germain, 2005). (Les angles sont en degré et les longueurs et altitudes en mètre. Les valeurs en caractères gras correspondent à celles montrant des différences importantes.)**

Coulours Secteur		Paramètres	Angle de pente dans la zone de départ	Angle de pente de la zone de dépôt	Dénivelé	Orientation
<b>39</b> Mont Albert	D. Germain		36,4	13,8	210	E
	GIS		30-40	10	220	E
<b>24,1</b> Mont Albert	D. Germain		33,4	18,2	120	S
	GIS		35-40	10-15	200	S
<b>24,2</b> Mont Albert	D. Germain		35,2	15,4	150	S
	GIS		35-40	10-15	190	S
<b>24,3</b> Mont Albert	D. Germain		33,4	16,9	140	S
	GIS		35-40	10-15	170	S
<b>24,4</b> Mont Albert	D. Germain		33,6	18,2	115	S
	GIS		35-40	10-15	160	S
<b>29,3</b> Mont Albert	D. Germain		40,4	<b>23,1</b>	<b>130</b>	SO
	GIS		35-40	<b>10-15</b>	<b>240</b>	SO
<b>29,4</b> Mont Albert	D. Germain		42,3	<b>21,2</b>	<b>140</b>	SO
	GIS		35-40	<b>10-15</b>	<b>250</b>	SO
<b>29,5</b> Mont Albert	D. Germain		<b>45,1</b>	<b>23,3</b>	<b>140</b>	SO
	GIS		<b>35-40</b>	<b>10-15</b>	<b>240</b>	SO
<b>31,2</b> Mont Albert	D. Germain		25	12,9	<b>200</b>	E
	GIS		24-30	10-15	<b>330</b>	NE
<b>32,12</b> Mont Albert	D. Germain		<b>15</b>	7	200	<b>SE</b>
	GIS		<b>20-24</b>	5-10	180	E
<b>14,1</b> Blanche Lamontagne	D. Germain		34,7	<b>29,4</b>	240	N
	GIS		35-40	<b>10-15</b>	330	N
<b>14,2</b> Blanche Lamontagne	D. Germain		33,2	<b>30,9</b>	<b>160</b>	NO
	GIS		30-35	<b>10-20</b>	<b>320</b>	NO

Dans l'ensemble, les caractéristiques des coulours identifiés à l'aide du SIG proposé sont en accord avec l'analyse de D. Germain. En bref, cette dernière avait pour but de déterminer la fréquence des « grosses » avalanches, définies comme étant celles qui atteignent la zone d'équilibre dynamique entre la forêt et la zone de dépôt avec des arbres clairsemés et prostrés, à l'aide d'analyse dendrochronologique (Germain, 2005). Ces résultats ont établi une période de retour moyenne de 5.3 ans pour ces zones, valeur semblable à plusieurs autres études (Germain,

2005; Johnson et al., 1985). Les résultats pour les vingt-et-un couloirs comparés montrent qu'il y a un bon accord sur l'angle de la zone de dépôt dans 60 % des cas et dans 70% des cas pour le dénivelée. Il apparaît ainsi que les valeurs d'angles de dépôt trouvées avec notre méthode sont plus basses que les valeurs mesurées sur le terrain par l'étude de D. Germain. La tendance des valeurs d'angles de dépôt à être plus basse que l'étude de D. Germain proviendrait du fait que, dans notre étude, les points de repère à partir desquels sont calculés les angles de dépôt des couloirs d'avalanches ont été localisés par rapport à l'étendue maximale des évènements avalancheux sur des photos aériennes prises entre 1993 et 1992 et sur les images satellites de 2004 et de 2005. Comme mentionné plus tôt, notre méthode nous a donné la possibilité d'analyser l'évolution des couloirs d'avalanches depuis plus de quarante ans et par conséquent, de voir des indices de perturbation de la végétation par les avalanches, possiblement effacés au fil du temps depuis les prises de données de D. Germain en 2000. Cette analyse met en lumière la différence des deux méthodes concernant la période de retour visible sur le terrain par rapport à celle visible sur les photos aériennes. La délimitation des zones de dépôt des couloirs d'avalanches par notre méthode tient compte d'évènements avalancheux ayant une période de retour plus élevée, en d'autres termes moins fréquents, mais de plus grande amplitude que celles trouvées avec la méthode de terrain de Daniel Germain. Ceci explique pourquoi les valeurs d'angles des zones de dépôt de notre étude ont tendance à être plus basses que celles de l'étude de D. Germain, puisque les avalanches de plus grande amplitude peuvent parcourir une plus grande distance et atteindre un angle de repos plus bas. Toutefois, il est important de noter que cette explication concerne les couloirs d'avalanches se terminant dans le milieu sub-alpin, comme les secteurs de Hog's Back, de Blanche Lamontagne, des monts Vallière-de-St-Réal et des couloirs 31 et 32 du mont Albert. Une autre explication doit prévaloir dans le cas de l'étage alpin, comme dans le cas des couloirs de la zone avalancheuse 24, puisque qu'aucun indice végétal n'est disponible. L'angle de pente de la zone de dépôt trouvé par le SIG à 10-15° fût un choix méthodologique. Comme mentionné précédemment, l'endroit où la pente atteint 10° est le point de référence de l'étendue maximale des avalanches à haute magnitude.

Étant donné les objectifs de cette étude, il convient de délimiter les zones, sous-zones ou couloirs d'avalanches en se basant sur les évènements avalancheux ayant la plus grande étendue connue, donc pouvant atteindre une période de retour de plus de quarante ans. En annexe 6, nous

avons reporté quelques exemples d'informations descriptives notées pour les zones, sous-zones ou couloirs de l'atlas des avalanches. Le fichier numérique complet comprend deux cent quarante-neuf entrées.

### 3.3 Inventaire des évènements avalancheux

Quarante-cinq avalanches ont été répertoriées entre 1986 et 2006 à la suite des recherches et enquêtes menées au cours de cette étude. Ces évènements avalancheux, aussi appelés avis d'avalanches, sont localisés dans 19 couloirs différents. Le nombre d'avis répertoriés est relativement bas puisqu'en réalité, plusieurs centaines d'avalanches de dimensions variées peuvent se produire par hiver dans le secteur étudié. Par exemple, quatre-vingt-dix avalanches ont été répertoriées dans l'étude de Girard et Héту lors d'un seul hiver dans le secteur du mont Albert (Girard et Héту, 1989). Cependant, elles n'ont pas été intégrées à cette étude faute d'informations précises. Ainsi, le peu d'avis d'avalanches dans cette étude s'explique par le fait que très peu d'évènements ont été notés avec un minimum de détails, comme le lieu exact des avalanches et les dates auxquelles elles se sont produites. Cependant, la plupart des évènements avalancheux répertoriés dans l'étude comprennent des évènements avalancheux marquants, soit par rapport à leur grosseur ou au fait qu'elles impliquaient des accidents.

Le tableau 9 montre deux exemples d'avis d'avalanches. La signification des codes d'écriture transcrits selon le guide des *Directives d'observation et des normes d'enregistrement des conditions météorologiques, du manteau neigeux et des avalanches* est présentée en annexe 6 (ACA, 2002c). La banque complète des données d'avis d'avalanches est fournie en annexe 7. Tout en respectant les directives du guide, la banque de données s'est inspirée de celle de Kootenay Pass en Colombie-Britannique, fournie par le ministère des Transports de la Colombie-Britannique (Patti Sandham, communication personnelle).

En plus des paramètres inspirés des *Directives d'observation et des normes d'enregistrement des conditions météorologiques, du manteau neigeux et des avalanches* nous suggérons deux autres paramètres : l'indice de risque et le type de régime. Le champ « indice de risque » représente l'indice de risque affiché à la date de l'avis d'avalanche. Par exemple, un

indice de risque «modéré » sera associé à une avalanche ayant eu lieu une journée à danger d'avalanches affichée comme « modéré». Pour la région étudiée, cet indice, qu'il soit faible, modéré, considérable, élevé ou extrême, est évalué par le Centre d'avalanche de la Haute-Gaspésie depuis 2004 (CAHG, 2006). Ce lien entre les évènements avalancheux et le niveau de risque associé à ces journées permettrait d'évaluer l'efficacité de la prévision, le caractère insolite de certains évènements avalancheux et de comparer le rendement des prévisions du CAHG aux autres groupes de prévisions d'avalanches dans le monde (Greene et al. 2006). Le type de régime fait allusion à la raison soit climatique ou nivale de l'avalanche. Une liste non formelle de dix régimes avalancheux nous a été suggérée par le prévisionniste et gestionnaire des opérations John Kelly de l'Association Canadienne des Avalanches (ACA). Cette liste se rapproche de celle d'une étude sur la caractérisation des avalanches (Atkins, 2004; John Kelly, communication personnelle). Ce dernier paramètre remplacerait le paramètre « données météorologiques des quatre jours précédant l'avalanche » proposé par le guide *Directives d'observation et des normes d'enregistrement des conditions météorologiques, du manteau neigeux et des avalanches*, mais d'après nous ces données peuvent s'avérer lourdes et sans signification avant l'analyse. Les douze types de régime avalancheux sont les suivants : nouvelle neige, surface sans cohésion, couche fragile connue, couche fragile peu connue, givre de profondeur, cycle gel-dégel, plaque à vent isolé, plaque à vent majeur, pluie, chute de corniche, avalanches printanières et manteau neigeux à caractère faible en général.

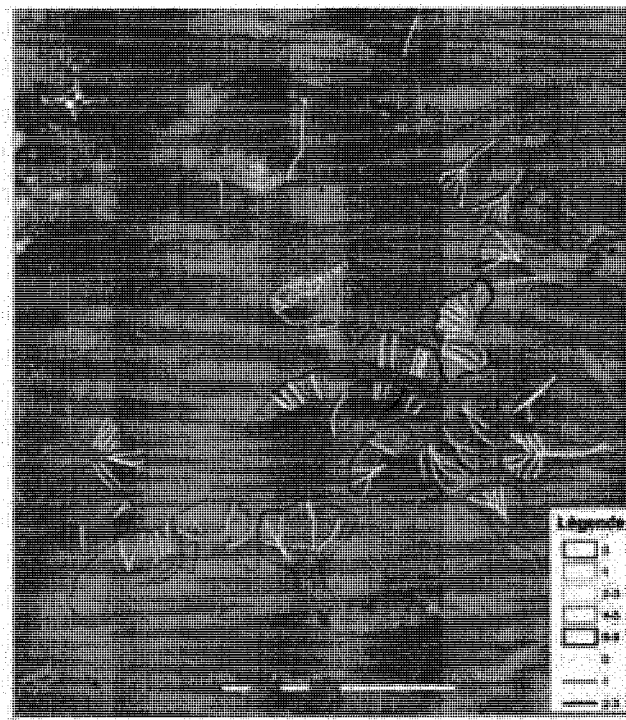
**Tableau 9 Exemple d'avis d'avalanches répertoriés dans l'atlas qui a été produit dans ce travail (voir les codes en Annexe 6)**

<b>Numéro de l'évènement</b>	1	5
<b>Observateur</b>	Clause Ross	S.Gagnon/Francois Roy
<b>Numéro du couloir</b>	12,1	16,1
<b>Date</b>	2000 03 14	2005 04 15
<b>Heure</b>	1430	1015
<b>Lieu</b>	Mt Vallieres	Hog's Back
<b>Orientation</b>	N	E
<b>Type d'avalanche</b>	SD	S
<b>Intensité</b>	U	2,5
<b>Raison du déclenchement</b>	Sa	Sa
<b>Angle de la pente</b>	U	38
<b>Altitude de la zone de départ</b>	870	800
<b>Altitude de la zone de dépôt</b>	590	U
<b>Largeur de la plaque</b>	U	50-60
<b>Épaisseur de la plaque</b>	U	60
<b>Type de cristaux</b>	CR	FC/CR
<b>Nombre de personnes impliquées</b>	2	1
<b>Indice de risque</b>	U	considérable
<b>Photo</b>	U	<a href="#">hog's_05_04_15a.JPG</a>
<b>Type de régime</b>	U	4

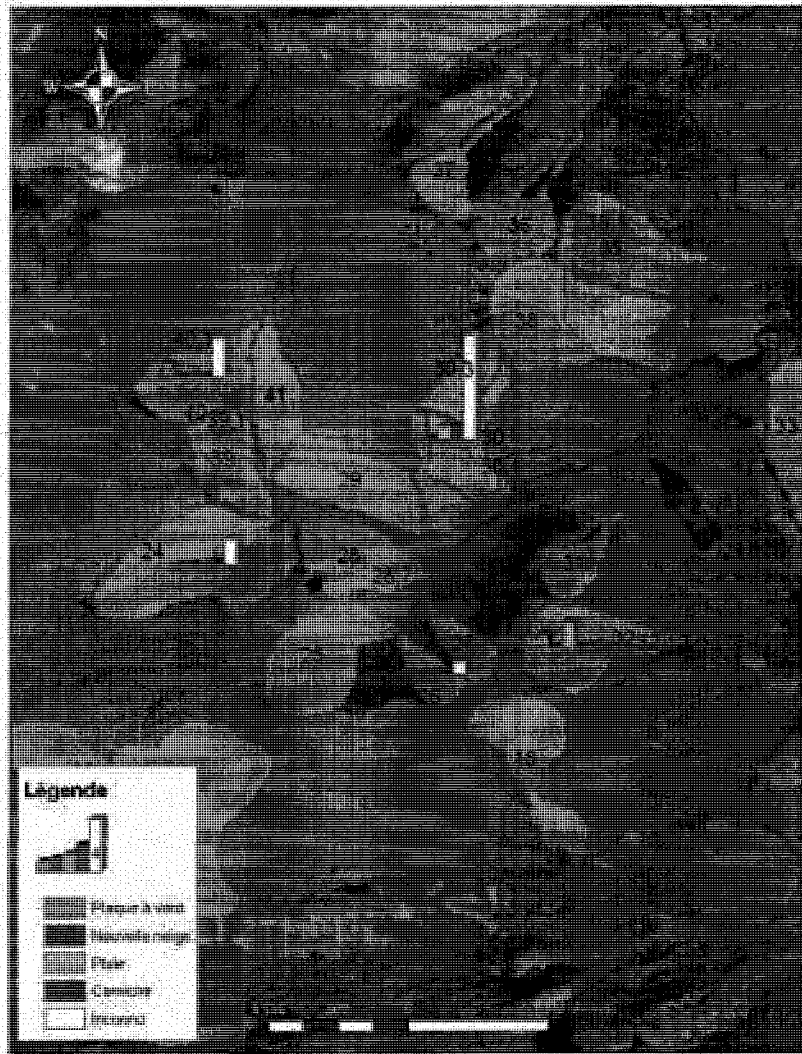
En intégrant les avis d'avalanches et l'atlas numérique dans un SIG, il est possible d'extraire tous les paramètres de la banque de données. Ceci permet de visualiser, à l'aide de cartes thématiques, la signature avalancheuse spécifique aux couloirs d'avalanches selon les différents paramètres notés. Deux exemples de cartes thématiques sont présentés dans les figures 17 et 18. La figure 17 représente la distribution spatiale des occurrences d'avalanches selon la



banque de données créée dans cette étude pour le secteur du mont Albert. La carte thématique en figure 18 montre pour sa part la distribution de la signature des couloirs par rapport au type de régime. Le fait de connaître les types de régime ayant causés les avalanches pourrait, par exemple, permettre dans le futur de mieux anticiper les couloirs ayant un potentiel avalancheux dans des conditions météorologiques ou nivales semblables. Ces quelques exemples d'intégration des avis d'avalanches et de l'atlas dans un SIG démontrent le potentiel de l'outil. En bref, les avis d'avalanches contiennent plusieurs informations sur les conditions météo et nivales causant les avalanches et l'analyse de celles-ci avec un SIG permet de mieux comprendre et de comparer le comportement des couloirs avalancheux entre eux et de voir la distribution spatiale des avalanches. Un échantillonnage plus grand d'évènements avalancheux, tant en fonction du nombre que du territoire couvert, et plus d'informations par rapport à ceux-ci seront nécessaires pour compléter plus en détail cette analyse.



