

---

## SUMMARY

---

If the CO<sub>2</sub> content of the atmosphere continues to rise and the predicted response of climate to this increase is correct, then the Mackenzie valley will experience one of the highest rises in mean annual air temperature for any region in Canada. This possibility calls into question the response of permafrost and the behaviour of ice-rich sediments which typify this region. Although ice-rich permafrost inherently resists climate warming, the potential for thawing to disrupt communities and industrial and economic activity warrants an evaluation of terrain sensitivity so that the consequences of climate warming in the Mackenzie valley can be anticipated. This report is divided into five sections that provide a basis for understanding how climate change will physically affect the Mackenzie valley.

The physical nature and climate of the Mackenzie valley is presented in the first section, with a focus on the distribution, type, and ice content of surficial materials in the region and the geological processes that produced them. The second section deals with reconstructions of past climate. These reconstructions provide indications of climate variability that can be compared with predicted changes. In the third section, permafrost throughout the Mackenzie valley is characterized, emphasizing the relationship between ground temperatures and surface environment. A documentation of ground ice along a north-south transect through part of the Mackenzie valley is included to supplement the ground-ice data presented in the first section. Presentations of active-layer thickness and the distribution of permafrost along shorelines complete this section. These two sections cover aspects of permafrost distribution that are strongly dependent on factors that may be as influential as climate change. In the fourth section, the two most active processes currently changing the landscape are described: river flow and landslides. The possible impact of climate change on these processes is also discussed. The report is completed with the fifth section on predicted changes in permafrost thickness and distribution under specified amounts of warming. The following paragraphs summarize the content of the report.

The present climate of the Mackenzie valley is described in terms of the factors affecting permafrost and landscape-forming processes. Physiography has a considerable influence on regional climate. The Cordillera to the west shields the Mackenzie valley from an influx of warm maritime Pacific air during the winter, thus favouring the residence of cold arctic air masses. This almost uniform winter cold is occasionally broken by the invasion of low-pressure cells from the Gulf of Alaska. During summer, the movement of warm air masses northward from the south makes the region warm for its latitude. A change in frequency of winter low-pressure cells and summer warm air masses could significantly alter both seasonal and annual

---

## SOMMAIRE

---

Si la teneur en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère continue de croître et qu'elle modifie comme prévu les conditions climatiques, la vallée du Mackenzie connaîtra l'une des hausses les plus marquées de la température annuelle moyenne de l'air de tout le Canada. Cette hypothèse soulève la question du comportement du pergélisol et des sédiments riches en glace qui caractérisent cette région. Bien que le pergélisol à haute teneur en glace présente une résistance inhérente au réchauffement climatique, il est possible qu'un dégel perturbe les lieux habités et les activités industrielles et économiques. Pour cette raison, il est justifié d'évaluer la sensibilité des terrains afin d'être en mesure de prévoir les conséquences du réchauffement climatique dans la vallée du Mackenzie. Le présent rapport est divisé en cinq sections contenant des renseignements de base pour comprendre comment le changement climatique modifiera physiquement la vallée du Mackenzie.

La première section donne un aperçu de la physiographie de la vallée du Mackenzie et du climat qui y règne, en mettant l'accent sur la répartition, le type et la teneur en glace des matériaux superficiels, ainsi que sur les processus géologiques qui les ont produits. La deuxième section traite des paléoclimats. Des reconstitutions permettent de comparer les variations du climat avec les changements prévus. Dans la troisième section, le pergélisol de toute la vallée du Mackenzie est décrit, en mettant l'accent sur le lien qui existe entre les températures du sol et l'environnement de surface. Des données sur la glace de sol le long d'un transect nord-sud, traversant une partie de la vallée du Mackenzie, y complètent les données sur la glace de sol présentées dans la première section. De plus, on y indique les épaisseurs du mollisol et la répartition du pergélisol le long des berges de cours d'eau. Ces deux sections couvrent les aspects de la répartition du pergélisol qui dépendent dans une large mesure de facteurs qui peuvent être aussi importants que le changement climatique. Dans la quatrième section, les deux processus actuels qui transforment le plus le paysage sont décrits : l'écoulement fluvial et les glissements de terrain. Les répercussions possibles du changement climatique sur ces processus sont également traitées. La cinquième et dernière section porte sur les changements prévus de l'épaisseur et de la répartition du pergélisol dans le cas d'un réchauffement important. Les paragraphes qui suivent résument le contenu du rapport.

