

CASTLEGUARD



DALTON MUIR ♦ DEREK FORD

CASTLEGUARD



DALTON MUIR ♦ DEREK FORD

Castleguard

Une vallée étroite s'étend au bord du champ de glace Columbia, dans le parc national de Banff. Une de ses extrémités est un endroit désolé et désert, nouvellement formé à la suite du recul de la glaciation. De là, la vallée descend graduellement et se transforme d'abord en pré alpin puis en une forêt septentrionale de conifères. Les vallées et les glaciers environnants racontent comment les paysages du Canada se sont formés, des grandes périodes glaciaires jusqu'à la floraison estivale d'aujourd'hui.

En cours de route, le long de la vallée, il y a une caverne, la seule entrée d'un énorme complexe de couloirs souterrains qui serpentent sous la vallée et le glacier sur une longueur de dix-huit kilomètres. Dans cet abysse noir et froid de Castleguard, l'eau s'est forgé un passage en usant, érodant, dissolvant le roc pendant des millénaires. Des stalactites d'un blanc étincillant, parmi les plus purs au monde, croissent depuis des milliers d'années.

Laissez-vous émerveiller par l'austère beauté de cet endroit, formé par l'eau, le froid et le temps, que des explorateurs audacieux ont découvert et photographié pour vous.

CASTLEGUARD

CASTLEGUARD

DALTON MUIR ♦ DEREK FORD

Centenaire des
parcs nationaux



National Parks
Centennial

Publié en vertu de l'autorisation
du ministre de l'Environnement
©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1985
En vente au Canada par l'entremise de nos
agents libraires agréés
et autres librairies
ou par la poste auprès du:
Centre d'édition du gouvernement du Canada
Approvisionnements et Services Canada
Ottawa, (Canada) K1A 0S9

N° de catalogue R62-223/1985F
ISBN 0-660-91440-9

au Canada: 34,95\$
à l'étranger: 41,95\$ C

Prix sujet à changement sans préavis

Canada

Table des matières

Préface	
Castleguard	
Les deux visages de Castleguard	Photographies 1 à 5
Une terre nouvelle	Photographies 6 à 17
Une succession de communautés végétales	Photographies 18 à 21
L'eau, source de vie	Photographies 22 à 32
La petite période glaciaire	Photographies 33 à 45
Formation des cavernes : la surface	Photographies 46 à 65
Formation des cavernes : le sous-sol	Photographies 66 à 102
Le retour à la lumière	Photographies 103 à 107
Impressions	Photographies 108 à 113
Perspective	
Cartes	
Photographes/Remerciements	

Préface

Parce que nous avons choisi, à toutes fins pratiques, des endroits distinctifs et attrayants pour représenter les paysages et les écosystèmes du Canada, plusieurs des caractéristiques de nos parcs nationaux sont visiblement étalées, à la vue même de l'observateur fortuit. Les parcs les plus populaires présentent, sans vergogne, leurs panoramas à des millions de visiteurs annuellement. Et pour en profiter pleinement, le touriste a accès à un large éventail de moyens tels que les routes asphaltées, les sentiers d'excursions, les terrains de camping et les chalets, les programmes d'interprétation et des feuillets d'écotour.

D'autre part, certaines parties du Canada, caractérisées par l'isolement et la nature à son état sauvage, invitent les personnes intrépides, téméraires et celles qui peuvent se le permettre, à découvrir ces endroits sauvages et difficilement accessibles.

Entre ces deux extrêmes, il y a des parcs qui ont une mission particulière - des rivières pour les amateurs de canots, des archipels pour les plaisanciers, des dunes et des plages, des prés ondoissants, des sentiers d'hiver, des sources thermales, des chutes et des zones d'avalanche, des refuges pour les oiseaux migrateurs.

Il y a 31 parcs nationaux et des milliers de façons de célébrer leur centenaire. Bien que chacun d'entre eux ait été choisi grâce à l'aspect ou à l'écosystème particulier qu'il représente, les parcs ne sont pas pour autant des endroits homogènes; ils forment plutôt une mosaïque d'éléments se complétant les uns les autres et dont plusieurs sont par eux-mêmes dignes d'attention.

Ce sont des circonstances particulièrement fortuites qui ont amené la publication de ce livre comme contribution à la célébration du centenaire. Un texte clair et scientifiquement exact, des photographies remarquables servent de médium aux auteurs pour décrire l'évolution et les caractéris-

tiques des grottes et de la vallée de Castleguard, ce petit complexe unique en son genre situé en haute altitude dans le parc national de Banff.

En réalité, les grottes sont plus isolées et plus difficiles à explorer que nos îles les plus septentrionales de l'Arctique. Leur environnement souterrain est totalement différent de tout paysage de surface.

Les grottes de Castleguard sont un véritable laboratoire naturel où les géomorphologues peuvent étudier la création de concrétions de calcite, la chronologie des changements climatiques et évaluer les effets hydrologiques et hydrochimiques dans la formation des cavernes.

Ce volume ne constitue pas un aride rapport de recherche ni la simple description d'une exploration de caverne. Les auteurs ont donné de la vie à l'histoire géologique de la vallée et au déploiement des mystères souterrains. Ils ont nantis le complexe d'une personnalité géographique et ils nous ont brossé la «biographie» de cette section fascinante de notre plus ancien parc national. Ce volume devrait servir à titre d'exemple de vulgarisation scientifique dans la description des éléments distinctifs d'autres endroits remarquables de notre système de parcs nationaux.

Je suis très heureux d'avoir été invité à préfacier cet ouvrage qui a réussi à décrire de façon innovatrice l'évolution, en haute altitude, d'un terrain dans un environnement des moyennes altitudes.

En 1980, la Société géographique royale du Canada coparrainait une importante expédition dirigée par Derek Ford à la caverne de Castleguard. Ce volume nous donne une raison d'être fiers de cette première association dans l'étude de ce remarquable labyrinthe.

J. Keith Fraser
Secrétaire exécutif
Société géographique
royale du Canada

Castleguard

Nous sommes dans une haute vallée de montagne entourée de glaciers; cette vallée renferme un pré alpin riche en végétation. Une énorme caverne est sise sous nos pieds. La vallée et la caverne font partie du complexe de Castleguard dans le parc national de Banff. Elles tirent leur nom du mont Castleguard qui surplombe la vallée. Le mont, la vallée et la caverne, touchent l'extrémité du champ de glace Columbia, le plus gros des glaciers qui existent encore dans les Rocheuses.

La vallée est petite, environ 7 km de longueur, et elle n'est ni profonde, ni large. Elle est cependant inusitée parce qu'elle se trouve en haute altitude, soit à 2230 m en son centre, et parce qu'elle est coupée à ses deux extrémités et semble ainsi suspendue. Le glacier Saskatchewan a été le haut de la vallée tandis que la rivière Castleguard en a effacé la partie inférieure lorsqu'elle se creusa sa propre vallée plus profondément. La végétation se fait rare dans la partie de la vallée située près du glacier, mais elle augmente au gré de la descente; près de la rivière, la maigre végétation de la haute altitude fait place à la forêt.

Au milieu de la vallée, nous trouvons une toundra luxuriante; et c'est cette grande aire de végétation qui a officieusement donné son nom à l'endroit, Castleguard Meadows. En été, ces prés resplendissent grâce à la profusion de fleurs alpines multicolores. La plupart des fleurs qui poussent ici ne croissent que dans des endroits élevés, près des glaciers ou dans l'Arctique.

La vallée est un microcosme, un portrait descriptif de la façon dont les paysages se sont développés depuis le dernier passage des glaciers sur la terre : à une extrémité, la pierre nue que la glace en recul vient juste de libérer, au centre, la toundra en fleurs, à l'autre extrémité, près de la rivière, une forêt touffue et dense. Puis, sous ce pré, la caverne de Castleguard. Le mot caverne est trompeur car il ne s'agit pas ici d'un simple trou dans la terre mais d'un complexe de couloirs creusés dans

le roc. Elle prend source sous le champ de glace Columbia où certains de ses tunnels, bloqués par de la glace du glacier, et seulement quelques mètres de roc séparent la caverne des 300 m de glace qui la recouvrent. La caverne passe sous le mont Castleguard et fait surface 400 m plus bas parmi les arbres à l'extrémité inférieure du pré.

Dix-huit kilomètres de tunnels et de couloirs longs, droits, tortueux, obliques, en pentes abruptes et douces ont été explorés.

Sous tous ces passages qui ont été visités se trouvent d'autres cavernes. Personne n'a encore pu y pénétrer et peut-être qu'on ne pourra jamais le faire, car elles sont un gigantesque système de «plomberie» servant tout le complexe de Castleguard. L'eau pénètre dans ce second système par des dolines à la surface de la terre et elle en ressort par les résurgences Big Springs sous l'entrée de la caverne que l'on connaît. Cette eau provient de la pluie, de la neige et de la fonte des glaciers. Le système inférieur accommode l'eau de la pluie et de la neige, mais de dangereuses fontes à la mi-été causent des inondations tumultueuses en aval du système et elles remplissent la caverne explorée. Les chercheurs ont mesuré la capacité du second système d'absorber l'eau et ils estiment qu'elle dépasse celle de la caverne connue. De plus, le second système s'agrandit de l'équivalent du volume d'une résidence de banlieue chaque année.

Le champ de glace Columbia avec ses glaciers, la vallée, les deux systèmes de cavernes et la montagne qui donne son nom à l'ensemble forment un complexe unique en son genre. Castleguard, est un exemple frappant de la façon dont le territoire du pays a évolué durant et après la période glaciaire. C'est un endroit dynamique qui bat au rythme des changements climatiques, de la venue et du départ des glaciers et des êtres vivants. Le temps a une signification particulière ici.

Les géologues voient l'histoire terrestre en terme de longues périodes de temps. Nous vivons

aujourd'hui dans une période, qu'ils appellent période glaciaire du quaternaire, qui dure depuis 2,5 millions d'années. À plusieurs reprises pendant ces périodes glaciaires, la terre était enfouie sous la glace qui pouvait avoir des kilomètres d'épaisseur, puis elle était exposée de nouveau lorsque la glace fondait. La glace défonça la croûte terrestre, démolit les montagnes, remplit les vallées et ensevelit les plaines. Presque tout le territoire, qui est le Canada d'aujourd'hui, était sous l'empire de la glace en mouvement et la vie n'existait nulle part; il n'y avait que le vent, la neige criblante, la glace et le silence. À Castleguard, les grandes périodes glaciaires tracèrent la plupart des caractéristiques territoriales que nous y trouvons encore aujourd'hui.

Puis, il y a environ 15 000 ans, le climat commença à se réchauffer par cycle et la glace commença à fondre. L'eau s'écoula à la surface de la terre et creusa de profondes vallées. Elle se joignit à des cours d'eau souterrains qui s'infiltraient dans de profondes fissures les rognant pour en faire des cavernes. Le paysage canadien était nu, désolé, brunâtre et stérile, nouvellement formé, comme une grande partie de Castleguard aujourd'hui.

Mais au moment même où la glace se retirait, des êtres vivants commençaient à arriver. Les plantes donnaient de la couleur et les animaux venaient explorer ce nouveau territoire. Avant que la glace fondante n'ait disparu, les premiers humains y immigraient en provenance des continents orientaux. Ils ont probablement assisté à la naissance des forêts et des plaines. Ils ont probablement chassé le mammouth laineux. On retrouve leurs pointes de flèches en pierre parmi les ossements des animaux qu'ils tuaient pour manger. On connaît un peu leur culture et comment ils se sont adaptés à leur nouveau milieu. Deux genres de vie s'établirent avec les peuplades qui explorèrent les territoires nouvellement libérés. Les Esquimaux qui émigraient d'un climat arctique demeuraient au nord de la limite des arbres. Les ancêtres des Amérindiens

recherchaient des terres moins arides. Ils se déplacèrent vers le sud en direction des forêts et des prairies fécondes.

Depuis la dernière glaciation, une petite période glaciaire ou période néo-glaciaire affecta Castleguard; elle tire maintenant à sa fin. Au cours des derniers 700 ans, l'hémisphère a connu un léger refroidissement. Dans les régions montagneuses élevées, les glaciers se sont mis de nouveau à avancer et ce n'est que depuis quelques décennies qu'ils se retirent. Les effets de la petite période glaciaire sont particulièrement remarquables à Castleguard, avec ses glaciers grugeant le paysage, sa faune et sa flore luttant pour leur survie et l'univers caché de ses grottes. Castleguard nous rapproche de notre passé, nous fait prendre conscience de notre place dans la nature. En déambulant dans la vallée, nous découvrons les origines du pays où nous vivons.

En passant à travers ces paysages, nous voyons des milliers d'années d'histoire se dérouler devant nous. Au bord de la vallée, nous trouvons des endroits où, même aujourd'hui, de nouveaux paysages se découvrent. La végétation s'implante et exploite un nouvel habitat dès que la glace s'en retire. La petite période glaciaire s'est entièrement produite au cours de notre histoire et, à Castleguard, sa fin a commencé au moment de la création du parc national de Banff, en 1885.

Peu de gens peuvent goûter sur place la beauté de Castleguard, là où deux environnements existent l'un par-dessus l'autre. Au cours des chauds mois d'été, les cavernes s'inondent sans préavis; on ne peut donc les explorer qu'en hiver et encore seulement si on fait partie d'une équipe aguerrie et bien organisée. On arrive au pré seulement après avoir monté péniblement sur un glacier. Les visiteurs sont peu nombreux. Nous voulons, dans ce livre, partager notre expérience avec tous ceux qui n'iront jamais à Castleguard. Nous souhaitons que vos vies soient enrichies par cette visite photographique, notre célébration de Castleguard.

Les deux visages de Castleguard

Un paysage en surface formé de montagnes, de glaciers, d'un champ de glace, de chutes et d'une vallée des plus verdoyantes nous fait passer en revue les événements qui ont marqué la fin de la dernière grande glaciation et le recul toujours actif d'une petite période glaciaire plus récente.

En dessous de tout cela, un système de grottes crible les montagnes et atteint le fond du champ de glace. Ces grottes, sculptées à même le roc solide, sont l'oeuvre du plus souple des éléments, l'eau.

1 / UN CHAMP DE GLACE ET UN GLACIER

Seuls les bruits du vent et de la cascade interrompent la tranquillité. Seuls bougent les nuages et leur ombre. Aucun signe de vie n'existe dans ce tableau bleu glacier.

Ce paysage cache cependant un endroit à nul autre pareil. Nous l'appellerons «Castleguard», du nom d'une montagne, d'une rivière et d'un glacier. De hauts prés et une grotte profonde à quelques pas rendent cet endroit saisissant. Le champ de glace Columbia, encore couvert de la neige de l'hiver dernier trace une bande blanche tout à côté. Et, juste au-dessous, apparaît la glace sombre de la surface supérieure du glacier Saskatchewan. Presque débarrassé, lui, de son manteau de neige,

sa surface craquelée et sale continue à fondre tout en descendant vers des altitudes plus chaudes. À gauche, le mont Castleguard présente son flanc sombre, encore partiellement enneigé.

À l'avant-plan, on aperçoit l'arête distordue d'une moraine; des graviers et des galets laissés par le glacier alors qu'il était plus épais et s'étendait plus loin dans la vallée. Le pic au loin est celui du mont Columbia; il était probablement recouvert durant les plus longues périodes glaciaires.

Tout près, sur une pointe de terre surplombant le glacier Saskatchewan, quelques êtres vivants survivent tant bien que mal.



2/LA LIMITE INFÉRIEURE DES MEADOWS

De ce paysage stérile, une vallée s'étale en pente vers le sud. Avec le paysage qui l'entoure, elle constitue le coeur de Castleguard. Une végétation de plus en plus complexe croît à mesure que l'on se dirige vers le niveau inférieur de ce pré appelé «The Meadows». D'innombrables détails topographiques attirent notre attention à tel point que nos sens en sont saturés. Et pourtant, il y a tant à venir.

La partie boisée méridionale des Meadows descend abruptement dans une vallée plus profonde. Les Meadows deviennent alors une vallée suspendue à cause de leurs deux extrémités tranchées.

En aval, on trouve une grande vallée fluviale et, au-delà, les crêtes des monts Bryce et Watchman dominent le paysage. Des amas de glace accrochés aux rochers s'en détachent durant l'été et dévalent le flanc de la montagne avec un bruit de tonnerre.

Des systèmes climatiques importants s'engagent fréquemment dans cette vallée car elle fait partie du col Thompson qui traverse les principales chaînes des Rocheuses. Les monts Watchman et Bryce sont souvent frappés par la pluie et les orages alors que les Meadows demeurent au beau fixe.



3/UNE PIERRE HUMIDE

Dans la partie boisée en bas des Meadows, on aperçoit une pierre grise. Une légère dépression y est encore partiellement remplie de la pluie de la veille. De chaque côté, de petites fissures s'agrandissent et creusent la pierre par voie de dissolution. Ce processus est la clef d'un immense paysage souterrain.

Cette même eau qui désaltère et coule entre nos doigts a contribué à l'usure des pics et à la

formation de l'immense grotte qui s'étend sous ces montagnes. À Castleguard, le travail de l'eau est vital au changement.

Ces paysages furent mis en réserve, il y a 100 ans, pour récompenser l'oeil inquisiteur, la marche vers la découverte et l'esprit ouvert. Aujourd'hui, leurs secrets commencent à se dévoiler.



4/L'ENTRÉE D'UN PAYSAGE SOUTERRAIN

Non loin de la pierre humide se trouve une entrée, la seule, qui nous conduira à un paysage complexe sculpté à même le calcaire par l'eau qui s'infiltré depuis la surface.

En fin de journée, l'été, la neige et les glaciers fondent si rapidement que la canalisation souterraine déborde. Les eaux remontent des galeries inférieures et se déversent sur le pavement de calcaire à l'avant-plan. Parfois, elles montent même par-dessus la grosse pierre à droite.

Cette inondation scelle l'entrée pendant plusieurs jours. Durant l'été, on ne peut accéder

qu'à la première section de galeries. On peut explorer les nombreux passages durant l'hiver quand il n'y a pas de danger d'inondation.

Rafraîchi par la brise qui vient de l'entrée par une chaude journée, on ne peut s'imaginer ce qui se trouve plus loin. Il est encore plus difficile de comprendre les phénomènes qui transforment presque sous nos yeux la surface de la pierre humide à côté de nous, et qui ont creusé les passages qui nous attendent à l'intérieur. Il nous faut cependant patienter jusqu'à l'hiver avant d'y pénétrer.



