

LES IMPACTS ENGENDRÉS PAR LA MODIFICATION DU RÉGIME HYDRIQUE,
DÉCOULANT DE L'ENNEIGEMENT ARTIFICIEL

par

Anne-Sophie Demers

Essai présenté au Centre de formation en environnement en vue de l'obtention du grade de
maître en environnement (M.Env.)

CENTRE UNIVERSITAIRE DE FORMATION EN ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Sherbrooke, Québec, Canada, mars 2006

IDENTIFICATION SIGNALÉTIQUE

LES IMPACTS ENGENDRÉS PAR LA MODIFICATION DU RÉGIME HYDRIQUE, DÉCOULANT DE L'ENNEIGEMENT ARTIFICIEL

Anne-Sophie Demers

Essai effectué en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.)

Université de Sherbrooke

mars 2006

Mots-clés : centre de ski, enneigement artificiel, érosion, mortalité arborescente, réseau hydrographique, barres d'eau, mesures correctrices.

L'enneigement artificiel est devenu un instrument incontournable pour assurer la compétitivité et la rentabilité d'un centre de ski. Par contre, la fabrication de neige artificielle a des impacts sur les composantes bio-physiques du massif. Cette analyse vise à identifier ces impacts et à interpréter les processus s'y rattachant. La démonstration de l'impact de l'enneigement artificiel sur la mortalité arborescente et arbustive, sur la progression des sites d'érosion et sur la modification du régime d'écoulement des eaux permettra de proposer un plan de mesures d'atténuation, dans le but de limiter ces impacts, mais aussi de procéder à une restauration du milieu.

SOMMAIRE

Depuis la fin des années 1980, la plupart des centres de ski ont adopté la pratique de l'enneigement artificiel pour s'assurer une saison de ski débutant vers la fin novembre, mais aussi pour conserver le couvert nival tout au long de la saison, indépendamment des fluctuations des températures. Cette pratique assure donc la rentabilité des centres de ski, mais elle engendre plusieurs conséquences environnementales. De plus, peu d'études ont été conduites sur les répercussions de cet apport de neige supplémentaire, ce qui mène parfois à une utilisation non-conforme ou abusive de l'enneigement artificiel.

Les centres de ski démontrent aujourd'hui un intérêt croissant pour la protection de l'environnement. La prise de conscience des impacts reliés aux activités de gestion des centres récréo-touristiques, ainsi que la conscientisation de la clientèle aux enjeux environnementaux se conjuguent pour favoriser une gestion responsable des activités de fonctionnement des stations. En ce sens, les gestionnaires du Mont Orford ont exprimé leur intérêt pour connaître davantage les impacts liés à l'enneigement artificiel et les méthodes pour limiter ces impacts sur les composantes bio-physiques du massif.

En effet, l'apport de précipitations supplémentaire engendré par la fabrication de neige artificielle suppose une quantité importante d'impacts sur le milieu naturel. L'objectif de cet essai sera tout d'abord de quantifier cet apport supplémentaire de la charge hydrique. Pour ce faire, la distinction entre le bruit de fond et les précipitations artificielles sera précisée pour pouvoir isoler la charge supplémentaire en eaux de ruissellement subit par le massif et ainsi pouvoir démontrer comment cette charge supplémentaire va affecter les composantes de l'environnement.

La démarche visera, en seconde partie, à identifier les impacts engendrés par la fabrication de neige artificielle. Une observation sur les monts Orford, Giroux et Alfred-Desrochers est donc nécessaire pour identifier et pour quantifier ceux-ci. Cette analyse tiendra compte de plusieurs paramètres : les altérations au réseau hydrographique (barres d'eau, ruisseaux tributaires, ruisseau Castle), les réactions du sol (les sites d'érosion ponctuels et le cas d'érosion sur la « 4

kilomètre »), les répercussions sur le couvert végétal (pelouse des pentes, strate arbustive, strate arborescente) et, finalement, les réactions de la faune (aquatique et terrestre).

Cette analyse visera d'abord à confirmer le lien de causalité entre la fabrication de la neige par la station récréo-touristique du Mont Orford et plusieurs atteintes aux composantes biophysiques du milieu. Ensuite, elle visera à quantifier ces impacts. Le second objectif consistera à situer les sites problématiques afin de parvenir à cibler les actions à entreprendre.

Les conclusions de cette seconde partie permettront de proposer un plan de réhabilitation pour la station en regard des impacts identifiés, et également de proposer des modalités de gestion de l'enneigement artificiel pour le futur, afin d'éviter ou d'atténuer au maximum les impacts reliés à cette pratique.

Dans le but de rendre un plan de réhabilitation pratique et applicable par les acteurs de la station, une liste des mesures correctrices sera élaborée. Une priorisation dans les actions sera aussi proposée, afin de permettre aux gestionnaires de prendre des décisions éclairées dans l'application de ces mesures.

En conclusion, l'analyse sur le terrain et le suivi des documents déjà produits permettront de conclure que les impacts engendrés par la fabrication de neige sont nombreux. En ce sens, il est essentiel d'utiliser cet outil avec diligence, d'adopter des mesures de contrôle pour réduire au minimum la fabrication de neige artificielle et, enfin, de mettre en place des mesures d'atténuation pour les impacts qui subsisteront.

REMERCIEMENTS

Je désire tout d'abord remercier M. Richard Cooke, mon directeur d'essai, pour son expertise, son support constant ainsi que pour son inestimable rôle de pédagogue. Ses encouragements et son dévouement dans la réalisation du présent essai ont été un apport précieux pour la réussite de cette analyse ainsi que pour le maintien de ma motivation tout au long de cette étude. Je tiens, par la même occasion, à remercier les intervenants-clés du centre de ski du Mont Orford pour leur disponibilité et leur participation à cette analyse. Parmi ceux-ci, mentionnons les gestionnaires de la station, en particulier M. André L'Espérance, qui a démontré un intérêt marqué pour la réalisation de cette étude. Un remerciement aussi au directeur de la montagne, M. François Sénécal, et à son équipe de terrain pour le partage de leurs connaissances et de leurs documents, plans et devis. Finalement, je tiens à remercier le Centre de formation en environnement pour leur disponibilité, leur soutien et leur implication tout au long de ce processus d'apprentissage et pour le partage de leur expertise du domaine de l'environnement.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1. MISE EN CONTEXTE	5
2. LES PRÉCIPITATIONS	7
2.1 Le bruit de fond	7
2.1.1 Les précipitations nivales	8
2.1.2 Durée	9
2.1.3 Accumulation au sol	10
2.1.4 Période de redoux	11
2.1.5 Les précipitations pluviales	12
2.2 La neige artificielle	12
2.2.1 La densité de la neige produite	13
2.2.2 Le volume de la neige produite	15
2.2.3 Durée	16
2.2.4 La période d'enneigement	16
3. LES IMPACTS SUR LE MILIEU	17
3.1 Méthodologie	18
3.1.1 Méthode d'échantillonnage	18
3.1.2 Paramètres choisis	18
3.2 Les altérations du réseau hydrographique	22
3.2.1 Barres d'eau et canaux de drainage	22
3.2.2 Ruisseaux tributaires	28
3.2.3 Ruisseau Castle.....	28
3.3 Les réactions du sol	30
3.3.1 Les sites d'érosion ponctuels.....	30
3.3.2 Le cas particulier de la « 4 kilomètre »	34
3.4 Les répercussions sur le couvert végétal	34
3.4.1 Les pelouses des pentes	35
3.4.2 La strate arbustive.....	36
3.4.3 La strate arborescente	37
3.5 La réaction de la faune	45
3.5.1 La faune aquatique	45
3.5.2 La faune terrestre	46
4. PLAN DE RÉHABILITATION	48

4.1	Énumération de mesures correctrices	48
4.1.1	Pratique d'enneigement	48
4.1.2	Programme d'entretien des aménagements de contrôle de l'érosion	51
4.1.3	Réhabilitation et programme d'entretien de la « 4 kilomètre »	52
4.1.4	Implantation d'un programme de suivi des sites d'érosion.....	52
4.1.5	Atténuation des impacts sur le ruisseau Castle.....	53
4.1.6	Revégétalisation	54
4.2	Priorités d'intervention.....	55
	CONCLUSION	57
	RÉFÉRENCES.....	60
	ANNEXE 1 – FICHES SIGNALÉTIQUES	63
	ANNEXE 2 – CARTE DES HYDRANTS SUR LE MASSIF DU MONT ORFORD	67
	ANNEXE 3 - RELEVÉ DE L'ÉROSION SUR LA « 4 KILOMÈTRE »	69
	ANNEXE 4 - PHOTOS AÉRIENNES DU MASSIF DU MONT ORFORD	73

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 3.1	Données homogènes pour les barres d'eau.....	25
Figure 3.2	Atteinte à la végétation, par l'érosion à la sortie d'une barre d'eau.....	27
Figure 3.3	Déchaussement des arbres sur les berges du ruisseau Castle.....	29
Figure 3.4	Données homogènes pour les niveaux d'érosion.....	33
Figure 3.5	Atteinte à la pelouse des pentes.....	35
Figure 3.6	Cas de mortalité arborescente causée par les cristaux de glace.....	39
Figure 3.7	Données homogènes sur la mortalité arborescente.....	42
Figure 3.8	Données homogènes sur la mortalité arborescente.....	43
Figure 3.9	Données homogènes sur la mortalité arborescente.....	44
Tableau 2.1	Synthèse des données sur les précipitations nivales naturelles enregistrées pour le mont Orford en 2004.....	9
Tableau 2.2	Moyenne des précipitations mensuelles naturelles des 30 dernières années, station Bonsecours.....	10
Tableau 2.3	Observation de la couverture de neige au sol au mont Orford.....	11
Tableau 2.4	Caractéristiques de l'Étang-aux-Cerises.....	13

INTRODUCTION

L'enneigement artificiel est reconnu comme étant essentiel à la qualité de l'expérience offerte aux usagers d'un centre de ski, à la précocité de l'ouverture de la saison et sert souvent à parer aux aléas de la météo. Par contre, les composantes naturelles de ces massifs montagneux ont subi de sévères agressions lors des activités d'aménagement du réseau d'enneigement et continuent d'encaisser, année après année, des impacts causés par : l'enneigement artificiel, la consommation de l'eau nécessaire à la fabrication de la neige, le travail mécanique sur les pentes par des machineries, l'entretien des remontées mécaniques ou, plus simplement, la seule présence humaine dans un milieu naturel.

De plus, le centre de ski opéré par Mont Orford inc. envisage, au cours des prochaines années, compléter l'étendue de son réseau d'enneigement artificiel sur la troisième montagne du domaine skiable, le versant est du mont Alfred-Desrochers. Ces travaux d'expansion devraient mener à une amélioration globale de la qualité de la neige ainsi que de la rapidité d'enneigement (Sénécal, 2005).

Les diverses branches du ruisseau Castle coulant sur le massif ont atteint leur point d'équilibre depuis le retrait du dernier glacier (Landry et Mercier, 1992). Cette situation d'équilibre a permis l'émergence et le maintien de conditions d'habitat relativement stables, propices à l'implantation d'un couvert forestier alimenté, entre autres, par un réseau hydrographique doté d'un régime ne présentant que de faibles variations. De plusieurs façons, les perturbations imposées au milieu par l'implantation et l'opération d'un centre de ski de pente sont venues rompre cet équilibre. La fabrication de neige artificielle, qui entraîne un volume d'eau plus important à dévaler les pentes à chaque printemps, résulte en une charge supplémentaire à supporter par le réseau hydrographique de la montagne.

Le présent essai consiste donc à analyser les différents impacts sur les composantes biophysiques conséquents à la modification du régime hydrique du massif du mont Orford engendrée par l'enneigement artificiel. Cette analyse des impacts environnementaux permettra ensuite d'identifier des mesures d'atténuation visant à contrer les impacts

environnementaux résultant de cette pratique. Finalement, ces mesures d'atténuation des impacts constitueront la pierre angulaire d'un plan de réhabilitation, pour favoriser une gestion durable du domaine skiable par les promoteurs actuels et à venir, dans le cadre élargi de la gestion du domaine skiable. Une meilleure gestion passe donc par la compréhension du modèle de précipitations artificielles qui impose une charge supplémentaire en eau sur le régime d'écoulement naturel.

C'est donc ce décalage entre le régime des précipitations naturelles (bruit de fond) et le régime actuel (enneigement artificiel et précipitations naturelles) qui sera observé, quantifié et dont le comportement sera modélisé, afin de déterminer comment cette surcharge en précipitations peut avoir des impacts sur les composantes bio-physiques de la montagne et des cours d'eau environnants. Le massif du mont Orford a la particularité qu'un de ses monts, le mont Alfred-Desrochers, ne reçoit aucune neige artificielle bien que soumis aux mêmes conditions climatiques et intempéries et recevant la même quantité de précipitations naturelles que les deux autres entités du massif, ce qui permet de faire une étude comparative et ainsi de valider les effets de l'enneigement artificiel.

La démarche suivie pour la réalisation de cet essai se divise en trois parties qui chacune, fera l'objet d'une méthodologie particulière.

La première partie consiste à dresser un portrait le plus juste possible des précipitations naturelles sur les monts Giroux, Orford et Alfred-Desrochers. Dans le but de faire une bonne caractérisation de départ du régime hydrique du domaine skiable du mont Orford, il s'avère nécessaire de recenser précisément la quantité de précipitations naturelles que le massif reçoit par année.

Ensuite, dans un souci d'obtenir des données homogènes et représentatives, une moyenne des 30 dernières années des précipitations nivales et pluviales sera établie à l'aide des données de la station Bonsecours, opérée par le service de météorologie du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs : Climat Québec. Toujours dans le même souci d'obtenir des données représentatives, un portrait de l'enneigement artificiel sera dressé en se

référant à la quantité de neige artificielle fabriquée au cours de chacune des cinq dernières années. Ce recul permettra de déterminer le volume total des précipitations naturelles et artificielles qui caractérise les trois monts du massif, et ce, sur une période de temps significative. Avec ces données fiables, il sera donc possible de déterminer, avec la certitude nécessaire aux objectifs de cet essai, comment ces deux régimes de précipitations distincts se conjuguent pour affecter le sol, la végétation en place et certaines caractéristiques du réseau hydrographique local.

En seconde partie, une étude de terrain s'impose pour décrire les impacts sur les composantes bio-physiques des portions de versant qui font l'objet d'un tel enneigement artificiel. Le document produit pour le Parc du Mont Orford, intitulé « Monitoring de l'érosion des pistes de ski », élaboré par Vincent Lecoq en 1997, sera comparé avec le suivi des mêmes paramètres effectué par Simon Guillemette l'année suivante, pour déterminer la progression des sites affectés par l'érosion sur les pistes du massif. Des enregistrements photographiques serviront à illustrer les réactions du milieu aux forces d'érosion. Les éléments pris en compte seront plus particulièrement les barres d'eau, le réseau hydrographique, les voies de circulation automobile et le couvert végétal. Enfin, une visite des pistes permettra de déterminer la progression de l'érosion qui s'est produite sur les sites répertoriés dans les deux études citées précédemment.

Finalement, les données recueillies lors des deux premières étapes ainsi que l'analyse du milieu permettront, dans la troisième partie de cet essai, de proposer un plan de réhabilitation pour freiner la progression de ces impacts et, dans la mesure du possible, de réhabiliter les sites dégradés. En dernier lieu, la liste des mesures correctrices proposées sera remise aux gestionnaires du mont Orford pour une mise en place de solutions applicables, ainsi que pour leur permettre d'élaborer un programme de suivi constant des améliorations apportées au domaine skiable.

Cet essai sera appuyé de plusieurs références, provenant de monographies, de périodiques scientifiques, de sites Internet, mais surtout de communications personnelles tenues avec des experts et des gestionnaires de la montagne. Ces sources d'information s'avèrent

particulièrement pertinentes pour cette analyse, puisque peu d'études ont porté sur l'enneigement artificiel. Il faut aussi prendre en considération que la prise de conscience des gestionnaires face à cet impact environnemental est relativement nouvelle.

Les résultats de cette démarche présentent un intérêt indéniable pour tous les gestionnaires de centres de ski du Québec, qui se retrouvent face à la nécessité de fabriquer de la neige artificielle pour pouvoir être concurrentiels et rentables.

De plus, cet outil d'analyse sert à l'accomplissement de la mission éducative des Parcs et répond aux principales préoccupations environnementales vis-à-vis d'un équipement critiqué. L'apport original de cet essai sera donc de fournir un outil utilisable pour les centres de ski québécois, avec un plan de gestion de l'érosion en montagne qui pourra s'adapter à plusieurs centres de ski.

1. MISE EN CONTEXTE

Le centre de ski de pente du Mont Orford fait partie intégrante du Parc national du Mont-Orford. À ce titre, l'aménagement et l'opération de cet équipement récréatif doivent souscrire aux grands paramètres de la mission de conservation dévolue aux territoires reconnus comme tels par la loi sur les Parcs. De cette loi, découle une mission dont l'énoncé se lit comme suit: « Les parcs nationaux du Québec sont établis et gérés en vertu des mêmes standards que les parcs nationaux implantés partout dans le monde. Ils doivent ainsi répondre à deux grands objectifs : la protection permanente des milieux naturels et l'accessibilité du public à des fins éducatives et de pratique d'activités de plein air. Parcs-Québec a pour mission la protection permanente et la mise en valeur de milieux représentatifs de l'une ou l'autre des quarante-trois régions naturelles du Québec ou de lieux présentant des caractéristiques naturelles exceptionnelles (Parcs Québec, 2005). »

Le centre de ski de pente, géré par la compagnie de gestion Mont Orford inc, est un territoire sous bail à l'intérieur du Parc national du Mont-Orford. De ce fait, les gestionnaires de la station de ski doivent souscrire aux dispositions de la loi sur les Parcs et de ses règlements, de façon à s'intégrer et à participer au volet conservation de la mission des parcs. Pour ce faire, Mont Orford inc. a décidé de s'impliquer dans la réalisation d'un travail visant à réduire les impacts découlant de l'opération d'un centre de ski de pente.