**Figure 17 Répartition du nombre d'avis d'avalanches répertoriés par zones et sous-zones (les nombres associés aux couleurs de la légende représentent le nombre d'avis d'avalanche répertorié pour ces couloirs).**

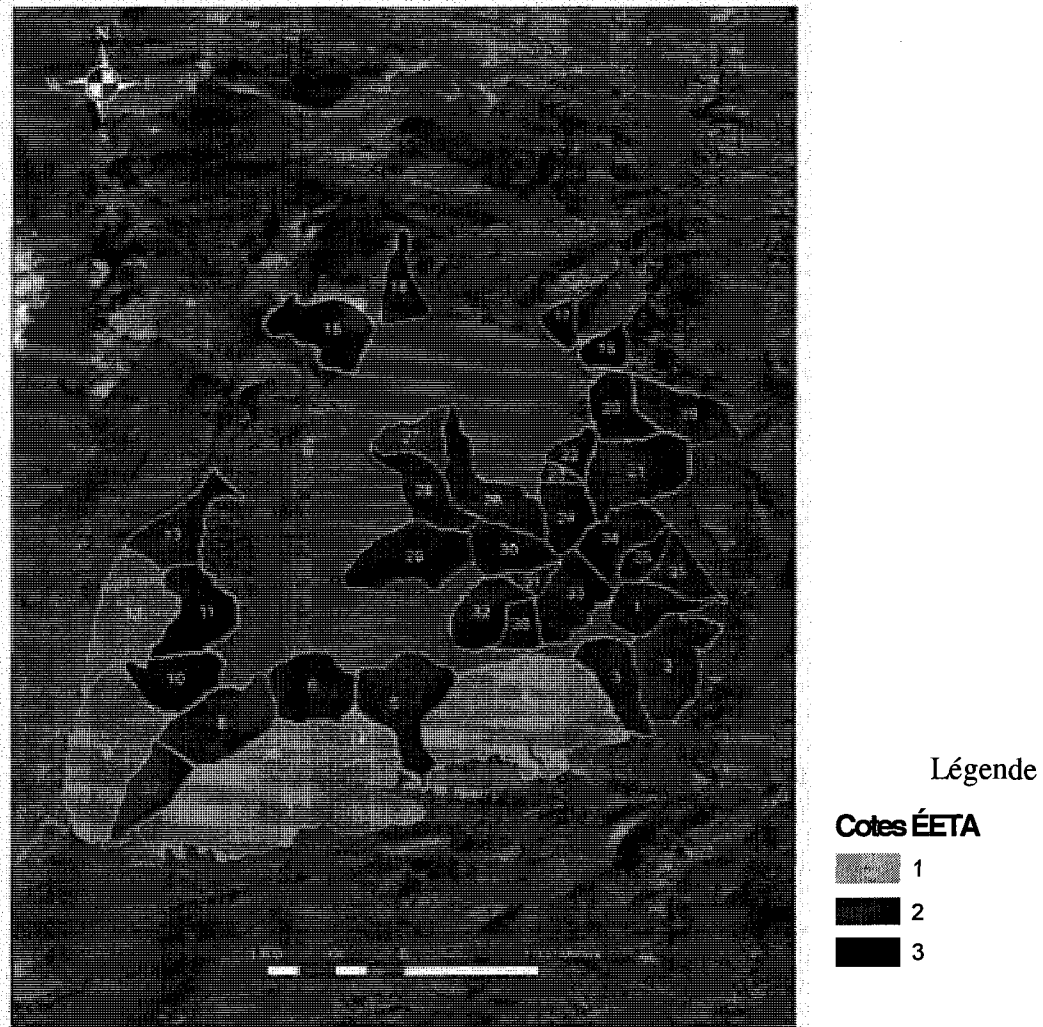


**Figure 18** Nombre d’avalanches selon le type de régime pour 5 zones avalancheuses du secteur du mont Albert

### **3.4 Classification des zones du mont Albert par exposition au terrain avalancheux**

Les résultats de la classification des zones du mont Albert selon l’échelle d’exposition au terrain avalancheux (ÉETA) sont démontrés à la figure 19. Les frontières de ces zones ont été délimitées en suivant les contours naturels du terrain, comme les arêtes, les ruisseaux, les cirques ou par l’altitude. Quelques modifications ont été apportées aux frontières de certaines zones après une rencontre avec les professionnels du Centre d’Avalanche de la Haute Gaspésie (CAHG).

Finalement, trente-huit zones ayant des caractères similaires ont été identifiées. À la suite de l'analyse de chaque zone par rapport à tous les paramètres du modèle technique de l'ÉETA proposé par Parc Canada, à l'exception du paramètre « terrain glaciaire », nous avons classifié six zones de cote 1 (16%), douze zones de cote 2 (31%) et finalement vingt zones de cote 3 (53%). Comme il est possible de constater sur la légende de la figure 13, les zones cotées 1 sont en vert, les cotées 2 en bleu et les cotées 3 en noir. Les couleurs ont été choisies ainsi pour rejoindre le code de couleur des difficultés de pente que l'on retrouve dans les centres de ski alpin. Le chiffre à l'intérieur de chaque zone indique leur numéro d'identification.



**Figure 19** Classification des zones du mont Albert selon l'échelle d'exposition au terrain avalancheux (ÉETA). 1: Exposition faible; 2: Moyenne; 3 : Élevée.

Par rapport à la superficie totale des zones avalanches du secteur du mont Albert, 32 % du secteur est de cote 1, 27 % est de cote 2 et 41 % est de cote 3. Il est important de noter que le plateau sommital du mont Albert, de grande superficie et pratiquement plat, n'est pas intégré dans les zones avalanches. Il ne fait donc pas partie des calculs de pourcentage de superficie par cote. S'il en faisait partie, le pourcentage de superficie de cote 1 du secteur du mont Albert augmenterait considérablement.

Les trois exemples en figure 20 démontrent comment chaque zone reçoit une cote par rapport à chaque paramètre. Comme il est possible de remarquer, il se peut que les zones aient des caractéristiques de terrain se retrouvant dans plusieurs cotes différentes selon les paramètres analysés. L'attribution de la cote finale s'est donc faite en tenant compte de tous les paramètres et en donnant priorité à certains d'entre eux.

Les catégories identifiées sur fond gris dans la figure 20 indiquent justement les paramètres ayant une plus grande importance. Ainsi, les zones qui présentent une caractéristique s'apparentant à une de ces catégories se voient attribuées cette cote par défaut ou une cote plus élevée si tel est le cas. La zone en vert sur la figure 20-a représente la zone 4, qui correspond au numéro d'identification de la figure 19, située du côté sud du mont Albert. Après l'analyse de tous les paramètres, cette zone est cotée 1. La zone 33 de la figure 20-b, de couleur bleue, est cotée 2 et la zone 1 de la figure 20-c, à fond rouge, est cotée 3. Il est à noter qu'il sera question dans la section suivante du paramètre de terrain «orientation par rapport aux vents dominants», lequel est indiqué en rouge à la fin des tableaux joints aux photos de terrain de la figure 20.



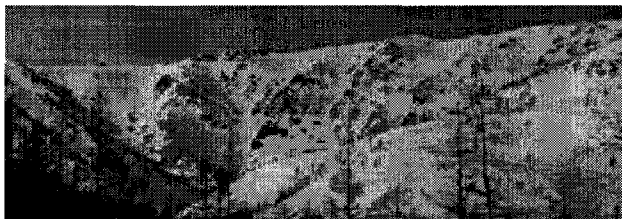
a : Cote 1 (Zone 4)

	1 Simple	2 Exigeant	3 Complexe
Inclinaison de la pente	<input checked="" type="checkbox"/>		
Forme de la pente	<input checked="" type="checkbox"/>		
Densité forestière			<input checked="" type="checkbox"/>
Piège naturel		<input checked="" type="checkbox"/>	
Fréquence des avalanches	<input checked="" type="checkbox"/>		
Densité des zones de départ	<input checked="" type="checkbox"/>		
Caractéristiques des zones de dépôts	<input checked="" type="checkbox"/>		
Interaction avec les couloirs d'avalanche	<input checked="" type="checkbox"/>		
Itinéraires possibles	<input checked="" type="checkbox"/>		
Durée d'exposition	<input checked="" type="checkbox"/>		
Orientation aux vents dominants			<input checked="" type="checkbox"/>



b : Cote 2 (Zone 33)

	1 Simple	2 Exigeant	3 Complexe
Inclinaison de la pente		<input checked="" type="checkbox"/>	
Forme de la pente		<input checked="" type="checkbox"/>	
Densité forestière			<input checked="" type="checkbox"/>
Piège naturel		<input checked="" type="checkbox"/>	
Fréquence des avalanches		<input checked="" type="checkbox"/>	
Densité des zones de départ	<input checked="" type="checkbox"/>		
Caractéristiques des zones de dépôts	<input checked="" type="checkbox"/>		
Interaction avec les couloirs d'avalanche	<input checked="" type="checkbox"/>		
Itinéraires possibles	<input checked="" type="checkbox"/>		
Durée d'exposition	<input checked="" type="checkbox"/>		
Orientation aux vents dominants	<input checked="" type="checkbox"/>		



c : Cote 3 (Zone 1)

	1 Simple	2 Exigeant	3 Complexe
Inclinaison de la pente			<input checked="" type="checkbox"/>
Forme de la pente			
Densité forestière			
Piège naturel			
Fréquence des avalanches			
Densité des zones de départ			
Caractéristiques des zones de dépôts			
Interaction avec les couloirs d'avalanche			
Itinéraires possibles			
Durée d'exposition			
Orientation aux vents dominants			<input checked="" type="checkbox"/>

Figure 20 Exemples de zones du mont Albert cotés selon différentes échelles d'exposition au terrain avalancheux. : a : cote 1 (zone 4); b : cote 2 (zone 33); c : cote 3 (zone 1).

En résumé, les différents paramètres du terrain liés à la pente, la forme et la couverture du sol, critiques pour l'évaluation du potentiel d'avalanche, peuvent être évalués à l'aide du SIG. Cependant, il faut noter que, puisque le secteur étudié est pratiquement entièrement situé en zone alpine, le paramètre «densité du couvert forestier » n'a pas été évalué avec le SIG. Toutefois, il serait intéressant de tester l'efficacité de la classification de l'image satellite multispectrale SPOT sur des zones avalanches dans l'étage sub-alpin, dans d'autres secteurs d'étude. Pour cela, une autre étape de classification de l'image satellite pour une classe de densité de végétation très faible serait néanmoins nécessaire, puisque c'est celle-ci qui nous préoccupe en matière de terrain à potentiel avalancheux.

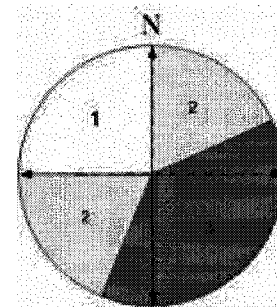
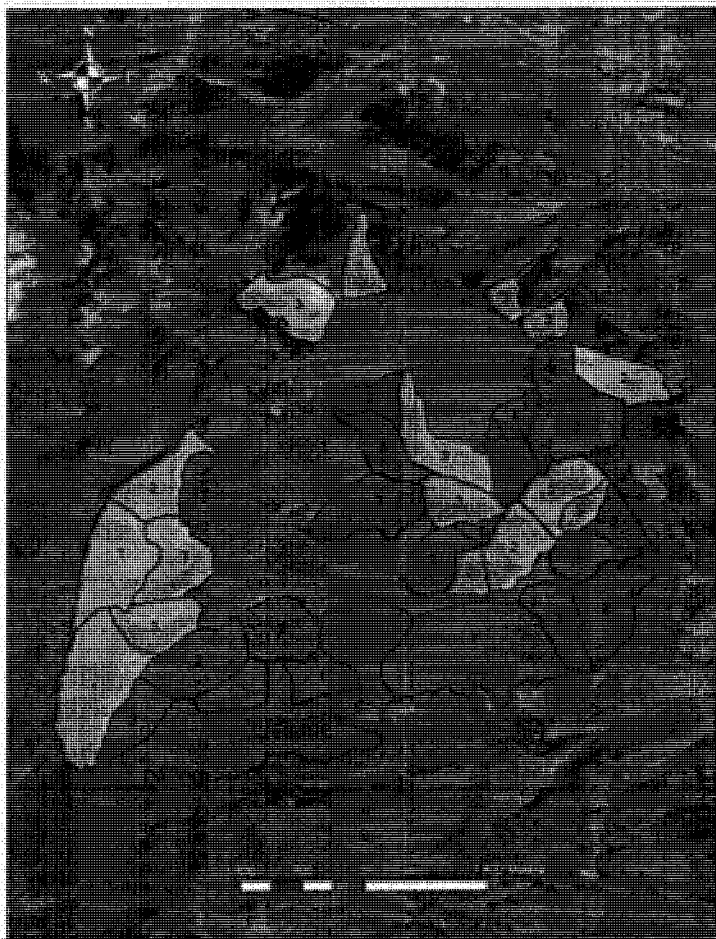
Dans cette section, une cartographie des cotes d'exposition au terrain avalancheux du secteur du mont Albert a été présentée. Ce secteur a été choisi par rapport à sa fréquentation la plus élevée et à cause du problème de la restriction des zones d'accès. L'outil développé permettra d'étendre cette analyse de façon automatique à tous les secteurs considérés.

### *Orientation par rapport aux vents dominants*

Afin de compléter l'analyse du mont Albert, nous avons considéré un autre paramètre de terrain lié à son orientation par rapport au vent dominant, puisque celui-ci peut jouer un rôle significatif dans le potentiel de risque. Contrairement aux autres paramètres de terrain de l'ÉETA, dont les caractéristiques ne changent pratiquement pas avec le temps, le paramètre «orientation par rapport aux vents dominants » évalue le potentiel avalancheux des zones selon une composante de neige. La figure 21 montre la distribution du potentiel avalancheux des mêmes trente-huit zones créées précédemment (avec la classification du terrain selon l'ÉETA) en y intégrant ce paramètre d'orientation. Puisque les vents dominants de la région soufflent du nord et du nord-ouest, nous avons attribué une cote d'exposition au terrain avalancheux aux zones selon leur orientation par rapport à cette direction. Les numéros à l'intérieur des zones indiquent leur cote selon les autres paramètres de terrain présentés plus tôt.

Comme l'indique la carte de Héту et Bergeron (2004) présentée dans l'introduction, les zones sous les vents dominants seront plus propices à l'accumulation de neige, se présentant en formations de ventres de neige ou de corniches. Ces ventres de neige sont localisés dans les zones

27, 28, 29 et 32 de la figure 19. Les zones où ils se trouvent sont effectivement cotées 3 en fonction de leur exposition aux vents dominant en figure 21. Cependant, ce paramètre ne peut être considéré comme les autres paramètres de terrain, « stables » dans le temps. Premièrement, les zones sous les vents dominants ne seront pas forcément systématiquement plus exposées aux avalanches puisque les dangers d'avalanches dépendent de la stabilité de la neige en perpétuel changement. Deuxièmement, il ne faut pas prendre pour acquis que toutes les tempêtes de neige sont soufflées par des vents du nord-ouest, puisqu'il existe des exceptions. Cependant, malgré le fait que les tempêtes puissent venir de l'est ou du sud, la neige est souvent redistribuée par la suite par les vents dominants. De plus, le cas spécifique du mont Albert est particulièrement affecté par l'action des vents dominants. Les vents sont remarquables tant par leur force que par leur fréquence. Étonnamment, les versants face aux vents dominants se voient dénudés de neige même à la suite de chutes de neige importantes.