Le climat actuel de la vallée du Mackenzie est décrit en fonction des facteurs qui perturbent le pergélisol et des processus géomorphologiques. La physiographie influe considérablement sur le climat régional. La Cordillère qui s'élève à l'ouest de la vallée du Mackenzie empêche l'air maritime chaud du Pacifique d'affluer en hiver, d'où une stagnation des masses d'air froid en provenance de l'Arctique. Ce froid hivernal quasi uniforme est parfois déstabilisé par l'arrivée de cellules de basse pression en provenance du golfe de l'Alaska. Durant l'été, le déplacement du sud au nord de masses d'air chaud contribue à rendre le climat de cette région relativement chaud, compte tenu de la latitude. Toute modification de la fréquence des cellules de basse pression en hiver et des masses d'air chaud en été pourrait avoir des répercussions considérables sur les températures saisonnières et annuelles à l'échelle régionale. Les

regional temperatures. Thus, mean annual temperatures can also be changed when the frequencies of synoptic events which disrupt these patterns are changed.

Climate is the fundamental environmental factor that determines if ground temperature will remain at or below 0°C throughout the summer. If it does, then permafrost, by definition, is present. This condition is presently favoured throughout the Mackenzie valley, but the existence of permafrost locally is controlled by vegetation, drainage, snow cover, and soil type. This is true for areas in which mean annual air temperatures are warmer than about -6°C, because the environmental factors listed above tend to dampen the penetration of winter cold. The thermal regime of permafrost throughout the Mackenzie valley is also controlled by the same factors that determine permafrost presence. For example, in the southernmost area, permafrost is associated closely with peatland character. In such cases, permafrost up to a few metres thick generally underlies peat bogs that may be elevated slightly and thus dry out in summer. This condition maximizes the insulating properties of the living vegetation mat during the warmest part of the year. Fens, characterized by a higher water table, are unfrozen. In the Fort Simpson area (mean annual air temperature: -3.7°C), permafrost reaches a thickness of 20 m and underlies roughly 30% of the terrain. Its presence in this area is also dependent on forest type. For example, spruce forests are most effective at intercepting snowfall and reducing the depth of snow on the ground, thus inducing colder ground temperatures and deeper permafrost. In the Norman Wells area (mean annual air temperature: -6.0°C), permafrost reaches a thickness of 60 m and underlies about 80% of the terrain. At Inuvik (mean annual air temperature: -9.5°C), permafrost is virtually ubiquitous and thicknesses in excess of 100 m are common; however, in the Mackenzie Delta, permafrost is generally less than 100 m thick because of warmer ground temperatures associated with dense, snow-trapping, willow growth and the warming effect of both migrating distributary channels and abundant lakes.

The glacial history of the Mackenzie valley is fundamental to understanding the distribution of surface sediments. Much of the physical character of the Mackenzie valley is derived from a series of temporary glacial lakes that were impounded by retreating ice during the waning of Laurentide glaciation. Sand, silt, and clay sediments up to 60 m thick were deposited in these lakes. These sediments are partially or completely frozen, and together with adjacent glacial deposits, commonly contain ice. This ice, as well as the particularly thick ice masses in the Tuktoyaktuk Peninsula, constitutes one of the most interesting, but troublesome, aspects of the region. Thawing greatly reduces the strength of these frozen sediments and results in a volume decrease, particularly where excess ice in the form of lenses and layers is present. This may induce

températures annuelles moyennes pourraient donc varier si la fréquence des événements synoptiques qui perturbent ces schémas était modifiée.