En plus de cette exigence contractuelle, il importe de mentionner que le public est de plus en plus conscientisé face au respect de l'environnement et qu'il exprime lui aussi des exigences face aux sites qu'il choisit pour pratiquer ses sports de loisir. Les gestionnaires du centre de ski ont donc tout intérêt à offrir une expérience dans un milieu qui rencontre les standards modernes de respect de l'environnement.

La plupart des aménagements effectués à la station de ski, depuis les années 1940, ont eu des impacts, principalement sur les composantes forestières du massif. En effet, les technologies limitées de l'époque faisaient en sorte que les aménagements devaient obéir au modelé du

terrain, ce qui en réduisait la portée sur les processus naturels qui, laissés relativement intacts, ont permis à la montagne de cicatiser les marques de ces interventions.

Un projet de revitalisation du centre, entrepris au milieu des années 1980, a vu l'aménagement de nouvelles pistes, le remodelage du relief d'une bonne partie du domaine skiable et l'implantation d'un système d'enneigement artificiel (Delta associated group, 1984). Ce projet a eu des impacts majeurs notamment en raison des modifications radicales imposées au régime hydrique et au relief de la montagne (Teknika, 2000). Depuis cette époque, environ 85 % du domaine skiable des monts Orford et Giroux sont enneigés artificiellement (Sénécal, 2005).

L'enneigement artificiel a débuté au mont Orford en 1984 (Delta associated group, 1984). En effet, avec les variations du climat, les hivers de moins en moins rigoureux, et afin de pouvoir rivaliser avec les autres grosses stations de ski du Québec et des États-Unis, il était devenu incontournable pour un centre de ski de fabriquer sa neige artificiellement. En effet, depuis l'hiver 1979-1980 où les pluies se sont abattues sur l'est du Canada pendant toute la durée de la période des fêtes, les trois quarts des soixante-dix stations de ski au Québec se sont équipées d'un système d'enneigement (De Billy, 2000).

L'implantation d'un système de pompage et d'un réseau de canons à neige demande un investissement important, mais les propriétaires de centre de ski n'avaient pas d'autres alternatives pour faire face aux réalités du marché et demeurer concurrentiels (De Billy, 2000).

2. LES PRÉCIPITATIONS

Il est nécessaire, dans le cadre de cette étude, de déterminer le régime des précipitations naturelles, tout d'abord pour éviter de confondre les impacts associés au cycle naturel de l'eau de ceux qui résultent d'une érosion et autres conséquences qui résultent du recours à l'enneigement artificiel.

Tout écosystème montagneux est soumis aux forces de l'érosion et libère ainsi une certaine charge sédimentaire dans les cours d'eau environnants. Dans ce cas-ci, le but est d'identifier les différents niveaux d'érosion en montagne et les impacts associés à l'ajout de neige artificielle. Pour ce faire, il est essentiel de distinguer les deux types de précipitations pour identifier clairement la charge supplémentaire imposée à l'écosystème par la fabrication de neige artificielle.

2.1 Le bruit de fond

Le point de départ de cette étape consiste à établir une comparaison entre le volume des précipitations naturelles que reçoit le massif (le bruit de fond) et les précipitations artificielles qui s'ajoutent à ces dernières pour les monts Giroux et Orford par le jeu de l'enneigement artificiel. Le mont Alfred-Desrochers n'étant pas enneigé artificiellement, mais présentant les mêmes caractéristiques climatiques que les deux autres, permet d'analyser deux éléments statistiquement comparables, permettant ainsi d'atteindre les fins de cet essai. Cette comparaison permettra d'établir le surplus de précipitations qui, à chaque printemps, dévale les pentes affectant ainsi certaines composantes des monts en question : le sol, la végétation, le réseau hydrographique et certains aménagements visant à contrer les effets néfastes d'une érosion non contrôlée.

Le volume d'eau est un critère qui a une très grande importance dans la quantification de l'érosion qui sévit en montagne. En période de dégel, la densité de la neige revêt une importance capitale puisqu'elle influence directement le volume d'eau qui sera libéré sur les pentes.

Pour tenir compte de cette réalité, il sera essentiel de prendre en considération la densité de la neige fabriquée artificiellement, de façon à obtenir un estimé le plus juste possible du volume total d'eau qui est libéré sur les pentes. La question de la densité a une seconde influence sur le processus d'érosion; la neige plus dense prenant plus de temps à fondre. Il y a donc fort à parier que la période durant laquelle les sols (surtout ceux qui sont déjà attaqués par l'érosion) sujets à l'action des forces érosives est significativement plus longue sur les monts Orford et Giroux, que sur le mont Alfred-Desrochers.

En effet, les gestionnaires du centre ont mentionné que certains secteurs plus enneigés artificiellement conservent leur couvert de neige jusqu'à la première semaine de juin alors que la presque totalité des pentes du massif sont débarrassées de leur couvert nival vers la mi-mai (Duranleau, 2005). Ces affirmations sont corroborées par une étude effectuée par la firme Teknika (Teknika, 2001).

2.1.1 Les précipitations nivales

Les données de la station Bonsecours, opérée par Climat Québec, du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, et située à une latitude de 45 24 N, à une longitude de 72 16 W et à une altitude de 297 mètres, seront utilisées pour documenter cette partie de l'essai. Ces données nous renseignent en effet sur l'importance des précipitations de neige naturelle mesurées à chaque année pour le mont Orford.

Les données des trente dernières années ont été recensées et analysées, ce qui a permis de constater une constance dans les précipitations annuelles, tel que démontré par le tableau 2.1. Par contre, il est important de prendre en considération que les prévisions sur les changements climatiques pourraient modifier cette constance dans le futur régime des précipitations. Le tableau 2.1 fait état des précipitations de neige naturelles enregistrées sur le massif pour l'année 2004.

Tableau 2.1 Synthèse des données sur les précipitations nivales naturelles enregistrées pour le mont Orford en 2004

	Janv	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Chute de neige (cm)	70.9	53.7	51.3	20.7	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	28.3	54.7
Moyenne de la couverture de neige (cm)	21	30	29	3	0	0	0	0	0	0	2	13
Médiane de la couverture de neige (cm)	22	31	30	2	0	0	0	0	0	0	1	13
Couverture de neige-fin de mois (cm)	26	31	11	0	0	0	0	0	0	0	3	20

Tiré d'Environnement Canada (2005)

2.1.2 Durée

Le caractère essentiel de la durée de la période d'enneigement naturel exige d'intégrer ce paramètre à la présente analyse. La période moyenne des premières chutes de neige entre 1970 et 1999 se situe dans le mois d'octobre. De plus grosses bordées de neige tombent habituellement au mois de novembre. Les chutes de neige plus importantes se terminent au mois de mars pour atteindre à peu près la quantité des précipitations observées au mois de novembre pour le mois d'avril. Entre les années 1970 et 1999, le massif du mont Orford a reçu 284,43 centimètres de neige en moyenne annuellement (Environnement Canada, 2005). Par contre, au mois d'octobre, les quantités sont minimales, la moyenne étant de 28,14 cm, et doublant presque le mois suivant, atteignant en moyenne à 57,58 cm. Ces données font ressortir le besoin indiscutable d'un enneigement artificiel pour assurer la rentabilité des stations de ski opérant sous nos latitudes. Le tableau 2.2 fait ressortir les données sur les précipitations naturelles mensuelles consignées sur le massif au cours des trente dernières années.

Tableau 2.2 Moyenne des précipitations mensuelles naturelles des 30 dernières années, station Bonsecours

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Précipitation de neige moyenne (cm)	69.80	53.38	51.37	19.72	1.71	0.0	0.0	0.0	0.0	1.98	28.14	57.58
Moyenne de la couverture de neige (cm)	29.25	33.69	16.48	0	0	0	0	0	0	0	4.40	22.38
Précipitation pluie moyenne (mm)	27.31	17.86	38.03	66.87	101.6	104.7	132.2	133.7	108.3	96.12	72.95	31.99
Précipitations totales (mm)	98.04	71.24	89.30	86.57	103.3	104.7	132.2	133.7	108.3	98.08	101.1	89.55
Évapotranspiration potentielle (mm)	0	0	0	22.87	74.52	104.5	122.5	105.7	66.77	32.19	0	0

Tiré d'Environnement Canada (2005)

2.1.3 Accumulation au sol

Tel que démontré dans les tableaux 2.1 et 2.2, l'accumulation au sol est négligeable pour les mois de novembre et de décembre atteignant en moyenne de 4,40 cm et 22,38 cm respectivement, pour ensuite augmenter au mois de janvier et se maintenir autour de 30 cm dans les mois de février et mars (Environnement Canada, 2005).

La couverture de neige du mont Orford a été suivie périodiquement par la firme de consultants Teknika afin d'évaluer le taux de fonte de la neige. Le tableau ci-dessous indique les épaisseurs de neige au sol qui ont été mesurées à différents endroits sur le mont pour l'année 2001. En début mai, la neige sur le mont Orford était complètement fondue à l'exception des pistes de ski (Teknika, 2001). Le tableau 2.3 fait état des observations de la cette firme sur la progression de la fonte du couvert nival.

Tableau 2.3 Observation de la couverture de neige au sol au mont Orford

Lieux	Mi-mars 2001	mi- avril 2001	Début mai 2001
Au pied de la montagne	1,2 m	0,5 m	0,0 m
À la mi-hauteur de la montagne	1,7 m	1,4 m	0,0 m
Au sommet de la montagne	1,4 m	0,8 m	0,0 m

Tiré de Teknika (2001)

Ces données, non seulement, confirment le besoin d'enneigement artificiel pour préserver la compétitivité du centre de ski en terme de précocité du début de la saison, mais aussi en terme de maintien de qualité du couvert nival durant cette même saison. Ce qui justifie les périodes d'enneigement réparties plus tard durant la saison.

2.1.4 Période de redoux

On ne dénombre, pour l'année 2004, aucune période de redoux entre les mois de novembre et mars, c'est-à-dire pendant la période d'opération de la station de ski. On peut donc conclure qu'il n'y a pas eu de fonte entre ces mois qui auraient pu diminuer la charge de la crue printanière. Les moyennes fournies par les données de la station Bonsecours ne font pas état de période de redoux entre les mois de novembre et de mars, mais les températures maximales moyennes font état de dépassement pour les mois de novembre et de mars (respectivement de 3,96 degrés Celsius et de 1,48 degrés Celsius).

Ceci nous amène à la conclusion qu'il y a normalement peu de fonte de neige avant le mois de mars sur le massif du mont Orford (Environnement Canada, 2005). Cette donnée suggère que la charge additionnelle de précipitations a probablement un impact sur l'érosion qui se produit sur le domaine skiable, en raison de la durée relativement courte de la période durant laquelle ces eaux de fonte dévalent les pentes.

2.1.5 Les précipitations pluviales

Les précipitations totales de pluie pour l'année 2004 sont de l'ordre de 939,5 mm. Donc, le total des précipitations nivales et pluviales pour 2004 est de 1222,3 mm. La moyenne (des 30 dernières années) des précipitations pluviales annuelles pour le massif est de l'ordre de 937,80 mm et la moyenne des précipitations totales de 1970 à 1999 est de 1213,8 mm. Les précipitations reçues en 2004 démontrent un accroissement significatif des précipitations pluviales (Environnement Canada, 2005).

En conclusion, il est relativement certain que cet apport additionnel de pluie se traduit par une augmentation de l'érosion sur les pentes, puisque la quantité d'eau qui ruisselle sur les pentes est plus importante.

2.2 La neige artificielle

Actuellement, le centre de ski fabrique de la neige artificielle dans le but d'offrir des surfaces skiables plus étendues et plus sécuritaires, ainsi qu'une saison plus longue à sa clientèle. Cette neige est soufflée principalement sur les pistes du mont Orford et sur le versant nord du mont Giroux tandis que le mont Alfred-Desrochers ne fait l'objet d'aucun enneigement (Duranleau, 2005).

L'Étang-aux-Cerises est la source d'approvisionnement en eau pour la fabrication de neige artificielle au mont Orford. Cet étang est situé à 2,5 kilomètres du domaine skiable et se retrouve à l'intérieur du Parc national du Mont-Orford. Sa réserve d'eau totale est de 1 489 059 m³. Sa superficie approximative est de 60 hectares. Il draine un bassin versant d'environ 16,1 km². L'étang a été créé vers 1950 lors de la construction d'une digue de retenue d'eau. L'évacuation se fait par une structure de type « cheminée » ainsi que par un déversoir rocheux (Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, 2005).

En dépit des nouvelles technologies et des dernières générations d'enneigeurs plus performants, Mont Orford inc. devra accroître le volume de prélèvement d'eau à l'Étang-aux-Cerises (Sénécal, 2005). Les modifications requises à la prise d'eau actuelle devront faire

l'objet au préalable d'un certificat d'autorisation du ministère de l'Environnement du Québec, en vertu de la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE; art. 22). Néanmoins, au présent stade de planification, Mont Orford inc. estime que le prélèvement d'eau à l'Étang-aux-Cerises pourrait passer de l'ordre de 310 000 m³ à environ 375 000 m³, soit une augmentation estimée d'environ 20 % (Arbour et associés, 2005).

Cette ponction représente environ 25% du volume total de l'étang. Il est certain qu'un tel prélèvement a un impact sur les communautés fauniques en dormance et qui devraient être immergées pour la durée de l'hiver afin de survivre aux périodes de gel sévère, qui caractérisent les mois de janvier et de février.

Il va de soi qu'un tel prélèvement pourrait avoir des conséquences significatives tant pour la végétation riparienne que pour la faune qui habite cet étang et celle qui y trouve une partie de sa subsistance. Lors des sessions de consultations des groupes environnementaux régionaux, effectuées par M. Léopold Gaudreau, dans le contexte du contesté projet de développement domiciliaire, M. Gaudreau s'est engagé à faire réaliser une étude d'impacts visant à déterminer les conséquences d'un tel prélèvement pour l'enneigement artificiel du mont Alfred-Desrochers (Cooke, 2005). Le tableau 2.4 présente les données sur l'Étang-aux-Cerises.

Tableau 2.4 Caractéristiques de l'Étang-aux-Cerises

Altitude (m)	266,7
Largeur maximum (km)	0,4
Largeur moyenne (km)	0,3
Longueur maximale (km)	2,3
Profondeur maximale (m)	7,6
Profondeur moyenne (m)	2,1
Nombre de tributaires	8,0

Inspiré du Ministère des Ressources naturelles de la Faune et des Parcs (2005).

2.2.1 La densité de la neige produite

Le recours à la densité de la neige produite artificiellement permettra d'établir la quantité de neige qui est ajoutée aux précipitations naturelles annuellement.

Pour calculer la densité de la neige produite, il faut prendre en considération que la neige artificielle va contenir plus ou moins d'air dépendamment de son utilisation (remplissage ou recouvrement) et de la température ambiante lors de sa production.

En effet, par temps froid, la neige artificielle requiert moins d'air, tandis que celle fabriquée par temps chaud en contient davantage (Richard, 2005). Pour fabriquer la neige artificielle, il faut atomiser l'eau en fines gouttelettes, assurer deux nucléations et projeter le mélange suffisamment haut et à une température assez froide pour qu'elle se cristallise avant de retomber sur le sol (De Billy, 2000).

Selon l'étude effectuée par la firme Teknika, la densité de la neige artificielle est de $\pm 0,35\text{g/cm}^3$ (Teknika, 2001), tandis que la densité de la neige naturelle est de $0,9\text{g/cm}^3$. Cette donnée est toutefois aléatoire considérant, comme mentionné précédemment, que la quantité d'eau varie sensiblement en fonction de la température. Cette donnée est présentée seulement à titre indicatif de l'apport additionnel que représente l'enneigement artificiel.

De ce fait, on peut conclure que la neige artificielle, ayant une densité de près de trois fois supérieure à la neige naturelle, libèrera, à la fonte, un volume d'eau de trois fois supérieur au volume libéré par la neige naturelle. À cet ajout, par le biais de la densité relative, il faut additionner le différentiel entre le bruit de fond et l'épaisseur de neige artificielle produite (qui varie selon les sites du domaine skiable) et ajouter à ce différentiel l'accroissement de volume généré lors de la fonte par le jeu de la densité accrue de la neige artificielle.

L'épaisseur de la neige artificielle atteint 1,2 mètre en moyenne sur la totalité du domaine skiable artificiellement enneigé, ce qui équivaut à l'épaisseur du couvert naturel au pied de la montagne, à 70% du couvert naturel au sommet et à 86% de ce même couvert à mi-pente (Duranleau, 2005). On peut donc en conclure que l'enneigement artificiel impose l'équivalent d'un volume additionnel de précipitations d'environ 700% de la valeur du bruit de fond.