Légende

Cote d'exposition

aux vents

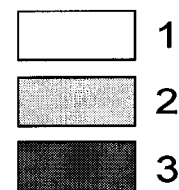


Figure 21 Classification selon l'exposition au vent dominant.

1 : Exposition faible, 2 : moyenne, 3 : élevée.

#### 4. DISCUSSION

L'atlas numérique de zones avalancheuses couvre le terrain le plus fréquenté par les adeptes d'activités récréatives hivernales du Parc de la Gaspésie et de la réserve faunique des Chic-Chocs. La méthode décrite dans la section « méthodologie » s'avère efficace pour localiser les zones avalancheuses, pour analyser certaines propriétés physiques de ces dernières et pour y introduire les données d'évènements avalancheux. Aussi, nous avons démontré qu'il est possible, grâce au SIG, d'isoler des caractéristiques du terrain ou des évènements avalancheux et de créer des cartes thématiques nous permettant d'en savoir un peu plus sur la signature avalancheuse des zones. En ce qui concerne le travail de classification de terrain selon l'ÉETA, les critères se rapportant à l'inclinaison de la pente et à la courbure de terrain peuvent être dérivés d'un SIG avec une précision satisfaisante mais qui n'atteint pas celle des mesures sur le terrain. Le critère de couverture du sol nécessite une très bonne résolution d'image. L'analyse présentée dérivée de la classification d'une image satellite SPOT multispectrale à dix mètres s'est avérée insuffisante. Il faudrait au moins une image multispectrale de l'ordre de quatre à cinq mètres de résolution comme celle fournie par Ikonos ou QuickBird. Le problème dans ce cas est le coût très élevé des données. Dans certains cas, il est possible de fusionner l'image panchromatique à résolution de cinq mètres à l'image multispectrale de dix mètres pour obtenir cinq mètres de résolution. Toutefois, la neige au sol apparaissant sur l'image panchromatique prise au mois de mai n'as pas permis un tel fusionnement avec l'image multispectrale prise en octobre.

Un des principaux avantages de l'atlas numérique est qu'il peut être facilement mis à jour. Les informations supplémentaires recueillies dans le futur, comme les caractéristiques de zones avalancheuses non-validées ou les nouvelles zones avalancheuses causées par de futurs travaux forestiers, pourront être intégrées dans la banque de données et les nouveaux polygones dessinés à l'aide d'un SIG. Cette version de l'atlas numérique se veut un outil de base ou un modèle avec lequel les connaissances et les informations sur la problématique des avalanches dans les Chic-Chocs pourront être regroupées, partagées et étudiées. Toutefois, le potentiel de l'outil à synthétiser et à visualiser l'information contenue dans la banque de données pourra être pleinement exploité quand il y aura plus d'évènements avalancheux répertoriés. Plus il y aura d'évènements avalancheux et d'informations décrivant précisément ceux-ci dans la banque de



données, plus la compréhension du terrain et des régimes avalancheux de la région étudiée sera pertinente et efficace.

La classification des zones du secteur du mont Albert selon l'ÉETA proposée par Parc Canada nous permet de constater que ce secteur se caractérise en partie par du terrain très exposé mais qu'il existe aussi plusieurs zones moins ou presque nullement exposées aux avalanches. Cet outil nous permet surtout de situer de façon assez générale où se localisent les zones plus ou moins exposées aux avalanches. Il est important de mentionner que cette carte n'est pas une carte de risques, car cette dernière est la résultante de la probabilité d'occurrence d'un événement de neige avalancheuse (peu stable) sur un terrain à fort potentiel avalancheux en prenant en considération les dommages potentiels causés aux infrastructures et aux humains (ACA, 2002b). Le type de carte produit dans ce mémoire pourrait par contre aider grandement à la gestion des risques. Du point de vue des gestionnaires du territoire et des professionnels en avalanches, la classification du secteur du mont Albert offrira une autre vision du territoire qui pourra aider à améliorer le plan de gestion des risques. Comme nous l'avons déjà mentionné dans la section problématique, l'argument principal des professionnels en avalanches par rapport à la problématique de restriction d'accès à la majorité des zones du secteur du mont Albert est que l'offre d'activité sur seulement deux zones pour pratiquer les activités hivernales offertes par le parc ne permet pas aux utilisateurs de sélectionner le meilleur secteur en fonction des conditions. De plus, les deux zones offertes sont à potentiel d'avalanches élevé et moyen.

La première zone, cotée 3, regroupe les zones 23-24. Les caractéristiques de terrain de cette zone, aussi appelée Mur des Patrouilleurs, rencontrent deux paramètres prioritaires, lui allouant automatiquement par défaut la cote 3. Comme de fait, l'inclinaison de la pente y est supérieure à 35° dans les zones de départ et le paramètre « piège naturel » se caractérise par des corniches, ravins au bas du mur et des falaises le long des couloirs d'avalanches. Présentement, le Mur des Patrouilleurs est identifié par la cote 3 en raison du paramètre important « itinéraire possible ». Le mot « présentement » est employé dans la phrase précédente puisque les zones adjacentes au Mur des Patrouilleurs, permettant aussi d'atteindre le même sommet, sont fermées aux utilisateurs du parc. Toutefois, l'accès au sommet du Mur des Patrouilleurs par ces zones représenterait l'itinéraire le plus sécuritaire. En d'autres termes, les récréationnistes n'ont pas le

droit d'atteindre le sommet du Mur des Patrouilleurs par la voie la moins exposée aux avalanches se situant du côté est du mur, dans la zone 21 cotée 2, donc plus sécuritaire. Voici donc un exemple concret de l'amélioration que pourrait apporter l'outil présenté pour une meilleure gestion des risques d'avalanches.

Cette analyse permet de mettre en évidence une autre utilité de la carte de classification des zones selon l'ÉETA. Du point de vue de la gestion des risques par les récréationnistes et en invoquant la possibilité que le secteur du mont Albert se voit ouvert en entier, la carte de classification offrirait l'information complémentaire au bulletin de neige permettant aux visiteurs de faire des choix sensés par rapport aux conditions de neige et à leurs compétences en termes de sécurité en terrain avalancheux. De plus, selon les caractéristiques rencontrées par les zones, des mesures pourraient être prises pour informer les récréationnistes sur les dangers spécifiques des zones selon les paramètres de l'ÉETA. Un exemple de cette mesure, déjà mise en pratique dans les parcs nationaux fédéraux, est en annexe 1. La zone représentée par une photo aérienne oblique informe avec précision la localisation des caractéristiques spécifiques de terrain à surveiller dans le parcours. Ces cartes sont fournies par Parc Canada sur Internet et sont affichées aux entrées des sentiers menant à ces zones (Parc Canada, 2006).

Ce travail a apporté une contribution significative en matière de gestion des risques d'avalanches dans les Chic-Chocs et souligne une partie du besoin d'identification et de localisation des zones à potentiel avalancheux. De plus, un outil de travail a été mis en place donnant une valeur ajoutée à l'atlas de localisation. L'utilisation de la technologie des bases de données numériques à référence spatiale (SIG) dans le projet lui donne un potentiel d'analyse et de mise à jour qui rendent possible son évolution. Ce travail se veut un outil qui facilitera l'acquisition, l'analyse et le partage de ces données dans l'optique de pouvoir mieux connaître, comprendre et donc mieux gérer le phénomène des avalanches en Gaspésie. Nous espérons que l'aspect de classification du terrain selon l'ÉETA de ce travail démontrera que le secteur du mont Albert a un potentiel récréotouristique très élevé, étant donné la variété des niveaux d'exposition au terrain avalancheux de ces zones. De plus, l'ouverture de ce secteur permettrait d'améliorer la gestion des risques. Dans cette éventualité, la classification pourrait être revisitée dans le but de délimiter les zones selon les futurs itinéraires et de les comparer entre eux. Aussi, il serait

intéressant de classifier les autres secteurs selon l'ÉETA, ce qui permettrait de tester l'efficacité de l'utilisation de l'image satellite à haute résolution pour évaluer le paramètre «densité » du couvert forestier dans un SIG.

## CONCLUSION

La problématique des avalanches dans les Chic-Chocs tend à s'accroître, étant donné l'augmentation de la fréquentation des zones d'activité dans des terrains avalancheux par les récréationnistes, plus spécifiquement dans le Parc de la Gaspésie et dans les réserves fauniques avoisinantes. Des actions ont été posées pour faire face à ce problème, comme la signalisation du danger d'avalanches aux endroits les plus fréquentés et les efforts du Centre d'Avalanche de la Haute-Gaspésie depuis 1999 pour éduquer et pour sensibiliser les Québécois et les récréationnistes visitant les Chic-Chocs en ce qui concerne l'existence et le danger des avalanches. Ce projet de recherche a donné lieu au développement d'un nouvel outil d'intégration et d'analyse de données à références spatiales sur les avalanches. Ce type de système devrait permettre d'améliorer la gestion et la prévention des risques d'avalanche. La cartographie en question devient à la fois un outil, considéré comme un standard minimum par la communauté des professionnels en avalanches, ainsi qu'une innovation aussi bien par son aspect technologique utilisant le SIG comme plate-forme d'analyse spatiale, que par l'utilisation de la nouvelle échelle d'exposition aux terrains avalancheux. La précision des données, leur accès, leur traitement et leur analyse par les SIG sont en constante évolution. Le défi sera maintenant de continuer à faire évoluer cet outil et de le rendre utilisable par tous les intéressés.

## RÉFÉRENCES

- Association Canadienne des Avalanches (2002a) Land managers guide to snow avalanche hazard in Canada. ACA, 25 p.
- Association Canadienne des Avalanches (2002b) Guidelines for slow avalanches risk determination and mapping in Canada. ACA, 23 p.
- Association Canadienne des Avalanches (2002c) Directives d'observations et normes d'enregistrement-Conditions météorologiques, manteau neigeux et avalanches. ACA, 45 p.
- Association Canadienne des Avalanches (2006a) Trends and Patterns. In Knowledge center, ACA, Revelstoke, <http://avalanchefoundation.ca/Newsletter/CAFApril2006Newsletter.pdf>
- Association Canadienne des Avalanches (2006b) Canadian avalanche data system initiative; Concept discussion paper. In CAIS, ACA, Revelstoke, [www.avalanche.ca/adx/asp/adxGetMedia.asp?DocID=634,633,557,3,Documents&MediaID=688&Filename=CADS+Concept+%26+Development+Proposal+v4+060630.pdf](http://www.avalanche.ca/adx/asp/adxGetMedia.asp?DocID=634,633,557,3,Documents&MediaID=688&Filename=CADS+Concept+%26+Development+Proposal+v4+060630.pdf)
- Atkins, R. (2004) Avalanche characterization checklist for backcountry travel decisions. Proceedings du International Snow Science Workshop 2004, Jackson Hole, Wyoming, USA, p. 362-368.
- Baatz, M., Benz, U., Dehghani, S., Heynan, M., Holtje, A., Hofmann, P., Lingenfelder, I., Mimler, M., Solahbach, M., Weber, M., Willhauck, G. (2004) User guide 4. Definiens Imaging, Germany, 480 p.
- Bellaire, S., Schweizer, J., Fierz, C., Lehning, M. et Pielmeier, C. (2006) Predicting snow cover stability with the snow cover model SNOWPACK. Proceedings du International Snow Science Workshop 2006, Telluride, Colorado, USA, p. 38-43.
- Bolognesi, R., Denuelle, M. et Dexter, L. (1996) Avalanche forecasting with GIS. Proceedings du International Snow Science Workshop 1996, Banff, Colombie-Britannique, Canada, p. 11-13.
- Boucher, D. (2005) Communication personnelle. Coordonnateur du Centre d'Avalanche de la Haute-Gaspésie.
- Boucher, D. et Gagnon, S. (2002) Modification de l'offre d'activités hivernale en vue d'une gestion sécuritaire du risque d'avalanche au mont Albert, Parc de la Gaspésie. Rapport présenté au Parc de la Gaspésie, Centre d'avalanche de la Haute-Gaspésie, 10 p.
- Canadian Standards Association (1997) Risk Management : Guideline for Decision Makers. Canadian Standards Association, CAN/CSA-Q850-97, 46 p.
- Centre d'Avalanche de la Haute Gaspésie (2006) Archive des bulletins de neige des Chic-Chocs. Fournie par le CAHG, archives de 2001-2006.

- Colbeck, S. C. et Jamieson, B. (2001) The formation of faceted layers above crusts. *Cold Regions Science and Technology*, vol. 33, p. 247-252.
- De Römer, H.S. (1977) Régions des monts McGerrigle, rapport géologique 174. Ministère des Richesses Naturelles, Gouvernement du Québec, 233 p.
- Dubé, S., Fillion, L., et Héту, B. (2004) Tree-ring reconstruction of high-magnitude snow avalanches in the northern Gaspé Peninsula, Québec. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, vol. 36, p. 555-564.
- Freer, G.L. et Schaerer, P.A. (1980) Snow avalanche hazard zoning in British-Columbia. *Journal of Glaciology*, vol. 26, N° 94, p. 345-354.
- Furdada, G., Martí, G., Oller, P., Garcia, C., Mases, M. et Vilaplana, J.M. (1995) Avalanche mapping and related G.I.S. applications in the Catalan Pyrenees. *Surveys in Geophysics*, vol. 16, p. 681-693.
- Gephart, G. (2006) The hut guide. *Couloir Magazine*, vol. 19, n° 1, p.14-16.
- Germain, D. (2005) Dynamique des avalanches de neige en Gaspésie, Québec, Canada. Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, 172 p.
- Girard, J.F. et Héту, B. (1989) Le Mont-Albert, Parc de la Gaspésie : Inventaire des avalanches et cartographie des zones à risques. Ministère des Loisirs, de la Chasse et de la Pêche du Québec, 37 p.
- Gouvernement du Canada (2006) Principales avalanches. In *Catastrophes naturelles, Ressources Naturelles Canada*, <http://atlas.nrcan.gc.ca/site/francais/maps/environnement/naturalhazards>
- Greene, E., Wiesinger, T., Birkeland, K., Coléou, C., Jones, A., et Statham, G. (2006) Fatal avalanche accidents and forecasted danger levels: Patterns in the United States, Canada, Switzerland and France. *Proceeding du International Snow Science Workshop 2006*, Telluride, Colorado, USA, p. 640-649.
- Gruber, U. et Haefner, H. (1995) Avalanche hazard mapping with satellite data and a digital elevation model. *Applied Geography*, vol. 15, n° 2, p. 99-113.
- Hageli, P., McClung D.M. (2003) Avalanche characteristics of a transitional snow climate-Columbia Mountains, British-Columbia, Canada. *Cold Regions Science and Technology*, 37, p. 255-276.
- Haraldsdottir, H.H., Olafsson H., Durant, Y., Mérindol, L. et Giraud, G. (2001) SAFRAN-Crocus snow simulations in an unstable windy climate. *Annals of Glaciology*, vol. 32, p. 339-344.
- Hendrikx, J. Owen, I., Carren, W. et Carren, A. (2004) Overview of the spatial distribution of avalanche activity in relation to meteorological and topographic variables in an extreme maritime environment. *Proceedings du International Snow Science Workshop 2004*, Jackson Hole Wyoming, USA, p. 299-307.