5/AU COEUR DE LA CAVERNE DE CASTLEGUARD

La caverne de Castleguard est impressionnante et fascinante. Dès qu'on y entre, on est ébahi par cette splendeur qui, malheureusement, ne sera vue que par des explorateurs expérimentés, les obstacles et les dangers en interdisant l'accès aux autres visiteurs.

Un petit nombre seulement de spéléologues ont visité jusqu'ici cette grotte dans ses moindres recoins accessibles. Les photos qu'ils ont accumulées pendant 18 ans nous permettent de partager certaines de leurs expériences dans cet antre où l'on ne peut différencier le jour de la nuit, et où la fatigue, le froid et l'humidité pèsent constamment sur nous.

Cette photographie, prise sous le mont Castleguard, nous permet de comprendre l'aspect mystérieux que l'on trouve à l'intérieur de la grotte. Ces galeries intactes qui n'ont jamais connu la lumière, ni l'empreinte de l'Homme nous incitent à nous enfoncer plus profondément.

Et pourtant, inconnu et situé sous cette grotte, il existe tout un réseau d'autres grottes servant de drain aux eaux de la fonte chaque été. À en juger par le volume énorme d'eau qu'il transporte, ce réseau est au moins aussi imposant que la grotte que nous connaissons, mais on n'y aura peut-être jamais accès.



Une terre nouvelle

Les glaciers des grandes glaciations recouvrirent une grande partie de l'hémisphère nord. Lorsque le climat changea et que les glaciers régressèrent, un paysage dénudé apparut. Des vestiges des grandes

glaciations subsistent toujours ici au milieu des hautes montagnes et la vie lutte toujours pour s'établir dans ce nouvel environnement rébarbatif.

6/LE MONT CASTLEGUARD ET LE CHAMP DE GLACE COLUMBIA

Le mont Castleguard surplombe le secteur sud-est du champ de glace Columbia. D'une superficie de 325 km² et d'une profondeur de 300 m, ce champ se déplace lentement vers ses extrémités d'où les glaciers de la vallée entraînent la glace. Ce mouvement crée des crevasses et des chenaux où coule l'eau de la fonte; ces chenaux sont les parties

sombres que l'on aperçoit au milieu de la neige blanche. L'ombre des nuages marbre le champ pendant que le mont Castleguard brille au soleil.

Il n'y a pas de vie ici. Les conditions climatiques de la période glaciaire se poursuivent depuis au moins 170 000 ans.



7/LE CHAMP DE GLACE COLUMBIA

Les champs de glace sont formés par la neige qui s'accumule d'année en année et que l'été n'arrive pas à faire fondre complètement. Petit à petit, les couches inférieures de neige se transforment en glace.

De vastes étendues de glace, atteignant presque le point de fusion, sont soumises à de grandes pressions, de sorte qu'elles s'assouplissent et se déplacent lentement. Les glaciers et les calottes glaciaires épousent tranquillement les contours du terrain lorsqu'il n'y a pas de changement abrupt de direction. Des crevasses se forment à la surface où la pression n'est pas assez forte pour permettre un déplacement; la glace se casse tout simplement comme du verre. Ces crevasses peuvent être très profondes à l'origine, mais les grandes pressions exercées au fond de l'abîme les font se fusionner à

nouveau. Même si une masse de glace peut atteindre une épaisseur de 300 m, les crevasses ne dépassent guère 60 m de profondeur.

La stratification de la glace, visible sur les parois de la crevasse, est causée par l'accumulation annuelle de poussière et d'autres débris glaciaires apportés par le vent. On peut lire dans ces strates, la fréquence et l'importance des accumulations à travers les âges de la même façon que l'on étudie la croissance des arbres par leurs anneaux.

Les taches sombres à l'avant-plan sont les surfaces sales d'immenses blocs de glace. Ils se sont détachés d'une masse principale et gisent sur le côté, déneigés et face au soleil. Les surfaces pâles et rugueuses sont causées par la neige partiellement fondue de l'hiver précédent.



8/UN JØKULHAUP

Cette dépression remarquable a été creusée à même la glace du glacier. Des canaux convergents creusés par les eaux de fonte dirigent l'eau vers cette dépression qui mesure 200 m sur 50.

Cette dépression est considérée comme un lac sur les cartes du champ de glace. Des photos aériennes stéréoscopiques prises à intervalles irréguliers depuis 1935 la font voir tantôt remplie d'eau, tantôt complètement vide. Ce gros plan pris d'un hélicoptère, le 28 juillet 1984, montre que la dépression était partiellement remplie lorsqu'elle se vida abruptement laissant au fond, comme témoin, la surface de glace et de neige du lac maintenant complètement morcelée.

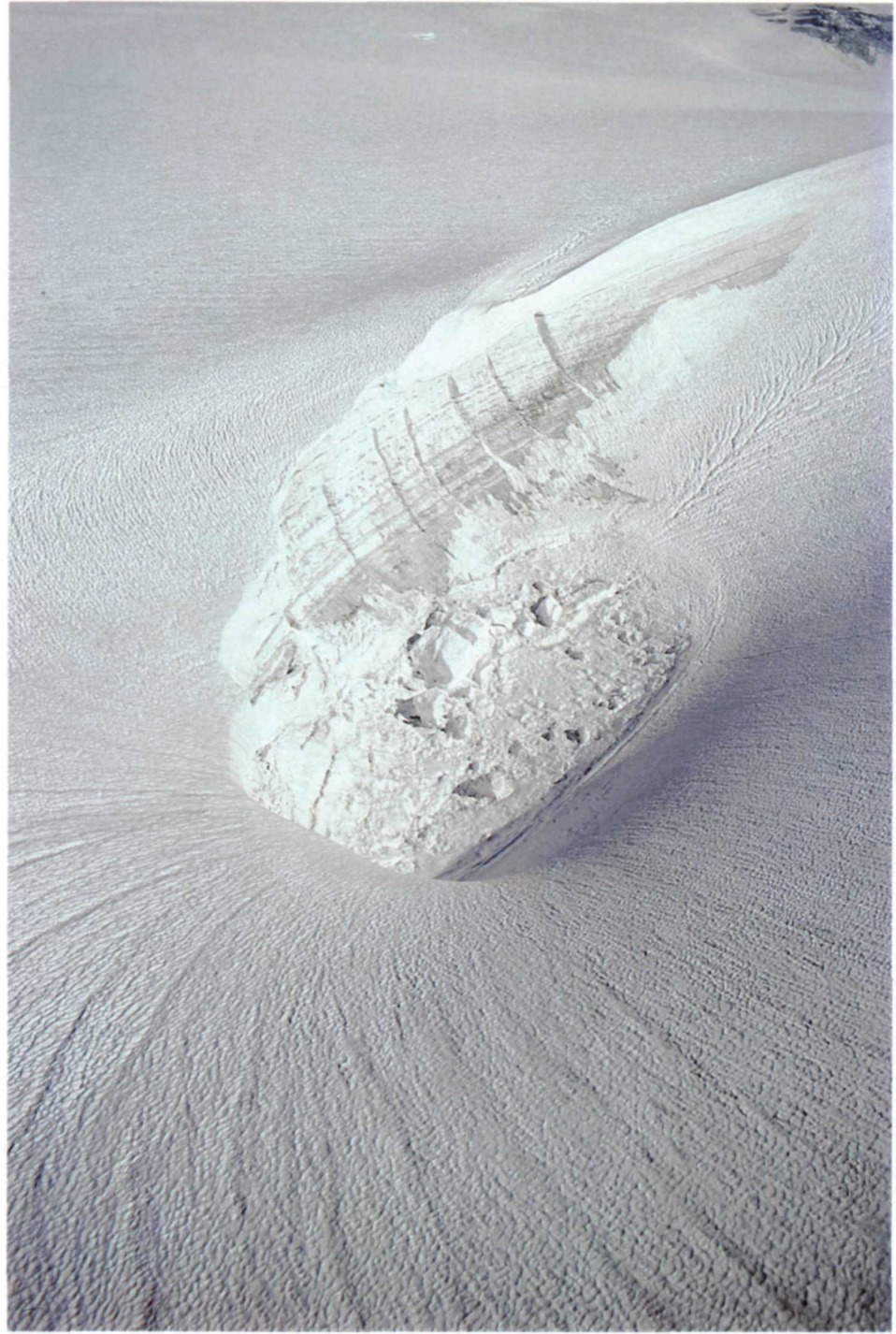
Ce drainage subit des lacs des glaciers est un phénomène habituel dans les régions glaciales arctiques et alpines. Un bouchon de glace, au fond

du lac, cède soudainement et le lac se vide rapidement, comme un évier lorsqu'on en retire le bouchon.

C'est le remous de l'eau qui crée les motifs que l'on peut discerner sur la photographie. L'eau s'écoule probablement dans les galeries souterraines de Castleguard II. Ce sont elles qui alimentent les résurgences Big Springs dans la vallée de Castleguard. Ce bassin-ci est peut-être la tête d'une vaste caverne.

Les glaciologues appellent ce phénomène *jökulhaup*, expression islandaise décrivant ce drainage soudain qui est commun dans les champs de glace détrempés de l'Islande.

La grande beauté de cette scène austère rappelle le temps jadis où la glace et la neige recouvraient la terre.



9/UN GLACIER DE VALLÉE TRIBUTAIRE

Le mont Castleguard est borné au nord par le glacier Saskatchewan qui découle du champ de glace Columbia. De chaque côté, des glaciers de vallée de moindre importance rejoignent le glacier principal comme des affluents se jetant dans une rivière. Ce glacier tributaire était en régression au moment où il fut photographié en 1969 et n'arrivait plus à joindre le glacier Saskatchewan au bas de la photo. En 1984, lorsque nous avons visité l'endroit

de nouveau, il avait reculé davantage et le glacier Saskatchewan s'était abaissé considérablement. Ceci est typique de la fonte et du recul de la plupart des glaciers des Rocheuses au cours des dernières décennies. L'excursionniste que l'on aperçoit donne une idée de l'immensité de la masse de glace au loin, elle-même petite comparativement au glacier Saskatchewan.



10/EN AMONT DES MEADOWS DE CASTLEGUARD

Ici, le glacier Saskatchewan a tronçonné la partie supérieure des Meadows et les a laissés suspendus, dominant la glace. Exposé aux vents violents et froids qui balayent la neige et le fin gravier, le début de la vallée est situé entre le glacier et le flanc nord de la montagne que le soleil a peine à réchauffer. Les bandes blanches à l'avant-plan sont les vestiges de la neige du dernier hiver.

Le terrain est rocheux; la terre est clairsemée et pauvre de sorte que la végétation y est rare. Les conditions dans ce paysage désolé ressemblent à celles que l'on trouve dans l'Arctique. Castleguard

est beaucoup plus au sud qu'Edmonton. Malgré tout, l'altitude, la proximité des glaciers et les vents dominants y ont créé un terrain qui ressemble à celui des îles les plus septentrionales du cercle polaire.

Au-delà du glacier, de petites stries foncées descendent de la montagne. Ce sont quelques arbres rabougris qui ont poussé dans des endroits à l'abri, du côté sud de la montagne. Le bas des talus a été rogné par le glacier Saskatchewan, à l'apogée de la récente mais courte période glaciaire.



11 / UN TERRAIN RÉCEMMENT DÉGAGÉ

Un peu plus haut, le long de la pente du pré, le glacier toujours en vue, on trouve un massif de roc, des dépôts de gravier et d'énormes blocs de roches que les glaces ont apportés d'ailleurs. C'est là une

preuve que les glaciers occupaient autrefois une plus grande partie de la vallée. De tels endroits sont généralement dénudés parce qu'il n'y a pas de terre pour permettre aux plantes d'y prendre racine.



12/LE CÔTÉ AUSTÈRE DU MONT CASTLEGUARD

Plus haut, sur la face nord-est de la montagne, près de la glace en retrait, le panorama est triste et austère. Les flancs de la montagne sont opposés au soleil, le vent froid qui provient du champ de glace souffle sur la moraine.

C'est un endroit désolé. Et une personne se sent minuscule au milieu de cette mer de glace et de

l'amoncellement de moraine qu'elle a repoussée il y a quelques décennies. Ce n'est pourtant qu'une languette d'un petit glacier qui recule rapidement. Le teint bleu délavé de la glace qui se gâte et le gris-bleu du calcaire étendu de tout côté nous apparaissent comme un tableau monochrome. Le temps n'a pas encore repris son cours.



13/LES BLOCS ERRATIQUES ET LES LICHENS

Dans les paysages couverts de glaciers, il n'est pas inusité de rencontrer des pierres qui soient différentes des roches environnantes. La roche de base à Castleguard n'est pas propice à la croissance de plantes primitives qu'on appelle «lichens», mais on trouve des blocs erratiques dont la composition chimique est propre à la végétation.

On aperçoit ici deux blocs erratiques côte à côte. La roche la plus sombre, du grès, sert d'habitat à une colonie de *Xanthoria elegans* alors que l'autre, d'origine sédimentaire, demeure infertile.



14/UN LICHEN

Les blocs erratiques dans des endroits exposés deviennent des perchoirs idéaux. La fiente que les oiseaux y laissent sert d'engrais et permet aux lichens de pousser. Des colonies bien développées de lichens colorés, tels les *Xanthoria*, peuvent être repérés à distance tellement ils ressortent de ce paysage généralement terne.

Un lichen est un végétal complexe formé par l'union d'un champignon et d'une algue vivant en symbiose, le produit de cette union ne ressemblant en rien à ses composantes. La croissance se fait

radialement en une couche de tissu vivant, de plusieurs centimètres de diamètre. Petit à petit, le centre vieillit et meurt laissant un anneau qui continue à croître et à s'étendre. La grandeur de l'anneau est un indice de son âge et peut servir à établir le moment où les glaciers ont fondu et où le terrain est devenu propice à la vie.

Les cercles dans cette photo mesurent environ 3 cm chacun. L'absence de vide au centre de la plupart d'entre eux indique que cette colonie est jeune et en santé.



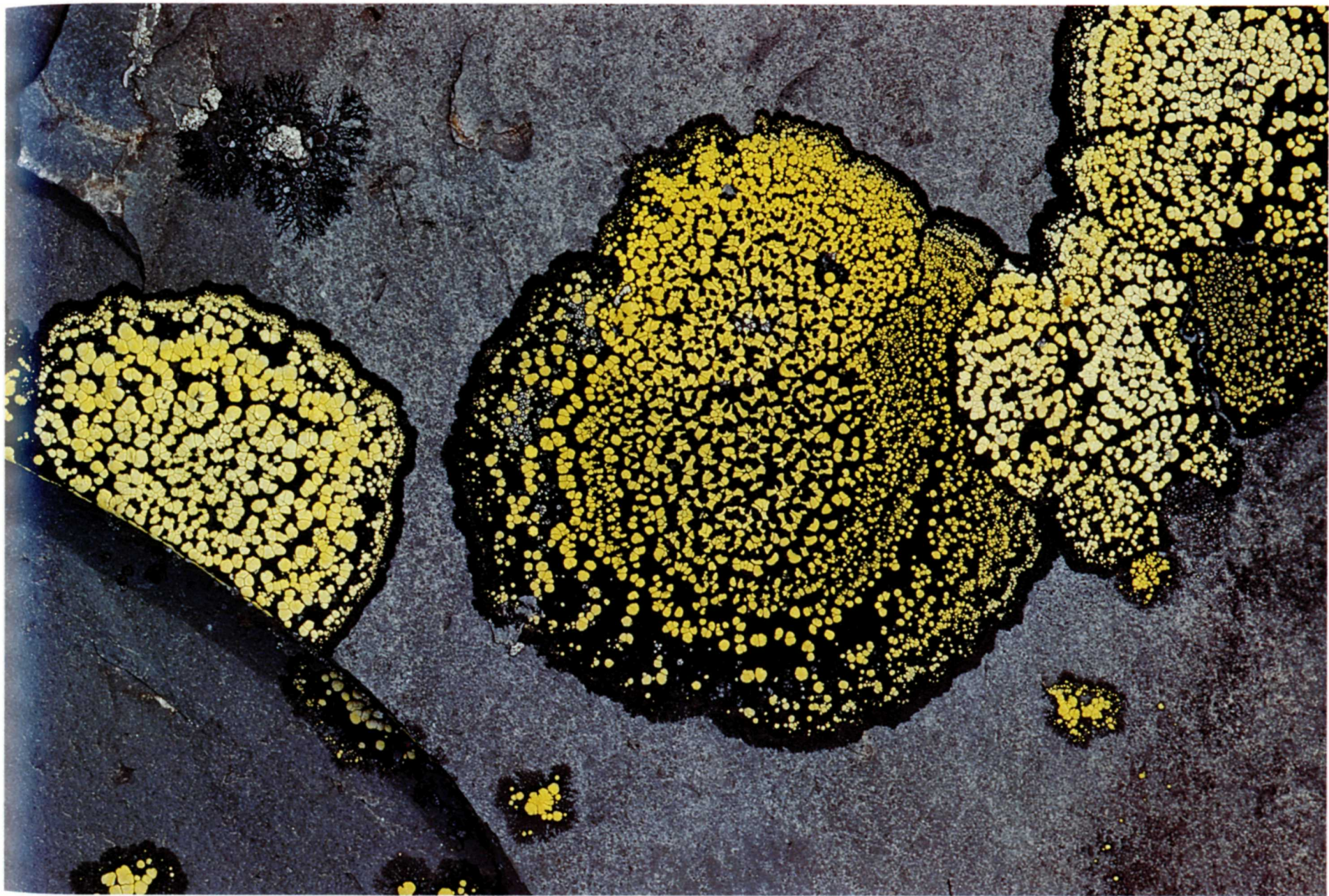
15 / UNE COLONIE DE LICHENS

Non loin, un lichen, le *Rhizocarpon geographicum*, a établi une colonie vigoureuse sur un différent bloc de grès erratique. Lui aussi se propage en cercle à partir d'un centre. La partie périphérique noire est le champignon, l'algue, de son côté, s'établit par la suite et produit le composé granuleux jaune où se forment les corps reproducteurs. La colonie centrale a un diamètre de 5 cm et son point d'origine n'a pas encore commencé à mourir.

Il arrive parfois, lorsque le centre d'une colonie est mort et s'est effrité, qu'une autre colonie s'y

établisce. Ce nouveau centre vient aussi à mourir et à s'effriter, puis il est colonisé à nouveau. Cette répétition du cycle crée un dessin ressemblant à une cible.

Des colonies voisines commencent à se chevaucher. Les colonies plus anciennes dont le centre est mort produisent des lignes qui s'entrecroisent et qui, de loin, les font ressembler à des cartes géographiques.