La neige artificielle et la neige naturelle diffèrent, tant dans leurs paramètres physiques que dans leur composition chimique. Alors que la neige naturelle est formée de plaquettes

hexagonales et d'étoiles à six branches, la neige fabriquée par les canons se présente sous la forme de petites billes glacées contenant cinq fois plus d'eau qu'un flocon et formant un manteau beaucoup plus dense que la neige naturelle. Un mètre cube de neige naturelle contient environ 18 millions de cristaux de neige qui présentent tous une configuration hexagonale, car l'eau congelée produit invariablement un motif à six facettes. Les flocons naturels pèsent donc de 40 à 80 kilos par mètre cube tandis que les grains artificiels ne peuvent être guère plus légers que 330 kilos par mètre cube (De Billy, 2000).

Dans sa composition chimique, ce qui diffère provient du fait que la neige naturelle contient des particules atmosphériques cueillies pendant sa chute vers la terre, tandis que la neige fabriquée par les canons est constituée d'eau de rivière ou de lac chargée de sédiments, de métaux et de micro-organismes (Devarenes, 1994). De ce fait, la neige artificielle a un PH plus basique que la neige naturelle, ce qui pourrait théoriquement constituer un impact positif en neutralisant le PH du choc acide printanier que subissent les cours d'eau de la région, en raison du caractère acide des précipitations naturelles.

2.2.2 Le volume de la neige produite

Avec une consommation d'eau de 359 693 058 litres d'eau pour l'année 2004, le centre de ski du Mont Orford a fabriqué un volume de 517 761 m³ de neige, ce qui a permis de couvrir une surface de 419.75 âcres-pied. Ces données concernant la fabrication de neige comprennent aussi tous les tests effectués en début de saison, qui utilisent aussi une quantité considérable de litres d'eau (Mont Orford inc, 2005) Ce soutirage correspond à un débit continu d'environ 47 litres/seconde. Par contre, cette donnée sur la consommation d'eau ne peut être retenue pour la comparaison avec le bruit de fond du massif en raison de l'évaporation qui se produit durant tout l'hiver et qui est impossible à quantifier.

Selon la Direction de l'exploitation hydrique et de la gestion des barrages publics du ministère de l'Environnement, le soutirage maximum qui pourrait être autorisé ne doit pas excéder 20% du débit d'étiage, dans le cas présent, 17.6 litres/seconde. Or, le soutirage actuel représenterait environ 2.7 fois cette valeur (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parc, 2005) (Q.2.r7).

2.2.3 Durée

L'enneigement artificiel est continu en première phase de la saison, quoique plus intensif durant les premières semaines pour hâter le début de la saison de ski. Par contre, d'année en année, les canons à neige fonctionnent à partir du 20 novembre pour arrêter vers le 15 janvier, alors que la couverture de neige est bien installée et que la température ne risque plus de faire fondre l'épais tapis de neige compactée produite dans les mois précédents (Richard, 2005). En tout, pour la saison 2004-2005, le total des heures d'opération concernant la fabrication de la neige a été de 1161.8 (Mont Orford inc, 2005). Par contre, il est évident que l'intensité d'utilisation des canons à neige varie selon les températures de chaque période hivernale.

2.2.4 La période d'enneigement

La neige artificielle est fabriquée pendant une période d'environ 60 jours par année, soit de la mi-novembre à la mi-janvier. Généralement, les pentes de ski sont recouvertes d'environ 1.2 mètre de neige compactée (Richard, 2005).

3. LES IMPACTS SUR LE MILIEU

L'objectif ultime visé par cet essai est de présenter aux gestionnaires de la station de ski un programme de corrections des impacts de l'opération du domaine skiable. La station étant en opération depuis plusieurs décennies, il va de soi que certains de ces impacts sont statiques et, de ce fait, facilement repérables. Pour ce faire, un inventaire le plus exhaustif possible des impacts observables devra être réalisé.

Toutefois, l'enneigement artificiel étant relativement récent, il a plusieurs types d'impacts qui sont encore en évolution. De façon à donner un caractère évolutif à la présente démarche, en plus de l'inventaire des impacts statiques, un programme de suivi des impacts récents sera élaboré. Ce programme permettra aux gestionnaires de repérer l'apparition de nouveaux impacts au fur et à mesure qu'ils se produisent, mais aussi et surtout, d'être outillés adéquatement pour prioriser leurs décisions en fonction de la gravité des cas qui se présentent.

L'enneigement artificiel est, au départ, un moyen d'allonger la saison de ski, en devançant l'ouverture du domaine skiable, même si la température ne s'y prête pas toujours et, parfois, de pallier aux pertes liées aux périodes de redoux, intempestives pour le maintien d'un couvert nival essentiel.

Justifié en ce contexte, ce moyen a malheureusement servi à d'autres fins; on l'a utilisé comme palliatif à diverses situations indésirables pour lesquelles une solution environnementale était plus exigeante, soit en coût ou en effort d'aménagement. Ainsi, on a eu recours à l'enneigement artificiel pour corriger des accidents de terrains, pour couvrir des superficies érodées susceptibles de générer des conditions de glisse non sécuritaires pour les usagers, ou encore pour agrandir les superficies de glisse au détriment de la végétation arbustive.

Ce recours aux canons à neige n'est pas gratuit; il y a d'abord des coûts pécuniaires liés au fonctionnement, à l'entretien et à l'usure des équipements d'enneigement eux-mêmes : pompes, compresseurs, canons et conduites. Il y a aussi des coûts indirects : utilisation des

cours d'eau, érosion accrue des pentes, atteintes au couvert forestier, impacts sur les habitats fauniques tant terrestres qu'aquatiques, qui sont tous d'ordre environnemental et, malheureusement, présentent souvent des effets de longue durée et, dans certains cas, irréversibles.

3.1 Méthodologie

Pour avoir une vision globale des répercussions de l'enneigement artificiel sur le milieu, il est nécessaire de procéder à une cartographie des impacts répertoriés sur les pistes prospectées.

3.1.1 Méthode d'échantillonnage

Pour répertorier les impacts sur le milieu, une visite des pistes de ski s'impose, de même qu'une observation des rives et du lit des ruisseaux. Dans un souci d'efficacité, il a été décidé que six pistes seraient parcourues, réparties sur les trois monts, afin de procéder à l'étude comparative entre les monts Giroux et Orford, enneigés artificiellement, et le mont Alfred-Desrochers, qui reçoit seulement de la neige naturelle. Cette analyse devrait être suffisante pour dresser un portrait réaliste des impacts liés à la modification du régime hydrique et de l'efficacité des aménagements existants. Des modèles de fiches d'enregistrement des paramètres mesurés sur le terrain sont présentés à l'annexe 1. L'analyse des paramètres sera consignés sur la carte des hydrants du domaine skiable, présentée à l'annexe 2.

3.1.2 Paramètres choisis

Quatre paramètres seront considérés dans la collecte de données. Tout d'abord, la mortalité des arbres autour des hydrants sera observée. Cette mortalité, reliée au manchonnage des rameaux par les cristaux de glace, sera quantifiée en tenant compte de deux facteurs, c'est-à-dire la distance concentrique entre l'hydrant et les arbres morts et le taux de mortalité des arbres.

Par contre, il importe de mentionner qu'à un certain degré une faible couche de glace sur les branches des arbres peut avoir un effet protecteur pour ceux-ci. En effet, cette mince couche

de glace protège les bourgeons contre une dessiccation provoquée par les vents glaciaux hivernaux (Cooke, 2005). Il sera donc important de faire la nuance entre ce qui est bénéfique comme couverture de neige et ce qui est dommageable pour la végétation. La caractérisation de cette mortalité arborescente, allant de nulle à sévère, a été quantifiée de la façon suivante :

0-2 arbres	mortalité faible
3-5 arbres	mortalité moyenne
6-7 arbres	mortalité sévère
8 arbres et plus	mortalité très sévère.

Finalement, la consignation de ces taux de mortalité sera faite sur la carte des pistes pour permettre de localiser où se retrouve la mortalité et à quel niveau elle sévit autour de chacun des hydrants. La carte de l'enneigement artificiel sera utilisée pour la consignation des données (Station touristique du Mont Orford, 1983). Un lien de causalité pourra alors être établi entre la sévérité de la mortalité arborescente et l'intensité de l'enneigement, tenant compte que les pentes les plus abruptes reçoivent davantage de neige artificielle que les surfaces plus planes, qui subissent un temps d'enneigement plus long. Les caractéristiques du massif se doivent aussi d'être considérées au même titre que la dénivelée. En effet, la direction des vents par rapport à la direction des buses des canons peut contribuer à la gravité de l'impact, ainsi que l'absence ou la présence de corridors de végétation pouvant faire obstacle à ces vents lors de l'opération des canons à neige.

Il est aussi important de faire la distinction entre les arbres ayant subi le verglas de 1998 et ceux morts à cause de l'enneigement, afin d'éviter un biais. Une observation conduite par les gestionnaires du parc à l'époque de la tempête de verglas leur a permis d'identifier les arbres à ce moment là, car ces derniers étaient tous cassés dans la partie supérieure de la cime. Les arbres affectés par le manchonnage provoqué par l'enneigement artificiel, quant à eux, ont conservé intacte leur cime. Les premiers ne seront donc pas consignés dans l'inventaire de la mortalité arborescente.

Le deuxième paramètre à considérer est l'état de la strate arbustive qui, en raison de l'ensoleillement intense présent, se développe en bordure des pistes et constitue ce qu'il est convenu d'appeler une haie de bordure. Il s'agira d'observer où la strate arbustive n'a pu se développer. Pour éviter les biais, il est à noter qu'une première observation a démontré que le côté droit des pistes n'est pas exposé à un ensoleillement aussi intense que le côté opposé. De ce fait, l'absence ou l'interruption de la strate arbustive sera considérée seulement pour le côté droit (en regardant vers le haut) des pistes à l'étude, afin de comparer des éléments qui soient comparables.

Le troisième paramètre sera la caractérisation des sites d'érosion. La méthode d'analyse utilisée a été basée sur la méthode développée par LeCoq et présentée ci-après.

Niveau 1 : La perte du couvert végétal est visible, mais le départ des sédiments est négligeable. Ce sont des zones où une érosion future est anticipée.

Niveau 2 : En plus de la perte de couvert végétal, la présence d'ornières dues au passage de la machinerie ou le creusement modéré d'un sillon par le ruissellement sont caractéristiques de ce niveau. Le départ de sédiments est visible et la stabilité du sol peut être altérée.

Niveau 3 : Effondrement modéré des bordures d'une barre d'eau ou d'un canal de drainage ou encore creusement d'un sillon profond et large par un ruissellement sévère ou par le passage de la machinerie. Un début d'affaissement de terrain est aussi considéré de niveau 3.

Niveau 4 : Zone où l'érosion est très marquée, caractérisée par d'importants effondrements de terrain. Ces effondrements peuvent être situés en bordure d'une barre d'eau ou d'un canal de drainage, au niveau d'un ponceau mal aménagé ou à un endroit où l'on retrouve un intense ruissellement souterrain. Un vaste affaissement de terrain est aussi considéré comme une zone érodée de niveau 4.

Le traitement de ce troisième paramètre consistera donc à retourner sur les sites d'érosion de niveau 3 et 4 identifiés par Lecoq pour déterminer si ces sites d'érosion sont en progression,

demeurent stables ou ont été corrigés. De plus, la progression de l'érosion sera comparée à l'analyse faite par Simon Guillemette, produite en 1998, qui a revisité tous les sites identifiés par Lecoq, dans son suivi de l'érosion des pentes de ski alpin. Nous serons donc en mesure de voir si certains de ces sites sont en progression sur les trois montagnes. Le système de quantification établi par Lecoq et repris par Guillemette sera réutilisé dans le cadre de cet essai afin d'obtenir des résultats pouvant être comparés.

Le dernier paramètre à considérer pour avoir un portrait global et complet des impacts environnementaux consiste à vérifier l'état des barres d'eau sur les pistes, c'est-à-dire les andains aménagés à 30 degrés pour ralentir la vitesse d'écoulement de l'eau et la diriger vers les cours d'eau ou les aménagements effectués sur les bordures des pistes.

Dans cette optique, deux points seront donc à considérer : premièrement, l'érosion ponctuelle à la sortie aval de chacune des barres d'eau et, deuxièmement, les atteintes perpétrées au fonctionnement de ces dernières ainsi que l'échancrure provoquée par le passage de la machinerie dans l'axe de la pente, s'il y a lieu. Ces trois paramètres seront consignés dans la légende de la carte selon une approche dichotomique : barres d'eau fonctionnelles ou disfonctionnelles. Cette première approche sera elle-même divisée en deux catégories : avec ou sans érosion pour chacune de ces deux catégories dichotomiques.

De plus, dans un souci d'élargir l'analyse, d'instaurer un suivi à plus long terme ainsi qu'une méthode anticipée de contrôle de l'érosion, plusieurs bancs de graviers exondés ont été peints sur les sites de ruissellement et seront revisités suite à la crue printanière pour mesurer sur quelle distance on dénote un transport de gravier, ainsi que le calibre des particules.

Finalement, la méthode de suivi mise en place a consisté à enfoncer des clous d'une longueur de 6 pouces, sur une superficie de un mètre carré dans des parois d'argile soumises à l'érosion. Cette approche permettra de déterminer la vitesse de progression de l'érosion à ces endroits précis. Un retour sur le site après les crues printanières s'impose donc ici aussi, afin de mesurer sur quelle longueur la tige de chacun de ces clous aura été déchaussée.

Même s'il est relativement facile de conclure positivement l'hypothèse de départ de cet essai par le seul jeu des observations effectuées sur le terrain, l'élaboration de la liste de recommandations qui conclura le présent exercice exige que chacun des paramètres d'analyse soit repris et décrit pour faire ressortir les différentes réactions des composantes bio-physiques du massif à une augmentation significative du volume de précipitations imposée au site par le biais de l'enneigement artificiel.

3.2 Les altérations du réseau hydrographique

Pour les besoins de l'étude, les barres d'eau artificiellement aménagées sur les pentes, qui interceptent les eaux de ruissellement et les déversent dans la litière de la forêt, peuvent être considérées pour les besoins de notre analyse comme des extensions du réseau hydrographique naturel. Considérant que l'entretien des pistes en saison estivale et l'érosion provoquée par les eaux de ruissellement entraînent des altérations, en plusieurs points similaires à celles observées dans le ruisseau Castle, l'analyse des impacts sera effectuée en utilisant une même méthodologie.

3.2.1 Barres d'eau et canaux de drainage

On appelle « barres d'eau » les canaux artificiels aménagés obliquement dans une piste pour évacuer les eaux. Pour leur part, les canaux de drainage peuvent être naturels ou artificiels; ces derniers circulent toujours en ligne de pente, parallèlement à la piste, tandis que certains canaux naturels traversent la piste obliquement, mais jamais de façon rectiligne comme c'est le cas pour les barres d'eau (Guillemette, 1998).

Vers la fin des années 1980, des travaux pour l'amélioration du domaine skiable ont été effectués (Teknika, 2000). Ces travaux, exécutés sur les monts Giroux et Orford, ont inclus plusieurs mesures visant à contrôler l'érosion : la création de barres d'eau et de canaux de drainage, la mise en place de bassins de sédimentation ainsi que la pose de géotextile à la sortie des barres d'eau et au niveau des zones sensibles. Par contre, dans une étude post-

impact, ces mesures ont été jugées insuffisantes et mal entretenues (Cooke, 1993). Cette conclusion est aussi partagée par les travaux de Lecoq et de Canuel.

La mise en place du système des barres d'eau s'est avérée, en général, bénéfique pour les monts Orford et Giroux. Par contre, le manque d'entretien régulier de ces installations a occasionné une perte de leur efficacité. Par exemple, plusieurs barres d'eau observées dans l'analyse ont été rendues inefficaces par le passage de la machinerie, tandis que certains ponceaux ont perdu de leur efficacité en raison soit du blocage de leur entrée, soit d'un aménagement déficient (stabilisation du sol) à leur extrémité amont. Le passage de la machinerie lourde affecte la stabilité du substrat et favorise le ruissellement en ligne de pente, créant des sillons importants dans la barre d'eau et dans le sol, immédiatement en aval de ces fuites. En aval, lorsque les barres d'eau sont obstruées, l'écoulement va alors se faire selon l'axe de la pente et l'on pourra observer la création de canaux de drainage importants.

Bien que la très grande superficie à couvrir ait rendu impossible la visite de toutes les pistes, l'échantillon retenu lors de l'étude permet cependant de confirmer que ces structures sont en très grande majorité affectées par les modalités de gestion et d'opération actuelles du domaine skiable.

Les barres d'eau présentent des altérations, soit au niveau de leur forme elle-même ou au niveau de leur point de sortie dans le couvert forestier. De plus, la forme des barres d'eau est, dans un nombre élevé de cas, écrasée par le passage des machineries (tracteurs, chenillettes ou quad). Il en résulte soit un affaissement soit une échancrure de leur bordure aval. Cet affaissement ou, selon le cas, cette échancrure offre une voie de sortie pour les eaux de ruissellement dans l'axe longitudinal de la pente.

Comme ces altérations ont pour caractéristique première de briser le couvert végétal (strate herbacée), elles deviennent de facto des sites d'érosion qui progressent au fil des années. Les observations effectuées en période estivale ont permis de constater qu'aucun chemin préférentiel n'était conçu pour le passage de la machinerie, et que, dans la grande majorité des

pistes, cet état de fait a suffi à sectionner les barres d'eau et à les rendre, de ce fait, complètement désuètes.