- Hétu, B. (1986) L'influence du contexte géomorphologique quaternaire sur la dynamique post-glaciaire des versants raides de la Gaspésie septentrionale. Thèse de doctorat, Université de Montréal, Québec, 568 p.
- Hétu, B. (2006) Les avalanches de neige ont tué près de 60 personnes au Québec : Où, quand, pourquoi ? Conférence sur la problématique des avalanches au Québec, UQAR, Rimouski, 8 février 2006.
- Hétu, B. et Bergeron, A. (2004) Analyse des conditions météorologiques et des facteurs de terrain propice au déclenchement des avalanches. Centre d'Avalanche de la Haute-Gaspésie ; rapport pour le Projet Conjoint de Sécurité en Avalanches au Québec, 87 p.
- Hétu, B. et Gray, J. (1985) Le modelé glaciaire du centre de la Gaspésie septentrionale, Québec. Géographie physique et Quaternaire, vol. 39, n°1, p. 47-66.
- Hétu, B. et Vandelac, P. (1989) La dynamique des éboulis schisteux au cours de l'hiver, Gaspésie septentrionale, Québec. Géographie physique et Quaternaire, vol.43, p.389-406.
- Hétu, B., Girard, J.-F. et Boisjoly, J. (1994) Les risques naturels reliés à la dynamique des versants dans le nord de la Gaspésie :zone littorale et Mont Albert. Bulletin de l'Association québécoise pour l'étude du Quaternaire, vol. 20, p. 9-15.
- Jamieson, B. et Geldsetzer, T. (1996) Avalanche accidents in Canada, Vol. 4, 1984-1996. Canadian Avalanche Association, Revelstoke, Colombie-Britannique, Canada, 193 p.
- Jamieson, B. et Johnson, C.D. (1999) Snowpack factors associated with strength changes of buried surface hoar layers. Cold regions science and technology, vol. 30, p.19-34.
- Jamieson, B. et Schweizer, J. (2000) Texture and strength changes of buried surface-hoar layers with the implications for dry snow-slab avalanche release. Journal of Glaciology, vol. 46, n° 152, p. 151-160.
- Jamieson, B., Stethem, C. (2002) Snow avalanche hazards and management in Canada : Challenges and progress. Natural Hazards, vol. 26, p. 35-53.
- Johnson, E.A., Hogg, L. et Carlson, C. (1985) Snow avalanche frequency and velocity for the Kananaskis valley in the Canadian Rockies. Cold Regions Science and Technology, vol. 10, p. 141-151.
- Jones, A. (2002) Avalanche run-out prediction for short slopes. Mémoire de maîtrise, Université de Calgary, Calgary, 125 p.
- Jones, A. (2006) Communication personnelle. Association Canadienne des Avalanches.
- Jones, A. and Jamieson, B. (2004) Statistical avalanche-run-out estimation for short slopes in Canada. Annals of Glaciology, vol. 38, p. 363-372.
- Kelly, J. (2006) Communication personnelle. Association Canadienne des Avalanches.

- Keylock, C., McClung, D. and Magnusson M. (1999) Avalanche risk mapping simulation. *Journal of Glaciology*, vol. 45, p. 303-314.
- Klassen, K., (2007) The avaluator ; a mid-season look at a new addition to the toolbox. *Avalanche.ca*, vol. 80, p. 28-31
- Lague, M. (2006) Une approche multi résolution pour la cartographie des terres humides en région nordiques à l'aide d'image satellitaire. Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 100 p.
- Larocque, S., Héту, B. et Fillion, L. (2001) Geomorphic and dendrological impacts of slushflows in central Gaspé Peninsula, Québec, Canada. *Geografiska annaler*, vol. 83, n° 4, p. 191-201.
- McClung, D. (2001) Avalanche initiation caused by logging. *Annals of glaciology*, vol. 32, p. 223-229.
- McClung, D. and Schaerer, P. (2006) *The avalanche handbook*. The mountaineers, 288 p.
- McClung, D. and Schaerer, P. (1993) *The avalanche handbook*. The mountaineers, 272 p.
- McCollister, C., et Birkeland, K. (2006) Using geographical systems for avalanche work. *The avalanche review*, vol. 24 n° 4, p. 10-11.
- McCollister, C.M. (2004) Geographic knowledge discovery techniques for exploring historical weather and avalanche data. Mémoire de maîtrise, Montana State University, Bozeman 106 p.
- McNeally, P.B., Miller, H.J. (2006) Holistic geographical visualization of spatial data with applications in avalanche forecasting. *Proceedings du International Snow Science Workshop*, Telluride, Colorado, USA, p.478-490.
- Mears, A.I. (1992) Snow avalanche hazard analysis for land use planning and engineering. *Colorado Geological Survey, bulletin 49*, 55 p.
- Ministère de l'Écologie et du Développement durable (2006) *Le risque : définition*. In *Les risques naturels, République de France*, [http://www.lorraine.ecologie.gouv.fr/programmes/Risques/risque\\_d%C3%A9finition.htm](http://www.lorraine.ecologie.gouv.fr/programmes/Risques/risque_d%C3%A9finition.htm)
- Ministère des Ressources Naturelles (2000) *Système d'information écoforestière (SIEF)*. Forêt Québec, Direction des inventaires forestiers, 20 p.
- Ordre des ingénieurs forestiers du Québec (1997) *Manuel de foresterie*. Communication Science-Impact, Québec, 1425 p.
- Parks Canada (2006) *Public safety:Backcountry avalanche information*. In *Parks Canada*, [http://www.pc.gc.ca/pn-np/bc/glacier/visit/visit7a9\\_E.asp#bulletin](http://www.pc.gc.ca/pn-np/bc/glacier/visit/visit7a9_E.asp#bulletin)

- Richard, P.J.H., Veillette, J.J., Larouche, A.C., Hétu, B., Gray, J.T. et Gangloff, P. (1997) Chronologie de la déglaciation en Gaspésie: nouvelles données et implications. *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 51, p. 163-184.
- Sandham, P. (2005) Communication personnelle. Ministère des Transports de la Colombie-Britannique.
- Schaerer, P. (1981) Avalanches, *Handbook on Snow ; Principles, Processes, Management and Use*. Pergammon Press, Toronto, p. 475-518.
- Schaerer, P. (1984) Estimates of the number of avalanches in Western Canada. *Avalanche News*, vol. 16, p. 3-6.
- Schweizer, J., Jamieson, J.B, Schneebeli, M. (2003) Snow avalanche formation. *Reviews of Geophysics*, vol. 41, p. 1-25.
- Schweizer, J., Kronholm, K., Jamieson, B. et Birkeland, K.W. (2006) Spatial Variability: So what? *Proceedings du International Snow Science Workshop, Telluride, Colorado, USA*, p.365-375.
- Statham, G. (2006) Communication personnelle. Parks Canada.
- Stethem, C., Jamieson B., Schaerer P., Liverman D., Germain D. and Walker S. (2003) Snow avalanche hazard in Canada: A review. *Natural Hazard*, vol. 28, p. 487-515.
- Stethem, C., McClung, D., Jamieson, B., Schearer, P. (2002) Canadian Avalanche Mapping Project. *Proceeding du International Snow Science Workshop 2002, Penticton, Colombie-Britannique, Canada*, p. 555-557.
- Utah Avalanche Center (2006) Avalanche fatalities by IKAR country. *In* *Avalanche statistics and graphs*, [http://www.avalanche.org/~uac/graf\\_fatecountry.html](http://www.avalanche.org/~uac/graf_fatecountry.html).
- Weir, P. (2002) Snow avalanche-Management in forested terrain. Ministère des Forêts, Colombie-Britannique, Victoria, 190 p.



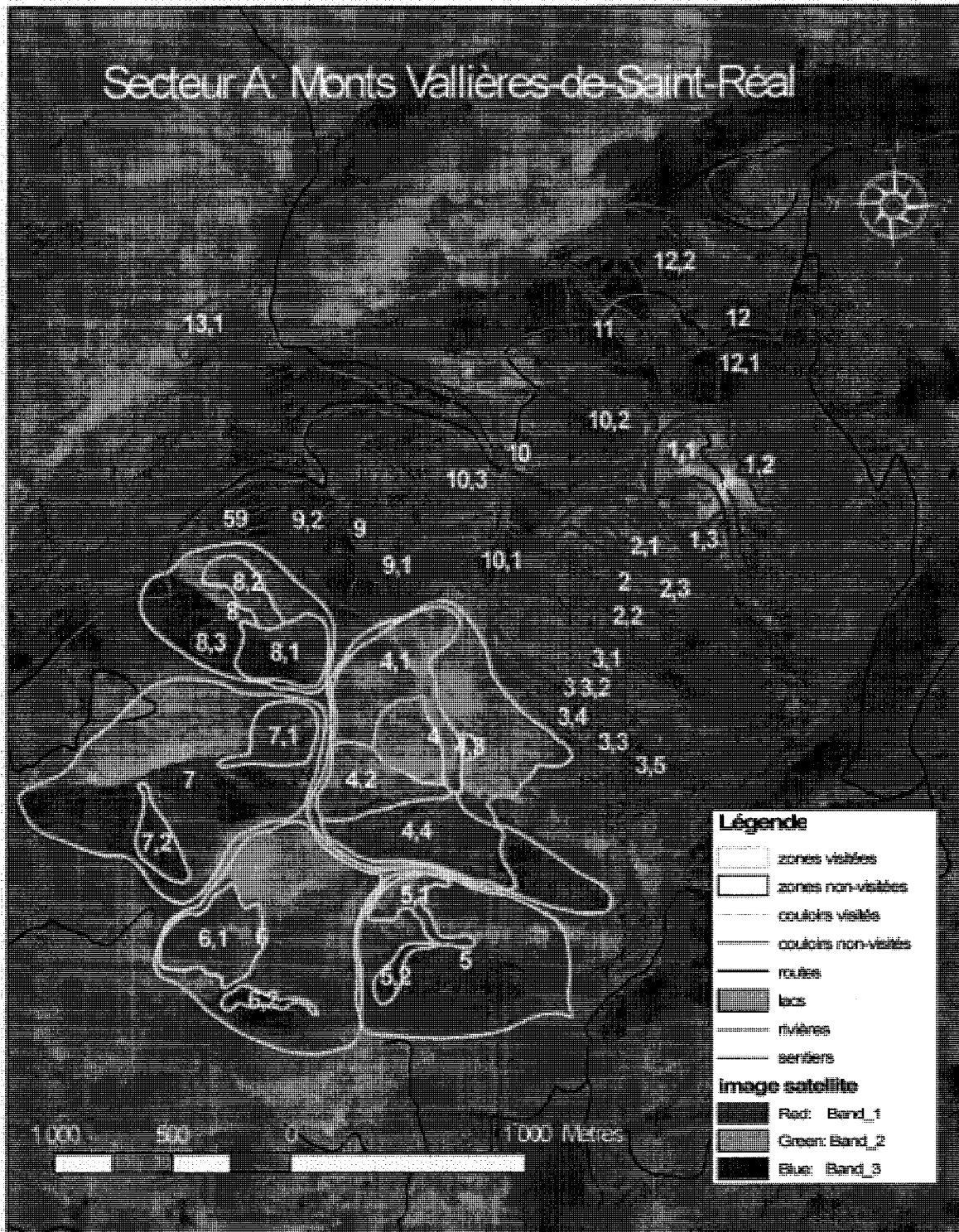
Annexe 1 Carte de terrain avalancheux aux entrées des sentiers de Parc Canada.

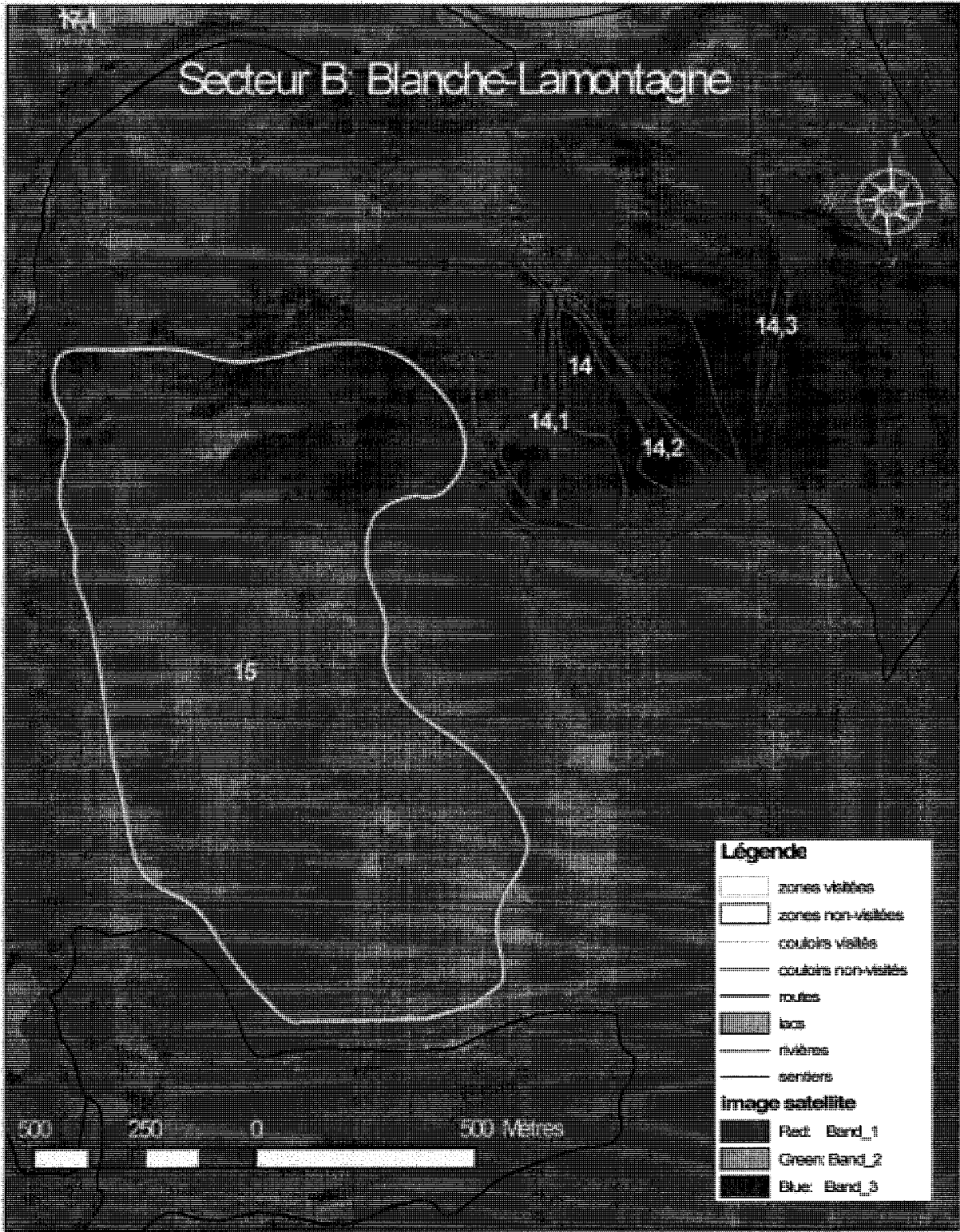


Annexe 2      Modèle technique de l'Échelle d'Exposition au Terrain Avalancheux.