Le facteur environnemental fondamental qui maintient le sol à une température égale ou inférieure à 0 °C durant tout l'été est le climat. Si cette température se maintient, il y aura, par définition, présence de pergélisol. Les conditions favorables à la présence de pergélisol existent à l'heure actuelle dans toute la vallée du Mackenzie, mais la végétation, le drainage, le manteau nival et la nature des sols peuvent jouer un rôle déterminant par endroits. Ainsi, dans les régions où les températures annuelles moyennes de l'air sont supérieures à -6 °C environ, les facteurs environnementaux énumérés ci-dessus pourront empêcher la formation de pergélisol en contrecarrant la pénétration du froid hivernal. Les facteurs qui régissent le régime thermique du pergélisol dans toute la vallée du Mackenzie sont les mêmes que ceux qui déterminent la présence du pergélisol. C'est ainsi que dans l'extrême sud de cette région, le pergélisol est étroitement associé aux tourbières. Un pergélisol d'une épaisseur pouvant atteindre quelques mètres s'étend généralement dans les tourbières oligotrophes (bogs), lesquelles peuvent se soulever légèrement et, par conséquent, s'assécher en été. Cette situation accroît de façon maximale les propriétés isolantes du couvert végétal vivant durant la période la plus chaude de l'année. Les tourbières minérotrophes (fens), caractérisées par une nappe phréatique plus élevée, ne gèlent pas. Dans la région de Fort Simpson (température annuelle moyenne de l'air : -3,7 °C), le pergélisol atteint une épaisseur de 20 m et s'étend à environ 30 % du terrain. Sa présence dans la région dépend également du type de forêt. Les forêts à épinette sont, par exemple, les plus efficaces à intercepter les chutes de neige et à réduire l'épaisseur du manteau nival. Ainsi, les températures du sol sont plus basses et le pergélisol peut se prolonger à plus grande profondeur. Dans la région de Norman Wells (température annuelle moyenne de l'air : -6,0 °C), le pergélisol atteint une épaisseur de 60 m et occupe environ 80 % du territoire. À Inuvik (température annuelle moyenne de l'air : -9,5 °C), le pergélisol est pratiquement omniprésent et dépasse souvent 100 m d'épaisseur. Cependant, dans le delta du Mackenzie, le pergélisol présente généralement une épaisseur de moins de 100 m. Cette plus faible épaisseur du pergélisol est attribuable à des températures du sol plus élevées, lesquelles résultent de la présence de saules denses retenant la neige, ainsi que de l'effet de réchauffement associé à des défluent à parcours variable et à un nombre élevé de lacs.

Afin de comprendre la répartition des sédiments superficiels, il faut connaître l'histoire glaciaire de la vallée du Mackenzie. La physiographie de cette vallée a été façonnée par une série de lacs glaciaires temporaires dont les eaux étaient retenus par des glaciers en recul durant les stades finaux de la glaciation laurentidienne. Jusqu'à 60 m de sable, de silt et d'argile se sont déposés dans ces lacs. Ces sédiments sont partiellement ou entièrement gelés et, tout comme les sédiments glaciaires voisins, ils contiennent habituellement de la glace. C'est cette glace, ainsi que les amas de glace particulièrement épais dans la péninsule de Tuktoyaktuk, qui constituent l'un des aspects les plus intéressants, mais les plus inquiétants de cette région. Le dégel diminue beaucoup la résistance des sédiments gelés en en réduisant le volume, en particulier s'ils contiennent de la glace excédentaire sous forme de lentilles et de couches. Le dégel peut déclencher des glissements de terrain, augmenter l'alluvionnement des cours d'eau et réduire ou éliminer la

landslides, increase sediment contribution to rivers, and reduce or eliminate the ability of earth materials to support buildings and transportation facilities. Although ice contents are highly variable, they are generally related to sediment textures. Silt and clay tend to have the highest ice contents because of the high capillarity which promotes ice-lens growth; amounts in excess of 50% are possible. Therefore, glacial-lake sediments (silt and clay) and fine-grained tills (sediments deposited by glaciers) are most likely to be ice rich, whereas fluvial sediments (sand and gravel) are least likely to have an ice content that exceeds the pore volume.

Proxy climate indicators, namely pollen in lake-bottom sediments, tree rings, prehistoric sand-dune activity, and ground-temperature distributions in boreholes can be used to reconstruct climate prior to the instrument record. Different amounts of detail are available, depending on the precision associated with a particular indicator. Between 10 000 and 6000 years BP, summer temperatures were probably 1 to 3°C warmer than at present and conditions were drier. Dune fields developed after the retreat of the Laurentide ice sheet, when barren areas of glacial sediments were exposed to wind erosion. These dune fields may have been stabilized by a cooler, wetter period after 6000 years BP. More detailed climatic reconstruction is available for the last 1000 years based on studies of tree-ring chronologies. Tree growth is one of the major pieces of evidence for the occurrence of the Little Ice Age in the Mackenzie valley, during which the mean annual air temperature was probably a maximum of 2 to 3°C cooler than at present. Ground-temperature measurements in boreholes also show evidence of warming over the last 50 to 200 years. This is evident in areas where shallow ground temperatures remain out of equilibrium with the temperature at the ground surface.