Certaines barres d'eau, notamment celles aménagées sur le tiers inférieur du massif, en raison du volume d'eau accrue qui transite d'une part, et d'autre part du calibre granulométrique des particules de sol à cette altitude, ont été équipées de bassins de sédimentation. L'analyse effectuée a permis de constater que ces bassins sont comblés. La végétation qui s'y est établie au fil du temps démontre que ces bassins n'ont jamais été entretenus par les gestionnaires successifs. De plus, un chenal d'écoulement observé dans l'axe de la sortie de la barre d'eau et dénudé de toute végétation ainsi qu'une voie d'eau recouverte de gravier à nu à la voie de sortie de ces bassins démontre que l'érosion est encore active en plusieurs endroits du massif.

Ces barres d'eau orientées diagonalement par rapport à l'axe longitudinal des pentes ont pour fonction d'intercepter les eaux de ruissellement et de les diriger vers le couvert forestier où, en principe, elles doivent se disperser dans la litière de la forêt.

Les résultats enregistrés sur la figure 3.1 démontrent bien cette situation. En effet, bien qu'une très grande portion des exutoires des barres d'eau observées pendant la période estivale ait démontré des signes d'érosion, et que plusieurs aient été aussi répertoriées comme étant disfonctionnelles, ce bloc présente une homogénéité spécifique aux aménagements du tiers inférieur de la montagne.

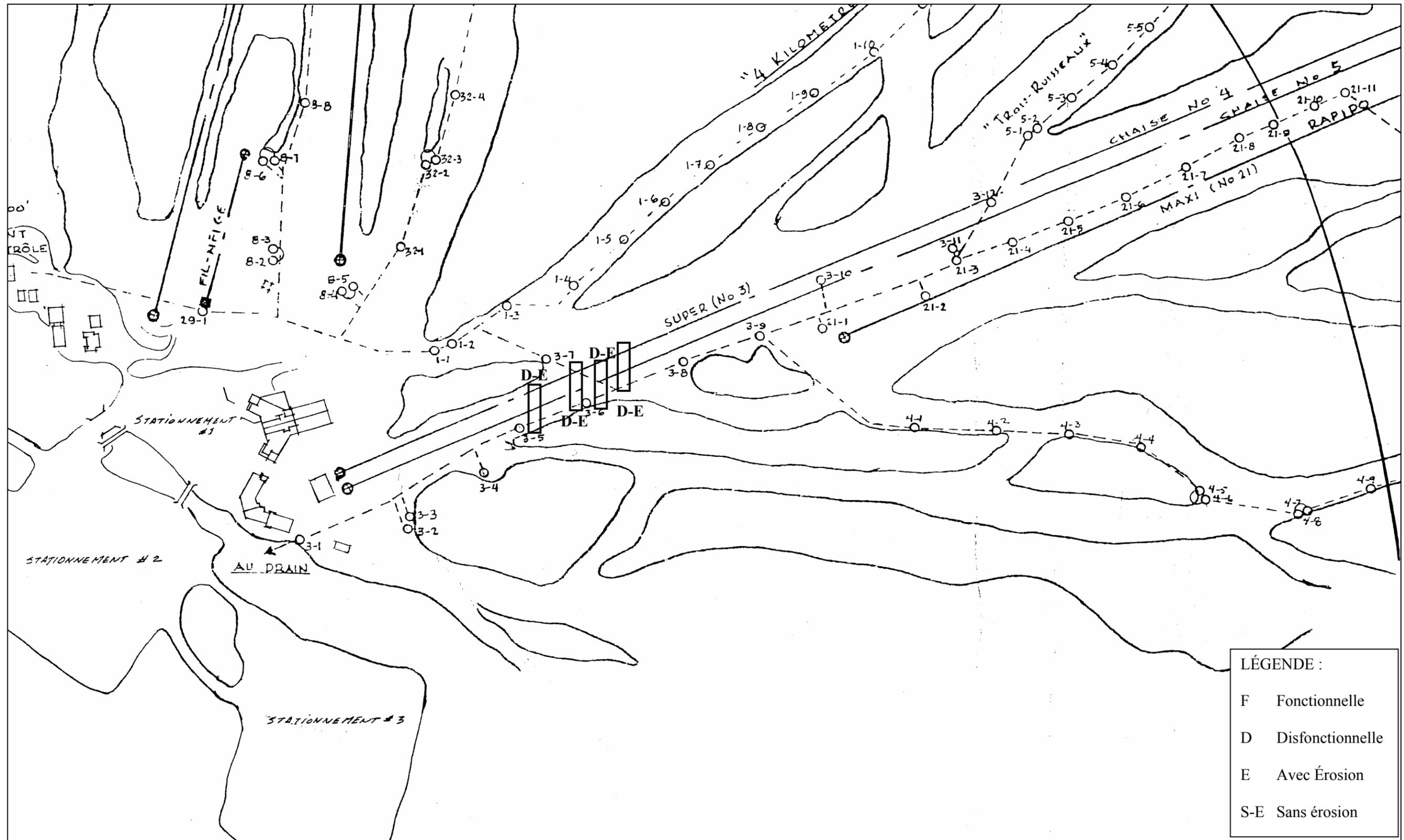


Figure 3.1 Données homogènes pour les barres d'eau - Modifié de Station Touristique du Mont Orford, 1983

En effet, on peut observer que ce bloc, situé à la base du mont Orford et recevant les eaux de ruissellement de plusieurs pistes, présente des barres d'eau à intermittence très rapprochée, dans le but de pouvoir répartir une plus grande quantité des eaux de ruissellement. Par contre, malgré leur nombre important, elles présentent toutes des signes d'érosion importants et ont été considérées dans l'analyse comme étant disfonctionnelles. La désuétude des aménagements de la base de la montagne et la multiplicité des problèmes observés sur la partie inférieure des monts portent à affirmer que le système des barres d'eau comporte certains problèmes et que ces dernières ne permettent pas de gérer efficacement les eaux de ruissellement et les sédiments qu'elles transportent.

Sur la totalité des barres d'eau observées, plusieurs constantes ont été notées. Tout d'abord, on peut voir que la distance entre chacune des barres d'eau le long d'une piste joue grandement sur l'efficacité de celles-ci. En effet, aux endroits où les barres d'eau sont très espacées les unes des autres, on observe qu'elles ne peuvent plus jouer leur rôle, puisqu'elles sont remplies de sédiments et qu'elles présentent des signes d'érosion à la sortie des canaux : cela porte à croire que les eaux de ruissellement ne sont pas dispersées dans le couvert forestier sans créer de dommage à ce dernier, ou que ces eaux se retrouvent à ruisseler le long de la pente sans possibilité d'être dirigées vers la végétation. La figure 3.2 démontre bien l'inefficacité à la sortie des barres d'eau pour diffuser l'eau dans le couvert forestier.



Figure 3.2 Atteinte à la végétation, par l'érosion à la sortie d'une barre d'eau

Un calcul du volume des eaux à intercepter permet habituellement de déterminer le nombre de barres d'eau à aménager et aussi de préciser l'intervalle qui doit les séparer afin que l'énergie potentielle du volume d'eau intercepté se diffuse dans la litière de la forêt sans y créer de sites, ni de voies d'érosion (Ayotte, 2005). Or, les observations effectuées démontrent que ce calcul n'a pas fait l'objet d'un suivi après les premiers aménagements. Il a donc été possible de répertorier plusieurs barres d'eau dont l'exutoire démontre des signes d'érosion sévères.

Cette situation engendre deux problématiques qui s'inscrivent dans l'enjeu de l'atteinte d'une gestion optimale du massif. En premier lieu, ces voies d'érosion ont pour effet de dénuder le système racinaire des arbres, leur causant ainsi un préjudice sévère. En deuxième lieu, il se produit un arrachement de la couche de sol qui se manifeste par une sédimentation des cours d'eau (Bergeron, 2005).

3.2.2 Ruisseaux tributaires

Le principal cours d'eau qui draine le massif du mont Orford est le ruisseau Castle. Ce dernier se caractérise par un embranchement relativement touffu sur chacune des montagnes du massif (Provencher, 1980). Les ruisseaux tributaires, de forme dendritique, prennent leur source sur les pentes et, de ce fait, sont affectés par l'augmentation du régime hydrique provoquée par l'enneigement artificiel. Non seulement, sont-ils gonflés par un apport à leur tête, mais aussi par le flux transporté par les nombreuses barres d'eau qui se déversent à proximité de leur parcours (Canuel, 2003).

Cet accroissement de volume a pour effet d'enfoncer le ruisseau dans ses sédiments, ce qui remet en circulation un volume imposant de sédiments qui, inmanquablement, se retrouvent dans le cours inférieur du ruisseau Castle. Avant l'époque de l'enneigement artificiel, cette partie constituait un habitat de première qualité pour les salmonidés si bien que, dans les années 1970-80, le Service d'exploitation et de l'aménagement de la faune de l'Estrie avait accordé le statut de sanctuaire de reproduction pour les salmonidés au ruisseau Castle (Demers, 2005).

3.2.3 Ruisseau Castle

Le ruisseau Castle traverse les municipalités d'Orford, d'Austin et de Magog. Son bassin versant couvre une superficie de 37.3 km³ (Demers, 2005). Ce ruisseau a des ramifications sur chacun des trois monts constituant le massif du mont Orford (Provencher, 1980). Depuis plusieurs années, le ruisseau Castle souffre d'un problème d'érosion, de sédimentation du lit et d'érosion des berges et l'on retrouve des sédiments qui sont transportés en période de crue jusqu'au lac Memphrémagog à l'embouchure du ruisseau (Bergeron, 2005).

Cette problématique est liée à des phénomènes naturels et à des activités humaines. Une des conséquences de cette érosion est l'augmentation de la quantité de sédiments déposés dans le delta sub-aquatique situé à l'embouchure du ruisseau. La formation de ce haut-fond amène des problèmes d'eutrophisation du lac et gêne la libre circulation des bateaux de plaisance. Selon une étude effectuée par la MRC de Memphrémagog en 2005, la qualité de l'eau du ruisseau

est douteuse pour le phosphore total. Le phosphore étant d'origine agricole, ce constat prévaut pour les biefs médian et inférieur de ce cours d'eau. La station d'échantillonnage, placée sur l'affluent nord, à environ 1.2 km en aval de la station de ski, démontre que les activités d'opérations du domaine skiable contribuent au problème de sédimentation observé dans ce ruisseau (Curry, 2005).

De plus, on peut établir une certaine corrélation théorique entre le volume de neige produite et le volume d'eau qui viendra augmenter l'amplitude de la crue printanière que devront subir les berges du ruisseau Castle. Les arbres déchaussés, observés de part et d'autre du ruisseau, résultant des crues antérieures, témoignent d'un gonflement de niveau des eaux qui atteint le sommet des berges. Ce déchaussement des arbres occasionné par cet apport supplémentaire des eaux de fonte est bien démontré à la figure 3.3.



Figure 3.3 Déchaussement des arbres sur les berges du ruisseau Castle

3.3 Les réactions du sol

L'érosion est une perte de terrain causée par la force que génère l'eau en descendant une pente (Canuel, 2003). Les problèmes d'érosion en montagne sont dues en partie aux pentes abruptes, au faible couvert végétal et aux minces couches de sol, caractéristiques du relief montagneux (Curry, 2005).

Il est probable qu'une bonne partie des sédiments retrouvés dans le ruisseau Castle proviennent du passage des eaux de ruissellement dans la forêt où elles se chargent en sédiments, à la vitesse et au débit de l'eau. Le travail de l'érosion naturelle en montagne est un processus continu, caractérisé par un rythme de progression, des volumes de sédiments, des tendances qui expriment un certain point d'équilibre entre les diverses composantes telles la pente, la granulométrie du sol, la végétation en place et les précipitations (Cooke, 1993). Sur les pentes du massif du mont Orford, cet équilibre s'était établi au fil des quelque 12 000 ans qui ont suivi le retrait du dernier glacier (Landry et Mercier, 1992).

3.3.1 Les sites d'érosion ponctuels

Selon les analyses effectuées par Guillemette, entre 1997 et 1998, la progression du nombre de zones érodées se situe à +37% sur le mont Giroux, +29% sur le mont Orford et -6% sur le mont Alfred-Desrochers. Cette réduction observée sur le mont Alfred-Desrochers nous apparaît directement liée aux travaux de stabilisation effectués sous la gouverne de la firme Teknika, en 2000 (Côté, 2005).

Dans le suivi de l'érosion effectué en 1998, un total de 146 zones érodées ont été répertoriées, dont 106 de niveau 2, 23 de niveau 3 et 17 de niveau 4. En ce qui concerne l'érosion de niveau 4, on la retrouve à 42% sur le mont Orford et à 29% pour les monts Giroux et Alfred-Desrochers. L'étude constate que l'érosion est la plus élevée sur le mont Giroux, particulièrement sur les zones érodées de niveau 2.

En comparant les données de 1998 avec celles de Lecoq répertoriées l'année précédente, on peut conclure que le mont Giroux est le massif qui a enregistré une plus forte progression de

l'érosion. Ensuite, on note que le mont Orford compte quelques zones érodées de moins, sauf que c'est sur ce versant que l'on retrouve la plus forte proportion d'érosion de niveau 4. De plus, la vitesse de progression de l'érosion y est presque aussi rapide que sur le mont Giroux (Guillemette, 1998). Il apparaît que cette situation est liée au volume d'enneigement artificiel dont bénéficient ces deux monts pour améliorer la qualité du ski.

Enfin, sur le mont Alfred-Desrochers, les données comparatives de Lecoq et Guillemette semblent indiquer que ni le nombre de zones érodées ni la vitesse de progression de ces zones soient alarmantes. Cette situation, à notre avis, vient renforcer l'hypothèse de départ voulant que l'enneigement artificiel, qui a cours sur les deux autres monts du domaine skiable, soit responsable du taux de progression de l'érosion observé.

Toutefois, il importe d'isoler le cas de la piste « 4 kilomètre » de cette analyse comparative entre le secteur enneigé artificiellement et celui qui ne l'est pas. Cette piste est aussi la route de service qui conduit au sommet du mont Orford. Les besoins d'entretien de cette route font qu'annuellement des quantités appréciables de gravier y sont déposées pour reconstituer l'assise de roulement des véhicules. Ce rechargement est la seule intervention d'entretien effectuée par les gestionnaires de cette route (Radio-Québec a cette responsabilité administrative). Il va de soi que le gravier laissé sans protection contre l'érosion est transporté par les eaux de ruissellement et devient ainsi une source significative de sédimentation du ruisseau Castle (Sénécal, 2005).

Une constante s'observe au niveau des sites d'érosion. En effet, les zones érodées de niveau 2 sont localisées essentiellement sur les sentiers empruntés par les randonneurs, les véhicules et les lieux de passage de la machinerie. Les zones érodées de niveau 3 se retrouvent en majorité au bord des canaux de drainage et des barres d'eau. Le débit élevé provoque à ces endroits des creusements et même des effondrements. Les zones érodées de niveau 4, quant à elles, sont localisées au niveau des ponceaux. Ceux-ci peuvent se colmater ou bien leur diamètre est inférieur à celui requis pour évacuer la quantité d'eau qui s'écoule lors des crues. Une partie du ruisseau sort alors de son lit et se retrouve sur la piste en aval du ponceau, provoquant ainsi l'apparition d'un nouveau site d'érosion. Le départ du substrat autour du ponceau permet

aussi la création de nouvelles anfractuosités, causant un effondrement du sol au-dessus du ponceau (Lecoq, 1997).

Il est relativement facile de constater que l'érosion modifie la structure des sols qui elle, en retour, affecte le couvert forestier. Dans une certaine mesure, le microrelief a, lui aussi, une influence sur le comportement de l'eau sur les pentes et également dans les cours d'eau. De plus, il importe de préciser que les cicatrices laissées par l'érosion s'amplifient au fil du temps, tant au niveau de la sévérité de l'impact que de son expansion sur le territoire, d'où l'importance d'intégrer, à cet essai, l'implantation d'un système de suivi des sites érodés.

L'augmentation des précipitations totales illustrée par un accroissement d'environ 35% du bruit de fond mesuré sur le mont Alfred-Desrochers a deux conséquences significatives au niveau de l'érosion des sols provoqués par le ruissellement des eaux de fonte sur les pentes du massif.

Dans un premier temps, il y a un accroissement du volume d'eau, qui se traduit par une augmentation de la compétence de ces mêmes eaux dans le transport des particules de sol, d'une part, et, d'autre part, un allongement de la période érosive en raison du caractère tardif de la fonte d'une quantité significative de neige artificiellement produite en certains endroits du domaine skiable.

De plus, comme l'a démontré l'analyse des sites de mortalité arborescente, les volumes les plus imposants de neige artificielle sont produits sur les sites même de fortes dénivelées. Or, il apparaît que l'eau de ruissellement a sa plus grande vitesse sur les pentes les plus prononcées. Un lien de causalité évident apparaît donc entre cette vitesse accrue et l'action érosive plus importante, responsable des dommages aux sols mis à nu à ces endroits.

La figure 3.4 permet d'établir une corrélation entre le degré de pente et la sévérité de l'érosion. En effet, la partie de pente la plus accentuée de la piste « Grande-Coulée » présente des sites d'érosion de niveau 4. Lorsque le niveau de pente s'adoucit, la sévérité de l'érosion passe au niveau 3 et au niveau 2, là où le degré de pente est encore plus réduit.