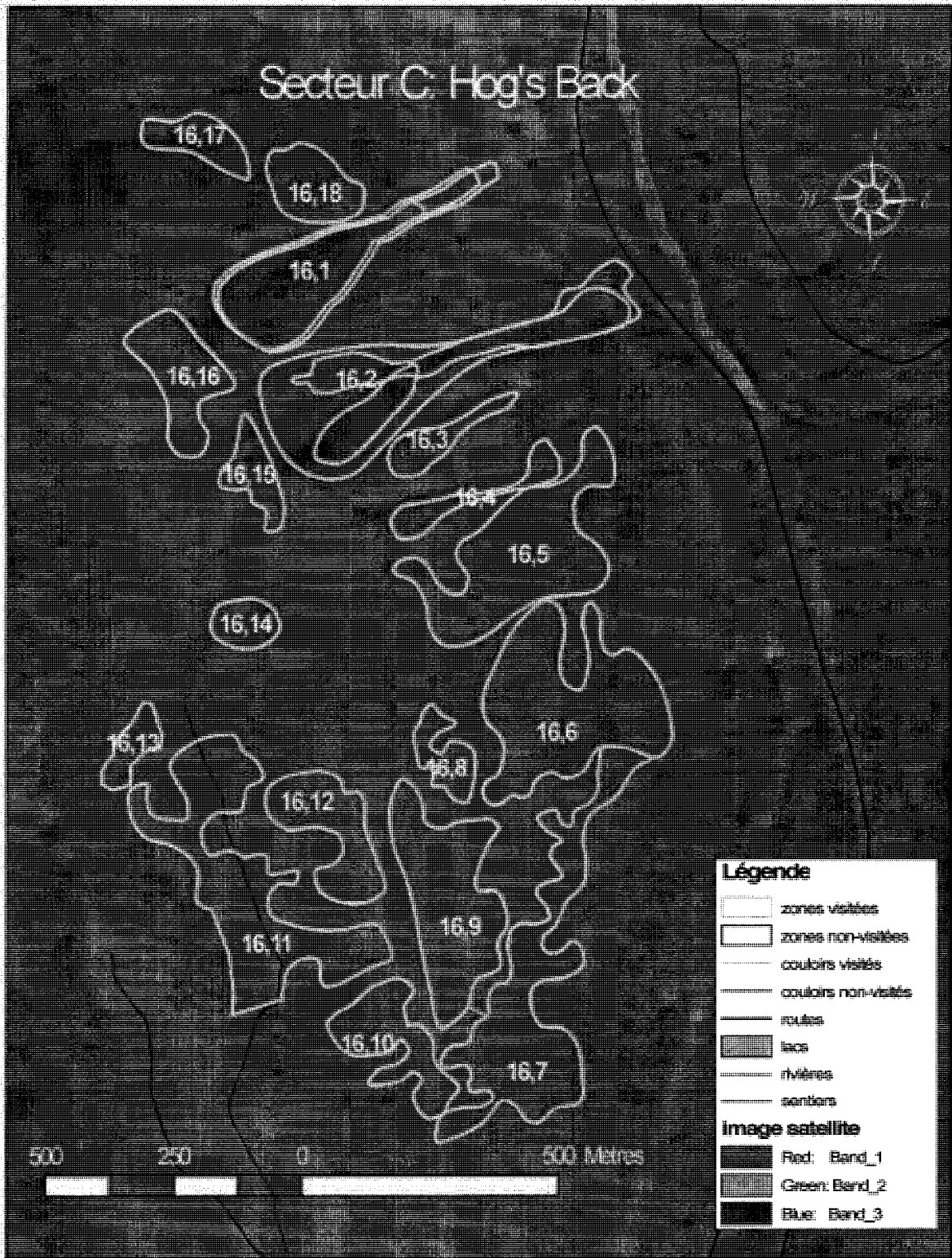
	1 - Simple	2 - Exigeant	3 - Complexe
<b>Inclinaison de la pente</b>	Habituellement < 30 °	<i>Faible en général – pentes isolées &gt; 35 °</i>	<i>Variable avec fort % &gt; 35 °</i>
<b>Forme de la pente</b>	Uniforme	Certaines convexités	Nombreuses convexités et ruptures de pente
<b>Densité forestière</b>	Surtout boisé avec quelques éclaircies	Mélange d'arbres et de terrain dégagé	Vastes secteurs de terrain dégagé avec groupes d'arbres isolés
<b>Pièges naturels</b>	Nombre minimal avec quelques pertes ou berges hautes le long de ruisseaux ou de chemins forestiers	Quelques dépressions, ravines et/ou terrain avalancheux en surplomb	<b>Nombreuses dépressions, ravines, falaises, corniches et pentes cachées surplombant des ravines</b>
<b>Fréquence des avalanches</b> (occurrences:années)	1:30 pour intensité ≥ 2	1:1 pour intensité < 2 <b>1 : 3 pour intensité ≥ 2</b>	1:1 pour intensité < 3 <b>1 : 1 pour intensité ≥ 3</b>
<b>Densité des zones de départ</b>	Quantité limitée de terrain dégagé	Quelques secteurs de terrain dégagé. Couloirs d'avalanche isolés jusqu'au bas des vallées	Vastes secteurs de terrain dégagé. Multiples couloirs d'avalanche jusqu'au bas des vallées
<b>Caractéristiques des zones de dépôt</b>	Zones isolées bien délimitées, transitions progressives et dépôts étendus	Transitions abruptes ou dépressions où s'accumulent des dépôts profonds	Multiples zones de dépôt convergentes avec dépôts confinés et zones d'écoulement en pente raide en surplomb
<b>Interaction avec couloirs d'avalanche</b>	Zones de dépôt uniquement	Couloirs uniques et bien délimités	<b>Nombreux couloirs qui se recoupent</b>
<b>Itinéraires possibles</b>	Nombreux itinéraires éventuels, le terrain permettant d'effectuer divers choix	Choix de degrés d'exposition différents et possibilité d'éviter les couloirs d'avalanche	<b>Possibilités restreintes de réduire l'exposition et impossibilité de l'éviter complètement</b>
<b>Durée d'exposition</b>	Nulle ou limitée uniquement aux croisements des zones de dépôt	<b>Exposition occasionnelle aux zones de départ et d'écoulement</b>	<b>Exposition fréquente aux zones de départ et d'écoulement</b>
<b>Terrain glaciaire</b>	Aucun	<b>Généralement lisse avec réseaux isolés de crevasses</b>	<b>Pentes raides ou zones fortement crevassées, cascades de glace ou exposition à des séracs</b>