16/UN SOL À MOTIF

Des matières fines provenant des hauteurs s'accumulent dans les parties plus basses. Le gel des terrains imprégnés d'eau produit divers motifs dans le sol. Il se fait un tri des matières fines et des plus grossières. Le cycle quotidien et saisonnier du gel/dégel agit différemment selon la grosseur des particules déplaçant les plus grossières jusqu'à ce qu'elles rencontrent d'autres grosses particules. Ce mouvement perpétuel empêche les végétaux de s'établir.

Dans plusieurs régions arctiques où ce cycle de gel/dégel est plus fort ou plus fréquent, ces motifs peuvent couvrir de très grandes étendues. Le terrain se stabilise éventuellement en gardant les motifs, et les plantes qui y prennent souche conservent leur image en surface. Le sol à motif, à Castleguard, est rare et n'occupe que de petites étendues. Le processus de stabilisation et de végétation commence à peine.



17/LA VÉGÉTATION LUTTE POUR S'IMPLANTER

Dans un milieu naturellement hostile à la vie, les plantes ont fort à faire pour s'établir. Ici, dans cet endroit rocheux et presque sans terroir, le «polygone de gel» a réussi à accumuler assez de matière propre à la végétation. Ce polygone mesure environ un mètre de diamètre.

Le meilleur «sol» est au centre du polygone, mais le brassage continu causé par le cycle gel/dégel casserait les racines de toute plante qui tenterait de s'y établir. Les cailloux voisins n'offrant

pas d'habitat fertile, c'est en bordure de la parcelle de terroir, là où il y a le moins de dérangement mais une certaine humidité, que la végétation tentera de s'implanter. La petitesse des plants - ils n'atteignent que quelques centimètres à peine - sont une mesure de leur succès. À long terme, leur survie dépend probablement de la stabilité du sol qui permettra ainsi de pourvoir aux besoins grandissants des plants de ce minuscule jardin.



Une succession de communautés végétales

Les premières plantes à s'établir dans un nouvel habitat sont des pionnières. Petites, résistantes, elles peuvent s'adapter à de mauvaises conditions et les améliorer. Ces plantes sont remplacées peu à peu par de nouvelles arrivées, jusqu'à ce que se développe une communauté de plantes susceptibles d'assurer une certaine permanence.

Il y a relativement peu de temps que les hautes altitudes de Castleguard ont été dégagées de l'em-

prise des glaciers, et la vie végétale y est assez nouvelle. En descendant dans la vallée, nous rencontrons des communautés végétales plus âgées et plus développées. Au cours d'une marche de deux heures, nous pouvons observer 10 000 ans de développement d'une communauté végétale.

18/AU SOMMET DES MEADOWS

Un col mène aux Meadows depuis le glacier Saskatchewan. Le glacier est à gauche; en bas, c'est le sommet des Meadows. À droite, ceux-ci commencent leur descente en pente douce.

Au faite du col, il y a très peu de véritable terre. On y trouve seulement des dépôts glaciaires qui ont été criblés et polis par le gel, le vent et l'eau. La surface minérale donne au terrain sa couleur brun grisâtre.

Quelques touffes végétales éparpillées ajoutent une touche de vert. Leur distribution accidentelle, mais régulière tout de même, indique une implantation relativement récente. La dispersion fortuite a

permis à la végétation de s'établir et les plantes ont grandi offrant ensuite une protection et un sol plus riche aux nouvelles pousses produites soit par leurs graines soit par multiplication végétative.

Un tel paysage se retrouvait probablement un peu partout au Canada à la fin de la dernière grande glaciation, il y a 10 000 ans environ. Il ressemble étrangement à la végétation qu'on retrouve dans les îles de l'Arctique polaire. Dans les deux cas, le climat ne s'est pas réchauffé suffisamment pour permettre à des communautés végétales plus vigoureuses de se développer.



19/DES KRUMMHOLTZ

Sur la pente occidentale, plus chaude même si elle est à la vue du glacier, une espèce plus complexe a pris place. Pourtant, même dans ces conditions plus favorables, le glacier exerce son influence : vents froids persistants, turbulence de poussière et de neige, saison de croissance écourtée. Bien que très âgés, ces conifères sont rabougris, ils n'ont pas de tronc et ressemblent à des arbrisseaux. Cette forme de végétation porte le nom de *krummholtz*, terme allemand qui signifie «arbre crochu».

Le premier arbre à s'installer ici est probablement excessivement vieux... il est peut-être même mort depuis très longtemps et il serait probablement impossible de l'identifier. Cependant, ses branches inférieures, recouvertes et protégées par la neige qui

les presse solidement au sol, ont pris racine. Bien qu'elles furent séparées de l'arbre moribond, elles ont formé des plantes individuelles mais génétiquement semblable à leur ancêtre. Ce processus de germination ne nécessite ni graine ni fleur et ce genre de reproduction peut s'effectuer dans les conditions les plus hostiles. Des formes d'adaptation semblable sont fréquentes dans l'Arctique, et ce fut sans doute la forme de propagation commune au Canada à la fin des glaciations.

On reconnaît le mont Columbia surplombant le champ de glace Columbia à l'arrière-plan. Dans le coin supérieur droit, on aperçoit le flanc sombre du mont Andromeda.



20/FORMES MODIFIÉES DE DÉVELOPPEMENT DES ARBRES

Les arbres qui arrivent à pousser au-dessus de la limite des neiges éternelles sont prédisposés à la «sécheresse physiologique». À la fin de l'hiver, au printemps et au début de l'été, les rayons du soleil frappant la neige éblouissante réchauffent les objets sombres, comme les conifères, jusqu'à leur température de croissance. Profitant de la chaleur, le haut des arbres commence à se développer et requiert de l'humidité. Les racines, cependant, encore prises dans le sol gelé, ne peuvent la leur fournir. Une telle privation sévère et prolongée peut entraîner la mort des arbres.

On s'aperçoit ici que les arbres se sont fait un tronc qui résiste tant bien que mal à l'effet des vents violents et des matières abrasives que ces derniers balayent avec eux. Les branches ne poussent pas du côté des vents dominants. Par contre, les branches enfouies sous la neige font des racines et se reproduisent par multiplication végétative et, démontrant une débrouillardise propre à la nature, elles produisent aussi des fleurs et des semences.



21/LA FORÊT ALPINE

Au bas des Meadows, les conditions sont plus propices à la végétation et celle-ci recouvre le terrain complètement. Une forêt alpine s'y est implantée. Comme on le voit, les arbres sont plus hauts, ils poussent plus vite et leurs branches s'étalent uniformément de tous les côtés. Toutefois, leur agglomération serrée est l'indice qu'ils se reproduisent encore partiellement par clones.

Les conifères ont occupé le pré caractéristique de la toundra. Ces arbres ont presque tous la même taille à l'exception des pousses nouvelles peu

nombreuses. C'est une preuve que l'invasion fut rapide, mais que l'étendue et la croissance furent limitées et très lentes.

La répartition des arbres selon leur forme, leur grosseur et leur distribution tout au long des Meadows de Castleguard rappelle la progression de la végétation sur le continent. Cette progression de la végétation depuis le haut de la montagne jusqu'au bas de la vallée ressemble à celle qui va de la zone arctique aux régions plus méridionales.



L'eau, source de vie

L'eau constitue probablement l'aspect visuel le plus frappant à Castleguard. Au cours de la saison chaude, il y a peu d'endroits où l'on ne puisse voir ou entendre l'eau qui coule. Cette abondance rend

non seulement possible la présence d'une riche végétation sur de grandes étendues, mais elle est aussi la force conductrice de nombreux aspects du paysage, tel le réseau souterrain de cavernes.

22/UNE VÉGÉTATION DE BANCS DE NEIGE

La fonte tardive d'un banc de neige a procuré une source d'eau fiable au-dessus d'une surface presque plane et y a créé un pré local où la végétation abonde. La croissance y fut un tel succès qu'un sol enrichi s'est développé sur des monticules causés

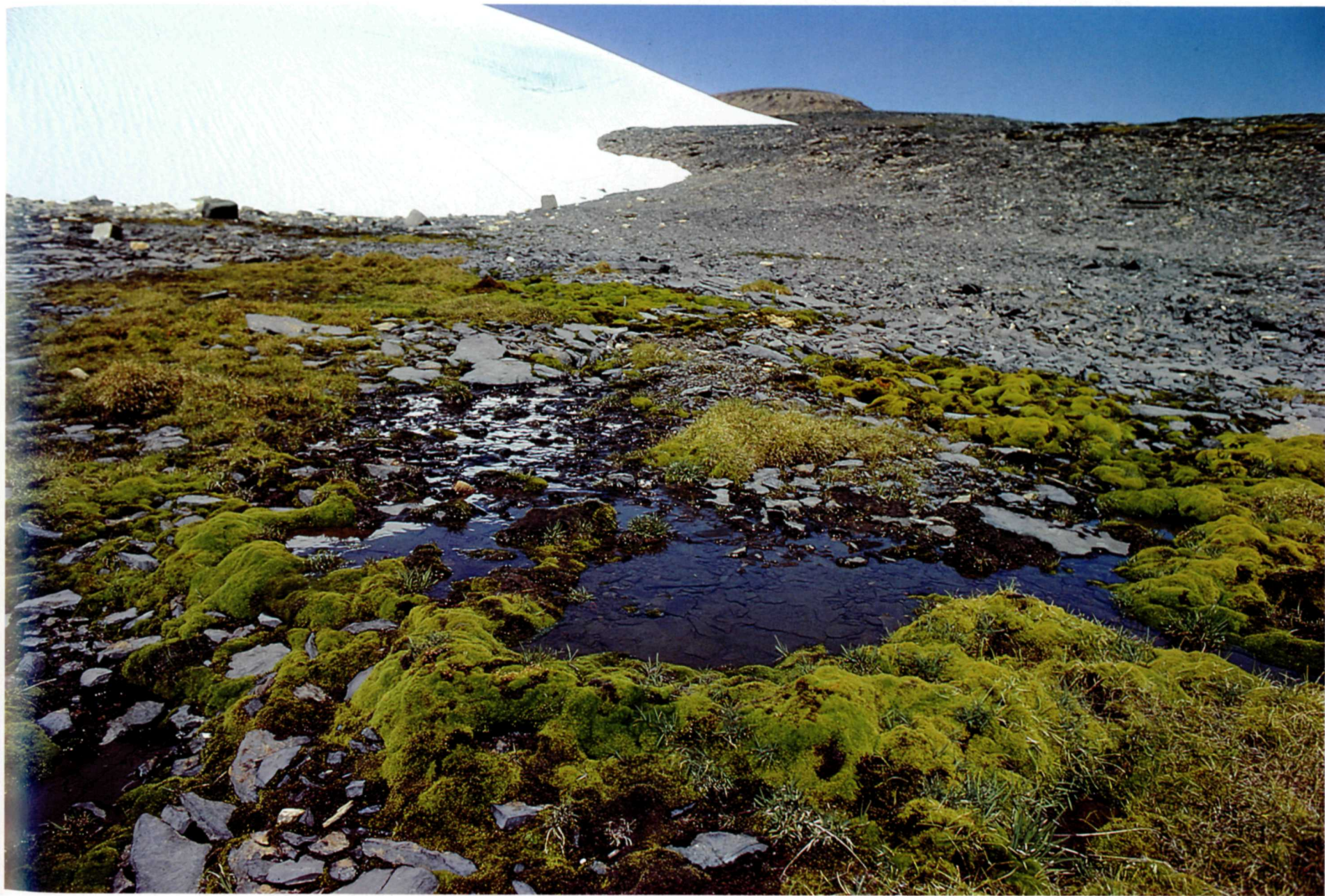
par l'interaction du gel et de la végétation. Nous ne connaissons pas encore bien le fonctionnement de cette action complexe, mais ces prés de bancs de neige et ces monticules fertiles sont communs dans les régions arctiques.



23/DES COLONIES DE PLANTES PRÈS DU GLACIER

Grâce à une eau abondante fournie par un glacier et un banc de neige qui fond lentement, la végétation s'est installée dans un environnement ordinairement stérile le long de la partie occidentale des prés supérieurs. Même où le sol n'existe pas, des mousses se sont établies sur des galets que l'eau d'infiltration garde humides. Les espaces libres entre les plantes se sont remplis pour former une carpette moussue. Des plantes plus évoluées comme les herbes et le carex sont ensuite venues

coloniser la mousse, en favoriser l'accumulation et former une barrière presque étanche. Une mare s'est formée avec l'eau retenue par cette digue. Le détritrus végétal amassé au fond, s'est décomposé partiellement et transformé en tourbe acidulée. Des plantes qui recherchaient un milieu acide y ont ensuite fait leurs racines et ont formé une végétation acidulée dans cet environnement calcaire alcalin.



24/CHAÎNONS DE MARES D'EAU DE FONTE

L'enchaînement de la colonisation de la mousse et de la formation de mares sur les pentes peut se répéter souvent le long d'un cours d'eau.

Plusieurs petites mares se sont formées ici, chacune recevant son eau de la précédente et alimentant la suivante située parfois 30 cm plus bas. Ces mares sont retenues par de petites digues sur lesquelles la végétation foisonne.

Les petits barrages de tourbe peuvent tolérer la sécheresse parce que la tourbe absorbe normalement assez d'eau pour se maintenir humide pendant plusieurs jours avant de s'assécher et de se détériorer. La sécheresse se produit parfois à la fin d'un été plus chaud et plus sec que la normale ce qui épuise l'approvisionnement de l'eau provenant des bancs de neige qui fondent tard.

Ce système de mares et de digues est assez récent à Castleguard, l'amoncellement de tourbe étant peu profond. Cependant, à 130 km plus au sud dans le parc national du mont Revelstoke, une série semblable de mares repose sur un lit de tourbe de 1,3 m de profondeur. La couche la plus profonde et la plus ancienne remonte à 5500 ans. Et ce processus - à moins d'un changement de climat ou d'un dérangement externe quelconque - peut apparemment se poursuivre indéfiniment.

Ce genre de développement a une origine similaire partout où on le retrouve : à d'autres endroits dans les montagnes de l'Ouest, aux environs de la baie d'Hudson et de la baie James, à Terre-Neuve et au Labrador et parmi les îles de l'Arctique polaire.



25/DES LOBES FORMÉS PAR LES GLISSEMENTS DU SOL

Les glissements de sol, ou solifluxion, sont communs sur les pentes couvertes de terre de l'Arctique canadien et au-delà de la limite des arbres. Ils forment habituellement des lobes dont le rebord est abrupt. Les lobes à Castleguard mesurent quelques mètres de largeur, mais ailleurs ils peuvent atteindre plusieurs kilomètres.

C'est dans les terrains alpins et arctiques que la solifluxion se produit le plus à cause des pentes qui y sont abruptes et de l'absence d'arbres enracinés assez profondément pour retenir le sol. Au printemps, l'eau de fonte sature le sol le rendant ainsi

lourd et mouvant, et le sol sous-jacent, encore gelé, facilite ce mouvement.

La solifluxion exerce son action à Castleguard depuis le début de l'époque post-glaciaire aplanissant l'arête aiguë des vieilles moraines. Il n'y a pas de doute que la vitesse de ce transport a augmenté au cours du refroidissement qui survint lors de la petite glaciation que nous décrivons dans la prochaine section. Mais ça, c'est de l'histoire ancienne et les lobes que nous avons observés aux Meadows semblent avancer d'à peine un centimètre ou deux par année.



26/UN PRÉ MARÉCAGEUX

La rencontre de quatre cours d'eau descendant des hauteurs a créé un marécage au bas de ce pré inférieur où se propage une végétation arbustive. Les cours d'eau arrivent au marais séparément. Mais, une fois rendus et à cause de la faible inclinaison du terrain, ils se joignent en formant un méandre qui les conduira vers leur daraise commune.

La végétation ressemble à une courtepoinette colorée en différents tons de vert. Certaines sections sont occupées par des espèces différentes, mais la plupart sont peuplées de clones originaires de plantes d'une seule espèce. Comme les humains qui, par exemple, ont les yeux bleus ou bruns, les plantes ont des caractéristiques particulières. Ces particularités se retrouvent reproduites dans chacun des clones, de sorte qu'un plant de couleur pâle ou foncée, ou un plant plus ou moins vigoureux produira des clones qui lui seront en tout point

identiques. Ces plantes se différencient un peu des clones provenant d'une autre plante même si elle est de la même espèce. Les différences sont difficiles à distinguer à ras de terre, mais deviennent évidentes du haut des airs, d'où on obtient une preuve indéniable de l'efficacité de la multiplication végétative par clones dans un environnement très dur.

Les petites taches brunes parmi la végétation verdoyante sont des effondrements faisant partie du système de drainage aux cavités naturelles souterraines. Ce sont ces cavernes qui vidangent une grande partie des marais, le fond de certains glaciers et une partie du champ de glace Columbia tout près. Les effondrements ne peuvent absorber toute l'eau du marécage. Le surplus devient donc un écoulement de surface. Il y a ainsi deux systèmes de drainage fonctionnant dans cette partie des Meadows.



27/LA MORAINES

L'eau de fonte du mont Terrace s'écoule facilement à travers la moraine brune, mais elle doit se faire un chemin par-dessus la couche impénétrable de calcaire sous-jacent. L'eau sort de terre enfin à la partie inférieure de la moraine. Le calcaire fut

soumis à la glaciation de la grande période glaciaire qui s'est terminée il y a 10 000 ans. La moraine accumulée par-dessus date de la petite glaciation qui régressa au cours du xxe siècle.



28/UN GLACIER EN REcul

À la partie inférieure du glacier central de Castleguard, l'eau de fonte gicle de la glace en voie de déperissement et cascade ensuite sur les lits de roche. Il y a très peu de moraine qui demeure visible quoique, pas très loin d'ici, les amoncellements marquent l'avancement maximal du glacier formé durant la petite glaciation. Cette moraine

n'est cependant plus en contact avec la glace. Le glacier qui a cessé d'avancer au début de ce siècle-ci fond à grande allure et diminue en épaisseur, en largeur et en longueur.

Le recul d'un glacier comme celui-ci est une source d'eau sûre pour la riche végétation des Meadows.



29/LES CHUTES

Partout aux environs de Castleguard et plus particulièrement là où il y a des plateaux escarpés, l'eau de fonte du champ de glace, des glaciers et de la neige se précipite de corniche en corniche. Les chutes les plus pittoresques sont celles qui tombent du haut de la falaise de calcaire de la formation Eldon. L'eau, avec les débris rocheux qu'elle transporte, s'étend dans la vallée de la formation Stephen.