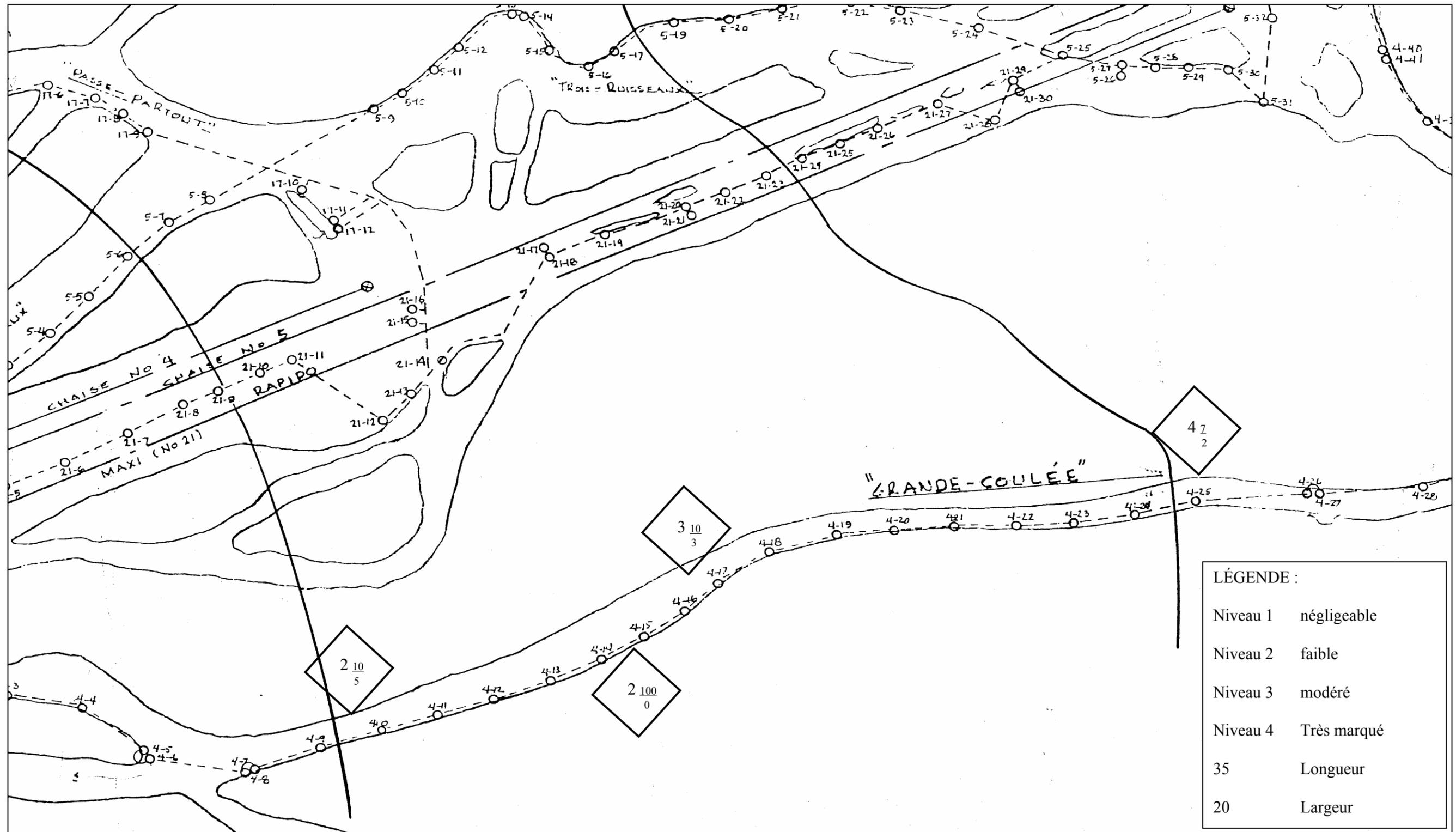


Figure 3.4 Données homogènes pour les niveaux d'érosion - Modifié de Station Touristique du Mont Orford, 1983

3.3.2 Le cas particulier de la « 4 kilomètre »

La Direction générale des technologies de l'information et des communications, ainsi que la Société de télédiffusion du Québec, détentrices d'un bail d'occupation de superficie au sommet du mont Orford, ont la responsabilité de l'entretien de la route qui relie la base au sommet du mont. Elles ont récemment émis la volonté de se départir de cette responsabilité (Duranleau, 2005).

En effet, la piste « 4 kilomètre » constitue une voie automobile qui conduit au sommet du mont Orford. L'assise de roulement de cette route est constituée en grande majorité de gravier et présente des signes d'érosion très sévères qui affectent le réseau hydrographique et les habitats fauniques qui s'y trouvent. En effet, le gravier qui constitue cette route migre à chaque forte précipitation vers les abords de celle-ci, provoquant des dommages à la végétation à proximité (Parc du Mont-Orford, 2005).

Une érosion marquée a été recensée dans les fossés bordant le sentier. L'eau quitte le fossé parfois comblé de sédiments et parfois interrompu par des affleurements rocheux. Plusieurs crevasses de tailles variables ont été répertoriées le long de la route (Côté, 2005).

Les résultats de l'analyse de la problématique de la route « 4 kilomètre » sont présentés en annexe 3, sous la forme d'un relevé des sites d'érosion répartis du sommet jusqu'à la base du mont Orford. La grande majorité des sites d'érosion sont engendrés par un aménagement déficient dans lequel la gestion des eaux de ruissellement n'a pas été prise en compte. De plus, les quelques aménagements prévus (ponceaux et fossés) n'ont pas fait l'objet d'entretien régulier. En effet, le seul entretien dont cette route a fait l'objet au fil des ans a été le déversement de 10 à 12 tonnes de gravier à une fréquence de deux ans, sans qu'aucune intervention visant à éliminer la cause des problèmes d'érosion ne soit effectuée.

3.4 Les répercussions sur le couvert végétal

Les diverses activités reliées à l'aménagement et à l'opération d'un centre de ski de pente génèrent un nombre élevé d'altérations des diverses composantes du couvert végétal. Ces

altérations se manifestent sur toutes les strates du couvert forestier : la strate arborescente, la strate arbustive, la strate herbacée et la strate muscinale. De plus, ces altérations entraînent des modifications significatives des conditions édaphiques responsables du maintien des processus écologiques qui gouvernent l'évolution du couvert forestier (Rixen, *et al*, 2003).

3.4.1 Les pelouses des pentes

Les pelouses installées sur les pentes ont pour première fonction de stabiliser les sols et ainsi de retenir les sédiments. De plus, elles représentent une bonne capacité d'absorption des eaux de ruissellement et peuvent ainsi ralentir la vitesse de celles-ci. Il a été observé que les déplacements de certains types de machineries affectent cette couverture végétale et ainsi rendent vulnérables à l'érosion des superficies importantes de terrain. Il a de plus été observé que plusieurs sites de glissement de terrain d'importance variable affectent les pelouses. Ces derniers sont causés par des réactions du sol aux travaux de stabilisation effectués lors des opérations reliées à l'installation des canalisations d'enneigement artificiel, d'élargissement et de régalinge des pistes. La figure 3.5 démontre bien cette atteinte à la pelouse des pentes.



Figure 3.5 Atteinte à la pelouse des pentes

3.4.2 La strate arbustive

Les photos aériennes analysées dans le cadre de l'étude nous démontrent un élargissement général du couloir skiable, donc un certain recul de la végétation entre les années 1988 et 1995 (Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, 2004). Deux raisons principales expliquent ce phénomène : premièrement, le passage répété des skieurs sur les abords des pistes et, deuxièmement, la fabrication de neige artificielle. En effet, cette neige étant beaucoup plus glacée et ayant une densité environ cinq fois plus élevée, lorsqu'elle se dépose sur les branches, celles-ci vont casser, permettant aux agents pathogènes de pénétrer à l'intérieur de l'arbre et ainsi occasionner une mortalité de la végétation à certains endroits. Par contre, à la suite des travaux d'aménagement du mont Giroux, effectués dans les années 1980, on peut noter un retour de la végétation dans les années subséquentes. L'annexe 4, montrant une photo aérienne de 1988 et une autre de 1995, démontre bien ce retour de la strate arbustive suite au dynamitage.

Par contre, l'étude des photos aériennes montre aussi un retour de la végétation. Ceci est observé aux endroits où l'on a procédé au dynamitage entre 1984 et 1985 pour élargir et aménager certaines pentes de ski (Ministère des ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, 1985). À ces endroits, la végétation a repris sa place au fil des années. L'analyse des photos aériennes de l'année des travaux d'aménagement des pistes par rapport à celle de 1992 permet des observations intéressantes. Profitant de la lumière abondante des espaces où les arbres ont été abattus, de nombreux massifs d'arbustes se sont implantés.

Une comparaison des bordures des pistes démontre à ces endroits un retour très inégal des massifs arbustifs. La bordure située à droite des pistes présente une strate arbustive dense, touffue et pratiquement ininterrompue. À l'opposé, la bordure gauche présente une strate arbustive intermittente constituée de sujets chétifs et appartenant à un nombre limité d'espèces.

À première vue, cette différence pourrait être imputée à la carence d'exposition au rayonnement solaire qui est à peu près nul du côté gauche des pistes et qui est, en général, d'exposition nord.

Une étude conduite durant quelques années par un groupe d'ingénieurs forestiers dans le contexte d'un mandat confié par les dirigeants de la station Mont-Tremblant a identifié une autre cause du non-retour de la strate arbustive. La fonte tardive du couvert nival artificiel fait perdurer au sol des conditions hivernales durant la période naturelle de germination des semis des espèces arbustives (Tremblay, 2005). En effet, la bordure gauche des pistes, très faiblement exposée au rayonnement solaire, tarde à se libérer de son couvert nival.

De plus, l'observation de la disparition de la strate arbustive nous permet de constater l'interruption ou la disparition complète en plusieurs endroits.

Le domaine skiable est couvert à près de 65% par l'érablière. Ce peuplement forestier est composé de quatre strates de végétation : la strate arborescente constituée des arbres de grandes tailles; la strate arbustive constituée d'arbres de petites tailles et de buissons; la strate herbacée, constituée de plantes dont la tige ne contient aucune lignine mais de la cellulose, et la strate muscinale, composée de mousse et de lichens (Doré, 1993).

L'aménagement des pistes, l'installation des canons à neige et l'opération de ces derniers, en plus du passage répété de plusieurs milliers de skieurs en sous-bois, ont provoqué la disparition d'une très importante partie de la strate arbustive.

3.4.3 La strate arborescente

En terme d'impacts sur le milieu naturel, cette approche de production de neige artificielle projette les cristaux à une hauteur importante; ils sont ainsi transportés sur une longue distance avant de retomber au sol. Il y a un volume important de ces cristaux qui, dans leur course aéroportée, s'accrochent aux troncs et aux rameaux des arbres. Une charge lourde de ces cristaux provoque, comme dans le cas de la strate arbustive, des fissures dans l'écorce de ces rameaux, offrant ainsi une voie d'accès aux pathogènes qui, dans certains cas, peuvent entraîner la mort de ces arbres.

L'observation du type de mortalité arborescente attribuée au manchonnage des rameaux par les cristaux de glace se présente sous la forme d'une répartition concentrique, de rayon variable, autour des hydrants répartis à intervalle irrégulier le long des conduites d'alimentation.

Dans le but de comprendre les causes de cette mortalité, les paramètres de mortalité, soit le nombre d'arbres morts et la distance concentrique de cette mortalité, ont été reportés sur la carte intitulée « Neige artificielle, emplacement des canons à neige », présentée en annexe 2. Une analyse de ces données a permis d'établir une corrélation entre le relief, la largeur de la piste et le couvert forestier, d'une part, et, d'autre part, le taux de mortalité ainsi que la distance de mortalité. Les conclusions tirées de cette analyse permettront de formuler un certain nombre de recommandations fortement susceptibles de réduire au strict minimum l'impact découlant de l'enneigement artificiel.

L'inventaire de la mortalité arborescente à l'aide de la carte des hydrants a permis de démontrer une relation de causalité sans équivoque de l'impact des canons à neige sur la végétation. En effet, le travail de repérage des impacts environnementaux liés à l'enneigement artificiel, effectué dans le contexte de rédaction du présent essai, a révélé une atteinte sérieuse à la strate arborescente de la forêt qui borde les piste des monts Orford et Giroux. Certaines de ces mortalités sont dues aux travaux d'installation (dynamitage et creusage) des conduites utilisées pour alimenter en eau et en air comprimé les canons à neige. Ces mortalités sont surtout attribuables aux atteintes perpétrées contre le système racinaire de ces arbres qui, pour la plupart d'entre eux, sont situés à proximité immédiate du corridor dévolu aux conduites (Sénécal, 2005).

De plus, la figure 3.6 révèle un facteur primordial de cette pratique responsable d'une mortalité élevée parmi les arbres qui bordent les pistes enneigées. Les cristaux de glace se sont accrochés aux branches des arbres et s'y sont agglutinés à un point tel que le manchon de glace a atteint un poids suffisant pour briser l'écorce des rameaux et des branches, laissant ainsi le passage aux pathogènes qui entraînent la mort des arbres ainsi affectés.



Figure 3.6 Cas de mortalité arborescente causée par les cristaux de glace

Une analyse de l'enregistrement photographique montre que le point situé le plus près de la buse du canon se caractérise par une très forte quantité de glace qui se transforme en frimas au fur et à mesure que la distance entre la buse du canon et le point de contact s'accroît. Cet éloignement, en plus de permettre la transformation de la glace en frimas, entraîne une diminution significative du volume de frimas observable accroché aux branches des arbres. À la lumière de cette observation, il apparaît évident que le temps de cristallisation des gouttelettes d'eau pulvérisées par les canons est directement en cause dans ce phénomène de manchonnage des branches des arbres à proximité des hydrants (Sauvé, 2004).

Les différences mesurées au niveau de la distance entre les arbres morts et les hydrants suggèrent aussi que l'angle de propulsion des gouttelettes d'eau est un facteur à considérer. Il est logique de penser que plus la hauteur de la buse du canon par rapport à la surface du sol est élevée, plus grand est le volume de cristaux transportés par le vent et plus la distance parcourue par ces derniers s'allonge. On peut donc conclure que la hauteur de la buse du canon est en cause dans ce problème de mortalité arborescente. Par contre, il va de soi que la

direction et la vitesse des vents , lors des périodes de fonctionnement des canons, sont aussi en cause.

L'observation effectuée en période estivale sur les parties enneigées artificiellement du domaine skiable présente le spectacle d'alvéoles d'arbres matures desséchés, répartis à intervalle régulier le long des pistes. Il est à noter que les conifères aux rameaux plus souples et orientés vers le sol ne subissent pas de brisures de leur écorce et ne sont pas affectés comme le sont les feuillus. L'observation effectuée a aussi démontré que les jeunes sujets ne sont pas affectés par ce phénomène. Cet état de fait est aussi probablement lié à la souplesse des rameaux de ceux-ci.

Parmi toutes les mesures effectuées sur le terrain pour documenter cet impact relié à l'enneigement artificiel, les données seront regroupées en blocs présentant une « distance de mortalité » homogène. Cette approche permet de localiser les endroits qui démontrent une résultante de conditions homogènes (ouverture de la végétation, direction et vitesse des vents) lors des périodes d'enneigement par les canons.

Ainsi, trois blocs homogènes ont été identifiés; le bloc présenté à la figure 3.7 témoigne d'une orientation aux vents d'ouest, les vents reconnus comme étant dominants en région et dont le parcours sur le domaine skiable est favorisé par la morphologie du massif (Sénécal, 2005).

La forte largeur de la pente à cet endroit offre beaucoup d'espace aux vents. De plus, la rupture de pente prononcée à cet endroit indique un volume considérable de neige artificielle pour offrir une aire de glisse sécuritaire aux skieurs.

Il en résulte donc un enneigement artificiel de longue durée, sur une aire largement exposée où les vents peuvent exercer leur action et, ainsi, transporter les gouttelettes non cristallisées à une hauteur et à une distance importantes, ce qui explique la forte mortalité arborescente à cet endroit.

À l'inverse, le bloc présenté sur la figure 3.8 présente une mortalité moins importante et répartie sur une distance de trois fois inférieure à celle du bloc précédent. La morphologie du terrain présente une pente faible et régulière. On observe aussi que la piste est relativement étroite. Il faut donc peu de neige artificielle pour offrir aux skieurs une surface de glisse sécuritaire et de qualité.

De plus, la piste étroite à cet endroit offre peu de prise aux vents. Il y a donc relativement peu de gouttelettes mises en circulation, et les vents bloqués par la végétation arborescente locale ne peuvent les transporter que sur de faibles distances. Les gouttelettes voyageant moins vite ont aussi davantage de temps pour cristalliser avant de rencontrer les rameaux des arbres.

Le bloc présenté à la figure 3.9 illustre la réaction du milieu aux vents soufflant du nord-ouest, dans une morphologie particulière. En effet, la distance de mortalité des arbres de ce bloc est égale (± 45 mètres) à celle observée au pied de la « 4 kilomètre ». On peut donc identifier un résultat égal en terme de distance de cristallisation sous des vents de force similaire bien que d'orientation différente.