Modelling that takes into account the insulating effect of vegetation and snow cover is used to predict the response of permafrost to continued climate warming under different warming scenarios. For a 40 km<sup>2</sup> area surrounding Fort Simpson, permafrost is predicted to virtually disappear under a 2°C increase in mean annual air temperature (Wright, 1995). For the same increase in temperature at Norman Wells, it is predicted that permafrost will be reduced to about half its present extent. It should be noted that these are equilibrium predictions, in which permafrost is fully adjusted to a mean annual temperature that is different from that of the present. Therefore these models give no information about how quickly these changes will take place or on the severity of impacts which may be associated with melting ground ice.

To predict the rate of thaw, modelling has also been carried out for specific locations where ground-ice contents are known (Geo-Engineering (M.S.T.) Ltd., 1995). A 4 to 5°C increase in mean annual air temperature due to a doubling of atmospheric CO<sub>2</sub> is predicted

capacité des matériaux meubles à supporter des bâtiments et des installations de transport. La teneur en glace, très variable, est généralement liée à la texture des sédiments. On observe les teneurs les plus élevées dans les dépôts de silt et d'argile étant donné que la plus forte capillarité qu'offrent ces matériaux favorise la croissance des lentilles de glace; la proportion de glace peut dépasser 50 %. C'est ainsi que les sédiments glaciolacustres (silt et argile) et les tills à grain fin (sédiments déposés par les glaciers) sont le plus souvent riches en glace, tandis que les sédiments fluviaux (sable et gravier) sont moins susceptibles de contenir un volume de glace qui dépasse le volume des vides interstitiels.

Les indicateurs climatiques de substitution, comme le pollen récolté dans les sédiments lacustres, les cernes de croissance des arbres, l'évolution préhistorique des dunes de sable et les diagrammes de la température du sol peuvent servir à reconstituer le paléoclimat. Selon la précision de l'indicateur utilisé, on peut obtenir des données plus ou moins détaillées. Dans la période de 10 000 à 6 000 ans qui nous précède, les températures estivales étaient probablement plus chaudes de 1 à 3 °C qu'elles ne le sont aujourd'hui, et les conditions plus sèches. Des champs de dunes se sont formés après le recul de l'Inlandsis laurentidien, au moment où des sédiments glaciaires dépourvus de couvert végétal sur de vastes étendues ont été exposés à l'érosion éolienne. Une période plus froide et plus humide, après 6 000 ans, a peut-être stabilisé ces champs de dunes. La dendrochronologie (datations établies à partir des cernes de croissance des arbres) permet de reconstituer de façon plus détaillée le climat qui régnait au cours du dernier millénaire. Les cernes de croissance sont l'un des principaux indicateurs du Petit âge glaciaire dans la vallée du Mackenzie. Durant cette période, la température annuelle moyenne de l'air était probablement plus basse qu'aujourd'hui, de 2 à 3 °C au maximum. Les mesures de la température du sol dans des sondages indiquent également un réchauffement au cours des 50 à 200 dernières années. Ce réchauffement est évident dans les zones où les températures du sol à faible profondeur ne sont pas en équilibre avec la température enregistrée à la surface du sol.

Les modèles qui tiennent compte de l'effet isolant de la végétation et du manteau nival servent à prévoir la réaction du pergélisol à un réchauffement climatique continu par l'application de différents scénarios. Dans un secteur de 40 km<sup>2</sup> entourant Fort Simpson, on prévoit que le pergélisol disparaîtrait pratiquement si la température annuelle moyenne de l'air devait augmenter de 2 °C (Wright, 1995). Si on applique les mêmes prévisions à Norman Wells, l'étendue du pergélisol diminuerait de moitié. À noter que ce sont des prévisions basées sur des réactions d'équilibre, où le pergélisol réagirait dans son ensemble à une température annuelle moyenne différente de celle d'aujourd'hui. Ces modèles ne renseignent donc aucunement sur la rapidité de ces changements ou sur l'importance des répercussions qui pourraient être associées au dégel de la glace de sol.