Tiré du site Internet de Parc Canada

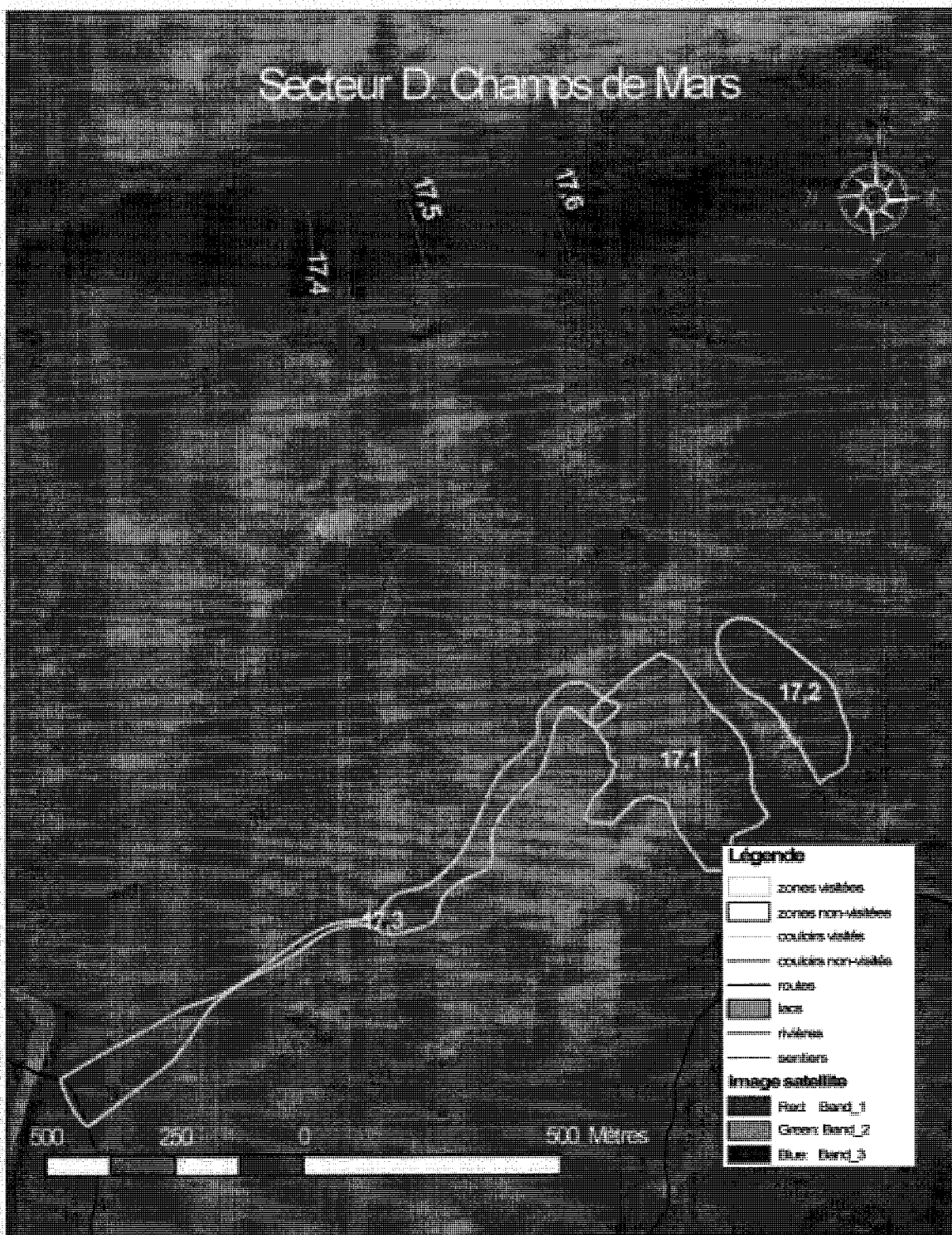


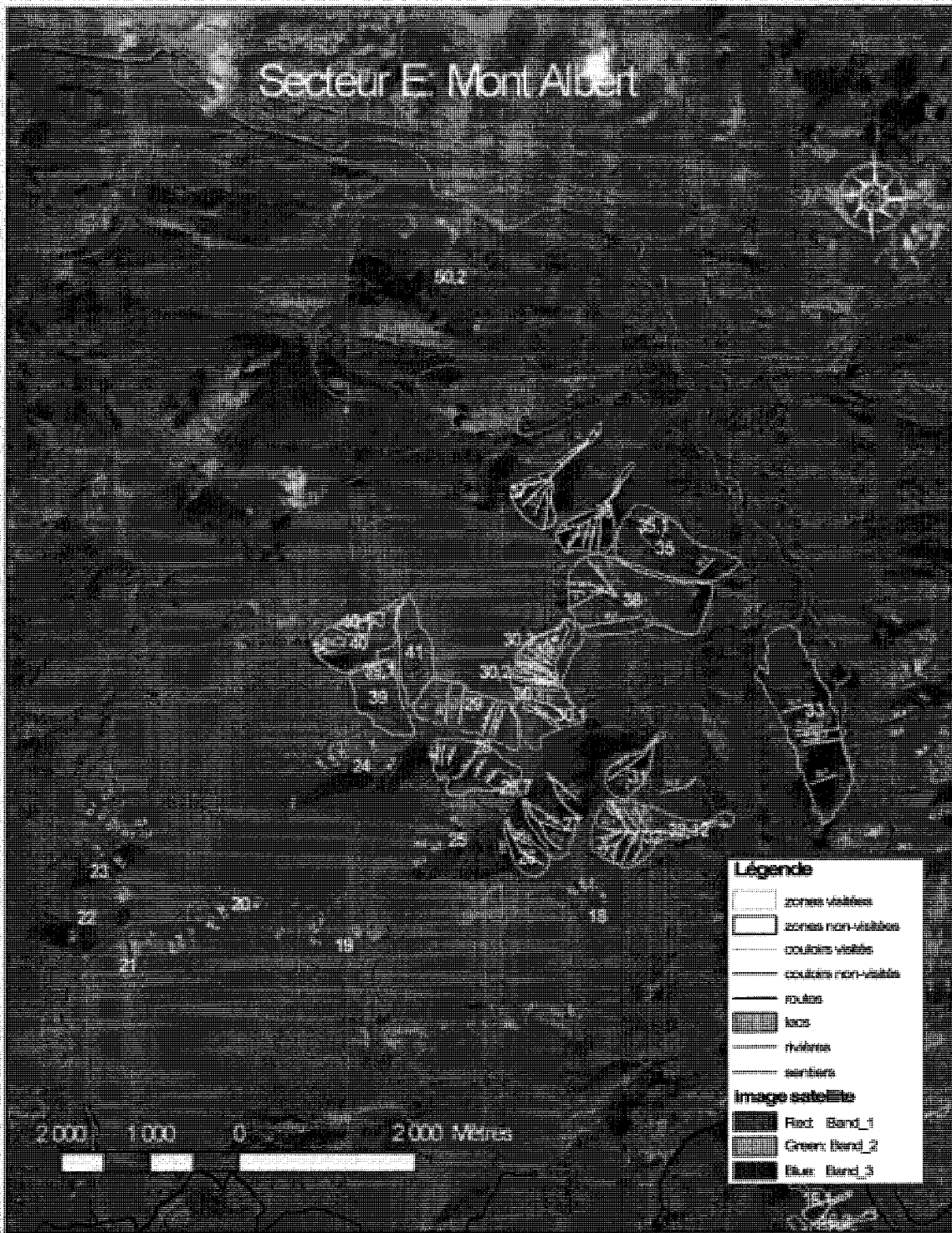


# Secteur C: Hog's Back

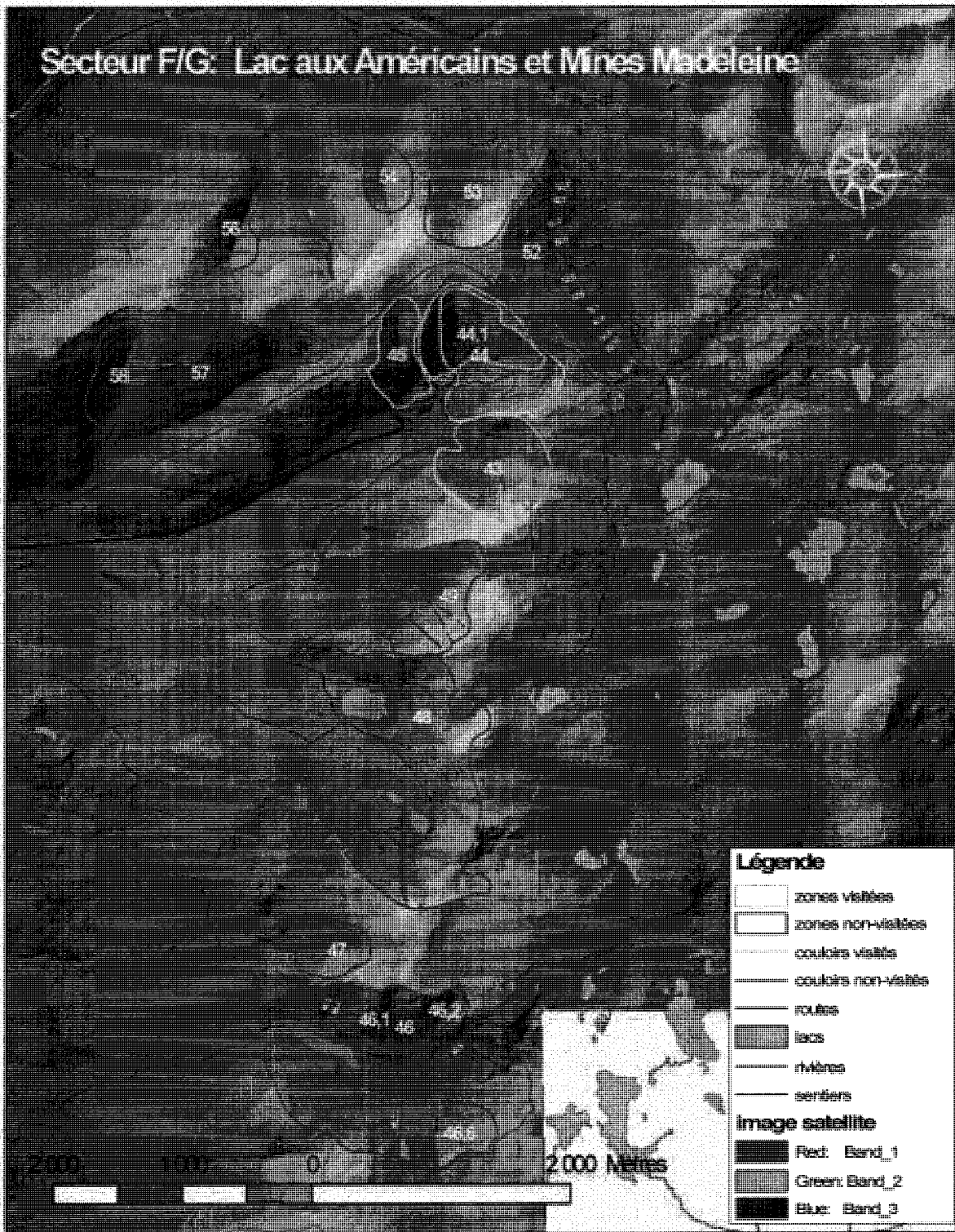


# Secteur D: Champs de Mars



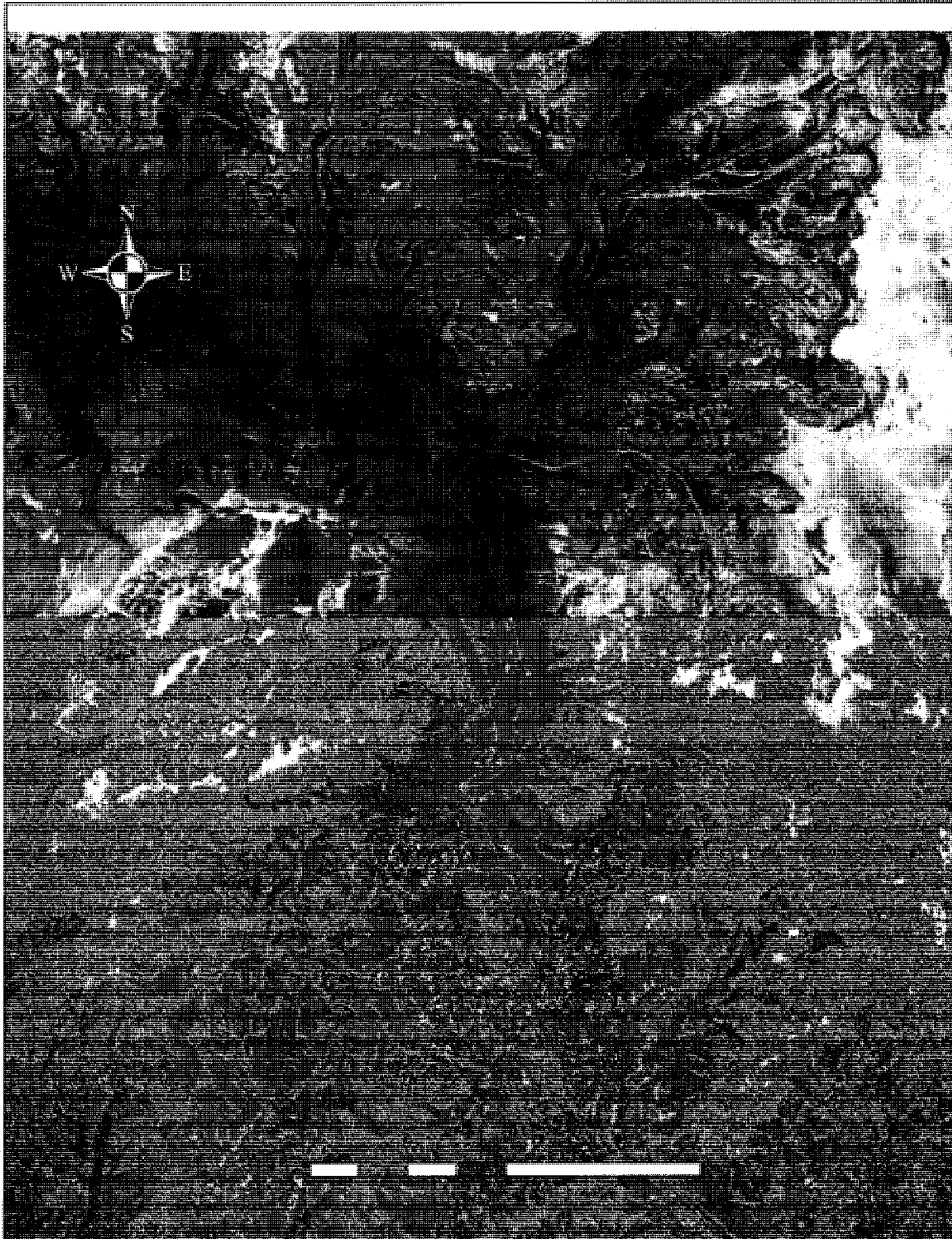


Secteur F/G: Lac aux Américains et Mines Madeleine





Annexe 4 Image satellite SPOT panchromatique acquise le 10 mai 2004



Annexe 5 Exemple de la banque de données de l'atlas.

OBJETIF	nom	no zone	lib	photo référence	altitude du zone départ	alt zone stop	orientation	angle départ	angle but	desz zone départ	desz zone but	desz zone capt	type
247	1		Versant S Mts-Vallières/ter but E	063121-75			SE						Rapport CRE- Avalanche V0.doc
2	1.1		Versant S Mts-Vallières/ter but E	063121-75	275	810	SE						Rapport CRE- Avalanche V0.doc
258	1.2		Versant S Mts-Vallières/ter but E	063121-75	110	900	SE						Rapport CRE- Avalanche V0.doc
260	1.3		Versant S Mts-Vallières/ter but E	063121-75	80	780	SE						Rapport CRE- Avalanche V0.doc
256	10		Versant N Mts-Vallières/Sieme Bol de E	063121-74			NO						bol 19.jpg
13	10.1		Versant N Mts-Vallières/Sieme Bol de E	063121-74	300	870	N	30-40	22.4 (à 10°)	726 (à 10°)		En entonnoir vers le ravin. Sans limites claires.	bol 19.jpg
14	10.2		Versant N de Mts-Vallières/Sieme Bol de E	063121-74	250	900	NO						bol 19.jpg
270	10.3		Versant N Mts-Vallières/Sieme Bol de E	063121-74	320	870	NO						Rapport CRE- Avalanche V0.doc
257	11		Versant N Mts-Vallières/Sieme Bol de E	063121-74			N						Rapport CRE- Avalanche V0.doc
258	12		Versant N Mts-Vallières/ter but de E	063121-75			NO						Rapport CRE- Avalanche V0.doc
15	12.1		Versant N Mts-Vallières/ter but de E	063121-75	255	890	N	33	26	575		En entonnoir vers le ravin.	12.1 Mts Vallières (Hélu) Regroupement
271	12.2		Versant N Mts-Vallières/ter but de E	063121-75	300	840	NE						Rapport CRE- Avalanche V0.doc
22	13.1		Entre blanche et Vallières	063121-75	73	550	SE						Rapport CRE- Avalanche V0.doc
272	14	Bol Nord	Versant N Blanche-Lamontagne	063603-5			N						14.JPG
23	14.1	Bol Nord	Versant N Blanche-Lamontagne	063603-5	200	840	N						Rapport CRE- Avalanche V0.doc
24	14.2	Bol Nord	Versant N Blanche-Lamontagne	063603-5	325	900	NO						Rapport CRE- Avalanche V0.doc
25	14.3	Couloir	Versant N Blanche-Lamontagne	063603-5	205	815	N						Rapport CRE- Avalanche V0.doc



Annexe 6 Légende des codes selon le guide de l'Association Canadienne des Avalanches.

U= Inconnu		<u>INTENSITE</u>
<u>TYPE D'AVALANCHE</u>		1=Relativement sans danger pour les personnes
S= Plaque	D=Neige sèche	2= Peuvent ensevelir ou blesser une personne ou causé la mort
	M=Neige humide	3=Peuvent ensevelir ou détruire une voiture.
	W=Neige mouillé	4=Peuvent détruire un wagon de chemin de fer
L= Sans cohésion	D=Neige sèche	5=Peuvent détruire un village entier
	M=Neige humide	<u>RAISON DU DECLENCHEMENT</u>
	W=Neige mouillé	N=Naturel
<u>TYPE DE REGIME</u>		X=provoqués par charge explosive
1=Pluie		S=provoqués par skieurs ou surfeurs
2=Chute de corniche		M=provoqués par motoneige
3= Réchauffement printemps		<u>TYPE DE CRISTAUX</u>
4=Plaque à vent isolé		FC=Face plane
5=Plaque à vent majeure		DF=Particule reconnaissable
6=Cycle regel-dégel		PP=Particule de neige fraîche
7=Nouvelle neige		RG=Grains fins
8=Surface sans cohésion		DH=Givre de profondeur
9=Couche fragile connue		SH=Givre de surface
10=Couche fragile peu connue		CR=Croute
11=Manteau neigeux faible en général		
12=Givre de profondeur		

Annexe 7 Banque de données des avis d'avalanches.

Classement	no. cou- che	Tour no.	dir. ou	type av.	tranché av.	classe colat.	algè- bre	1 <sup>re</sup> zone dépla- cée	alt. zone de pôt	largeur pi- sage	épais- sage	type cr- istal	pers- onnel	indice risque	photo
Claude Ross	12,1	20000314	1430	Mts-Vallières	N	SD	0	Sa	U	870	590	U	U	U	Rapport CRE-AvalancheV0.doc
Romain Leclerc	39	19880305	1200	Grand Mur	E	S	U	U	U	U	U	U	U	U	Rapport CRE-AvalancheV0.doc
CAHG	19,1	20030304	1500	Hog's Beck	E	S	2,5	Sa	U	800	U	U	DF	13	Rapport CRE-AvalancheV0.doc
CAHG	19,1	20040404	U	Hog's Beck	NE	7M	2	U	U	U	U	U	U	0	Rapport CRE-AvalancheV0.doc
S.Gagnon/Fran- cois Roy	15,1	20050415	1016	Hog's Beck	E	S	2,5	Sa	38	800	U	50-80	FC/CR	1	post_05_04_15a.JPG
Arold Gaumond	15,2	19920220	U	Hog's Beck	NE	S	U	U	U	U	U	U	U	U	Rapport CRE-AvalancheV0.doc
CAHG	15,2	20020330	U	Hog's Beck	E	U	U	Sa	U	U	U	U	U	1	Rapport CRE-AvalancheV0.doc
CAHG	15,2	20030304	1500	Hog's Beck	SE	S	3	Sa	U	800	U	100	DF	1	Rapport CRE-AvalancheV0.doc
CAHG	15,2	20041203	U	Hog's Beck	E	U	3	U	U	U	U	U	U	0	Rapport CRE-AvalancheV0.doc
Gilles Parent/André Filion	30	19980221	U	Mur des Patrouilleurs	SE	U	U	U	U	U	U	U	U	2	Rapport CRE-AvalancheV0.doc
U	30	19980221	U	Mur des Patrouilleurs	E	U	U	U	U	U	U	U	U	2	Rapport CRE-AvalancheV0.doc
CAHG	30	20030319	U	Mur des Patrouilleurs	SE	S	2	U	U	U	U	U	U	1	Rapport CRE-AvalancheV0.doc
CAHG	30	20030323	U	Mur des Patrouilleurs	SE	U	2,5	U	U	U	U	U	U	0	Rapport CRE-AvalancheV0.doc
CAHG	30	20040121	U	Mur des Patrouilleurs	SE	U	1,5	U	U	U	U	U	U	0	Rapport CRE-AvalancheV0.doc
CAHG	30	20050310	U	Mur des Patrouilleurs	SE	S	2	Na	U	U	U	U	U	0	Rapport CRE-AvalancheV0.doc
Arold Gaumond	30,2	19920314	U	Couloirs des Patrouilleurs	E	S	U	U	U	U	U	U	U	0	Rapport CRE-AvalancheV0.doc
Arold Gaumond	30,2	19950304	U	Couloirs des Patrouilleurs	SE	U	U	U	U	U	U	U	U	U	Rapport CRE-AvalancheV0.doc
Simon Thibault	30,2	19970313	U	Mur des Patrouilleurs	S	U	U	U	U	680	U	U	U	0	Rapport CRE-AvalancheV0.doc
J.P Gagnon	30,2	20010218	1430	Couloirs des Patrouilleurs	E	S	3	Sa	U	1000	670	U	DF	1	Rapport CRE-AvalancheV0.doc
Yann Barro	30,2	20040328	U	Mur Patrouilleur	E	LM	2	Sa	U	1000	670	U	U	2	Rapport CRE-AvalancheV0.doc
Marc L'Italien	30,3	19900217	U	Corniche des Patrouilleurs	S	U	U	U	U	U	U	U	U	U	Rapport CRE-AvalancheV0.doc
Girard/Héu	32,12	19880327	U	Curs des Métezes	E	SIF	3,5?	Na	15	800	525	U	U	0	Rapport CRE-AvalancheV0.doc
CAHG	32,12	20060114	600	Curs des Métezes	E	SIF	3	Na	15	730	510	U	U	0	Rapport CRE-AvalancheV0.doc
Marc L'Italien	4,2	?	U	Mts-Vallières	SE	S	U	U	U	U	U	U	U	0	Rapport CRE-AvalancheV0.doc
J-R Lemerix	4,2	20050214	U	Mts-Vallières	SE	S	1,5	Na	U	U	U	U	U	0	Rapport CRE-AvalancheV0.doc

Renaud Dostie	40,1	19870311	1505	Grande-Cuve	S	S	3	Sa	U	U	150	U	U	4	U	<u>Rapport CRE-Avalanche V0.doc</u>
CAHG	40,1	20020206	1410	Grande-Cuve	S	S	1,5	Sa	U	950	U	15-60	DF	3	U	40.1.jpg
CAHG	40,1	20050414	U	Grande-Cuve	S	SD	2	Sc	U	U	U	50	DF	0	considérable	<u>Rapport CRE-Avalanche V0.doc</u>
Paul Béchant	40,7	19931221	1430	Grande-cuv9	S	S	U	Sa	U	U	21	30	U	1	U	<u>Rapport CRE-Avalanche V0.doc</u>
CAHG	44,1	20050413	U	Mines	S	SD	3,5	Na	U	U	300	100-120	U	0	considérable	mine2.jpg
Adrien Poitevin	45	19980222	U	Medeoline	NE	U	U	U	U	U	U	U	U	1	U	<u>Rapport CRE-Avalanche V0.doc</u>
Marc L'italien	26	19850317	U	Lac aux Américains	NE	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	<u>Rapport CRE-Avalanche V0.doc</u>
François Bourcier	24,1	19920323	U	Chaque de la Serpentine	NO	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	<u>Rapport CRE-Avalanche V0.doc</u>
Michel Garneau	24,5	19910214	1400	Cuve du Diabte	SE	U	U	U	U	U	U	U	U	0	U	<u>Rapport CRE-Avalanche V0.doc</u>
André Beaulieu	28,4	19920306	U	Cuve du Diabte	SE	S	U	Sa	U	U	150	10-15	U	2	U	<u>Rapport CRE-Avalanche V0.doc</u>
Arvid Gaumond	28,4	19950304	U	Mur O bwr cirque de la Lac aux Américains	NE	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	<u>Rapport CRE-Avalanche V0.doc</u>
Arvid Gaumond	28,4	19951227	U	Mur O bwr cirque de la Lac aux Américains	NE	U	U	U	U	U	U	U	U	0	U	<u>Rapport CRE-Avalanche V0.doc</u>
CAHG	32,7	20020318	1430	Mur O bwr cirque de la Lac aux Américains	NE	S	U	U	U	U	U	U	U	0	U	<u>Rapport CRE-Avalanche V0.doc</u>
CAHG	40	20040214	U	Cuve des Mélanges	O	SD	0	Sa	U	1000	U	U	CR	1	U	<u>Rapport CRE-Avalanche V0.doc</u>
CAHG	30	20041207	U	Cuve Grande	S	U	2	U	U	U	U	U	U	0	considérable	<u>Rapport CRE-Avalanche V0.doc</u>
CAHG	30	20050220	U	Mur des Patrouilleurs	SE	U	3	U	U	U	U	U	U	0	considérable	<u>Rapport CRE-Avalanche V0.doc</u>
CAHG	30,1	20050228	U	Corniches des Patrouilleurs	S	SD	1,5	U	U	U	U	U	U	0	considérable	<u>Rapport CRE-Avalanche V0.doc</u>
CAHG	30,1	20050228	U	Mur des Patrouilleurs	SE	SD	2	Sr	U	U	U	40-60	CR	0	moderé	<u>Rapport CRE-Avalanche V0.doc</u>
CAHG	30,1	20050228	U	Mur des Patrouilleurs	SE	SD	2,5	Sa	U	U	U	40-60	CR	1	moderé	<u>Rapport CRE-Avalanche V0.doc</u>
Vincent Dubé	U	19950311	U	Hog's Back versant S	NE	U	0	U	U	U	U	U	U	4	U	<u>Rapport CRE-Avalanche V0.doc</u>
Marc L'italien	37	1998????	U	Couloir du Gha Nord	NE	U	2,5?	U	U	U	U	U	U	U	U	<u>Rapport CRE-Avalanche V0.doc</u>
Marc L'italien	37	1975????	U	Couloir du Gha Nord	NE	U	2-3?	U	U	U	U	U	U	0	U	<u>Rapport CRE-Avalanche V0.doc</u>
Marc L'italien	37	1998????	U	Couloir du Gha Nord	NE	U	2?	U	U	U	U	U	U	U	U	<u>Rapport CRE-Avalanche V0.doc</u>