La dénivelée à corriger est importante, donc elle exige un temps d'enneigement artificiel très long. De plus, l'aire dégagée de végétation est très large. Une paroi verticale importante fait en sorte que les vents soufflants de l'ouest passent haut, au-dessus des canons et des panaches de gouttelettes qu'ils lancent en l'air.

L'analyse des paramètres d'enneigement de ces blocs a permis de dégager le modèle suivant qui opère selon deux facteurs principaux : le temps d'enneigement conjugué à la direction des vents et à la vitesse de ceux-ci.

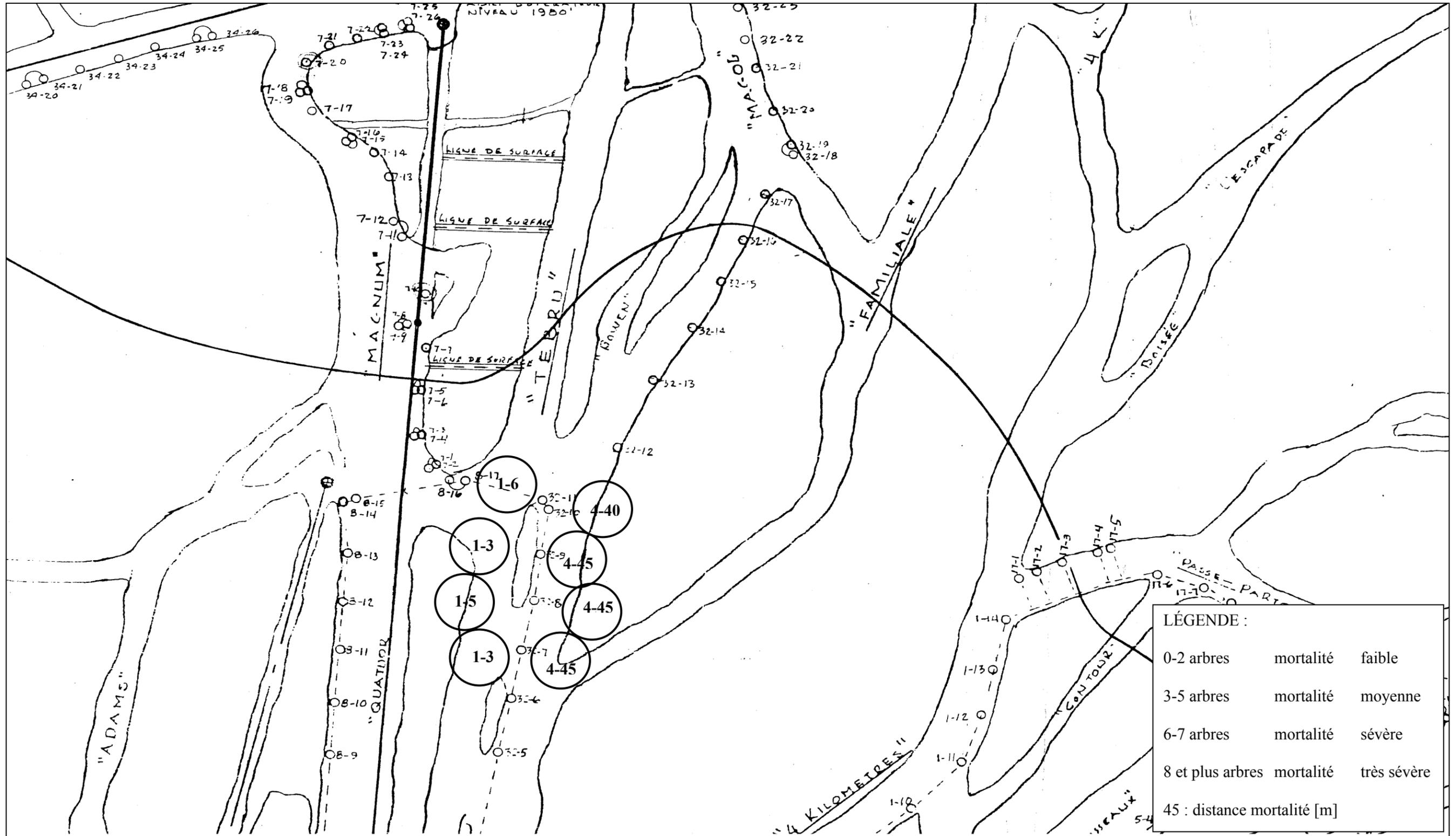


Figure 3.7 Données homogènes sur la mortalité arborescente - Modifié de Station Touristique du Mont Orford, 1983

3.5 La réaction de la faune

Les altérations imposées au couvert forestier imposent des variations importantes à diverses composantes des habitats fauniques du milieu, et ainsi aux comportements de plusieurs espèces fauniques et à leur fréquentation des lieux.

Dans un même ordre d'idées, les altérations imposées au réseau hydrographiques où se trouvent normalement plusieurs habitats fauniques produisent des impacts sur plusieurs espèces fauniques, modifiant sérieusement le profil faunique du massif.

3.5.1 La faune aquatique

La faune aquatique affectée par les interventions effectuées, soit lors de l'aménagement du domaine skiable soit durant son opération, se compose surtout des espèces benthiques qui vivent sur ou dans le gravier du lit du ruisseau et des poissons qui y vivent ou qui viennent s'y reproduire (Bergeron, 2005).

La faune benthique subit deux grandes agressions: les secteurs favorables sont affectés par les quantités significatives de gravier qui s'y déposent à chaque printemps ou à chaque pluie forte. De plus, les eaux de refroidissement du moteur du compresseur du système d'enneigement sont rejetées directement au ruisseau Castle (Canuel, 2003). Le réchauffement de l'eau qui s'ensuit provoque un réveil de plusieurs des ces animaux qui sont alors en dormance. Ce réveil brutal et intermittent tue la plupart de ces animaux. Il en va ainsi des oeufs des poissons qui fraient à proximité du point de retour de ces eaux au ruisseau. Les variations de température de l'eau sont certainement néfastes au développement des embryons (Canuel, 2003).

L'exutoire des barres d'eau, en raison du caractère dendritique des différentes branches du ruisseau Castle, surtout en altitude, déverse ses eaux dans une très grande majorité des cas à proximité du lit du ruisseau (Cooke, 2005). Il s'ensuit une sédimentation du lit du ruisseau qui, en raison de la nature des particules chassées (surtout minérales), en altère la nature. Certaines espèces de salamandres que ne prolifèrent que sur des substrats organiques voient leur habitat détruit par cette situation (BAPE, 2005).

De plus, le débit des ruisseaux gonflés par la crue provoquée par la fonte des neiges joue un rôle dans le transport des sédiments qui parviennent ainsi jusqu'au tronçon de ruisseau qui se rend au lac Memphrémagog et compromet de façon très sérieuse l'habitat du poisson et de la faune benthique établie dans les cours d'eau (Canuel, 2003).

Enfin, la vidange du bassin de sédimentation aménagé au pied du mont Giroux et qui reçoit une forte proportion des eaux de fonte qui dévalent les pentes aménagées sur ce versant du massif, est effectuée au moyen d'une vanne de fond (Teknika, 2000). Ce système de vidange laisse échapper l'eau au fond même du bassin. Ces eaux sont alors chargées non seulement de sable et de gravier fins mais aussi de matière organique provenant des différentes formes de vie qui se sont installées dans ce bassin (Bergeron, 2005).

Cette vidange, effectuée au début de l'automne pour permettre au bassin de recevoir les crues du printemps suivant, amène la matière organique à se déposer dans les fosses du ruisseau Castle qui est alors en période d'étiage. Il se produit donc une forte demande biologique en oxygène (DBO) qui porte préjudice aux communautés piscicoles présentes dans ce ruisseau (Lussier, 2005).

Un autre élément important à considérer est l'atteinte perpétrée aux habitats aquatiques présents dans le ruisseau par la sédimentation des particules abrasives épandues sur les stationnements et transportés vers ce dernier par les eaux de ruissellement.

3.5.2 La faune terrestre

Il y a deux types d'impacts résultant de l'aménagement des pistes du domaine skiable. Un impact positif créé par l'apparition d'une bande arbustive qui s'est installée le long du côté droit de chacune des pistes. Ces bordures arbustives fournissent un couvert et une nourriture abondante à plusieurs espèces fauniques, dont le cerf de Virginie, et à de nombreuses espèces d'oiseaux passériformes (Cooke, 2005).

Toutefois, l'absence de bande arbustive du côté gauche de la plupart des pistes crée deux impacts négatifs. En effet, cette absence crée un milieu forestier ouvert favorable à la nidification des espèces dites de milieu ouvert au détriment des espèces dites de milieu fermé. Il est connu que ces dernières éprouvent, depuis quelques années, des difficultés de d'accroissement de leurs effectifs par la reproduction en raison du morcellement marqué des massifs boisés, causé par le développement urbain, ainsi que par la disparition du couvert forestier au profit du domaine agricole (Demers, 2005).

Finalement, les observations effectuées au pied du mont Alfred-Desrochers n'ont pas révélé la présence de sites d'érosion, comme c'est le cas au pied des monts Giroux et Orford, où des crevasses imposantes résultent du volume d'eau accru qui s'y est écoulé.

4. PLAN DE RÉHABILITATION

D'une façon globale et à la lumière des résultats obtenus pour la grande majorité des paramètres retenus pour l'analyse, il est possible de conclure que l'apport des précipitations par le biais de l'enneigement artificiel a un impact indéniable qui se manifeste de plusieurs façons. Il est même pertinent d'affirmer que l'altération de plusieurs des composantes bio-physiques étudiées dans le cadre du présent essai constitue des enjeux réels dont l'administration du centre de ski doit tenir compte afin d'exercer une gestion optimale de cet équipement récréatif public que constitue le domaine skiable du massif du mont Orford..

Qui plus est, considéré dans le contexte de l'atteinte de la mission dévolue à un parc national, cette gestion optimale doit intégrer d'autres préoccupations qui n'incombent habituellement pas aux gestionnaires de centre de ski de pente opérant en milieu strictement privé. Cet aspect de la question se manifestera surtout dans cette section sur les recommandations qui constituent la partie ultime de cet essai.

4.1 Énumération de mesures correctrices

La multiplicité des atteintes aux diverses composantes bio-physiques du massif observées lors de la phase de cueillette des données impose une énumération de mesures correctrices regroupées de façon à faire ressortir des interventions adaptées à chacun des enjeux soulevés par ces mêmes atteintes.

4.1.1 Pratique d'enneigement

Un de ces enjeux de gestion consiste à réduire le volume d'enneigement pour le ramener au seul besoin de précocité d'ouverture de la saison de ski. Non seulement cela pourra augmenter le seuil de rentabilité de la station, mais les problèmes d'érosion engendrés par le ruissellement printanier prolongé seront significativement réduits, sinon éliminés. De plus, l'accroissement du volume de la crue printanière affectera moins sévèrement les berges des ruisseaux, et le volume d'eau soutiré au bassin de la Rivière-aux-Cerises sera d'autant réduit. L'écosystème du bassin versant de la Rivière-aux-Cerises n'en sera alors que moins affecté.

Le respect des composantes environnementales, en plus d'éliminer la production de neige artificielle non indispensable, exige aussi une réflexion qui permettra de réduire les impacts causés par les modalités de l'enneigement actuellement pratiqués sur le domaine skiable. L'exemple le plus visible de cette pratique est l'atteinte qui est perpétrée contre la strate arborescente de la forêt qui borde les pistes.

Pour ce faire, il est suggéré aux gestionnaires de répertorier chacune des zones d'enneigement, d'en consigner le volume et de suivre la date à laquelle chacune de ces zones fond au printemps. Un nivellement des aspérités des pistes qui actuellement exige un enneigement contribuerait à réduire une grande partie de cet enneigement non nécessaire. De plus, dans ce même contexte, il serait pertinent de consigner l'objectif visé par cet enneigement. Ainsi renseignés, les gestionnaires seront à même de maximiser l'efficacité de l'enneigement artificiel, tout en minimisant ses conséquences sur l'environnement.

L'élément majeur qui plaide en faveur d'une réduction sérieuse du taux d'enneigement est sans contredit l'impact sur la survie des communautés fauniques en situation de dormance dans l'Étang-aux-Cerises, tel que démontré précédemment. Il est suggéré d'établir une entente avec la direction du Parc du Mont-Orford, afin de déterminer le volume d'une réserve additionnelle d'eau dans l'Étang-aux-Cerises en début d'automne, qui permettrait l'enneigement nécessaire des pentes sans compromettre l'intégrité de la faune établie dans l'étang.

Un autre impact directement lié au volume d'enneigement artificiel est le taux de mortalité arborescente observé le long de chacune des pistes. L'enjeu de gestion qui se présente aux gestionnaires consiste donc à découvrir un mode d'opération des canons à neige qui diminue sensiblement le temps de cristallisation des gouttelettes d'eau vaporisées par les buses des canons.

Il est conseillé aux gestionnaires de conduire des essais qui permettront de trouver le réglage des buses des canons, pour la proportion air/eau, pour en arriver à déterminer le réglage idéal

de ces équipements. En plus de ce réglage, il importe de prendre en considération les facteurs qui influencent la dispersion des cristaux sur les pistes. La vitesse, l'orientation des vents et l'angle de propulsion des gouttelettes le moins agressant sont des facteurs à inclure dans un modèle d'opération des canons afin d'en réduire les impacts au strict minimum.

On peut donc conclure qu'en plus de procéder à un calibrage air/eau qui favorise une cristallisation rapide des gouttelettes d'eau, les gestionnaires auraient avantage à garder l'angle de projection le plus bas possible. De plus, afin de tirer profit de la dénivelée, les canons pourraient être localisés en amont des sites à enneiger. Ce positionnement permettrait de profiter de la gravité pour une meilleure dispersion des cristaux. Il leur serait ensuite relativement facile et rapide de procéder à un épandage de la neige à l'aide de la machinerie utilisée pour le nivellement des pistes.

Une fois ce temps de cristallisation réduit, l'effet des vents dominants qui transportent les gouttelettes sera estompé et la végétation arborescente ne sera plus affectée. Le couvert forestier se rétablira au fil des années. Non seulement l'aspect esthétique des lieux sera-t-il rétabli, mais le couvert forestier pourra à nouveau constituer un habitat qui permettra à la faune de revenir s'y installer. Les visiteurs pourront à nouveau profiter du contact avec la faune et les gestionnaires du centre de ski auront posé les gestes nécessaires au support de la mission de conservation qui est dévolue au parc.

Une relation entre les dates tardives de fonte de certaines zones enneigées artificiellement et la difficulté de retour de la strate arbustive suggère encore une fois aux gestionnaires de revoir particulièrement les volumes de neige artificielle déposée en bordure des pistes. La littérature spécialisée démontre qu'une diminution significative de ces volumes a un impact sur le retour naturel de cette importante strate de végétation forestière (Rixen, *et al*, 2003).

Un dernier élément à considérer réside dans le retour des eaux de refroidissement des compresseurs au ruisseau Castle. L'impact sur la faune aquatique en dormance serait totalement éliminé avec l'aménagement d'une chicane qui permettrait un refroidissement nécessaire de ces mêmes eaux avant leur retour au ruisseau.

4.1.2 Programme d'entretien des aménagements de contrôle de l'érosion

Les résultats de la progression de l'érosion permettent de situer les endroits où elle est plus sévère ainsi que les sites qui montrent une progression rapide. Ceci permet d'établir un certain ordre de priorités pour de futurs travaux de réaménagement visant à régler les problèmes d'érosion.

En premier lieu, les gestionnaires devraient évaluer la pertinence d'ajouter des barres d'eau sur chacune des pistes du massif. Cette démarche permettrait de réellement contrôler l'énergie de l'eau qui transite dans ces infrastructures. En deuxième lieu, les gestionnaires devraient procéder à un inventaire exhaustif de toutes les formes d'érosion qui affectent le point de sortie de chacune de ces barres d'eau. Les sites érodés devraient faire l'objet d'une stabilisation mécanique qui servirait à dissiper l'énergie de l'eau.

Un autre aspect de la pérennité du fonctionnement de ces barres d'eau est lié au passage répété des machineries. Leurs traversées résultent le plus souvent par l'affaissement des parois des barres d'eau. Cette atteinte à l'intégrité des barres d'eau pourrait être corrigée par l'aménagement de traversées, empièchement ou installation de ponceaux, qui seraient utilisés par les opérateurs de machinerie. Cette seule intervention assurerait une longévité et un fonctionnement efficace des barres d'eau.

L'érosion qui est encore active dans les canaux qui relient le pont de sortie des barres d'eau aux diverses branches du ruisseau Castle pourrait être jugulée par l'aménagement de bermes aménagées dans ces même canaux.

Plusieurs barres d'eau sont équipées de bassins de sédimentation. Ces derniers sont comblés et ne jouent plus leur rôle d'interception des sédiments en provenance des barres d'eau. On peut penser que cette lacune est due à un manque d'entretien régulier de celles-ci. Il y aurait tout lieu, pour les gestionnaires, d'établir un programme d'entretien de ces structures. De plus, une recommandation aux opérateurs de machinerie d'éviter systématiquement les zones affaissées,

détrempées et érodées constituerait une dernière précaution visant à enrayer la progression de l'érosion sur les pistes.