Afin de prévoir le taux de dégel, des modèles ont été produits pour des endroits bien définis où la teneur de la glace de sol est connue (Geo-Engineering (M.S.T.) Ltd., 1995). Le modèle de circulation générale du Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique prévoit que, dans la vallée du Mackenzie, la



for the Mackenzie valley by the general circulation model of the Canada Centre for Climate Modelling and Analysis. If it is assumed that this doubling takes place in 50 years and that the climate responds on this time scale, then an air temperature trend can be constructed. This warming over 50 years would eradicate permafrost with average ice contents in the Fort Simpson area and cause substantial thinning from the top down of permafrost in the Norman Wells area, but would only increase the thickness of the active layer (the surface layer which thaws and refreezes each year) in the Tuktoyaktuk area. Changes in snow cover are taken into account in the model, as a decrease and increase relative to current amounts, because of the uncertainty of the manner in which snow accumulation will respond to an increase in temperature. If snow cover did decrease, then ground temperatures would remain cool because of decreased insulation in winter.

Ground-surface conditions controlling the transfer of heat between the air and the ground are probably the most difficult factors to account for in modelling permafrost formation or disappearance. The predictions given by the models are indications of what may happen if climate change consists of only an increase in mean annual air temperature. The actual surface conditions at a site, including snowfall, may be different and more complex than those included in the model. Although the tendency of permafrost to thaw, and the relative responses of permafrost at different general locations are likely correct, the predicted depth of thaw given for a particular site is only an estimate, and probably is inaccurate, especially where real conditions differ from those incorporated in the model.

Processes related to thawing permafrost and ground ice will also respond to climate warming. Most disruptive will be landslides and loss of ground-bearing capacity. Because the response of these processes depends on so many factors, accurately predicting the timing for slope failure or the amount a given area will subside is difficult. Instead, sensitivity to thawing has been determined so that the tendency of a given process to respond to climate warming can be estimated. The stability of river banks in frozen sand and silt deposits will be markedly reduced by a 5 to 10 m reduction in the thickness of frozen sediments; however, if it takes 50 years for this thinning to take place, then distinguishing a failure by this mechanism from ongoing fluvial toe erosion will be difficult. Attributing landslides to climate change may be easier with forest-fire-related active-layer flows. If climate change results in more burning, then more fire-related slides will occur.

The present warming trend can reasonably be expected to continue into the twenty-first century, although the accuracy of the predicted warming is arguable. Considering that permafrost in the southern part of the Mackenzie valley is scattered over wide areas and is at most only a few metres thick, the consequences of this warming will not be severe. Physical

température annuelle moyenne de l'air augmentera de 4 à 5 °C si la quantité de CO<sub>2</sub> atmosphérique devait doubler. Si l'augmentation s'étalait sur 50 ans et que le climat était modifié en conséquence durant cette période, la tendance se dégageant de la variation de la température de l'air pourrait être établie. Un tel réchauffement étalé sur une période de 50 ans éliminerait le pergélisol à teneur en glace moyenne de la région de Fort Simpson et il réduirait considérablement l'épaisseur du pergélisol dans la région de Norman Wells, du haut vers le bas de la coupe gelée. Dans la région de Tuktoyaktuk, par ailleurs, le seul effet prévisible serait une augmentation de l'épaisseur du mollisol (la couche de surface qui dégèle et regèle à chaque année). Dans ce modèle, on tient compte des variations de l'épaisseur du manteau nival selon qu'elle diminue ou augmente par rapport à celle d'aujourd'hui, puisque nous ne savons pas quel sera l'effet d'une augmentation de température sur les accumulations de neige. Si l'épaisseur du manteau nival diminuait, les températures du sol s'abaisseraient par suite de l'amincissement de la couche d'isolation en hiver.

Les conditions de la surface du sol qui régissent le transfert de chaleur entre l'air et le sol sont probablement les facteurs les plus difficiles à prendre en compte dans la modélisation de la formation ou de la disparition du pergélisol. Les modèles donnent des indications sur ce qui peut se produire si le changement climatique n'est causé que par une augmentation de la température annuelle moyenne de l'air. Les conditions qui existent réellement à la surface, incluant les précipitations nivales, peuvent différer et être plus complexes que celles incluses dans les modèles. Même si les prévisions quant à la tendance au dégel du pergélisol et à la réponse relative du pergélisol à différents endroits généraux sont probablement exactes, il ressort que l'évaluation de la profondeur prévue du dégel à un endroit donné ne constitue qu'une estimation et est donc probablement inexacte, surtout si les conditions réelles diffèrent de celles incorporées dans le modèle.