La vue et le bruit des cataractes mêlés à la sensation du vent arrivent à l'esprit en une seule impression. Et cela se comprend car, mis à part la formation des montagnes due aux mouvements de la croûte terrestre, le paysage est entièrement

sculpté par l'eau. Cette eau créatrice de champs de glace et de glaciers, cette eau qui déplace le roc, creuse les cavernes et sans qui la vie est impossible, cette eau est à l'origine du seul mouvement perceptible dans le paysage estival. L'hiver ne constitue qu'une pause dans son activité.

À la fin de l'été, la neige est presque entièrement disparue et les chutes ne sont plus que des voiles légers rafraîchissants durant une chaude journée. L'ampleur de la partie balayée du cours d'eau, en haut et en bas des chutes, indique que celles-ci sont plus importantes au printemps et qu'elles l'ont aussi été durant le déclin de la petite période glaciaire.



30/UN ÉVENTAIL D'ALLUVIONS

Au pied des chutes, le cours d'eau s'étend dans la vallée et dépose les débris qu'il transportait formant un éventail d'alluvions. La partie supérieure reçoit encore des débris. L'alluvionnement est lavé par les torrents chaque année et supporte très peu de végétation.

À sa partie inférieure, l'éventail s'est stabilisé et a accumulé des alluvions et des débris organiques ce qui a permis à la végétation d'y prendre racine. Les plantes individuelles, les bosquets et les clones sont encore parsemés mais, avec le temps, ils formeront une couverture végétale.

Les plantes pionnières et les jeunes agglomérations végétales sont le reflet de l'origine récente du terrain néo-glaciaire. Les terrains de la dernière période glaciaire situés à cette altitude sont eux-mêmes peu propices à la végétation. Un long enchaînement de colonies plus complexes est donc nécessaire avant qu'une végétation stable puisse se développer dans un environnement aussi dur et où la belle saison est de si courte durée.



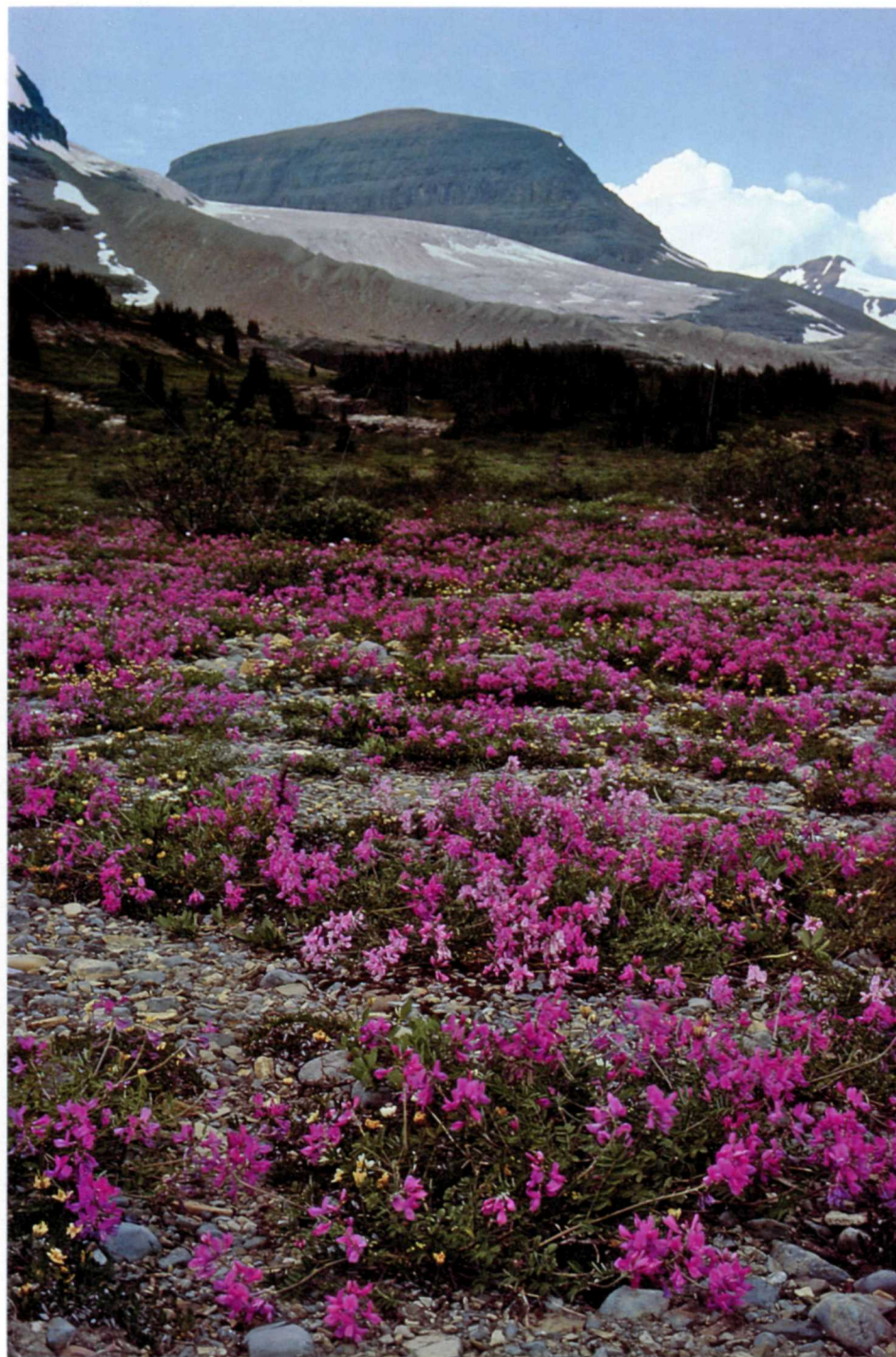
31/LA FLORAISON DANS UN ÉVENTAIL D'ALLUVIONS

En altitude, le printemps est tardif mais l'automne, lui, est hâtif. Ainsi, pendant le court été, les plantes poussent d'une seule haleine et les fleurs s'épanouissent d'un élan bref mais glorieux. Quelques jours à peine après l'apparition des premières fleurs d'une espèce, toutes les autres espèces se mettent à fleurir. La montée en graine se fait rapidement parce qu'un gel prématuré présente toujours un danger. Quand il se produit, une année complète de semences se perd, de nouveaux plants ne peuvent prendre racines et la survie d'une espèce dépend alors uniquement de la vigueur des plantes existantes.

Cette scène démontre l'évolution verticale de la floraison au fort de l'été, soit au début d'août. En haut, il n'y a que les cimes dénudées avec, à leur

pied, le glacier central de Castleguard qu'alimente le champ de glace Columbia, dont on aperçoit la moraine latérale brun pâle. Parmi les arbres de la mince forêt alpine, on trouve un lit rocailleux où coulent les eaux de fonte vers l'éventail d'alluvions. Les bords humides et verdoyants de l'éventail forment ce pré en pleine floraison. Deux jours après la prise de cette photo, le gel nocturne avait fait mourir les fleurs.

Ce décor explique aussi de façon dramatique l'évolution écologique. Sur des graviers dénudés, il y a peut-être un siècle, des agglomérations de plantes se sont développées en des prés où foisonnent des espèces telles que ces voyantes légumineuses de la famille des pois, et ces dryades crème, plus discrètes, de la famille des roses.



32/UNE MINUSCULE PLANTE ARCTIQUE

Nichée parmi les roches et galets au bord de l'éventail d'alluvions et de la moraine, nous avons aperçu une crépide naine (*Crepis nana*) démontrant la relation biologique entre la région arctique et celle des hautes montagnes beaucoup plus au sud. On trouve habituellement cette plante seulement dans des environnements arctiques et de haute montagne.

Cet aspect chétif est caractéristique de plusieurs plantes arctiques. Elles sont plus petites que leurs congénères méridionales et elles poussent à plat, à ras de terre, là où il fait plus chaud durant la saison de croissance.

La crépide naine est une rosette aplatie de fleurs et de feuilles mesurant de 2,5 à 5 cm de diamètre avec une longue racine centrale qui pousse parmi les pierres et autres matières infertiles pour rejoindre, au fond, un sol plus nourricier. Son appartenance à la famille des pissenlits est visible dans la forme et la construction de la fleur dans un tel environnement.

Enfouie dans les crevasses et entre les roches, cette plante pourrait survivre même aux piétinements car la semelle des bottines ne la toucherait probablement pas.



La petite période glaciaire

Il y a 700 ans environ, la température de la terre baissa quelque peu. Des glaciers alpins descendirent dans des vallées qu'ils n'avaient pas occupés depuis des millénaires. Cette petite période glaciaire,

ou âge néo-glaciaire, s'est prolongée jusqu'au présent siècle et on en retrouve encore les effets intacts partout à Castleguard.

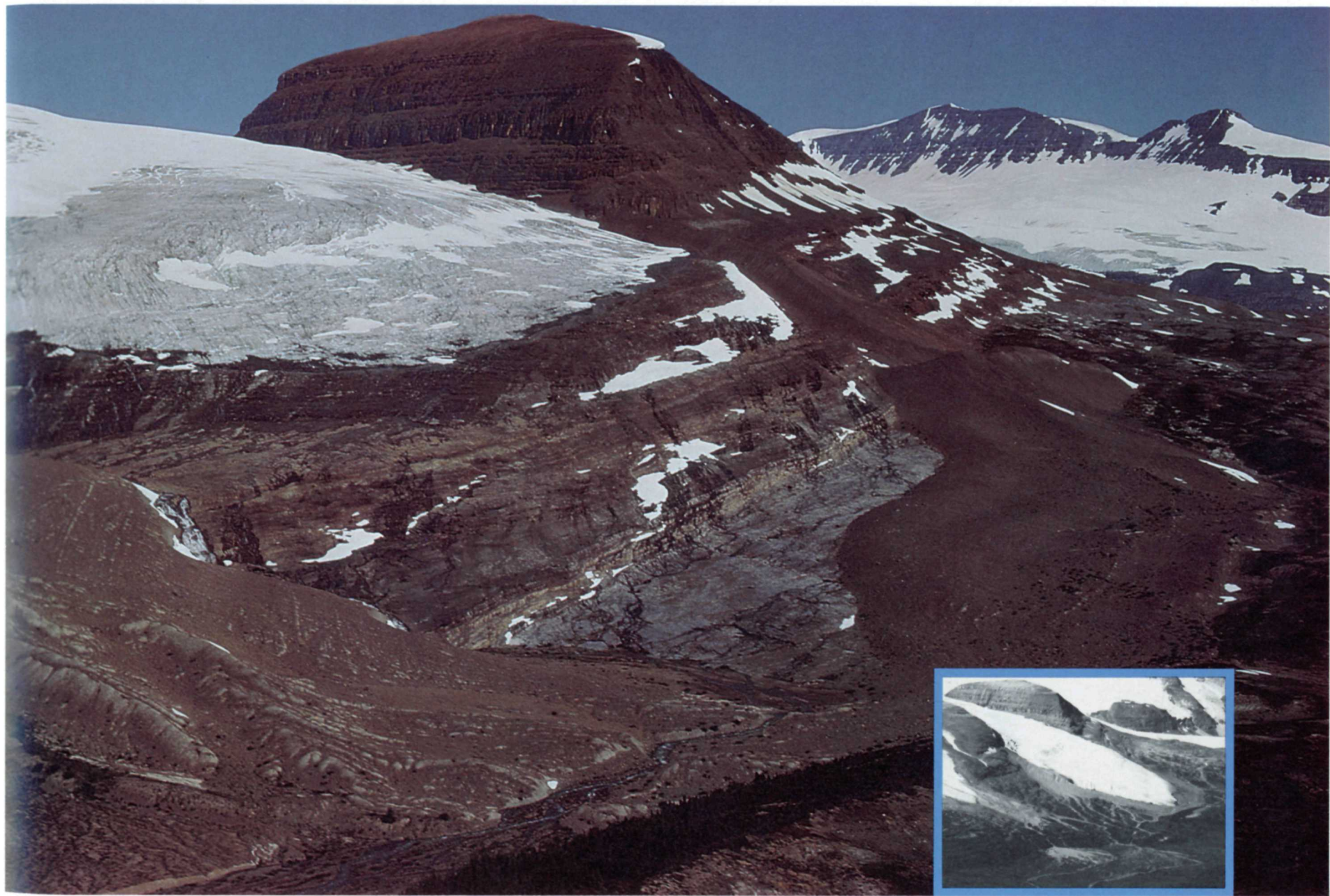
33/LE GLACIER CENTRAL DE CASTLEGUARD

La grande étendue de glace qui recouvrait le Canada recula, il y a environ 10 000 ans, découvrant dans son mouvement, des terres basses qui verdoyèrent probablement très vite. Il y a environ 700 ans, un refroidissement, qu'on qualifie de petite période glaciaire, se produisit. Des glaciers, qui reculaient auparavant, s'avancèrent un peu de nouveau pour reculer encore une fois au début du ^{xx}e siècle. À mi-chemin sur la pente des Meadows, le glacier central de Castleguard s'est avancé durant la petite période glaciaire.

En 1918, lorsque la photographie en noir et blanc fut prise les rebords de la glace s'étaient amincis mais touchaient encore à la moraine. Au cours des 66 années qui suivirent, la glace déposa beaucoup de moraine additionnelle avant de reculer jusqu'à la ligne des petites traces sombres bien définies qui passent au centre de la glace. L'éventail alluvial,

que l'on a vu dans la photo 30, est représenté comme une tache pâle au centre de l'avant-plan, mais les chutes qui l'ont déposé (photo 29) sont cachées de la vue ou encore ne coulaient pas au moment où la photo fut prise.

Sur la photographie en couleurs, prise en 1984, les amoncellements de moraine de chaque côté du glacier étaient récents, acérés et dépourvus de végétation. La bordure inférieure de la glace est mince et la moraine est à peu près inexistante sur le roc découvert; le recul a dû se faire vraiment très rapidement. La bande sombre à l'avant-plan est un drumlin, éminence elliptique formée par les éléments d'une moraine dont l'extrémité supérieure est en amont. Il ressortit lors du recul principal des glaces, il y a 10 000 ans. Il longe les pentes de la vallée et reflète ainsi le virage que prit la glace.



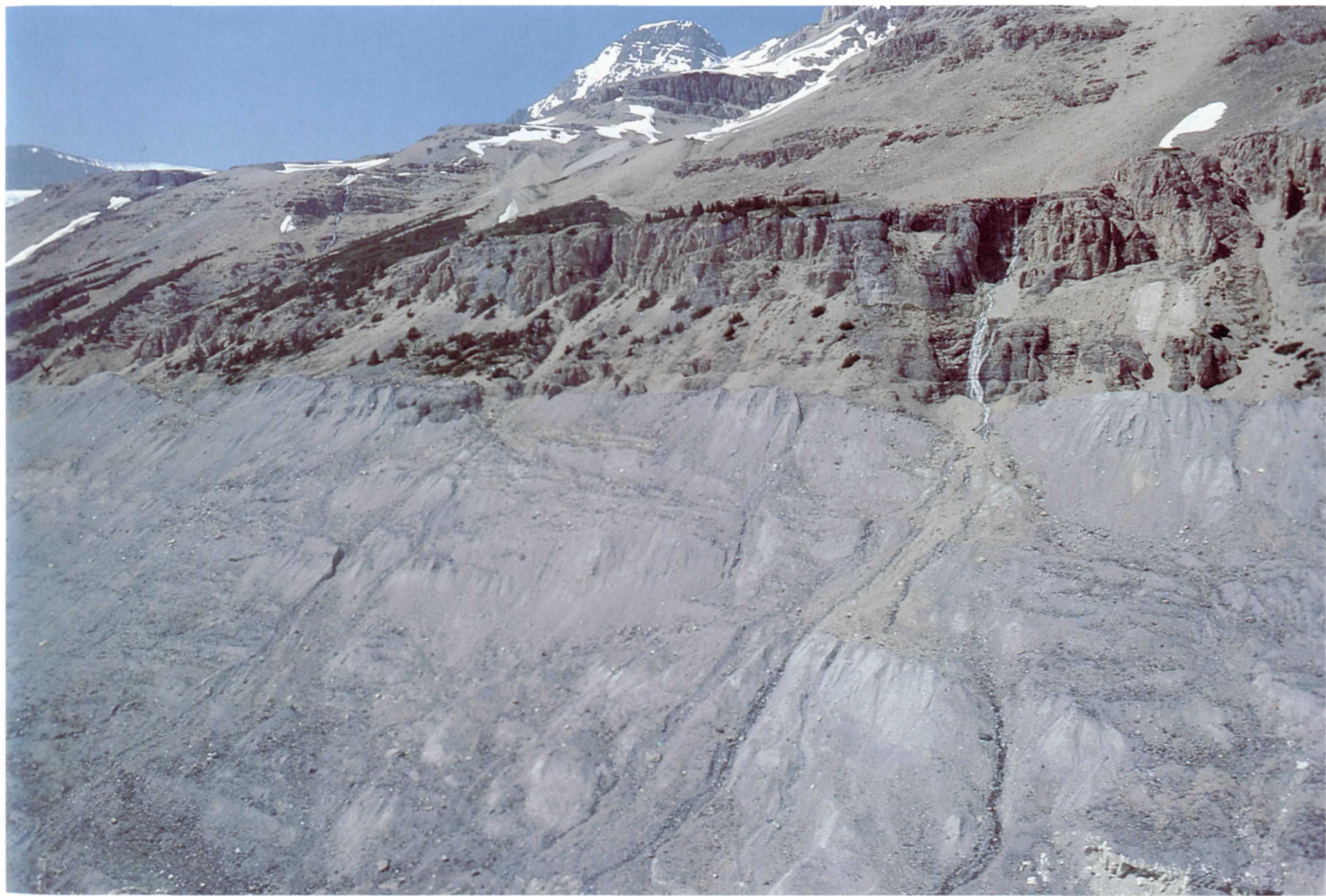
**34/LE GLACIER
SASKATCHEWAN,
LA MORAINÉ
ET LA FORÊT
DE CONIFÈRES**

Durant la petite période glaciaire, le glacier Saskatchewan déborda de son lit et rasa une forêt de conifères. Une partie de la forêt qui était plus élevée subsiste et apparaît ici en taches sombres en forme de pointes au-dessus d'une ligne de coupe marquant l'extrême limite de la glace néo-glaciaire.

L'énorme moraine, poussée par la glace qui reculait, apparaît à l'avant-plan. On trouve peu de

substance fine ou de sol propices à la végétation dans cet amoncellement dénudé modifié uniquement par l'eau qui descend des hauteurs.