L'emphase devra ensuite être mise sur les sites érodés de niveau 3 et 4. Cette forme d'érosion sévère affecte non seulement la qualité et la sécurité du ski et de la randonnée pédestre, mais aussi constitue une blessure au couvert végétal qu'il importe de corriger.

4.1.3 Réhabilitation et programme d'entretien de la « 4 kilomètre »

Le cas particulier de la route « 4 kilomètre » décrit précédemment devrait faire l'objet d'une intervention majeure de réaménagement. Un programme de réaménagement, proposé par la Direction des parcs et présenté en annexe 3, devrait être implanté. Cette intervention consiste principalement en l'aménagement d'infrastructures liées au contrôle des eaux de ruissellement et à la réfection de l'assise de roulement de cette route (Parc du Mont-Orford, 2005).

4.1.4 Implantation d'un programme de suivi des sites d'érosion

En dépit du fait que les mesures correctrices proposées précédemment permettrait l'élimination de la plupart des formes d'érosion, il importe tout de même pour les gestionnaires de rester vigilants face à cette éventualité et d'instaurer un programme de suivi qui leur permettrait de déceler rapidement un éventuel retour de ces problèmes. Pour ce faire, il est suggérer d'avoir recours à la cartographie et au mode de suivi élaboré par Lecoq en 1997.

Les nombreux canaux d'interception des eaux de ruissellement aménagés au pied des monts Giroux et Orford présentent des signes d'érosion marqués. Des sites de mesure de la progression de cette érosion ont été installés en divers endroits dans la conduite de l'inventaire nécessaire à la réalisation du présent essai. Un programme de suivi de ces sites devrait être établi. Les résultats de ce suivi guideront les décisions des gestionnaires pour réagir adéquatement aux problèmes ainsi documentés.

4.1.5 Atténuation des impacts sur le ruisseau Castle

La section du ruisseau Castle située au pied du massif est celle qui subit les impacts les plus sérieux. En effet, l'accroissement du volume de crues, soit-il printanier ou estival, dans le cas des pluies significatives, résulte de l'accumulation de tous les ajouts au couvert nival. Il s'ensuit diverses formes d'érosion qui affectent le cours du ruisseau, non seulement à l'intérieur du parc mais aussi à l'extérieur.

Dans le but de réduire sérieusement ces impacts, il y aurait lieu de rétablir le lien naturel qui, autrefois, reliait le bassin versant du ruisseau Castle à celui de la Rivière-aux-Cerises. Cette intervention nécessiterait trois opérations : le rehaussement du lit du ruisseau Castle au point de jonction entre les deux bassins versants, l'installation d'un ponceau sous la route 141, et le nettoyage du chenal qui amenait les eaux vers l'étang Coderre (Jutras, 1998).

Un autre impact affectant le ruisseau Castle qui découle de l'opération du centre de ski est le volume imposant de granulaires épandu sur les stationnements et qui sont entraînés vers le ruisseau par les eaux de ruissellement. Ce problème sera facilement réglé par l'aménagement et l'entretien régulier de bermes filtrantes aménagées dans les canaux qui servent à drainer les stationnements.

Les observations conduites sur les diverses branches du ruisseau Castle ont démontré la présence de nombreuses branches et de troncs d'arbres tombés dans le ruisseau. Ces obstacles créent une diversion du courant qui résulte en une érosion des berges. Il y aurait donc lieu de procéder à un nettoyage de ces obstacles, dans un premier temps, et d'instaurer ensuite une routine annuelle de nettoyage.

Dans la poursuite de cette opération, un repérage des rives particulièrement affectées par l'érosion amènerait une opération de réhabilitation de ces sites érodés. Il faudrait, dans un premier temps, stabiliser mécaniquement la berge et, ensuite, voir à réhabiliter la végétation au besoin (RAPPEL, 2001).

4.1.6 Revégétalisation

Une façon de réduire le recours à l'enneigement serait de reboiser les sections de pentes qui ont été déboisées lors des travaux d'aménagement, mais qui ne servent pas au déplacement des skieurs. Non seulement ces superficies reboisées réduiraient-elles le volume d'enneigement artificiel nécessaire, mais en faisant office de pare-vent, elles contribueraient à offrir un confort accru et des déplacements plus sécuritaires en bordure des pistes où, en plusieurs endroits, les conditions de glisse sont plus hasardeuses.

Il a été démontré précédemment qu'une limitation judicieuse du recours à l'enneigement en certains points précis du massif permettrait un retour aux conditions favorables à la germination des semences produites par la végétation en place. Les gestionnaires ne devraient pas sous-estimer l'importance de cette repousse, non seulement liée à la rusticité de la végétation indigène, mais aussi par rapport à l'économie réelle que représente un retour naturel de la végétation.

Pour les sites où la végétation naturelle ne peut exercer un retour par elle-même, il y aurait lieu de procéder à une analyse pour déterminer les causes d'une telle incapacité de récupération de la végétation naturelle. Il faudrait alors considérer un programme de plantation de sujets acquis en pépinière. Ensuite, les sites d'érosion majeurs répertoriés en différents endroits du massif devraient faire l'objet d'une réhabilitation du sol et, en complément, d'un ensemencement végétal approprié.

Finalement, le dynamitage, effectué au moment du réaménagement des pentes dans les années 1980, a laissé le tiers supérieur du mont Giroux et plusieurs pentes du mont Orford totalement dénuées de végétation. Cette situation fait une cicatrice irritante dans le paysage du massif et augmente le recours à l'enneigement artificiel.

Des essais de fractionnement de ces blocs rocheux au moyen d'une machine adaptée à ces travaux sur le versant ouest du mont Giroux ont produit des résultats intéressants en réduisant de beaucoup le calibre des cailloux (Cooke, 1993). La faible dimension des interstices a

permis l'accumulation d'une matière organique sur laquelle a pu s'implanter une succession végétale. Les gestionnaires pourraient procéder à un tel exercice sur les versants qui sont actuellement sans végétation.

4.2 Priorités d'intervention

La liste des mesures correctrices énumérées précédemment aura un caractère plus applicable en faisant l'objet d'un ordonnancement qui, tenant compte des interrelations existantes entre les diverses interventions proposées, s'inscrira dans un ordre logique de réalisation. Ainsi, il est suggérer pour les sites en altitudes tout comme pour les sites dans les cours d'eau, de travailler en partant de l'amont vers l'aval. Il est aussi recommandé d'ordonner les interventions en fonction de leurs conséquences, directes ou indirectes, sur d'autres paramètres.

Ainsi, il serait à propos de conduire une étude visant à déterminer le meilleur réglage des buses des canons à neige afin de réduire le manchonnage de glace responsable de la mortalité arborescente qui s'accompagnerait d'un inventaire de tous les sites qui, actuellement, sont enneigés inutilement, considérant que tout correctif apporté sur le volume d'enneigement aura des incidences tant sur le massif que sur le réseau hydrographique éloigné des pentes.

Un inventaire des correctifs à apporter aux barres d'eau s'impose en raison du grand nombre de sites affectés par des aménagements désuets. Dans le même ordre d'idées et pour les mêmes raisons, des interventions visant la stabilisation des canaux qui dirigent les eaux, des barres d'eau vers les diverses branches du ruisseau Castle devraient être entreprises en continuité avec les autres actions correctrices effectuées sur la barre d'eau. Les canaux devraient être équipés de bermes filtrantes qui auraient aussi pour fonction de réduire la vitesse d'écoulement et donc de juguler l'érosion qui en résulte. Afin de s'assurer du maintien du fonctionnement de ces équipements, il est conseillé d'accompagner ces interventions par l'installation de ponceaux ou de dispositifs de franchissement de ceux-ci par la machinerie.

En concomitance avec ces opérations et en raison de la sévérité de la sédimentation provoquée au ruisseau Castle, les correctifs à la « 4 kilomètre » devraient être entrepris en priorité et

réalisés en commençant par le sommet. Le grand nombre de sites d'érosion sur les pentes devrait ensuite faire l'objet d'une réhabilitation des sols et d'un rétablissement du couvert végétal par des ensemencements de graminées qui s'accompagneraient d'un programme de suivi de l'érosion sur les pentes afin d'assurer l'efficacité et la pérennité des mesures réalisées.

L'aménagement d'une chicane visant à permettre une baisse significative de la température des eaux de refroidissement des compresseurs devrait être réalisé en priorité.

Dans le contexte d'une éventuelle extension du système d'enneigement au mont Alfred-Desrochers, la démarche de détermination du niveau d'emmagasinement d'une réserve d'eau additionnelle à l'Étang-aux-Cerises, de concert avec la direction du parc, devrait être entreprise le plus tôt possible. En continuité avec cette démarche, le rétablissement du lien naturel entre le bassin du ruisseau Castle et celui de la Rivière-aux-Cerises devrait être envisagé.

Les débris végétaux échoués dans les diverses branches du ruisseau Castle et la stabilisation des berges érodées devraient être retirés en partant du sommet des pentes progressant vers le bas. Par la suite, une routine de suivi annuel devrait être implantée.

De plus, il serait pertinent de déterminer à quelle fréquence doit être effectué le récurage des bassins de sédimentation. La matière organique qui en sera retirée pourrait être épandue sur les bas versants des pentes. Cette pratique contribuerait à renforcer le couvert végétal fortement sollicité par les opérations du centre.

Il est recommandé d'amorcer tout programme de réhabilitation des composantes du massif par l'instauration de mesures à caractère préventif identifiées dans cet essai, et, par la suite, d'étaler les mesures correctrices identifiées en tenant compte à la fois de leurs impacts sur l'environnement et des coûts qu'elles engendrent. L'implantation de l'ensemble de ces mesures devra faire l'objet d'un étalement dans le temps et s'accompagnera de la mise en place de mécanismes de suivi permanents susceptibles d'assurer le maintien des effets positifs obtenus.

CONCLUSION

L'opération d'un centre de ski dans le contexte d'une approche de développement durable devrait amener les gestionnaires à limiter le recours à l'enneigement artificiel pour l'atteinte du seul objectif de la précocité de l'ouverture de la saison de ski, et pallier aux effets des périodes de redoux sur le couvert nival.

La rédaction du présent essai est basée sur un questionnement qui s'inscrit dans le contexte d'une augmentation de la sensibilité des gens à l'égard de la protection de la qualité de l'environnement. En ce sens, cette étude visait au départ à démontrer le lien de causalité entre la pratique d'enneigement et certains impacts sur l'environnement.

Pour fournir une réponse adéquate à cette question, il a fallu, dans un premier temps, déterminer l'angle sous lequel serait approchée l'analyse de la problématique étudiée. Le recours à l'enneigement artificiel, en raison des nombreux impacts directs et indirects qui s'exercent sur plusieurs composantes du paysage, offrait une avenue très prometteuse. De plus, le fait qu'un des trois monts du massif, le mont Alfred-Desrochers ne fasse pas l'objet d'un recours à l'enneigement artificiel, permettant d'établir des comparaisons intéressantes au niveau de l'analyse des données recueillies, constituait un autre atout pour le choix de cet angle d'attaque.

C'est donc à partir de ce paramètre de base que les différents facteurs à étudier ont été identifiés: les aménagements destinés à la gestion des eaux de ruissellement, le couvert végétal, l'érosion du sol, le réseau hydrographique et les différentes communautés fauniques présentes sur le territoire. Par la suite, une revue de littérature pertinente, la conduite d'entrevues auprès de personnes de compétences diverses ayant gravités autour de la gestion du domaine skiable, ainsi qu'une campagne d'observation et de mesures effectuées sur plusieurs pistes du domaine skiable ont permis de constituer le corpus de données qui constitue le noyau important de la démarche.

Les résultats ont toutefois été concluants. Le volume de neige déposé sur les pentes par les canons, en raison surtout de la densité des particules produites par ces derniers, représente un

important volume d'eau qui, lors des périodes de fonte, dévale les pentes et agit comme un agent érosif très compétent. La comparaison des signes d'érosion sur la partie inférieure des versants des monts Giroux et Orford, d'une part, faisant l'objet d'un tel enneigement et du mont Alfred-Desrochers, d'autre part, qui ne reçoit aucune neige artificielle, démontre sans l'ombre d'un doute possible que cette pratique engendre une érosion sévère des sols et altère le profil de cours d'eau qui reçoivent ces eaux de fonte.

Les observations conduites sur les diverses strates de végétation qui couvrent les pentes témoignent aussi du caractère agressif d'une telle pratique, tant sur la strate arborescente que sur la strate arbustive. La consignation de la mortalité arborescente observée sur le massif démontre un impact qui atteint, en certains endroits, un niveau sévère. De façon indirecte, le départ tardif du couvert nival nuit au retour de la strate arbustive en plusieurs endroits.

Les altérations au réseau hydrographique observées sont très variées; il y a autant d'atteintes perpétrées au littoral qu'aux berges des diverses branches des ruisseaux, en raison d'une augmentation substantielle des crues printanières. Il a été démontré que le régime hydrique du ruisseau Castle a été significativement modifié par cet apport de précipitations.

Il a de plus été démontré que la ponction importante à L'Étang-aux-Cerises a un impact sur les communautés fauniques. En effet, les animaux, qui survivent habituellement aux périodes de gel hivernal enfouis dans la vase du fond de l'étang, subissent fort probablement un taux de mortalité élevé, réduisant significativement la productivité biologique de cet étang. De plus, les variations de température de ces eaux, dues au système de compresseurs, a aussi un impact important sur la faune de l'étang, perturbant de façon significative l'écosystème.

La démarche d'analyse conclut, hors de tout doute, que l'opération d'un centre de ski de pente, telle qu'elle est actuellement effectuée, en raison du recours à l'enneigement artificiel, impose des conséquences significatives aux composantes naturelles en place. Le présent essai se termine par la présentation d'une liste de suggestions visant à modifier certaines pratiques et à effectuer certaines mises à jour d'installations devenues désuètes. Il y aura aussi lieu d'implanter d'autres mesures préventives qui, si elles sont appliquées par l'administration en

place, transformeront de façon radicale les retombées environnementales de leurs opérations. Un ordonnancement des mesures correctrices suggérées a été ajouté afin de donner un caractère plus applicable aux suggestions effectuées aux gestionnaires du site.

Cette nouvelle approche de gestion fera en sorte que le parc pourra, même dans le contexte de l'opération d'un équipement récréatif aussi lourd, continuer de satisfaire aux exigences de sa mission de conservation du patrimoine naturel, tout en permettant à la population de venir s'y récréer dans un environnement de qualité. Qui plus est, les mesures correctrices identifiées pourraient facilement être exportées vers d'autres centres de ski de pente qui ont recours à l'enneigement artificiel.

En conclusion, cette approche de gestion reliée aux pratiques d'enneigement artificiel permet de mettre en équilibre les préoccupations environnementales et la rentabilité économique reliées au fonctionnement d'un centre de ski de pente. De plus, cette approche se dégage comme étant l'avenue à privilégier dans le contexte actuel, où les préoccupations environnementales sont de plus en plus à considérées à l'intérieur de la gestion des entreprises. En effet, cette démarche s'inscrit dans un processus de développement durable et est de nature à s'insérer dans la mission dévolue aux parcs nationaux du Québec et à assurer le maintien des conditions d'exploitation susceptibles d'attirer et de satisfaire la clientèle récréative. Les gestionnaires ont donc avantage à introduire les aspects environnementaux à leurs préoccupations de gestion et à leur souci de rentabilité économique.

RÉFÉRENCES

- ARBOUR, D. ET ASSOCIÉS (2005). Information sur le prélèvement d'eau dans l'Étang-aux-Cerises, Sherbrooke, 2 p.
- AYOTTE, É. (2005). Chargé de projet à la station touristique du Mont Tremblant, communications personnelles, 2005.
- BERGERON, D. (2005). Président de la firme aqua-berge, communications personnelles, 2005.
- BUREAU DES AUDIENCES PUBLIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT (BAPE) (2005). Rapport d'enquête et d'audience publique, Les répercussions d'un échange de terrains sur la biodiversité et l'intégrité écologique du Mont Orford, Québec, 124 p.
- DE BILLY, P. (2000). Le flocon des pistes et le flocon des champs, L'actualité, no 25, vol 2, suppl. Géographica, p.11-14.
- CANUEL, H. (2003). Bilan des connaissances sur le bassin versant du ruisseau Castle, Société de la Faune et des Parcs du Québec, direction de l'aménagement de la faune de l'Estrie, Sherbrooke, 120p.
- COOKE, R. (1993). Étude post-impact de l'aménagement des pistes de ski alpin sur le mont Giroux, ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Parc du Mont-Orford, 20 p.
- COOKE, R. (2005). Biologiste au ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. Direction régionale de l'Estrie, communications personnelles, 2005.
- CÔTÉ, J. (2005). chargé de projet, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, communications personnelles, 2005.
- CURRY, D. (2005). Programme d'échantillonnage des tributaires de la MRC de Memphrémagog : analyse et recommandations 2004, MRC de Memphrémagog, Magog, 137 p.
- DELTA ASSOCIATED GROUP (1984). Étude sommaire sur l'impact environnemental d'un projet d'implantation d'un système de fabrication de neige, Canton d'Orford, 8 p.
- DEMERS, P. (2005). Considérations écologiques et fauniques de prélèvement d'eau dans l'Étang-aux-Cerises en relation avec l'étang et la Rivière-aux-Cerises au Parc national du Mont-Orford, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, direction de l'aménagement de la faune de l'Estrie , Sherbrooke, 30 p.
- DEVARENNES, G. (1994). Effet de la neige artificielle sur les écosystèmes montagneux, mémoire présenté à L'Institut national de Recherche scientifique, Université du Québec, 47p.