Les processus liés au dégel du pergélisol et à la présence de glace de sol réagiront également au réchauffement climatique. Les processus les plus perturbateurs sont les glissements de terrain et la perte de capacité portante du sol. Étant donné le grand nombre de facteurs qui entrent en jeu, il est difficile de prévoir avec précision le moment où se produira la rupture d'un versant ou l'importance du tassement du sol en un endroit donné. La détermination de la sensibilité d'un sol au dégel vise à faciliter l'estimation de la réponse d'un processus donné au réchauffement climatique. La stabilité de berges de rivières gelées qui se composent de sable et de silt diminuerait de façon marquée si l'épaisseur des sédiments gelés accusait une réduction de 5 à 10 m. Cependant, si l'amincissement du pergélisol s'étalait sur 50 ans, il serait difficile de distinguer une rupture due à ce mécanisme de l'érosion fluviale normale par sapement. On aurait plus tendance à attribuer les glissements de terrain à un changement climatique si ceux-ci étaient liés à un fluage du mollisol attribuable à des feux de forêt. Si le changement climatique augmentait le nombre des feux de forêt, le nombre de glissements dus à ces feux serait plus élevé.

La tendance au réchauffement que l'on observe aujourd'hui devrait se maintenir au cours du prochain siècle, même si l'on peut contester l'exactitude des prévisions. Étant donné que le pergélisol dans la partie sud de la vallée du Mackenzie est réparti de façon irrégulière et qu'il mesure tout au plus quelques mètres d'épaisseur, les conséquences du réchauffement ne seront pas graves. Les processus géomorphologiques, qui interfèrent avec les activités

effects on the terrain, which interfere with land use, are unlikely to occur until thicker, ice-rich permafrost regions along the middle and upper parts of the discontinuous permafrost zone (north of Fort Simpson) are warmed sufficiently to promote widespread thaw. In the meantime, short-term events, such as particularly warm summers and forest fires, must be included in any assessment of environmental change that is likely to affect permafrost. Other geomorphic processes, such as fluvial erosion and deposition, which are intrinsic to the landscape, will continue regardless of foreseeable climate changes. Presently these processes are causing local modifications to the distribution and temperature of permafrost which can be as pronounced as any changes associated with predicted climate warming.

---

## REFERENCES

### **Geo-Engineering (M.S.T.) Ltd.**

1995: Potential impact of global warming in permafrost in the Mackenzie Valley; Geological Survey of Canada, Open File 3017, 224 p.

### **Wright, J.F.**

1995: A hybrid model for predicting permafrost occurrence and thickness; M.Sc. thesis, Carleton University, Ottawa, Ontario, 92 p.

d'aménagement des terres, ne devraient pas se produire tant que les régions où le pergélisol est plus épais et riche en glace, le long des parties intermédiaire et supérieure de la zone de pergélisol discontinue (au nord de Fort Simpson), ne subiront pas un réchauffement suffisant pour favoriser le dégel. Entre-temps, des phénomènes de courte durée, comme des étés particulièrement chauds et des incendies de forêt, doivent être pris en compte dans toute évaluation d'un changement environnemental susceptible de modifier le pergélisol. D'autres processus géomorphologiques, comme l'érosion fluviale et l'alluvionnement, intrinsèques à ce type de milieu, se poursuivront quels que soient les changements climatiques prévus. À l'heure actuelle, ces processus modifient ici et là la répartition du pergélisol et sa température; ils peuvent être aussi prononcés que les changements associés au réchauffement climatique prévu.

---

## RÉFÉRENCES

### **Geo-Engineering (M.S.T.) Ltd.**

1995: Potential impact of global warming in permafrost in the Mackenzie Valley; Geological Survey of Canada, Open File 3017, 224 p.

### **Wright, J.F.**

1995: A hybrid model for predicting permafrost occurrence and thickness; M.Sc. thesis, Carleton University, Ottawa, Ontario, 92 p.