Des restes de glaciers tributaires du mont Athabasca gisent à l'arrière, diminués, sales et toujours en régression. Là où la fonte se produit, on retrouve les débris rocheux transportés par la glace.



35/ENVAHISSEMENT D'UNE ANCIENNE SURFACE PAR LA MORAINÉ

Les pentes du pré de Castleguard qui font face à l'ouest sont baignées par le soleil de l'après-midi et, par conséquent, sont plus chaudes que les pentes qui font face à l'est. C'est ainsi que les glaciers occidentaux de la petite période glaciaire ont reculé plus rapidement que ceux qui leur sont opposés et ils sont à peine perceptibles depuis le pré. Ces glaciers ont aussi charrié beaucoup plus de matière que les autres parce qu'ils ont érodé des rocs plus friables. Leurs moraines sont plus larges, plus

profondes et plus fournies. Ce sont des dépôts relativement récents : comparez leur surface nue au terrain partiellement boisé sur lequel les moraines ont empiété. Ce terrain était lui-même recouvert de glaciers jusqu'à 10 000 ans passés. Il est aussi apparent que l'avance de la petite période glaciaire fut moins prononcée que celle de la grande période parce que le terrain à l'avant-plan et celui qui est plus éloigné portent les marques évidentes de glaciations plus anciennes.



36/LA MORAINÉ MÉRIDIIONALE DU GLACIER CENTRAL DE CASTLEGUARD

La moraine sur le côté sud du glacier en recul présente des saillies très escarpées. En fait, si l'angle de la pente était plus aigu, celle-ci ne pourrait retenir des matières de ce type et de cette grosseur. La glace bleuâtre toute craquelée est une partie du glacier qui fond rapidement et qui ne touche même plus à sa moraine principale.

L'avance néo-glaciaire a envahi la forêt de conifères *krummholtz* qui croissait depuis le recul de la grande étendue de glace, il y a 10 000 ans. Castleguard renferme de nombreux exemples du contraste créé par des événements très anciens et par d'autres qui sont plus récents.



37/L'ENDOMMAGEMENT DES ARBRES CAUSÉ PAR LA PETITE GLACIATION

Le glacier sud situé à côté du pré inférieur a fait une poussée considérable durant la petite période glaciaire, et il recula probablement très vite, peut-être aussi récemment qu'il y a 80 ans. Une forêt à maturité fut rasée lorsque le glacier l'envahit. La photographie nous montre clairement jusqu'où le glacier s'est avancé. Les blocs de pierre à l'avant-plan proviennent de la moraine latérale qui, poussée

par la glace, balaya une partie de la forêt de ce côté-ci de la vallée. Un vieil arbre mort reste appuyé au bord de la forêt. Les dommages causés aux racines par la glace et la moraine tout près ont probablement tué ce géant de la forêt. On aperçoit, à l'avant-plan, la souche d'un autre arbre dont les racines ont aussi été affectées au contact direct de la glace et de la roche en mouvement.



38/UNE MAIGRE MORAINE NÉO-GLACIAIRE

Le glacier sud était beaucoup plus imposant durant la petite période glaciaire et l'on peut voir les marques de son recul sur les côtés et près de son pied actuel. Une maigre moraine de grès brun parsemée sur le lit de calcaire indique l'endroit où le glacier en recul s'est arrêté pendant quelques années. De telles bordures de glace sont particulièrement

sensibles aux changements climatiques et la petite quantité de moraine montre que le glacier a séjourné peu de temps à cet endroit. Le cycle entier de glaciation n'a peut-être duré ici qu'un siècle environ. L'énorme vallée à l'arrière était couverte par le glacier au point culminant de la petite période glaciaire.



39/UNE PIERRE COLORÉE DE LA MORAINÉ NÉO- GLACIAIRE

Les blocs erratiques, que l'on peut voir dans la photographie précédente, furent transportés par la glace en provenance des formations géologiques recouvrant les calcaires de Castleguard. Plusieurs de ces formations supérieures plus récentes sont vivement colorées et font un contraste remarquable lorsque leurs fragments sont déposés sur la surface uniformément grisâtre du calcaire. La différence des couleurs vient de la composition et du lieu d'origine de ces roches.

La pierre erratique, à droite, provient d'une unité géologique appelée «formation Waterfowl» (sauvagine) déposée il y a 510 ou 520 millions

d'années durant la période à laquelle les historiens de la géologie réfèrent sous le nom d'intervalle du Cambrien moyen à supérieur. Les roches de la formation Waterfowl forment un affleurement situé près du sommet du mont Castleguard d'où l'échantillon ci-contre provient probablement.

La pierre est un mélange d'alluvion siliceux et de sable (jaune et brun) et de dépôts calcaires (gris-bleu). Ces matériaux différents furent déposés successivement en de minces couches ondulées. Le dépôt s'est fait sur le lit d'une mer tropicale peu profonde. Cette photographie montre environ 20 cm de pierre.



40/TERRASSES MÉRIDIONALES DU MONT CASTLEGUARD

On ne saurait trouver d'évidence plus fraîche de l'avance des glaces, durant la petite période glaciaire, ailleurs que sur les terrasses méridionales du mont Castleguard. Les surfaces calcaires striées sur lesquelles une mince couche de débris glaciaires s'est épandue sont l'indice d'une retraite soudaine. La mince couche de glace qui reste est recouverte par la neige de l'hiver précédent.

Le roc récemment découvert à l'avant-plan présente un véritable trésor de matériaux fins aux formes diverses qui ont été produits sous la glace. On pourra voir ces incidences plus en détail dans les photos 44 et 95.

Par une belle journée, les terrasses sont retirées et solitaires. Dans cet isolement tout bruit est

étouffé et il n'y a pas d'écho. Le ciel, la glace, l'eau de fonte et le roc austère et dénudé constituent l'essence même de cette solitude; c'est la nature dans sa plus grande simplicité.

Sous un soleil chaud, les terrasses éloignées, recouvertes d'eau, brillent dans la couche d'air surchauffé au moment où le vent froid provenant du champ de glace vient en déformer les contours. Ces sensations simultanées de chaleur et de froid émettent des messages contradictoires à un esprit extasié par cette splendeur.

Un nouveau paysage apparaît; la vie ne s'y manifeste cependant pas encore.



41 / DU CÔTÉ ENSOLEILLÉ DE LA MONTAGNE

Les terrasses méridionales, contrairement au côté froid présenté dans la photo 12, baignent au soleil du midi et de l'après-midi. Bien que les éléments visuels du paysage aux deux endroits - glace, roche, neige, ciel - soient semblables, le rythme quotidien du climat donne une sensation bien différente. Ici, un glacier de la petite période s'amincit de jour en jour laissant les effets de son passage sur la roche de fond. Nous assistons aux derniers moments d'une période glaciaire moribonde.

Le calcaire à l'avant-plan est recouvert de si peu de moraine qu'il ressemble plus à une route délabrée

après plusieurs années d'abandon. Le recul est si rapide à cet endroit que la fonte agrandit cette route d'année en année.

On aperçoit à l'arrière-plan des vestiges d'avalanche le long du flanc de la montagne. Les rigoles verticales d'écoulement, sillonnant la neige qui recouvre la glace inférieure sont colorées par des algues rouges que l'eau de fonte transporte des hauteurs. La pierre plus foncée, à droite de la neige, est l'une des terrasses élevées où le soleil couchant s'attarde le plus longtemps à Castleguard.



42/UNE GROTTTE À MÊME LE GLACIER

Nous sommes face à l'entrée d'une grotte qui s'est formée à la saillie d'un glacier sur les terrasses méridionales. La lumière naturelle sort bleue après s'être filtrée à travers plusieurs mètres de la glace qui surplombe l'entrée. Les raies et les taches plus sombres sont dues aux débris que la glace traîne avec elle.

La grotte fut formée par le glacier passant par-dessus un obstacle. Il est très rare qu'on puisse pénétrer dans une telle cavité. Puisque l'endroit est situé non loin de l'extrémité du glacier, la glace est moins épaisse et elle est assez rigide. La couverture de glace a une envergure de trois mètres; les stries se sont faites au moment où la glace passa sur l'obstacle.

La marche irrégulière de la glace qui crée ces grottes ne s'arrête pas une fois la grotte formée. Des explorateurs, qui ont séjourné dans des cavernes de glace durant des journées chaudes, ont pu observer le plafond se déplacer subitement d'un centimètre ou deux. Il n'y a cependant pas lieu de s'inquiéter même si des montagnards d'expérience se sont déjà précipités en trombe vers la sortie en entendant le lugubre craquement qui précède parfois un tel déplacement.

Ces cavernes glaciaires sont transitoires. Pénétrable en 1968, cette caverne-ci fut détruite en 1971 ou 1972 durant un recul du glacier. Certains signes permettraient de croire qu'une nouvelle grotte se formera au sein de ce glacier d'ici quelques années.



43/USURE, POLISSAGE ET STRIATION GLACIAIRES

La glace même d'un glacier est plutôt souple. Cependant, elle englobe parfois en gelant des blocs rocheux qu'elle entraîne avec elle. Elle les fait ensuite glisser contre le socle rocheux, et ce dernier s'en trouve ainsi creusé et écuré. Les blocs et le socle sont broyés en une poudre fine ou sédiment. Quand il est produit en abondance au pied du glacier, là où la glace glisse sur le socle, le sédiment s'appelle «farine de glacier» parce qu'il donne aux cours d'eau de fonte une apparence farineuse et laiteuse. Si elle est abondante, cette farine parvient à polir le socle rocheux et le rend très brillant.

Les actions de broyage, d'usure et de polissage se font souvent l'une à la suite de l'autre lors du recul d'un glacier. Ici, la glace néo-glaciaire s'est retirée il y a une quarantaine d'années. Jadis, la glace

remontait l'escarpement du rocher et l'entourait. Plusieurs stries sont gravées tout au long et même au faite du rocher et la surface en est hautement polie. On peut en déduire qu'il a été découvert assez récemment car la pluie dissout le calcaire de la roche la rendant rapidement terne et rongée.

À la fin de sa régression, la glace à cet endroit était une masse stagnante. Les blocs rocheux qu'elle portait tombèrent lentement durant la fonte et quelques-uns s'arrêtèrent à des angles pour le moins précaires.

La substance blanchâtre qu'on aperçoit dans les recoins du calcaire gris est un précipité de calcite sub-glaciaire décrit dans la légende de la photo 44. Cette matière a presque été effacée ici par l'usure.



44/DES PRÉCIPITÉS DE CALCITE SUB-GLACIAIRES

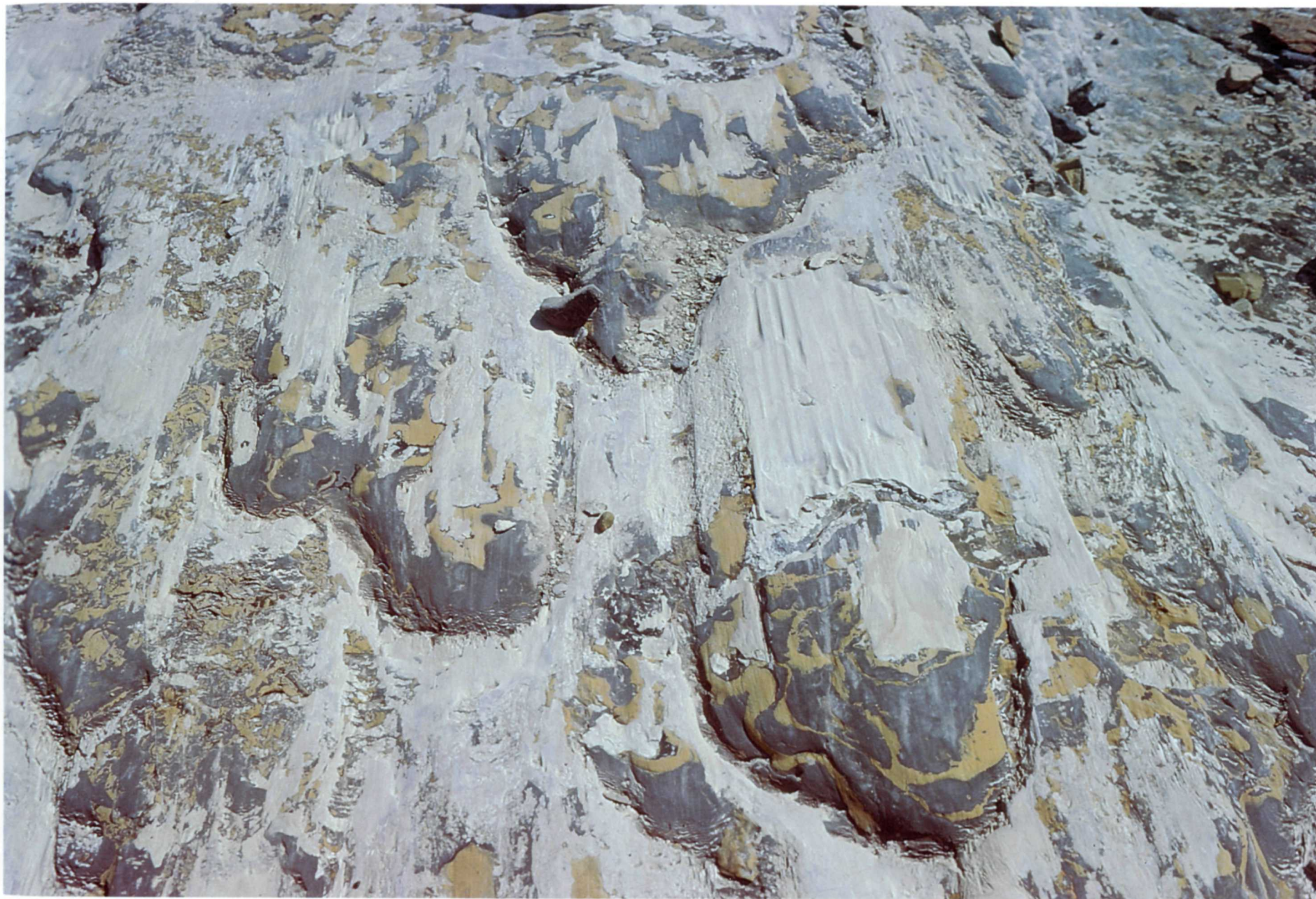
Cette roche de fond se trouve sur les terrasses méridionales de calcaire du mont Castleguard. Elle est située à seulement 50 m d'un glacier dont le recul récent a révélé cette surface sub-glaciaire primitive. Les éléments enchevêtrés et minuscules sont mieux développés, plus variés et plus beaux ici que dans la plupart des autres sites connus.

Cette roche de fond fut déposée dans une mer peu profonde où les sédiments calcaires épousèrent la forme d'ondulations dans le sable. Ces ondulations furent ensevelies telles quelles par les dépôts ultérieurs. Cinq cent millions d'années plus tard, les ondulations sont exhumées par le glacier qui use leur surface à un angle d'environ 45°. Il en résulte un dessin de petites buttes aérodynamiques formées dans le roc; les extrémités en amont sont en pente raide allant en diminuant vers l'aval. Elles sont bien marquées par les couches colorées du dessin original de l'ondulation maintenant en surface depuis que le glacier s'est retiré après en avoir usé la partie

supérieure. La photographie couvre environ un mètre carré de terrain.

Au centre des Meadows de Castleguard, les glaciers de la dernière période glaciaire déposèrent des drumlins ayant cette même forme mais qui mesurent plusieurs centaines de mètres de longueur (voir la photo 33). La petite dimension des drumlinoïdes de roc solide que l'on voit ici illustre bien comment, dans la nature, les mêmes circonstances produisent les mêmes effets, qu'ils mesurent un centimètre ou un kilomètre.

Des dépôts de calcite, créés dans un environnement sub-glaciaire, entourent chaque micro-drumlinoïde et enterrent son bout effilé du côté abrité. Ces précipités de calcite (carbonate de calcium) sont extrêmement fragiles et très solubles; le gel et la pluie ont vite fait de les détruire. Il est rare de trouver des dépôts aussi bien conservés que ceux que l'on trouve à Castleguard.

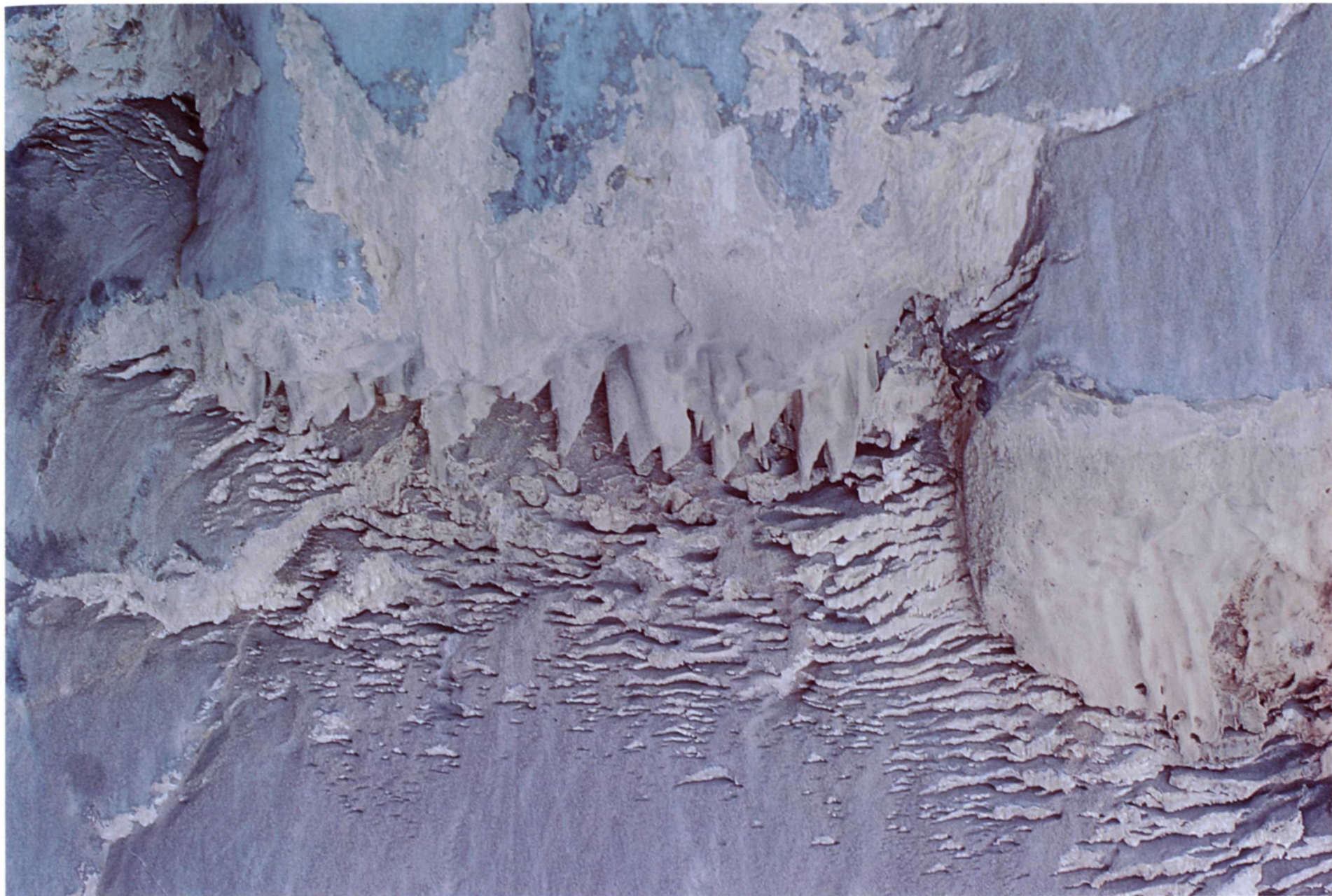


45/LA CALCITE SUB-GLACIAIRE

Ce gros-plan montre certaines particularités typiques de la calcite sub-glaciaire. Le calcaire, au haut de la photographie, forme l'extrémité en amont d'un micro-drumlinoïde. La pression exercée par la glace en mouvement l'a fait fondre à certains endroits, et l'eau de fonte a dissout les fins sillons dans le roc. Plus tard, lorsque l'eau a regelé, le

calcaire dissout s'est reformé en précipité sous la forme d'aiguilles longues de 2 à 3 cm pointant dans le sens du mouvement de la glace.