- DORÉ, C. (1993). Plan de gestion des ressources naturelles du Parc du mont Orford, volume 1, 1992-1997, rapport préparé pour le ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, direction du plein air et des parcs, Magog 191 p.
- DURANLEAU, A. (2005). Responsable de l'enneigement artificiel à la station de ski du Mont Orford, communications personnelles, 2005.
- ENVIRONNEMENT CANADA (2005). Normales climatiques au Canada 1971-2000, sur le site d'Environnement Canada, <http://www.climat.meteo.ec.gc.ca>, Consulté le 22 juin 2005.
- GUILLEMETTE, S. (1998). Suivi de l'érosion dans les pistes de ski alpin, Parc du Mont-Orford, Orford, 10 p.
- JUTRAS, P. (1998). Ruisseau Castle, étude effectuée pour Memphrémagog conservation inc., Magog, 145 p.
- LANDRY, B. ET MERCIER, M. (1992). Notion de géologie, 3^e édition, Modulo Éditeur, Mont-Royal, 565 p.
- LECOQ, V. (1997). Université de Bretagne occidentale –29200 Brest France, Monitoring de l'érosion des pistes de ski, Rapport de stage pour le compte du Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Parc du Mont Orford, Magog, Québec. 82p.
- LUSSIER, A. (2005). Technicien de la faune, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, direction régionale de l'Estrie, communications personnelles, 2005.
- MONT ORFORD INC. (2005). Rapport du gérant, Canton d'Orford, 328p.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS (2005). Analyse hydrologique : débit d'étiage, débits réservés et débits moyens à l'Étang-aux-Cerises, Québec, 13 p.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, DE LA FAUNE ET DES PARCS (2005). Photos aériennes, 1 :15000, 27 juin 1995, Q95129, 147-148-149.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, DE LA FAUNE ET DES PARCS (2004). Photos aériennes, , 1 :15000, 9 sept.1988, Q88114, 37-38-39.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, DE LA FAUNE ET DES PARCS (2004). Photos aériennes , 1 :15000, 29 mai 1985, Q85346, 200-201.

- PARC NATIONAL DU MONT ORFORD (2005). Inventaire des correctifs nécessaires à la route du sommet, X:\DOCUM\PARCS NATIONAUX\DPP\Côté J\Parcs du Sud\Mont-Orford\Relevé érosion 4 km.doc, 4p.
- PARC QUÉBEC (2005). Mission de conservation, présentation, Réseau Sépaq, <http://www.sepaq.com/fr/index.cfm>, Consulté le 3 septembre 2005.
- PROVENCHER, L.(1980). Atlas cartographique, tableaux et figures, Parc du Mont-Orford, 315p.
- RAPPEL (2001). Rive et nature, Guide de renaturalisation, Bibliothèque nationale du Québec, 25p.
- RICHARD, B. (2005). Opérateur des canons à neige à la station de ski du Mont Orford, Orford, communications personnelles, 2005.
- RIXEN, C., STOECKLI, V., AMMANN, W. (2003). Does artificial snow affect soil and vegetation of ski pistes? Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, vol.5/4, 225p.
- SAUVÉ, M. (2003). Biotech de belles pistes de ski bien blanches tout l'hiver : les montagnes payent peut-être un prix élevé pour réaliser le rêve des skieurs, Québec-Science, décembre 2003/janvier 2004, 5 p.
- SÉNÉCAL, F. (2005). Directeur de la montagne, station de ski du Mont Orford, communications personnelles, 2005.
- STATION TOURISTIQUE DU MONT ORFORD, cie de gestion Mont Orford inc (1983). Neige artificielle, emplacement des canons à neige, échelle 1 :2500, plan No 14-87-11-1, préparé par Claude Villeneuve, Sherbrooke, 1p.
- TEKNIKA INC. (2001). Étude d'érosion du ruisseau Castle, étude effectuée pour le compte du ministère de la Faune et des Parcs du Québec, Sherbrooke, 30 p.
- TEKINIKA INC. (2000). Travaux correctifs pour la protection du ruisseau Castle au parc de récréation du Mont-Orford, offre de service, Sherbrooke, 16p.
- TREMBLAY, C. (2005), chargé de projet à la station touristique du Mont Tremblant, communications personnelles, 2005.

ANNEXE 1 – FICHES SIGNALÉTIQUES

ZONES ÉRODÉES (PISTES DE SKI DU MONT ORFORD, GIROUX ET ALFRED-DESROCHERS)

DATE :	
NO DE PISTE :	NIVEAU D'ÉROSION :
ALTITUDE MINIMALE :	ALTITUDE MAXIMALE :
LONGUEUR DE LA ZONE ÉRODÉE (m) : LARGEUR DE LA ZONE ÉRODÉE (m) : PROFONDEUR : COMMENTAIRES :	
INDICES SPATIAUX POUR REPÉRAGE DE LA ZONE ÉRODÉE (CANONS À NEIGE; PYLONES, BOSQUETS) :	
FORME DE L'ÉROSION :	

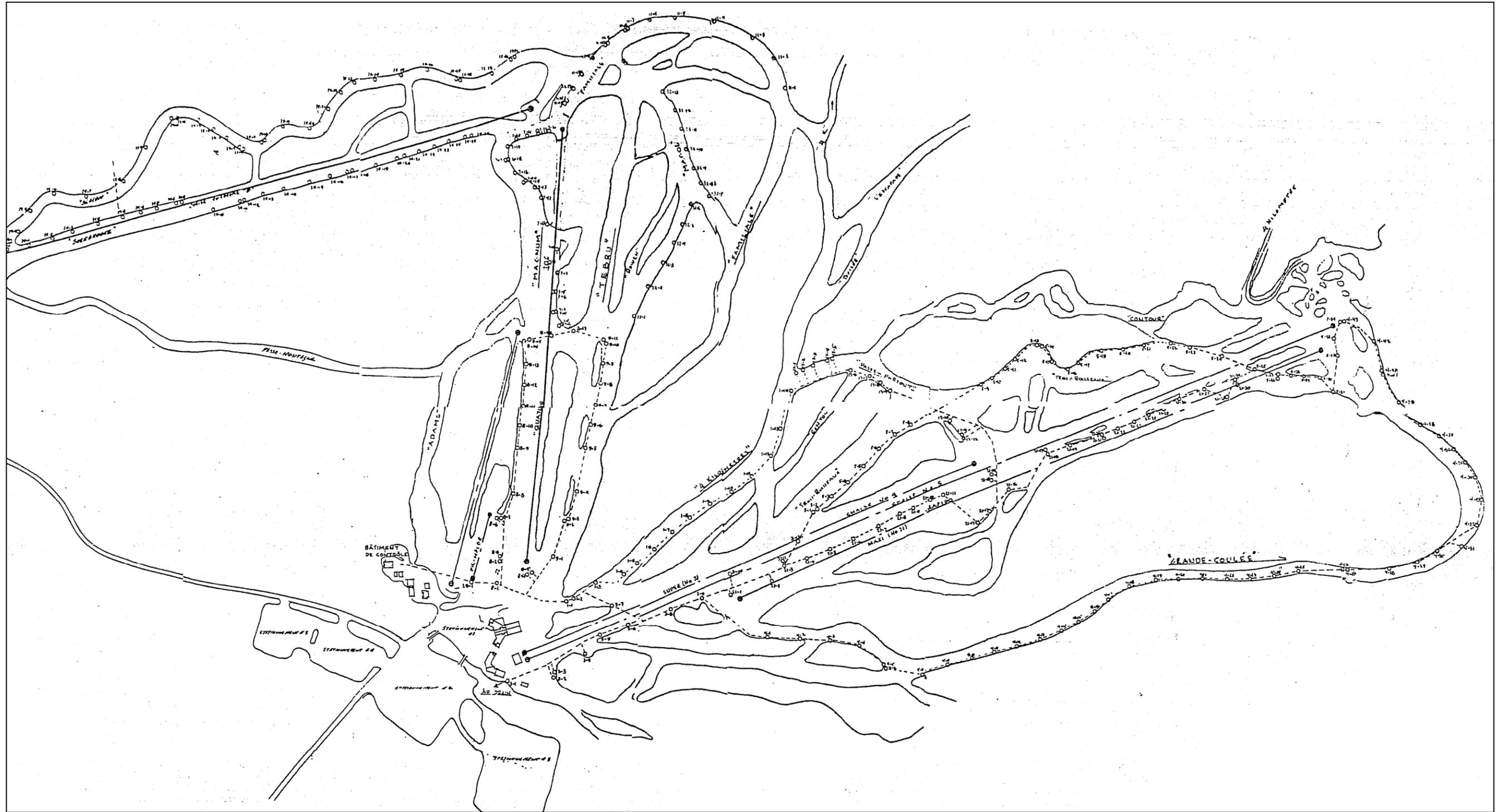
**MORTALITÉ ARBORESCENTE (PISTES DE SKI DU MONT ORFORD, GIROUX
ET ALFRED-DESROCHERS)**

DATE :
NO DE LA PISTE :
NO DE L'HYDRANT :
NOMBRE DE MORTALITÉ AUTOUR DE L'HYDRANT :
RAYON :
REMARQUES :

**BARRES D'EAU OU CANAUX DE DRAINAGE (PISTES DE SKI DU MONT
ORFORD, GIROUX ET ALFRED-DESROCHERS)**

DATE :
NO DE PISTE :
BARRE D'EAU OU CANAL :
ALTITUDE :
INDICES SPATIAUX POUR REPÉRAGE DE LA BARRE D'EAU :
REMARQUE :

ANNEXE 2 – CARTE DES HYDRANTS SUR LE MASSIF DU MONT ORFORD
(Station touristique du Mont Orford, 1983)



Tiré de Station Touristique du Mont Orford, 1983

**ANNEXE 3 - RELEVÉ DE L'ÉROSION SUR LA « 4 KILOMÈTRE »
(Parc du Mont-Orford, 2005)**

Parc du Mont-Orford

Inventaire des correctifs nécessaires à la route du sommet

C'est dans le contexte du transfert de cette même responsabilité que les instances de la Direction des parcs, gestionnaire de ce bail, ont entrepris une évaluation de la situation de l'érosion qui prévaut actuellement sur cette route, afin d'être en mesure de déterminer la contribution qui sera exigée de Télé-Québec afin de transférer cet équipement dans un état recevable pour un éventuel futur détenteur de ce bail (Orford inc.)

Nous avons procédé au recensement des sites d'érosion à partir du sommet, à la croisée des chemins qui conduisent respectivement au site de débarquement du remonte-pente et au site des tours de transmission érigées au sommet. Ce point de jonction constitue le point 0+00 de notre relevé. Le seul outil à notre disposition pour situer les sites recensés avec une relative précision était l'odomètre du véhicule.

Les côtés gauche et droit du chemin sont déterminés par la personne lorsqu'elle regarde vers le bas de la pente.

0+00,13

Érosion dans le fossé côté gauche : l'eau quitte le fossé parfois comblé de sédiments et parfois interrompu par des affleurements rocheux. Une crevasse d'une longueur de 40 mètres et d'une largeur de 0,6 mètre sur une profondeur de 1,3 mètres a été creusée par les eaux de ruissellement.

Il faudra creuser le fossé et utiliser le Tremak pour casser les affleurements rocheux qui font obstruction à l'écoulement des eaux.

0+00,19

Le fossé du côté droit du chemin est interrompu par un affleurement rocheux. Il faudra casser le roc au Tremak sur une longueur de 17 mètres.

0+00,2

Érosion transversale à l'axe du chemin. Rechargement de l'assise.

0+00,25

Nettoyage du fossé sur une longueur de 24 mètres. Recharger l'assise de la route sur une longueur de 25 mètres.

0+00,3

Nettoyage de l'entrée du ponceau

0+00,35

Creuser le fossé du côté droit dans l'affleurement rocheux.

0+00,4

Changer et grossir le TTOG; creuser un puits de rétention au Tremak; procéder à l'empierrement de la sortie du ponceau; prévoir des bermes filtrantes dans le fossé pour ralentir la vitesse de l'eau.

0+00,41

Creuser le fossé au Tremak sur une distance de 15 mètres. Nettoyer le fossé du côté droit du chemin.

0+00,48

Creuser le fossé à droite au Tremak, sur une longueur de 30 mètres. Nettoyer le fossé.

0+00,52

Nettoyage du fossé à droite du chemin.

0+00,56

Creuser le fossé au Tremak sur une longueur de 6 mètres du côté droit du chemin.

0+00,6

Nettoyer l'entrée du ponceau, creuser le fossé au Tremak sur une longueur de 100 mètres du côté droit du chemin; recharger l'assise du chemin sur une longueur de 100 mètres.

0+00,85

Aménager une barre d'eau pour chasser l'eau à gauche du chemin; creuser une voie d'évacuation de l'eau en forêt; creuser le fossé du côté gauche et recharger l'assise du chemin sur une longueur de 150 mètres.

0+01,13

Nettoyer le fossé à gauche et recharger l'assise du chemin.

0+01,4

Aménager une barre d'eau pour décharger l'eau à droite du chemin. Enlever les roches qui affleurent dans l'assise du chemin.

0+01,55

Aménager une barre d'eau qui décharge les eaux à gauche; nettoyer et creuser le fossé à droite, recharger l'assise du chemin.

0+01,6

Changer le ponceau; nettoyer le fossé sur tout le versant de la pente; recharger l'assise du chemin.

0+01,8

Creuser l'affleurement au Tremak sur une longueur de 30 mètres. Recharger l'assise du chemin.

0+01,88

Installer un TTOG de 45 cm, avant le début de la courbe; empierrer la sortie du ponceau; recharger l'assise du chemin.

0+01,9

Aménager une barre d'eau qui décharge les eaux à gauche.

0+02,6

Changer et grossir le TTOG à 90 cm; nettoyer le fossé du côté gauche du chemin.

0+03,0

Nettoyer le fossé des deux côtés du chemin.

Recharger l'assise de la route entre le bas de la jonction de l'accès au mont Giroux et le bas de la piste 4 km.

Travail exécuté par :

MM. Richard Cooke, MDDEP
Jean Côté, MDDEP
Alain Duranleau, Orford inc.

ANNEXE 4 - PHOTOS AÉRIENNES DU MASSIF DU MONT ORFORD
(Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, 2004)

Photo aérienne du massif du Mont-Orford 9 septembre 1988, échelle 1 :15000

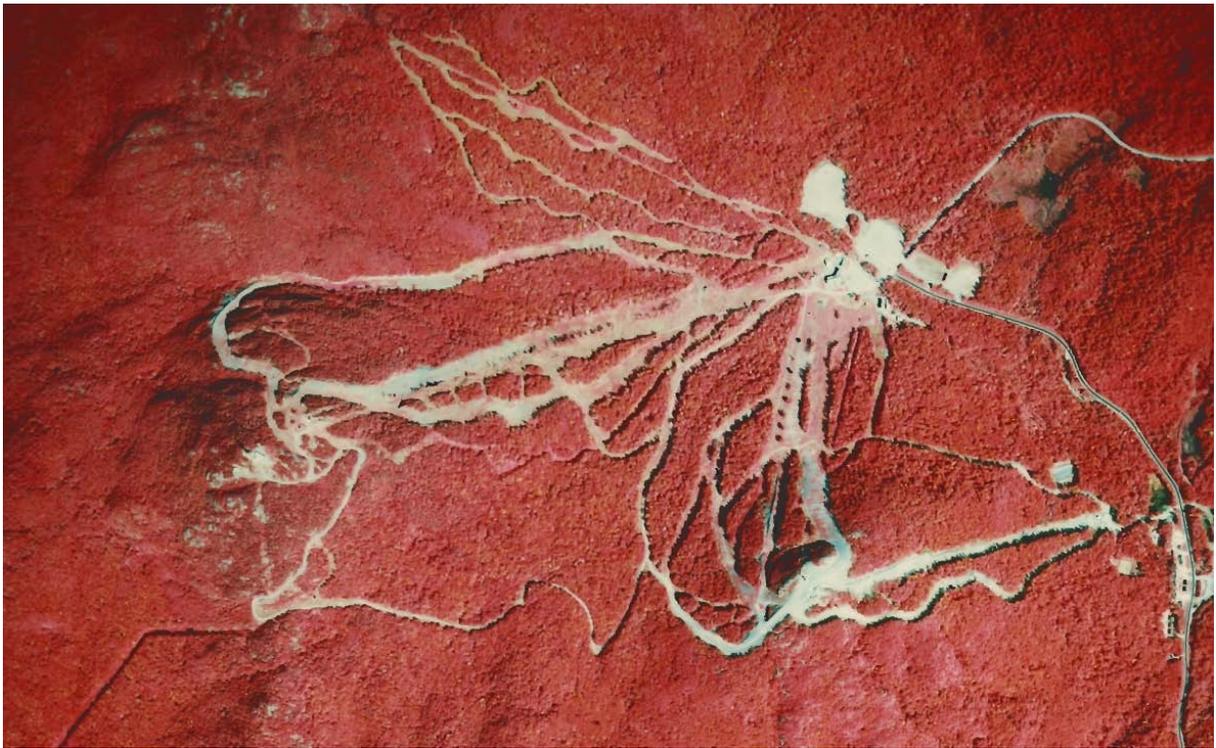


Photo aérienne du massif du Mont-Orford 27 juin 1995, échelle 1 :15000