**MAPPING AND CLASSIFICATION OF POTENTIAL AVALANCHE SITES IN THE CHIC-CHOCS MOUNTAINS, QUÉBEC, CANADA, USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS**

Alain Royer, Stephanie Lemieux\*

Centre d'Applications et de Recherches en Télédétection, Université de Sherbrooke

**ABSTRACT:** Avalanche sites mapping and classification are tools that have been frequently used for managing avalanche risks. The use of geographic information systems (GIS) for such applications has great potential although it is still in development. The potential avalanche sites of the Chic-Chocs Mountains, Québec, Canada, was mapped with GIS technology, satellite images, aerial photos and 1:20 000 topographic maps. A forest map, including three different levels of forest density, was generated from the satellite image. A total of 59 potential avalanche zones were characterized in this area, including 249 avalanche paths. Moreover, in order to build an institutional memory bank of one of the most frequented area by winter sports adepts in Québec, a system was created to allow future cataloguing of avalanche occurrences inside the potential avalanche location map. Another terrain analysis was also performed to address the challenge of the access restrictions of Mount-Albert in Gaspésie National Park. A terrain classification by exposure to avalanches based on Parks Canada's technical model was performed in order to help safer management of the park's winter activities. The database linked to a GIS is the basis for the study of potential correlation between topographic parameters and weather patterns.

**KEYWORDS:** Avalanche; avalanche mapping; terrain classification; visualisation; geographic information systems

## 1. INTRODUCTION

Most accidents caused by avalanches in Canada happen in the western provinces of British Columbia and Alberta. However, there are also risks associated to avalanches in the eastern provinces of Québec and Newfoundland (Stethem *et al.*, 2003). The specific problematic in the province of Quebec is that there is a general misconception of avalanche risks and little or no historical avalanche data (Héту and Bergeron, 2004; Jones, 2002).

Since the 1900, 60 deadly avalanches were reported in many different regions of Québec (Héту, 2006). As of the beginning of this century more extensive research has been undertaken and mitigating measures put into place to help prevent accidents like the Kangiksualudguak tragedy where a short slope avalanche struck a school killing 9 people and injuring 25 others (Héту et Bergeron, 2004; Lied and Domass, 2000). To lead this prevention effort, the Avalanche Center of the Haute-Gaspésie (ACHG) was created in 1999. This center oversees avalanche awareness and education in the province. Moreover it provides an

avalanche hazard forecast in a region that is increasingly exposed to avalanche risk, located within the Gaspésie Provincial Park and the neighbouring Fauna Reserve of the Chic-Choc mountains. (SEPAQ, 2006; Boucher and Gagnon, 2002). However, no extensive avalanche mapping has yet been done. The purpose of this study is to address this need in the avalanche risk management process of this area.

The first specific objective is to build a digital avalanche atlas to localise, name and characterize the potential avalanche paths of the most frequented area of the Chic-Chocs mountains by the recreationist and to provide a platform in which the past and future avalanches events will be collected. The second objective is to classify the terrain of Mount Albert using the Avalanche Terrain Exposition Scale (ATES) proposed by Parks Canada. The results of this work could help the avalanche risk managers of the Parc de la Gaspésie to better manage the terrain restriction of Mount Albert.

The developed method uses multisource data at different scales. The analysis includes extensive terrain exploration, classification of forest areas with high resolution satellite images, investigations and a digital terrain model (elevation, slope, curvature, etc.) with the help of a geographic information system (GIS).

---

\*Corresponding author's address: Stephanie Lemieux, Centre d'Applications et de Recherches en Télédétection, Université de Sherbrooke, 2500 Bd. Université, Sherbrooke, Qc Canada J1K 2R1; e-mail: Stephanie.lemieux@gmail.com

## 2. STUDY SITE

The Chic-Chocs mountains are situated in the north east of the Appalachian Mountains and north of the Gaspésie region. Within these mountains one will find the Québec National Parc de la Gaspésie and other Québec fauna reserves. The topography is characterised by approximately 1000 meters high alpine plateaus with steep slopes leading down the valleys. The large amount of snow precipitation in the winter and the strong and frequent winds makes that region subject to avalanches (Héту et Bergeron, 2004; Boucher and Gagnon, 2002; Girard et Héту, 1989).

The seven specific study areas, presented in figure 1, were chosen in relation to the park's winter recreational activities, like backcountry skiing and snowboarding, and to their relative proximity. The total area covered by the sectors is approximately 20 km<sup>2</sup>. The seven sectors are defined in this study as being the most frequented areas by the recreationists, therefore the more exposed to avalanche risk.

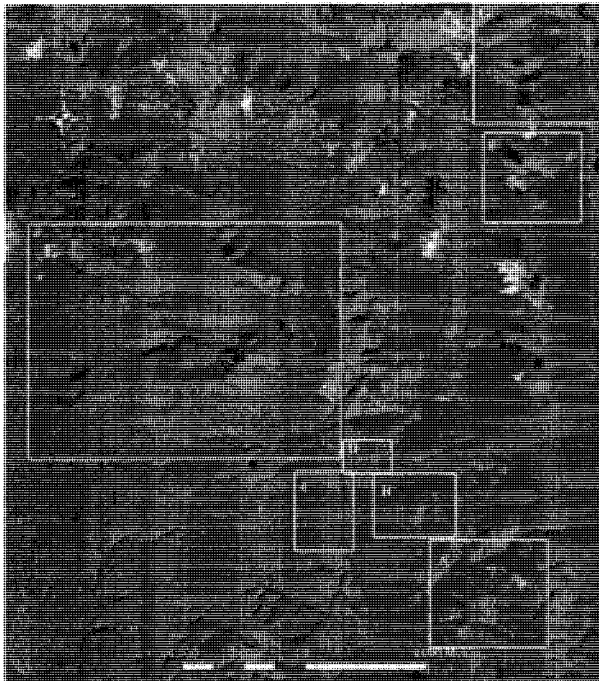


Figure 1. Study sites. Background: high resolution SPOT satellite image acquired in October 2005. A) Monts Vallières-de-Saint-Réal B) Blanche-Lamontagne C) Hog's Back D) Champs de Mars E) Mont Albert F) Lac aux Américains G) Mines Madeleine.

## 3. METHODOLOGY

### 3.1 Data description

The data acquired to meet the two main objectives of the project include: Aerial photos of 1:15 000 dating from 1963, 1972, 1986 and 1992, digital topographic data 1:20 000, SPOT multispectral satellite images (10 m. resolution), SPOT panchromatic satellite image (5 m. resolution), avalanche reports recorded or from local memories, and photos from field campaigns.

The data was used to perform spatial and terrain analysis, to classify forest densities, to create the maps and to build the database that is linked to the digital atlas with the help of a GIS. The results were validated with terrain recognisance and by comparing them with the terrain characteristics data of a recent study that covered some of the same avalanche paths (Germain, 2005).

### 3.2 Digital avalanche atlas

Figure 2 represents the general steps that were followed to create the digital avalanche atlas. The photo-interpretation of the region reaching as far back as 1963 allowed us to localise areas that had avalanche characteristics and clues of past avalanches like openings in the forest. The aerial photos were also georeferenced to create polygons or lines representing potential avalanche paths in the software ArcGIS.

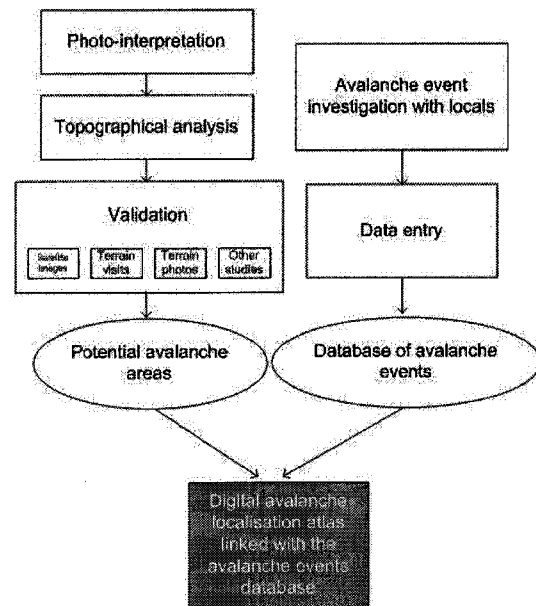


Figure 2. Steps to create digital avalanche atlas

The topographic analysis with a GIS included the creation of slope classes usually associated to the different parts of an avalanche path using a digital elevation model with a 10 meter resolution. For example, these classes



represented the area where the slope reached reference angles (10, 15, 20, 24, 30, 35, 40° and above), 10° being the reference point for the runout zone of high magnitude avalanches (Stethem et al., 2003). The slope classes are illustrated in figure 3, representing the topographical analysis executed in ArcGIS. Figure 3 also shows georeferenced polygons and lines of potential avalanche paths on an aerial photo background. This figure also shows the vegetation type and density classes derived from the segmentation and classification of the SPOT multispectral image using the software eCognition.

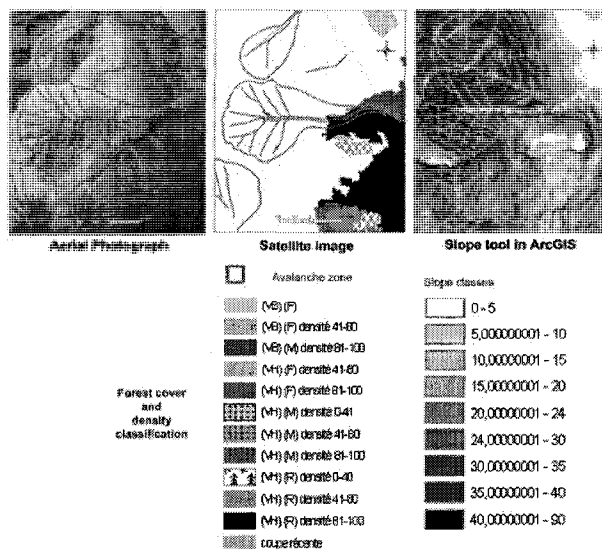


Figure 3. Use of ArcGIS to analyse and map potential avalanche areas.

As for the investigation, many key local people were questioned about any information they would have about past avalanche events. Only the events having enough details about avalanches were added in the database. All the avalanche bulletins created by the ACHG were also screened in order to get information about avalanches that were noted, as well as data from the Parc de la Gaspésie about past avalanche accidents and avalanche localisation maps (archive over the 1987-1998 period). Each avalanche reported is associated to a number that serves as the common field between the polygons and the avalanche data to allow the software to link the information to the avalanche areas.

### 3.3 Classification of the terrain by exposition to avalanches

Figure 4 represents the steps followed to accomplish the second objective.

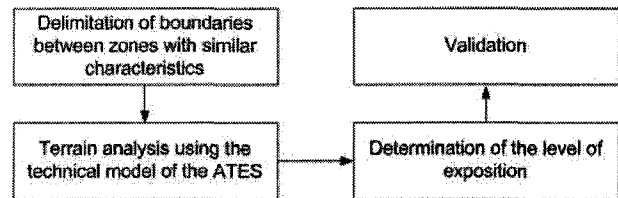


Figure 4. Steps to perform the classification of Mount Albert by exposition to avalanche terrain.

The first step, the delimitation of the zones, is crucial because the terrain analysis was done by zones instead of routes or trips as for the parks in western Canada. This is due to the fact that only 2 areas are accessible in the Mount Albert sector because of the access restrictions in place to protect the woodland caribous. Once the zones were delimited, they were analysed and associated to a final class level taking into consideration every parameter of the technical model. Here are the parameters that carry more weight thus default priorities; slope angle, terrain traps, avalanche frequency, interaction with avalanche paths, route options, and exposure time. The glacier parameter was not taken into consideration because no glaciers are present in the sector studied. The other parameters with less weight, slope shape, forest density, start zone density and runout zone characteristics, were also taken into account in order to attribute to the delimited zones the final class level of exposition to avalanches.

## 4. RESULTS

### 4.1 Potential avalanche areas

In the seven sectors of the study site, 59 potential avalanche areas were localised comprising 2 to 12 paths. A total of 249 avalanche paths were localised, given an identification number and characterized in a digital database. Approximately a hundred of the avalanche paths were validated visually on the terrain. The potential avalanches areas represent 5,8% of the total study site, this being approximately 31km<sup>2</sup> on a total of 532 km<sup>2</sup>. The database and maps localising every avalanche path are available upon request from the authors.

The avalanche areas and paths for the Mount Albert sector are presented in figure 5. The areas are labelled with a number, and the paths inside the areas have the same number followed by a specific decimal number.



Figure 5. Digital atlas for the Mount Albert sector.

The runout zone limits of the avalanche areas or paths were delimited based on vegetation disturbance clues that were visible on the aerial photos or by the slope angle class of  $10^\circ$  on the digital elevation model for the alpine areas. Because the photointerpretation was done over a time scale of 40 years, pictures dating from 1963 to 1992 and with recent satellite image dating from 2004-2005, we noted the sudden creation or the gradual disappearance of vegetation clues in some avalanche areas created by high magnitude avalanches destroying mature timber. Consequently, we delimited the boundaries of these areas based on the farthest reach of the runout zones, in other words, the longest return period known and took note of it in the database.

Figure 6 shows the avalanche area number 19, represented in the avalanche atlas of Mount Albert sector in figure 5. The figure 6 demonstrates an example of a chronologic sequence in which we can notice the vegetation clues (at the bottom center of each picture) left by an avalanche of a magnitude that has not occurred since at least 1963.

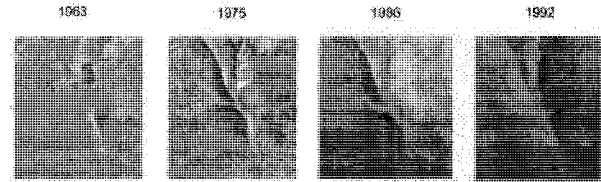


Figure 6. Chronologic sequence of an avalanche area in a particular Mount Albert sector: sector 19.

To validate the method used in this study to localise and characterise the potential avalanche zones, we compared our data with the terrain data from the study recently done by Daniel Germain (Germain, 2005). 34 of the 36 avalanche paths falling into the study site of the present study were located. The 2 paths missing are relatively short, of the order of 60 to 80 meters long. This could explain the reason they were not seen on the satellite image or on the aerial photos.

Several characteristics measured by Germain's sampling were also compared to our data found with the help of the GIS, such as starting zone slope angle, starting zone altitude, end zone slope angle, end zone altitude, vertical drop and aspect, the beta angle and horizontal reach to the beta point. These topographical characteristics appear with good agreement, showing the great potential of our approach.