La photographie montre à droite la calcite usée par les mouvements récents de la glace. Un petit escarpement de la roche de fond, au centre, fut enterré sous un dépôt de calcite.



Formation des cavernes : la surface

La formation des cavernes, ou processus karstique, commence à la surface de la terre. L'eau, rendue légèrement acide par le gaz carbonique contenu dans l'atmosphère, élargit les fissures à la surface

de la roche calcaire ou dolomitique et s'y infiltre. Les effets de l'eau sont nombreux sur la surface rocheuse et leur présence permet de soupçonner l'existence de cavernes dans le sous-sol.

46/UN PAYSAGE KARSTIQUE ALPIN

Ce paysage désolé est un reflet de la région karstique alpine de Castleguard. Les montagnes de pierre calcaire et l'abondance de l'eau, provenant de la fonte de la neige et de la glace, sont les ingrédients; le temps en est le catalyseur.

Le mont Andromeda (3442 m) avec sa pente orientale couverte de glaciers à l'arrière-plan, cache le champ de glace Columbia de notre vue. Au centre, on aperçoit le col conduisant aux Meadows. Sa surface a été érodée par la glace qui y séjournait jusqu'à son recul, il y a 10 000 ans. Un drumlin oval formé par la glace, au loin, à droite, s'effile vers la gauche. À l'avant-plan, le pavé karstique est sillonné de diaclases et de rigoles créées par la dissolution du calcaire par la pluie et l'eau de

fonte depuis le départ du glacier. L'eau s'infiltrant dans les fissures à l'avant-plan, ne reviendra à la surface qu'à Big Springs, 6,5 km plus loin et 560 m plus bas.

Il y a trois types principaux de formations karstiques : les formations tropicale, tempérée et alpine ou arctique. Ceci est un paysage karstique alpin remarquable car il comprend des glaciers contemporains aussi bien qu'un terrain anciennement couvert de glaciers et des reliefs karstiques en surface et sous terre. La plupart des paysages karstiques alpins des Alpes européennes, des Pyrénées, du Caucase et des Rocheuses américaines sont dénués de glace contemporaine.



47/LE ROC KARSTIQUE

Ce rocher a été créé par l'action d'un glacier durant la petite période glaciaire ou période néo-glaciaire qui fut à son zénith au XIX^e siècle. Il est haut de 5 m et fait partie de la formation Cathedral qui remonte au Cambrien moyen, soit à 550 millions d'années.

Cette roche calcaire est formée par de minces couches de boue calcaire, incrustée de fragments de coquillages et de squelettes d'espèces maritimes disparues qui s'étaient déposées dans des mers chaudes peu profondes. Lorsqu'elle fut recouverte, plus tard, par d'autres dépôts, cette matière fut comprimée en une roche dure, le calcaire cristallin, englobant des fossiles. Ce calcaire est très pur et contient seulement quelques grains de sable qui sont insolubles. C'est pourquoi les strates varient peu en couleur et en texture.

La pierre calcaire est un carbonate de calcium (CaCO_3) qui est très soluble dans l'eau douce. Ce massif de calcaire est cependant très dense et moins perméable. L'eau ne peut le pénétrer et le dissoudre que le long de fractures et de failles de la largeur d'un cheveu. Les lignes horizontales sont des divisions formées entre les couches de roches à la suite de périodes d'arrêt de la sédimentation.

Lorsque la boue fut consolidée en roche et, plus tard, soulevée par les pressions de la croûte terrestre qui forment les montagnes, des glissements se produisirent le long de certaines couches qui furent accentuées. Les diaclases verticales, qui coupent à travers la stratification, se développent à la suite de la pression exercée en cours de consolidation du roc. Des motifs rectangulaires se produisent fréquemment.

Au début, les fissures peuvent être d'un millième de centimètre de largeur seulement. L'eau les agrandit petit à petit par dissolution de la roche et ce sont ces drains qui éventuellement créent les systèmes de cavernes. L'eau de surface dissout aussi le roc. Cette action forme aussi les chenaux, les rainures, les fosses, les effondrements qui, à leur tour, peuvent laisser passer encore plus d'eau.

Les plans de stratification et les diaclases de cette roche calcaire sont grandement espacés et, parce qu'ils sont la seule voie de circulation de l'eau, ils favorisent généralement la formation de cavernes peu nombreuses mais grandes.

Cette massive formation calcaire avec son carrelage de fissures indiquera, à l'observateur même inexpérimenté, l'existence presque certaine de cavernes sous-jacentes.



48/L'EAU S'ÉCOULE D'UN PLAN DE STRATIFICATION

L'eau a pénétré à travers ces épaisses couches calcaires et s'est frayée un chemin facile vers le bas en coulant le long des ouvertures horizontales dans le roc. Elle a perdu une bonne partie de son pouvoir dissolvant plus haut et sort ici en un filet d'eau claire.

La mousse tire avantage de cet approvisionnement sûr.



49 / DIFFÉRENTS DEGRÉS DE SOLUBILITÉ DU ROC

Voici la face d'une diaclase verticale mise à nu lorsque l'action de la glace coupa la masse rocheuse en deux et emporta le tronçon le plus proche avec elle. À droite, on peut apercevoir, bien conservées, des taches blanches de calcite cristalline qui remplissaient la diaclase à l'origine.

Le socle rocheux, que l'on voit ici, appartient à la formation Pika, la couche la plus élevée du roc formant les grottes à Castleguard. Il est formé de calcaire cristallin gris entrecoupé de couches de dolomie sédimentaire de couleur chamois. La

dolomie, ou dolomite, est un carbonate double de calcium et de magnésium dont la formule est $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. La dolomie est soluble et elle est considérée karstique. Cependant, le calcaire pur composé seulement de la calcite (CaCO_3) est encore plus soluble et, par conséquent, plus karstique.

Durant les belles journées, une fine couche d'eau de fonte s'égoutte de la surface rocheuse. L'eau ronge doucement le calcaire plus soluble et fait ressortir ainsi les couches moins solubles de dolomie.



50/DISSOLUTION ET DÉPÔT DE CALCAIRE

Au sommet des terrasses méridionales, l'eau de fonte provenant d'un gros amoncellement de neige a pénétré dans une strate de calcaire située en dessous et a dissout le roc à une température dépassant à peine le point de congélation. Elle suinte maintenant vers l'extérieur. Le soleil la réchauffe

rapidement et elle s'évapore tout en déposant la calcite qu'elle contenait. Les incrustations blanchâtres de calcite ne sont pas très résistantes, et la pluie ou la neige fondante auront tôt fait de les détruire l'an prochain.



51/LES PUIITS ET LES RIGOLLES DE DISSOLUTION

Une grande quantité d'eau de surface, rendue quelque peu acide par l'absorption de gaz carbonique, a élargi les diaclases et les plans de stratification qu'elle a rencontrés dans la surface calcaire, et s'est frayée un chemin vers un système d'écoulement souterrain.

Un mince filet d'eau de surface acide s'est fait, à son tour, un tracé à peine visible sur le roc. Tour-
nant vers le bas, l'eau rencontra la doline longue
et étroite qui s'était formée auparavant et elle s'y
engouffra. La rigole est partiellement obstruée en
deux endroits par quelques débris rocheux.



52 / LES LAPIAZ À RIGOLES

On appelle «lapiaz» les rigoles, les sillons et les cavités minuscules créés par dissolution. On qualifie de lapiaz à rigoles les barbacanes bien arrondies qui ont été creusées dans une face verticale. L'eau qui les forma s'était infiltrée dans un mélange de terre et de pierres que l'on voit à l'arrière-plan avant d'en ressortir en sillons rapprochés.

Les lapiaz à rigoles sont taillés à même les fissures que sont les diaclases verticales élargies par dissolution. Elles sont généralement droites et profondes. Celle-ci, qui se trouve dans la formation calcaire Cathedral des Meadows supérieurs, mesure 4 m de profondeur.



53/LES LAPIAZ À DIACLASES

Les fractures ouvertes ou lapiaz à diaclases sont les fissures les plus longues, les plus droites et les plus profondes de ces terrains qu'elles ont morcelés par dissolution. Les exemples montrés ici ont jusqu'à 20 cm de large. Elles s'étendent à 1,5 m de profondeur et s'arrêtent à un plan de stratification entrouvert qui reçoit l'eau.

Les diaclases qui se croisent à angle droit divisent le roc en blocs. Dans le Yorkshire, les diaclases s'appellent *grikes* et les blocs, *clints*. Ensemble, ils forment un pavé karstique.

Cet exemple-ci est situé dans le calcaire de la formation Cathedral supérieure à l'extrémité septen-

trionale des Meadows de Castleguard, à une altitude de 2350 m. La pluie et l'eau de fonte auront probablement mis 10 000 ans à élargir ces diaclases et à dégager les extrémités des blocs occasionnant des lézardes microscopiques. Puis, lorsque l'eau s'y est infiltrée et a commencé le processus de dissolution, le gel entre en jeu. Au centre de la photographie, là où les fractures se joignent, le coin a été fissuré par le gel et se disloque. Une couverture de terre et de végétaux agit comme isolant et prévient probablement ce genre de dégradation.



54/PAVÉS KARSTIQUES AFFECTÉS PAR LE GEL

Ces pavés karstiques ont été soumis à un gel intensif. Toutes les surfaces des blocs sont fracassées. Le dessus des deux blocs à l'avant-plan a été réduit en éclats par le gel. Ces éclats s'accumulent à leur tour dans les fentes pour former le sol. Une végétation pionnière s'est implantée dans l'une des fentes entre les blocs.

Les blocs à l'avant-plan ont été les plus affectés par le gel parce qu'ils sont plus élevés que les autres, qu'ils ont, les premiers, perdu leur couche

protectrice de sol et qu'ils ont été exposés plus longtemps à l'action du gel.

Une mince couche de sol protégeait autrefois les blocs situés au coin supérieur gauche et leur offrait les conditions semblables à celles qui existent dans la photo 53. Nous pouvons encore apercevoir dans le coin supérieur droit, un reste de la couverture de sol dont la majeure partie semble avoir été lavée par l'eau.



55 / PAVÉ KARSTIQUE ENVAHI PAR LA VÉGÉTATION

Les diaclases agrandies par l'eau donnent l'impression d'un dallage. Certaines des dalles sont si bien dessinées qu'on pourrait les voir au jardin alors que d'autres donnent l'impression d'appartenir à un dallage irrégulier en pierres plates, au gré des diaclases.

De tels pavés karstiques et dolomitiques sont répandus au Canada. On en trouve de bons exemples le long du Saint-Laurent entre Québec et Montréal, près d'Ottawa, à l'escarpement Niagara et à son prolongement sur l'île Manitoulin, de même que dans la région Interlakes au Manitoba. Ces pavés se présentent en d'innombrables motifs, mais ils sont rarement aussi bien définis que celui-ci.

Ici, des diaclases dessinent des motifs presque rectangulaires qui se coupent à angle droit. Le travail de dissolution en a élargi certaines parties et en a laissé d'autres intactes créant ainsi un motif complexe et discontinu.

Situé à quelques centaines de mètres à peine du bloc dénudé de la photo 54, cet endroit est plus abrité; il s'étend 100 m plus bas. De petites plantes

alpines se sont établies dans le sol rare des fissures. Elles retiennent la poussière portée par le vent, ce qui ajoute au sol et permet aux plantes plus petites de s'étendre aux blocs entre les fissures. Un bon bouquet de dryades, au centre, s'est étalé sur de petits blocs avoisinants. À quelques pas, on trouve quatre coussins de silènes acaules (*Silene acaulis*) aux fleurs roses. À l'arrière-plan, la végétation est très étendue et la surface est presque complètement couverte.

Une fois bien établies dans les fissures de dissolution, la végétation et les bactéries produisent de grandes quantités de gaz carbonique (CO_2). Celui-ci se dissout dans l'eau de ruissellement et en fait une solution faible d'acide carbonique (H_2CO_3). La propriété qu'a l'eau de surface de dissoudre le calcaire peut alors être réhaussée jusqu'à six fois. En conséquence, l'envahissement des espaces nus du pavé permet de supposer habituellement que le taux de développement de la végétation augmentera et que des fissures et des sillons de dissolution feront leur apparition à la surface des blocs.



56/LA SILÈNE ACAULE

Cette espèce arctique et alpine pousse bien à Castle-guard. On la trouve à toute altitude. Elle forme de petits coussins de fleurs roses à peine visibles, à

plusieurs endroits à quelques pas de l'agglomération de plantes au centre de la photographie précédente.



57/LE GEL

La température annuelle moyenne, à Castleguard, est en dessous de 0°C. Plus de cent fois au cours d'une année, la température descend sous le point de congélation la nuit et l'on trouve de la glace en permanence dans les sols situés à plus de 2100 m d'altitude.

Ce pavé karstique de l'immense formation calcaire Eldon est recouvert d'une abondante végétation. Il est situé dans un endroit abrité à une

hauteur de 2200 m. Protégé en grande partie par cette végétation, il porte peu de marques de gel. La partie située au bas de la photographie et le bloc au centre sont d'un même calcaire, mais le bloc n'a aucune végétation pour le protéger. Le gel l'a débité et a réduit sa surface supérieure en éclats. La glace qui s'infiltré de temps à autre entre ces éclats parvient à écarter les deux moitiés du bloc.



58/UN BLOC
ERRATIQUE FRACASSÉ
PAR LE GEL

Ce bloc alluvial brun fut porté ici par un glacier. On l'appelle bloc «erratique» parce que, n'appartenant pas à la formation locale, il provient vraisemblablement d'ailleurs. Non protégé, il fut fracassé au cours de nombreux gels et dégels consécutifs. Le

vent, l'eau de fonte qui descend de la pente et la gravité ont éparpillé ces débris de roche fracturée sur plusieurs mètres. Une partie du bloc original est encore en place, mais il a complètement été réduit en éclats.



**59/PAVÉ KARSTIQUE
BRISÉ PAR LE GEL**

Cet endroit, de la formation calcaire Eldon, se trouve à 2200 m d'altitude. Il est plus à découvert que celui de la photo 57 même s'il en est rapproché. Ici, le bloc a été fracassé et disloqué par le gel.

Un ancien motif fait par des fissures étroites de dissolution dans le bloc a été effacé récemment.

Cette destruction peut avoir été causée par le refroidissement, léger mais général, qui accompagne les avances néo-glaciaires des 700 dernières années.



60/UNE MER DE ROCHES

C'est vraiment un paysage morne que l'on retrouve sur l'épaule méridional du mont Castleguard, à une élévation de 2500 m. La nouvelle moraine latérale, à l'avant-plan, fait voir jusqu'où se sont avancées les glaces de la période néo-glaciaire. On aperçoit, à gauche, la partie nord-ouest du mont Bryce.

Il y a plus de 8000 ans, le glacier principal se retira des terrasses calcaires et dolomitiques et des crêtes. Le processus de dissolution commença dès lors à aménager en pavés cette surface nouvellement découverte. Au fur et à mesure que des fissures s'ouvraient le moins, l'action du gel fendait le roc et créait un *felsenmeer* ou mer de roches. Cette surface d'éclats de roches aiguës rejoint le roc solide à une profondeur de 30 à 50 cm. Le gel et la dissolution continuent à s'attaquer à la surface rocheuse sous-jacente bien que l'action du gel diminue avec l'épaississement de la couche de recouvrement.

À la partie supérieure de la formation calcaire Pika, ici, une quantité abondante d'éclats se retrouve au milieu de la moraine néo-glaciaire d'une importance surprenante. On s'aperçoit ainsi combien un glacier relativement petit pouvait charroyer de roche concassée.

La température moyenne annuelle se situe autour de -6 et -7° C. Le socle rocheux devrait être

gelé en permanence et imperméable. Cependant, il existe une doline importante dans cette mer de roches. Le puits long et étroit que l'on voit au centre de la photographie a été nommé *Frost Pot* c'est-à-dire «puits de gel». Son ouverture est cernée d'éclats de roches, mais on peut voir l'eau qui s'y déverse.

Ce puits est vertical et on y est descendu à une profondeur de 30 m; on ne put aller plus loin à cause de son étroitesse. Nous avons cependant coloré l'eau qui s'y engage et elle ressortit des antres de la terre trois heures et demie plus tard à Big Springs, 750 m plus bas et à une distance de 4 km. Cette vitesse considérable laisse croire que l'eau tombe le long d'une série de puits verticaux comme celui-ci.

Ce système efficace de puits ouverts est maintenu, dans ce climat glacial en permanence, par l'eau provenant du gros banc de neige situé en haut de la photographie. Ce banc de neige fait face au nord-est et est situé sur une pente à l'abri du vent d'ouest prédominant. L'eau de fonte qui en coule est réchauffée par le soleil de l'été, jusqu'à 12°C au moment où elle tombe dans le Frost Pot. Cette eau réchauffe les murs du puits à leur tour produisant ainsi un cylindre de roche réchauffée qui descend dans le pergélisol.



**61/ENFOUISSEMENT
D'UN PAVÉ
KARSTIQUE
PAR SOLIFLUXION**

La photographie fait voir la compétition qui s'exerce dans les hautes altitudes à Castleguard entre les phénomènes de dissolution karstique, de gel et de solifluxion. Du calcaire Eldon forme le socle rocheux : il appartient à une terrasse ensoleillée, face au sud à une altitude de 2380 m. Le pavé karstique a été formé après la dernière période glaciaire. Il se fait enfouir présentement par une langue de débris qui

se sont accumulés en talus au pied d'un escarpement peu élevé. Durant la petite période glaciaire, il s'est formé de la glace au sein du talus qui se mit alors à descendre. Une fois enfoui, le pavé karstique sera protégé de l'action des eaux de surface acidifiées car elles auront été absorbées et neutralisées par le talus.



62/UNE DOLINE AVALÉ LE SOL

Nous avons vu, dans la photo 61, les débris rocheux «couler» d'une pente pour enfouir des fissures de dissolution qui aident à former les cavernes. Ici, l'effet contraire se produit et ce sont les fissures qui avalent le terrain, autrefois recouvert de végétation.

Dans la toundra à la partie supérieure des Meadows, de 20 à 40 cm d'argile et de vase recouvrent la surface calcaire, et cette boue a probablement entravé le système d'infiltration qui forme les cavernes. Le sol de glaise et de boue a déjà été couvert de végétation comme celle des monticules à l'arrière-plan. Une fois mortes, les

plantes se décomposent et produisent de l'oxyde de carbone qui, lui, rend acide l'eau qui s'infiltre vers le lit rocheux. L'eau attaque le roc et élargit les fissures jusqu'à ce que le sol, qui n'a plus de soutien, s'y effondre. Petit à petit, l'eau se creuse un puits à même le roc.

La crue des eaux au printemps emporte le sol qui entoure les racines, déchire la couverture de végétation et entraîne le sol et les plantes vers les profondeurs. Un jour, le sol et la végétation seront disparus et une doline importante se sera formée.



63/UNE DOLINE CREUSÉE PROFONDÉMENT

Le sol s'effondre parfois par affouillement, c'est-à-dire en passant dans la doline qu'il a créée. Le phénomène qu'on appelle aussi «soutirage» est particulièrement en évidence là où il existe des cavernes parce que les puits de dissolution dans le socle rocheux portent les conduits terreux à s'y vider.

L'exemple remarquable de soutirage karstique ci-contre se trouve aux Meadows supérieurs de Castleguard à 2240 m. Trois mètres de matière erratique glaciaire, abondamment recouverte de végétation, reposent sur des calcaires de la formation Cathedral centrale. Ce sol est composé principalement de glaise et de boue, mais il contient aussi des pierres plus grosses. La surface a été

transformée en monticules par la végétation et par la glace qui est dans le sol. Cette transformation est commune dans les régions arctiques et alpines du Canada.

Trente mètres plus loin, un cours d'eau a balayé la couverture de matière erratique et a pratiqué une cavité dans le roc. Un canal s'est ensuite formé dans le sol pour la rejoindre. L'argile et la boue passent dans ce canal durant la fonte au printemps et après les pluies abondantes et forment ainsi une doline. Les cailloux, les pierres, les éclats de matière erratique sont trop gros pour être charriés par les cours d'eau qui les laissent là pour former un lit de roches menant au drain karstique.



64/UNE DOLINE ÉRODÉE PAR LA GLACE

Cette doline est à une altitude de 2340 m dans la partie septentrionale des Meadows de Castleguard. Le mont Andromeda, de l'autre côté du glacier Saskatchewan, se trouve à l'arrière-plan.

Un épais et puissant glacier s'est avancé sur cette immense surface calcaire de la formation Cathedral supérieure pendant la petite période glaciaire. Il a maintenant reculé de 250 m et est hors-champ vers la gauche. Il a passé par-dessus une doline elliptique qui s'était formée à même la grande faille qui traverse la scène à partir du bas à gauche.

La glace mouvante a extrait la pierre de la paroi de la doline à gauche en amont. La paroi de droite qui faisait face au glacier était usée et arrondie. Des précipités de calcite sub-glaciaires (comme dans les photos 44 et 45) se sont ensuite déposés en quantité sur la surface usée.

L'aspect asymétrique du terrain qui en résulte permet de mesurer l'effet produit par l'érosion sub-glaciaire durant les centaines d'années de l'ère néo-glaciaire. Bien que son contour ait été bien transformé, la doline continue toujours à apporter l'eau au système des grottes comme elle le faisait probablement alors qu'elle était enfouie sous le glacier. On peut entendre le bruit d'un important cours d'eau qui coule au sein du glacier même si on ne voit sortir l'eau nulle part. Elle se déverse probablement dans une autre doline comme celle-ci.

Les géomorphologues reconnaîtront que cette forme est la réciproque géométrique de la roche moutonnée, genre de colline dont le profil a été rendu aérodynamique par les glaciers.



65/LE RUISSEAU QUI S'ENFONCE SOUS TERRE

L'été, l'eau de fonte des champs de glace au nord du mont Terrace et du côté oriental des Meadows, alimente ce ruisseau qui s'enfouit ici, à une altitude de 2290 m, au sommet de la formation calcaire Cathedral. Il fait surface à Big Springs, 550 m plus bas.

Ceci est un exemple de site d'affaissement récent. L'eau descend dans des fissures étroites dans le lit du ruisseau. Si la crue augmente le moindrement, l'eau déborde des fissures et poursuit sa route jusqu'à 400 m plus loin où elle s'infiltre dans des fissures plus basses et plus anciennes.



Formation des cavernes : le sous-sol

Les plateaux calcaires où prédominent l'action chimique ou la dissolution présentent des effets des plus intéressants sous terre. Ces phénomènes érodent le roc, élargissent de petites diaclases et les espaces dans les plans de stratification pour créer un long réseau complexe de couloirs.

Au moins trois systèmes de couloirs ont été creusés à Castleguard. L'eau a abandonné la grotte

supérieure qu'elle avait créée. Les deux réseaux inférieurs, plus récents, laissent l'eau s'écouler tout au long de l'année. L'été, cependant, quand la température est chaude, le trop-plein de la crue remonte dans la grotte supérieure et bouche les couloirs de l'entrée.

66/À L'ENTRÉE

La seule entrée accessible aux explorateurs se trouve en aval de la caverne de Castleguard. Elle est située sur la pente nord de la vallée de la rivière Castleguard, sous le rebord des Meadows.

L'été, la température à l'entrée de la caverne est au point de congélation et la caverne est très humide. Au-delà du brasier et de l'explorateur, on aperçoit le pavé karstique sur lequel coule un torrent qui le nettoie de tout débris.

L'entrée de cette caverne fut probablement découverte en 1919 ou 1920. Les opérateurs de convois touristiques commencèrent à amener des visiteurs aux Meadows vers le milieu des années 20. Les touristes s'arrêtaient ici espérant apercevoir le jaillissement spectaculaire de la crue sortant de, la grotte, ce qui se produisait d'ailleurs assez fréquemment.

Aujourd'hui, 18 km de la caverne ont été explorés et cartographiés jusqu'aux points où elle est obstruée par la glace. Elle s'étend sous le mont Castleguard et se ramifie sous le secteur nord-est du champ de glace Columbia. Les couloirs les plus éloignés dépassent l'entrée de 380 m en hauteur. Les explorateurs escaladent les lits de dépôts et les plans de stratification à une allure régulière sur presque toute la distance.

La caverne peut être divisée en trois éléments. Elle compte d'abord une partie située en aval, ou zone d'inondation, qui gèle en hiver. Elle présente ensuite une section centrale constituée essentiellement d'un couloir passant sous le mont Castleguard. La rivière qui l'a creusée coule maintenant dans un réseau inférieur, Castleguard II, que les explorateurs ne peuvent pas atteindre. Cette zone centrale existe depuis des centaines de milliers d'années et contient des passages éblouissants.

Enfin, la troisième partie est le complexe situé à la tête de la caverne et composé de galeries et de puits creusés dans le roc sous le champ de glace. Certains d'entre eux transportent de grandes quantités d'eau durant l'été même s'ils sont à sec à la fin de l'hiver. D'autres passages, dont la section centrale, sont abandonnés. Des expéditions ont fait le relevé de 2 km de nouvelles galeries en 1983 et 1984, et le travail se poursuit.

La caverne Castleguard est pleine d'obstacles et seulement les explorateurs expérimentés et équipés convenablement peuvent la visiter. D'accès contrôlé par Parcs Canada, il faut faire une demande d'exploration au Directeur du parc national de Banff.



67/LE COULOIR D'ENTRÉE

Les couloirs de caverne ont trois configurations de base. On en trouve d'excellents exemples à Castle-guard.

Cette salle, située à 50 m à l'intérieur est un exemple de la forme «effondrement» que l'on retrouve au long des premiers 1500 m de la caverne où dominant les processus de gel et d'inondation. La salle rappelle l'intérieur d'une mine, ressemblance qui est due à l'effondrement de pans de roches des murs et du plafond. L'été, les eaux de crue entrent en trombe depuis les passages inférieurs, à l'arrière, et se déversent sur son plancher. Ces eaux

s'attaquent ensuite aux murs par dissolution, par pression hydraulique et par l'action des cailloux qu'elles charrient. Les murs ainsi sapés affaiblissent le plafond et contribuent petit à petit à son éventuelle dégradation.

Cette photographie fut prise au début de juillet, juste avant la première inondation de l'année. La température ambiante est de -2°C. Ce qui reste de la crue de l'été dernier est encore là, sur le plancher, gelé. Les quelques lamelles de pierres sur la nappe de glace qui ont été détachées par le gel montrent l'étendue de l'érosion produite l'hiver dernier.



68/LA ZONE FROIDE À L'ENTRÉE

Des courants d'air, qui pénètrent jusqu'aux os et dont on ne peut se protéger, soufflent continuellement dans la caverne de Castleguard sauf au moment où l'entrée est bouchée par la crue. La caverne est longue et, passant au coeur même d'une montagne, est bien calorifugée. L'hiver, la température extérieure est très basse, mais à l'intérieur la chaleur géothermale provenant des profondeurs réchauffe le roc et l'air jusqu'à 3,5°C au centre de la caverne. L'air, plus chaud qu'à l'extérieur, s'élève à travers les couloirs jusqu'au pied du champ de glace. L'air froid est aspiré de l'entrée pour le remplacer. C'est la nuit que l'air extérieur est le plus froid et c'est pourquoi le courant d'air dans la caverne est plus fort à ce moment.

L'air froid commence à être aspiré en septembre ou octobre. Plus l'hiver avance, plus le front frigorigène pénètre profondément à l'intérieur, et cela jusqu'en mars ou avril. Puis l'air circule en sens inverse. L'air frais et humide de l'intérieur se dirige

maintenant vers l'extérieur qui est plus chaud. Cette action fait lentement dégeler la caverne. C'est ce qui fait que les premiers cents mètres de la caverne sont toujours les premiers à geler et aussi les derniers à dégeler.

La photographie fut prise en avril. Un étang, situé à 80 m à l'intérieur de la caverne, s'est formé à même les eaux résiduelles de la crue. Il a une profondeur de 60 cm. Avec le froid hivernal, il a gelé tranquillement et constamment depuis sa surface jusqu'au fond, soulevant ainsi des dômes qui se fendent et s'entrouvrent. Par conséquent, la glace est aussi claire que le cristal et prend une forme géométrique bien nette. On n'y trouve pas les tranches et les taches opaques occasionnées à la glace de surface par la neige, la pluie et des dégels subits.

L'air hivernal est tellement sec que la surface de la glace est un véritable miroir. Il n'y a pas d'exsudation de la paroi rocheuse ici quoique, plus loin, la caverne soit humide en permanence.

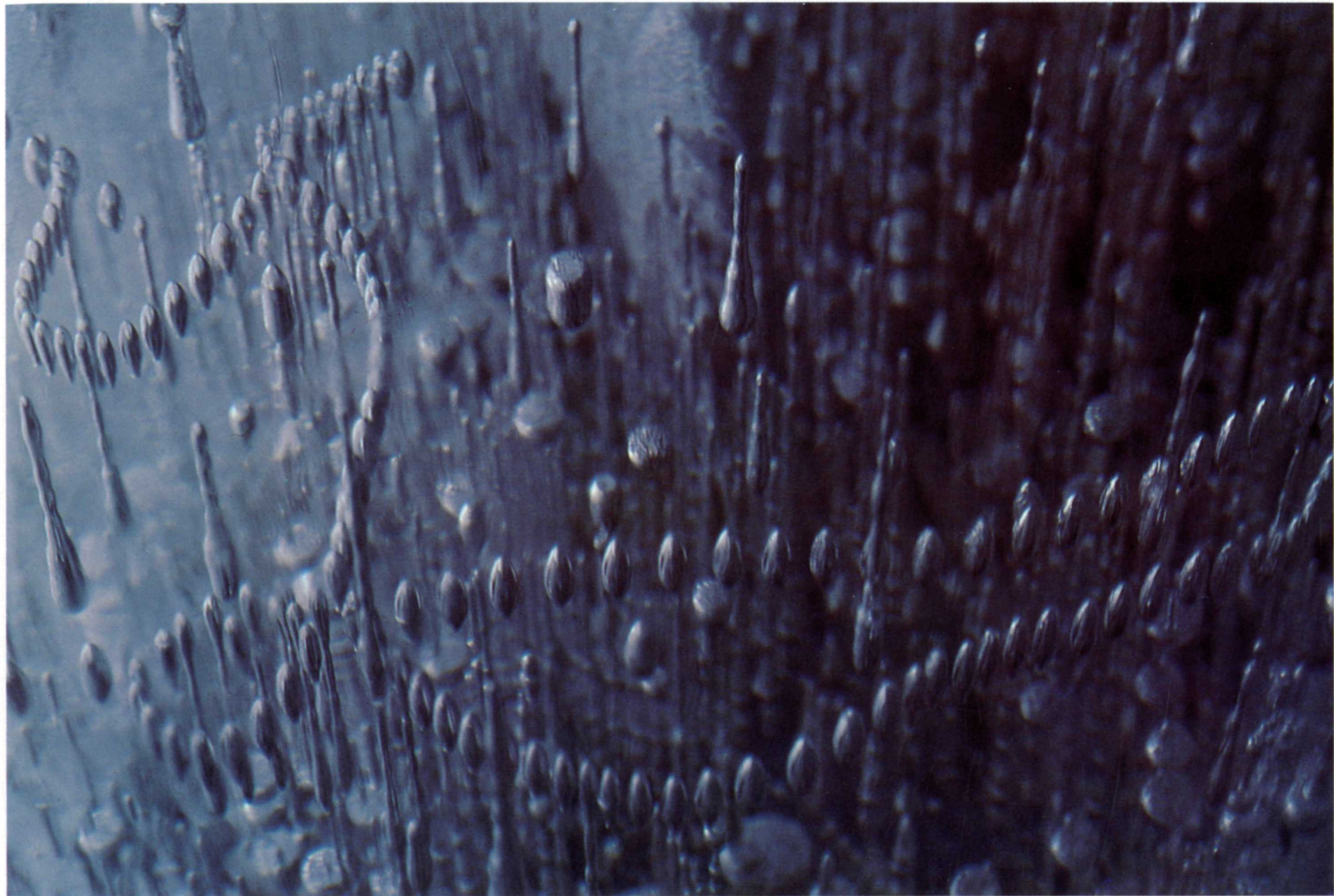


69/DES BULLES D'AIR DANS LA GLACE

Les cavernes sont des endroits où les extrêmes sont chose courante. Ainsi, elles peuvent être englouties soudainement par de terribles crues ou, encore, rester là dans un calme et une obscurité absolus sans changement de température et d'humidité pendant des milliers d'années.

C'est cette combinaison d'impétuosité et de stabilité qui a causé le phénomène que l'on aperçoit près de l'ouverture de la caverne. Les restants de

la crue emprisonnés dans des dépressions ont gelé uniformément au cours de l'hiver. L'air se déplace durant le gel et est emprisonné dans des bulles de formes variées qui peuvent atteindre quelques centimètres de diamètre. Les dessins qu'elles font dans la glace sont d'une variété infinie. La double rangée ellipsoïdale de grosses bulles est longue de 30 cm environ.



70/UN PILIER DE GLACE

Les eaux locales d'infiltration atteignent la zone froide de l'entrée à quelques endroits seulement. De toute évidence, leur débit se maintient tard durant la saison d'hiver même si l'eau gèle dès qu'elle

arrive dans le passage principal. Ce pilier et les bulles de la photographie précédente sont transitoires; l'hiver les reforme chaque année et la crue les emporte chaque été.



71/L'ABLATION D'UN PILIER

Nous sommes à la fin de l'hiver. Il y a longtemps que l'apport d'eau a été arrêté par le gel. L'air très froid et très sec qui souffle de l'entrée fait évaporer la glace, la perfore et l'effile comme un couteau.

Les parois de la caverne dans la direction du vent se sont tellement asséchées que la poussière s'en détache et se dépose sur la glace. On se croirait dans un désert froid.



72/«P8», LE PUIT DE HUIT MÈTRES

Cet obstacle, 100 m à l'intérieur de la caverne, a fait embûche aux premiers explorateurs. Ce puits de 8 m de profondeur s'est creusé le long d'une petite faille dans le roc. Pour donner l'idée de sa dimension, disons que les barreaux de l'échelle en aluminium, que l'on aperçoit, sont distancés de 25 cm.

En autant que l'on sache, personne n'était descendu dans ce puits avant qu'une équipe de scientifiques s'intéressant aux formations karstiques et d'explorateurs de cavernes de l'université McMaster d'Hamilton (Ontario) en commença l'étude systématique au cours de l'été 67. Deux des explorateurs furent surpris par une crue des eaux au cours d'une des premières visites. Ce n'est que de justesse, avec leurs sauveteurs, qu'ils purent s'échapper de cet endroit où ils auraient bien pu être emprisonnés pendant plusieurs jours. Depuis ce temps, toutes les explorations se font en hiver, généralement en avril, où c'est encore l'hiver ici. Il y a eu dix expéditions d'importance depuis mars 1968.