#### 4.2 Forest cover analysis

The vegetation cover was also analysed with the SPOT multispectral satellite image. The image was classified into 12 classes of vegetation and density. The vegetation map classified into 4 classes (deciduous, mixed forest; coniferous and recent clear cuts) and 2 types of vegetation (high vegetation and low vegetation) is presented in figure 7. Each class is divided into 3 levels of forest density based on the percentage of tree crown coverage relative to ground coverage (OIFQ, 1997). The forest classification with the satellite image resulted in 11,4% deciduous, 16,7% mixed and 34,2% coniferous forest of the total study site. The recent clear cuts represent  $8,5 \text{ km}^2$ , this being 1,6% of the total area. The forest classification map shows that approximately 62% of the study site is covered in forest.

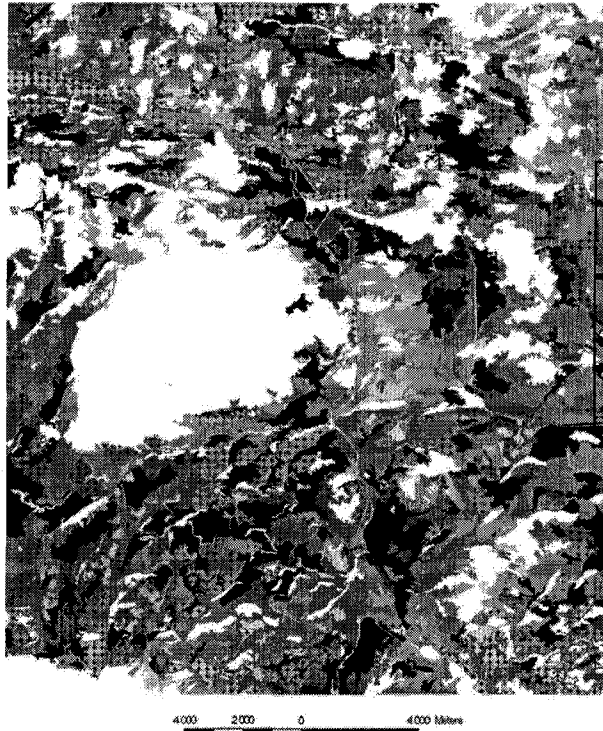


Figure 7. Forest classification of the study site based on the SPOT multispectral image acquired in October 2005. (Legend shown in figure 3).

For validation purposes, the density classes derived from the satellite image were compared to the ecoforest map of the region (Ministère des ressources naturelles, 2000) even though some of the classes were not exactly the same. This comparison between the 2 forest classifications is shown in table 1, where the NA category corresponds to different forest density classes.

For the satellite image classification, we grouped every vegetation surface or the other surfaces without forest cover including the alpine areas in the *no forest* class. When we combined the *low density* class with the *no forest* class for both types of data classification, we find equivalent surfaces (203 km<sup>2</sup> for ecoforest map and 196 km<sup>2</sup> for the satellite image). It seems that the satellite image classification overestimate the areas of high forest density (81-100%) conversely to the ecoforest map that overestimates the intermediate density areas (41-80%). This could result from the spectral signature of the under layer vegetation disturbing the analysis of the satellite data as well as the topography modifying the reflection of the vegetation. In future studies, rectification of the topographical effects would be necessary before the classification analysis.

Table 1. Comparison of density classes (areas in km<sup>2</sup>) between the SPOT satellite image and ecoforest map.

	NO FOREST	0-40%	25-40%	41-80%	81-100%	TREES 1.5 AND 6 M
ECO-FOREST MAP	107	NA	86	217	76	10
SAT. IMAGE	164	32	NA	147	153	NA

The analysis of the 10 meter resolution SPOT image shows the potential of this type of image integrated in a GIS. The fact that the analysis is based on the spectral signature of elements makes it possible to know the forest cover for every area studied automatically and systematically. Furthermore, this analysis could be done regularly over time, at every satellite overpass, thus updating the data in as close to real time as possible.

Because the analysis of the satellite imagery was done with a general optic it appears that the image resolution was not precise enough for the lower forest density areas (between 0 and 25% of forest cover). It would be probably better to work with Ikonos or QuickBird satellite images having a 1 meter resolution. Moreover, the ecoforest map derived from aerial photos does not provide enough precise forest density classes to evaluate the avalanche potential of the terrain in relation to forest density cover.

#### 4.3 Inventory of avalanche events

Forty-five avalanches were reported dating between 1986 and 2006 and were integrated in our database. These avalanche reports are situated in 19 different avalanche paths. The number of avalanches catalogued is relatively small considering that hundreds of avalanches of all sizes may run during a winter in the study area. For example, ninety avalanches were reported in a study done in the winter 1989 (Girard and Héту, 1989). However, the avalanche events of this study were not added to our database because the information about each event was not precise enough. Thus, the lack of basic information, like the date and the specific localisation of the avalanches, explains the reason why only a few avalanche events were reported in the database. However, the avalanches catalogued in the study are exceptional either because of the size or because of the involvement of people.

Each avalanche reports contain lots of information about climatic and snow conditions that caused the avalanches. The parameters noted in the database about the avalanche events followed the Canadian Avalanche Association guide "*Directives d'observation et des normes d'enregistrement des conditions météorologiques, du manteau neigeux et des avalanches*" (CAA, 2002). The integration of the avalanche database reports with the digital atlas makes it possible to extract every parameter of the database. In other words, the analysis of these parameters in a GIS allows a better understanding of the processes involved and to compare the behaviour of each avalanche paths as well as to visualise the spatial distribution of these events. Figure 8 shows a thematic map of the number of avalanches reported per avalanche path for the Mount Albert sector.

However, a bigger sample and more detailed information about avalanche events would be necessary to make use of the full potential of the avalanche database integrated to the digital avalanche atlas in a GIS.



Figure 8. Number of avalanche reports per avalanche path for the Mount Albert sector.

#### 4.4 Classification of Mount Albert by exposure to avalanche terrain

The results of the classification of the Mount Albert areas by the ATES are shown in figure 9. The delimitation of the boundaries of the areas was done using the natural contours of the terrain like ridges, streams, cirques and or altitude. Thirty-eight areas were finally delimited. Each of them were analysed in relation to every

parameter of the technical model of Parks Canada, except the *glacier* parameter. We found that six areas were classified as 1 (simple terrain or low avalanche potential), 12 areas were classified as 2 (challenging terrain or medium avalanche potential) and finally, 20 areas were classified as 3 (complex terrain or high avalanche potential). The number associated with each areas of figure 9 represents their identification number.

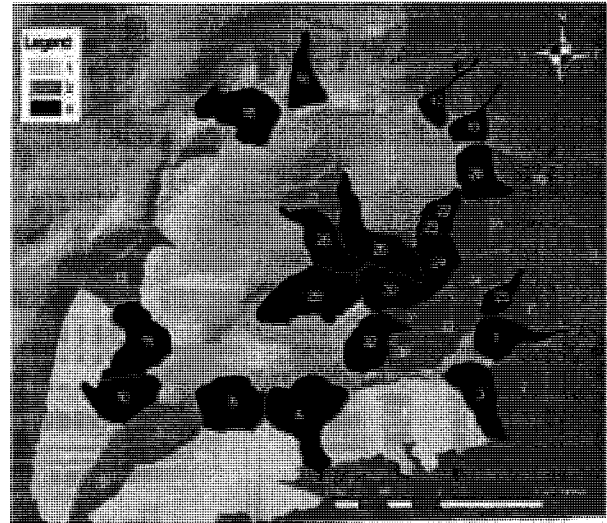


Figure 9. Classification of Mount Albert areas by exposition to avalanche terrain.

In terms of surface, 32% of the total surface of the Mount Albert sector is classified as 1, 27% of the surface is classified as 2 and 41% as 3. Note that the summit plateau, having a relatively large surface, was not included in any of the areas. Thus it was not part of the percentage calculation. If so, the surface percentage of class 1 areas would increase considerably.

Another classification was performed for the Mount Albert sector taking into consideration the parameter *exposition to dominant winds* that is not present in the technical model the ATES. As opposed to the other terrain parameter of the ATES, this parameter evaluates the avalanche potential according to the snow component. Figure 10 shows the results of this classification for the same thirty-eight areas. Since the dominant winds of the region are from the north and north-west, we attributed a class of exposition to avalanche terrain in relation to that direction. The numbers inside the areas represent their classification number according to the ATES parameter (class number from figure 9).

The areas situated under the dominant winds are more favourable to snow accumulation. However, this parameter cannot

be considered like the other ATES parameters that are more "stable" in time. Snow storms can sometime come from the south or east. The study site is particularly affected by the north and north-west dominant wind because of its high frequency and its strength. As a result, they redistribute the snow and ablate the hillsides exposed to the dominant winds.

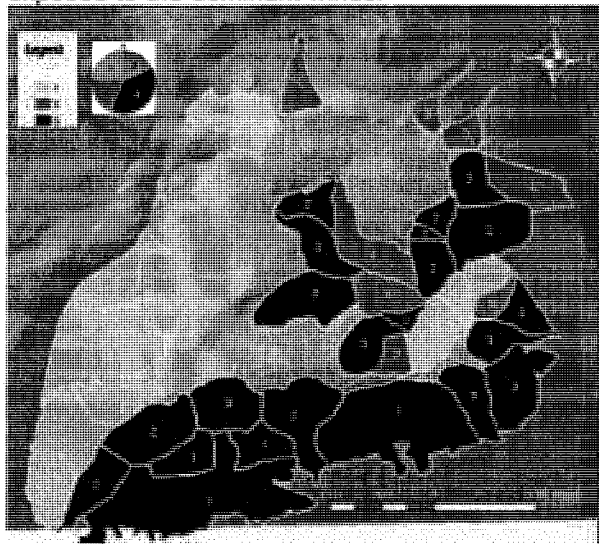


Figure 10. Classification of Mount Albert areas in relation to their exposition to dominant winds. (see the pie chart under the legend for the orientation associated to the 3 classes)

## 5. DISCUSSION

The method used to locate and to analyse certain topographical characteristics of the potential avalanche zones and to integrate the avalanche events database showed its efficiency. Using GIS capabilities, we are also able to isolate terrain parameters or some avalanche events to create thematic maps that would tell us more about the specific signature of the avalanche paths. One of the main advantages of the digital atlas is that it can be easily updated. Future avalanche events or new topographical characteristics collected in the field and the discovery of new avalanche paths will be easily added to the database and drawn into the GIS. This version of the digital atlas is a tool or platform on which the future information and knowledge about the avalanche problematic of the Chic-Chocs can be grouped, shared and studied.

However, this study also showed that the potential of the tool to visualise and synthesise the information of the database will only be fully exploitable when there will be more details associated with the avalanche events reported.

From the classification of the Mount Albert areas based on the ATES, we notice that most of the terrain of this sector is highly exposed to avalanches but that there also exist many areas of less or no exposition to avalanches. This tool permitted a general localisation of the areas more or less exposed. The classification map could become another tool for managing avalanche risk in the sector. From a managers' point of view, the classification map give another vision of the territory showing its potential for winter activities. As mentioned before, the major problematic of the Mount Albert sector is the terrain access restriction to most areas. In the sector, only 2 areas are open to practice winter activities, like backcountry skiing or snowboarding, making it impossible for the recreationists to select terrain according to their capacities or on the snow stability conditions. Moreover, the 2 open areas are classified as being class 2 and 3, medium avalanche potential or challenging terrain and high avalanche potential or complex terrain.

From a recreationists point of view and putting forward the possibility of the Mount Albert sector being entirely open, the classification map could be a complementary tool to the avalanche bulletin issued by the ACHG for the park. The park's visitors could use the map to better plan their trips and make more advised terrain choices according to the snow stability.

The relatively small and confined avalanche terrain found in the region, compared to other mountainous regions of Canada, could be seen as less problematic to create a safe environment for the people by informing them about the risk in time and space.

## 6. CONCLUSION

The avalanche problematic of the Chic-Chocs has been growing since the past decades because of the increasing number of visitors coming to practice winter activities in the avalanche terrain of the Parc de la Gaspésie, the Chic-Chocs reserve and other neighbouring reserves. Actions were taken to face the problem, like the creation of "avalanche danger" signs in the most frequented areas and the effort of the ACHG to educate and inform the visitors and recreationists staying in the Chic-Chocs about the presence of avalanche danger.

This research project put a new tool forward to integrate and analyse spatial data about avalanches. This type of system should improve management and prevention of

avalanche risks. The mapping done within this study is considered as a minimum standard in risk management but is also innovative because of the use of GIS as a platform to do spatial analysis and because of inclusion of the use of the new avalanche terrain exposition scale.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

This project was financed by the Conférence Régionale des Élu(e)s (CRÉ), Gaspésie, Îles de la Madeleine, by the Centre d'Applications et de Recherches en Télédétection de l'Université de Sherbrooke and by the Canadian Avalanche Fondation. We greatly thank the staff of the Avalanche Center of the Haute-Gaspésie: Dominic Boucher, Jean-Pierre Gagnon, Stéphane Gagnon and Philippe Gautier for their precious collaboration in this project. We are also very grateful for the help and data provided by Francois Boulanger, director of the Parc de la Gaspésie, and Daniel Germain. We also thank Grant Statham, Alan Jones, John Kelly, Mike Boissonnault for their helpful advices and/or the data provided. We also want to thank the people of Ste-Anne-des-Monts that participated in the investigation and the SeaShack for the accommodation.

#### REFERENCES

- Boucher, D. and S. Gagnon, 2002 : Modification de l'offre d'activités hivernale en vue d'une gestion sécuritaire du risque d'avalanche au mont Albert, parc de la Gaspésie. Report presented to the Parc de la Gaspésie, Centre d'Avalanche de la Haute-Gaspésie, 10 pp.
- Canadian Avalanche Association, 2002: *Observation Guidelines and Recording Standards for Weather, Snowpack and Avalanches*. Revelstoke B.C., Canada, 78 pp.
- Germain, D., 2005: *Dynamique des avalanches de neige en Gaspésie, Québec, Canada*. Ph.D. dissertation, Departement of geography, Université Laval, Québec, Canada : 172 pp.
- Girard, J.F. and B. Héту, 1989 : Le Mont-Albert, Parc de la Gaspésie. Inventaire des avalanches et cartographie des zones à risques. Departement of geography, Université du Québec à Rimouski, 37 pp.
- Héту, B. et A. Bergeron, 2004 : Analyse des conditions météorologiques et des facteurs de terrain propice au déclenchement des avalanches. Centre d'Avalanche de la Haute-Gaspésie. Report on the Québec Collaborative Avalanche Project, 87 pp.
- Héту, B., 2006 : Les avalanches de neige ont tué près de 60 personnes au Québec : Où, quand, pourquoi ? Conference on the avalanches problematic in Québec, Université du Québec à Rimouski.
- Jones, A., 2002: *Avalanche run-out prediction for short slopes*. M.S. thesis, University of Calgary, 125 pp.
- Lied, K. and U. Domass, 2000: *Avalanche hazard assessment in Nunavik and Cote-Nord, Québec*. Norwegian Geotechnical Institute, 34 pp.
- Ministère des Ressources Naturelles, 2000 : *Système d'information écoforestière (SIEF)*. Forêt Québec, Direction des inventaires forestiers, 20 pp.
- Ordre des ingénieurs forestiers du Québec (OIFQ), 1997 : *Manuel de foresterie. Communication*. Science-Impact, Québec, 1425 pp.
- SEPAQ, 2006: *Statistical data of frequentation of the Gaspésie Park from 2000 to 2005*. Société des établissements de plein air du Québec (Sépaq), Gouvernement du Québec.
- Stethem, C., B. Jamieson, P. Schaerer, D. Liverman, D. Germain and S. Walker, 2003: Snow avalanche hazard in Canada: A review. *Natural Hazard*, **28**, 487-51