La première section de la caverne est la galerie qui aboutit au haut de l'échelle. La grotte est située derrière le photographe. Contrairement à ce que l'on pourrait croire, le puits a été creusé non pas par l'eau descendant comme une cascade, mais plutôt par l'eau qui remonte à cause de la pression hydrostatique. Les cavernes, qui se sont formées à partir de couloirs remplis d'eau soumise à la pression hydrostatique, s'appellent «cavernes phréatiques».

Un puits comme celui-ci est tout à fait inhabituel, il est peut-être même unique en ce qu'il a été

formé par l'action combinée du gel et de l'inondation. Pendant la majeure partie de l'année, il ne contient pas d'eau. L'hiver, l'air venant de l'extérieur le refroidit jusqu'à -5°C ou même à une température plus basse. L'eau qui avait été poussée par la pression entre les fissures, gèle et fait éclater la roche. Toute la paroi du puits, comme on le voit ici, est travaillée cette action du gel et du dégel. La grosse dalle à l'avant-plan est inusitée; c'est la seule grosse pierre qui soit tombée en 17 ans d'observation.

Des fragments plus petits s'accumulent à la base du puits. La plupart se présentent sous forme de petits cubes. En cours d'inondation, le flot est parfois tumultueux alors qu'à d'autres moments il est plus tranquille. Lorsqu'il est fort, le courant lance les cailloux vers le haut de la paroi. Ceux-ci retombent ensuite pendant l'accalmie. L'inondation imite le bris de la vague et le ressac de l'océan, et les cailloux sont usés comme les galets des plages. Les pierres gris foncé, arrondies et polies que l'on voit à l'avant-plan sont le résultat de cette action.

Au faite de la crue, les morceaux de roches de moins de 6 cm peuvent être transportés jusqu'en haut du puits. Ses murs portent les balafres blanches là où ils ont été frappés par de tels cailloux. En haut du puits, il y a une de ces cicatrices qui s'étend sur 5 m dans le couloir menant à l'entrée de la caverne. Lorsque l'eau surgit vers l'extérieur, elle balaye le couloir de ses cailloux qu'elle remplace par d'autres montés du gouffre.



73/EN RAMPANT SUR LA GLACE

Au bas du puits P8, la caverne se prolonge horizontalement par un passage de 200 m. Des eaux résiduelles sont emprisonnées ici et forment un canal recouvert d'un plafond bas. Pendant l'hiver, l'eau gèle et forme un long passage qui peut être franchi

en rampant sur les mains et les genoux ou seulement sur le ventre à certains endroits. C'est une partie de la caverne que les explorateurs n'oublient jamais.



74/«P24», LE PUIT DE VINGT-QUATRE MÈTRES

Nous sommes ici 2 km à l'intérieur de la caverne de Castleguard au début de la section centrale calorifuge. La température y est toujours un peu au-dessus du point de congélation.

La rivière souterraine, qui a créé la section centrale, coule maintenant dans un système situé encore plus bas. Ces couloirs abandonnés servent quand même au passage de petits cours d'eau et aux eaux de suintement qui parfois bâtissent des stalactites.

P24 est un puits profond de 24 m qui relie la partie centrale de la caverne à sa section d'entrée. Nous l'avons illuminé ici sur toute sa hauteur. Le grimpeur, que l'on peut à peine discerner sur l'échelle, est à 10 m du sol.

À l'instar du puits P8, il est aussi un passage phréatique creusé par l'eau montante. La paroi de droite est légèrement gravée et polie. Ceci est caractéristique des couloirs qui ont été agrandis par dissolution alors qu'ils étaient remplis complètement par de l'eau poussée par pression hydrostatique.

Ce passage elliptique est un élargissement d'une faille verticale située près de l'échelle. De la brèche (roche fracassée par le mouvement des parois d'une faille puis cimentée par la calcite) donne au mur de gauche une apparence rude et angulaire. Les traits brisés blanchâtres du côté inférieur droit sont des veines de calcite. La calcite a bouché de petites fissures.



75/LE SUBWAY

Ce couloir-ci s'appelle le «Subway» (métro). Il a été abandonné par l'eau et est presque sec. Il a commencé à la jonction d'un plan de stratification et d'une ligne de petites diaclases verticales. L'eau qui y coulait fougueusement, sous pression hydrostatique, l'a agrandi en dissolvant le roc autour du conduit original. Le métro est droit comme une flèche sur une longueur de 500 m avec une déclivité de 5°, le plan de stratification s'abaissant vers l'avant-plan. Autrefois, l'eau coulait dans le métro jusqu'au pied du puits P24 où la pression la poussait vers le haut jusqu'à la zone d'entrée de la caverne.

Ce passage est célèbre à travers le monde à titre d'exemple de la forme phréatique la plus simple et

la presque plus parfaite. Le profil le plus efficace pour un conduit est un cercle comme ce l'est pour les tuyaux dans nos maisons. La nature aussi tend à adopter cette forme, mais elle n'y réussit pas toujours à cause du manque d'uniformité dans la composition du roc.

La moitié inférieure du métro est remplie d'argile qui fut déposée par les derniers cours d'eau venus inonder le passage. Une petite tranchée a été creusée à même le plancher rocheux par un ruisseau dont l'arrivée est relativement récente.

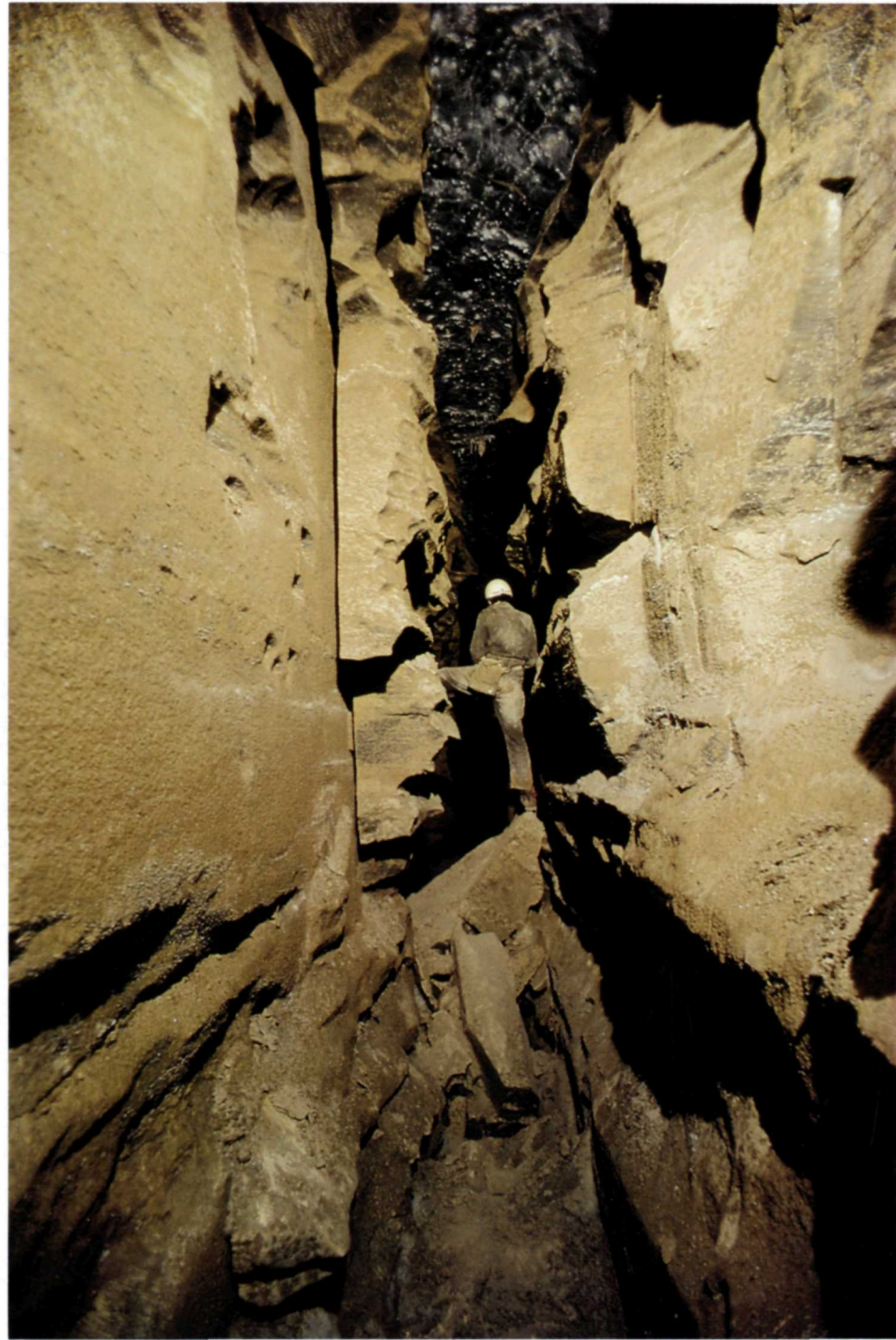


76/LE POINT DE DÉPART DU CAÑON FIRST FISSURE

L'explorateur qui entreprend une expédition hivernale au sein de la caverne de Castleguard doit se préparer mentalement à franchir les grands obstacles que sont les «First» et «Second Fissures» (premier et deuxième cañons). Ce sont deux cañons étroits, profonds et très longs, et qu'on ne peut éviter. La plupart du temps leur plancher est trop étroit pour pouvoir y marcher. On ne peut s'y avancer que par une suite de traversées le long de corniches étroites et inclinées, ou bien en posant le pied sur des

blocs coincés ou encore en escaladant et en descendant tous les quelques mètres pour suivre le chemin le moins pénible.

Cette scène se situe au tout début des cañons. Ce cañon étroit a été créé par l'eau qui s'est frayé un chemin en profondeur à partir d'un petit couloir phréatique dont il reste le plafond lustré. Le cañon a été abandonné depuis longtemps par la rivière qui l'a creusé, et une partie de sa paroi gauche s'est détachée à cause d'une diaclase importante.



77/UN CAÑON VADOSE

Les cañons First et Second Fissures de la caverne de Castleguard sont de bons exemples de la forme «vadose», l'une des trois configurations de base des cavernes. Le mot «vadose» signifie «au-dessus de la nappe d'eau» et se rapporte aux passages contenant de l'air au moment de leur formation, par opposition aux passages «phréatiques» qui, on s'en souvient, sont complètement remplis d'eau lors de leur formation.

L'eau, dans les passages vadoses, coule par gravité parce qu'il y a de l'air au-dessus tout comme c'est le cas pour les rivières de surface. Par conséquent, l'érosion se fait seulement en profondeur et à même les rives ou les parois. Les passages vadoses les plus simples sont des cañons

étroits, mais ils s'élargissent lorsque l'action de l'eau gruge les parois. Les cañons simples se développent le mieux là où la dénivellation est la plus prononcée. La pente de 5 à 6° à Castleguard est suffisante.

Les parois d'un passage vadose sont rugueuses. Des surfaces plus adoucies sont créées par les cours d'eau phréatiques qui sont plus lents. Ici, des sections de la paroi, composées de pierre moins soluble, font saillie.

Sur presque toute leur longueur, les cañons ont de 10 à 20 m de profondeur. Nous apercevons ici seulement quelques mètres au bas de ce qui est un cañon sinueux de 20 m.



78/LE COULOIR HOLES-IN- THE-FLOOR

Tout comme le métro (photo 75) en aval du premier cañon, le couloir «Holes-in-the-Floor» (trous dans le plancher), que l'on voit ici, fut créé par l'eau poussée par pression hydrostatique. Du deuxième cañon en amont, l'eau coulait doucement dans ce couloir jusqu'à ce qu'elle soit, sous pression, acheminée vers les galeries centrales plus haut. Holes-in-the-Floor mesure 700 m de longueur et près de 5 m de diamètre.

Le couloir n'est pas aussi circulaire qu'on le croirait au premier abord. Après s'être vidé, un courant puissant vint couvrir son lit et y creusa une tranchée de 12 m. (On peut la voir au bas de cette photo et au centre de la photo 84.) Ensemble, le couloir et la tranchée ont un profil ressemblant à un trou de serrure ou à un baril balancé précairement sur une étroite stèle.

Il apparaît circulaire cependant, parce qu'une fois la tranchée creusée, le couloir s'emplit à

nouveau d'eau qui déposa des couches argileuses dans son lit. On peut voir au moins trois de ces couches ce qui suppose que l'argile fut déposée au cours de plusieurs crues entre lesquelles se formaient des stalactites. L'argile a jadis rempli le couloir jusqu'à un ou deux mètres du plafond, mais elle fut ensuite charriée partiellement par les cours d'eau subséquents qui occupent la tranchée. Ces derniers érodent la glaise jusqu'à ce qu'elle s'effondre abruptement dans l'eau. Les ponts d'argile qui demeurent entre les sections écroulées sont facilement visibles.

Holes-in-the-Floor fut ainsi nommé par les explorateurs parce qu'ils devaient, d'un pont d'argile à un autre, prendre leur élan et courir le long des parois fortement inclinées et vaseuses espérant ainsi atteindre l'autre pont avant que la force de gravité ne les entraîne dans la tranchée.



79/LA SALLE AUX CASCADES

À plusieurs endroits dans les cañons, des courants d'eau pénètrent par des ouvertures au plafond. Ils coulent ensuite au fond du cañon pour disparaître dans des issues impénétrables vers Castleguard II en dessous. Ces eaux envahissantes bien que torrentielles en été sont beaucoup moins importantes que la rivière qui a creusé les cañons.

Là où elles font leur entrée, les eaux d'infiltration ont creusé des niches ou formé des plates-formes qui élargissent les cañons et fournissent ainsi des endroits de repos appréciés

des explorateurs. Le spéléologue que l'on peut voir au bas de la photographie a la posture typique pour traverser d'un côté à l'autre du cañon, alors que son collègue, plus haut, se tient à l'aise sur une large corniche où l'on trouve des vasques d'eau potable même à la fin de l'hiver. La corniche est décorée d'une bordure de calcite résultant de l'écoulement. Les eaux d'infiltration ont jadis déposé ces bordures et elles les érodent maintenant. La roche à l'avant-plan montre l'aspect de rugosité créé par la dissolution sous la cascade des eaux.



80/LES GALERIES CENTRALES

On trouve les galeries centrales entre les premier et deuxième cañons. Elles furent formées quand une rivière souterraine s'écoulant du deuxième cañon passa sous la nappe phréatique et rencontra une série de failles. Cette rivière s'éleva lentement sur une longueur de 800 m à l'intérieur de ces futures galeries avant de se déverser à la tête du premier cañon.

Les galeries étalent la plus grande diversité de paysages d'érosion et les plus beaux gisements de toute la caverne. Le couloir nous fait traverser fréquemment des plans de failles, de veines et de sédimentation, et la forme et la grandeur des galeries varient avec chacun.

Le couloir suit l'un des filons sédimentaires qui sont communs dans les parois et les plafonds dans cette partie de la caverne. (On aperçoit ce filon en haut, à droite.) Les filons sont de grandes fentes dans la roche originale qui se sont remplies de sable et se cimentèrent plus tard avec l'apport de calcaire dissout dans les eaux de suintement.

Des dépôts d'argile abondants se sont produits lorsque ce couloir-ci était rempli d'eau. Quand les eaux se retirèrent, le courant balaya l'argile et en forma des bancs de forme régulière. Il n'y a plus de cours d'eau aujourd'hui, mais les eaux de suintement forment des stalactites.



81/LE COULOIR DE LA CATHÉDRALE

La route de ce couloir était originellement une fracture verticale dans le roc qui fut agrandie vers le haut par dissolution.

On peut apercevoir des dépôts blancs de calcite pure au plafond. L'eau s'infiltré ici durant tout l'hiver et alimente la marre d'eau à gauche.



82 / COUCHE
SÉDIMENTAIRE
DANS LES
GALERIES CENTRALES

Ce passage fut créé par l'eau qui rongea le roc en hauteur à partir d'une rainure horizontale. Cette rainure est aujourd'hui enfouie sous l'argile que le cours d'eau a déposée avant son retrait. L'eau avait lissé l'argile en pente douce vers une rigole peu profonde au centre. Plus tard, un mince filet d'eau creusa une tranchée au fond de cette rigole. Des gouttes d'eau tombant du plafond laissèrent les marques d'éclaboussures que l'on aperçoit à droite.

Là où la pierre des parois et du plafond était plus soluble, l'eau y a sculpté des alvéoles.

C'est le type le plus commun de couloir phréatique dans les cavernes creusées dans le calcaire. Il est plus large que haut parce que l'eau érode plus facilement le plan de stratification. La forme circulaire, plus efficace, que nous avons trouvée dans le Subway (photo 75) est plus rare.



83/UNE GALERIE

La scène ci-contre est typique de la partie centrale. Le couloir a une forme d'origine phréatique; le plancher est couvert de dépôts d'argile. À droite, l'argile a été profondément érodée; on peut voir

qu'elle a été déposée par couches. Des stalagmites et une carapace de calcite recouvrent le plancher tandis que des stalactites et autres dépôts se forment au plafond.



84/UNE GALERIE ASYMÉTRIQUE

Le couloir creusé à même la couche sédimentaire (comme dans la photo 82) s'est élargi jusqu'à ce qu'il rencontre le filon de grès à gauche; une voûte s'est alors creusée à côté de ce pilier. La texture rugueuse du grès contraste fortement avec la surface douce et polie du calcaire.

Des bancs d'argile lisse recouvrent le sol et le bas des murs. À l'avant-plan, à droite, on peut

apercevoir une croûte de calcite si délicate qu'elle peut se casser au simple toucher. Les plus gros stalactites, suspendus au plafond, les stalagmites et les coulées au centre furent déposés par des eaux de ruissellement infiltrées entre les couches calcaires et le filon de grès. Le plus long stalactite mesure 160 cm.



85/LES STALACTITES

Nous avons vu une abondance de stalactites de différentes longueurs et de différentes formes dans

les galeries centrales. Les photographies suivantes nous les montrent plus en détail.



86 / LES STALACTITES – CHALUMEAUX ET CAROTTES

L'eau de surface s'infiltrant dans les cavernes peut se saturer de calcaire. Quand cela se produit, l'eau dépose ensuite, par précipitation, son trop-plein de minéraux sur les parois des cavernes. Ce phénomène se produit habituellement quand un filet d'eau, poussé par la pression hydrostatique à travers de petites fentes, entre subitement dans un espace ouvert, comme dans une galerie. Avec la pression de l'eau qui diminue, le gaz carbonique qui y est dissout peut être dissipé dans l'atmosphère ou une partie de l'eau peut s'évaporer.

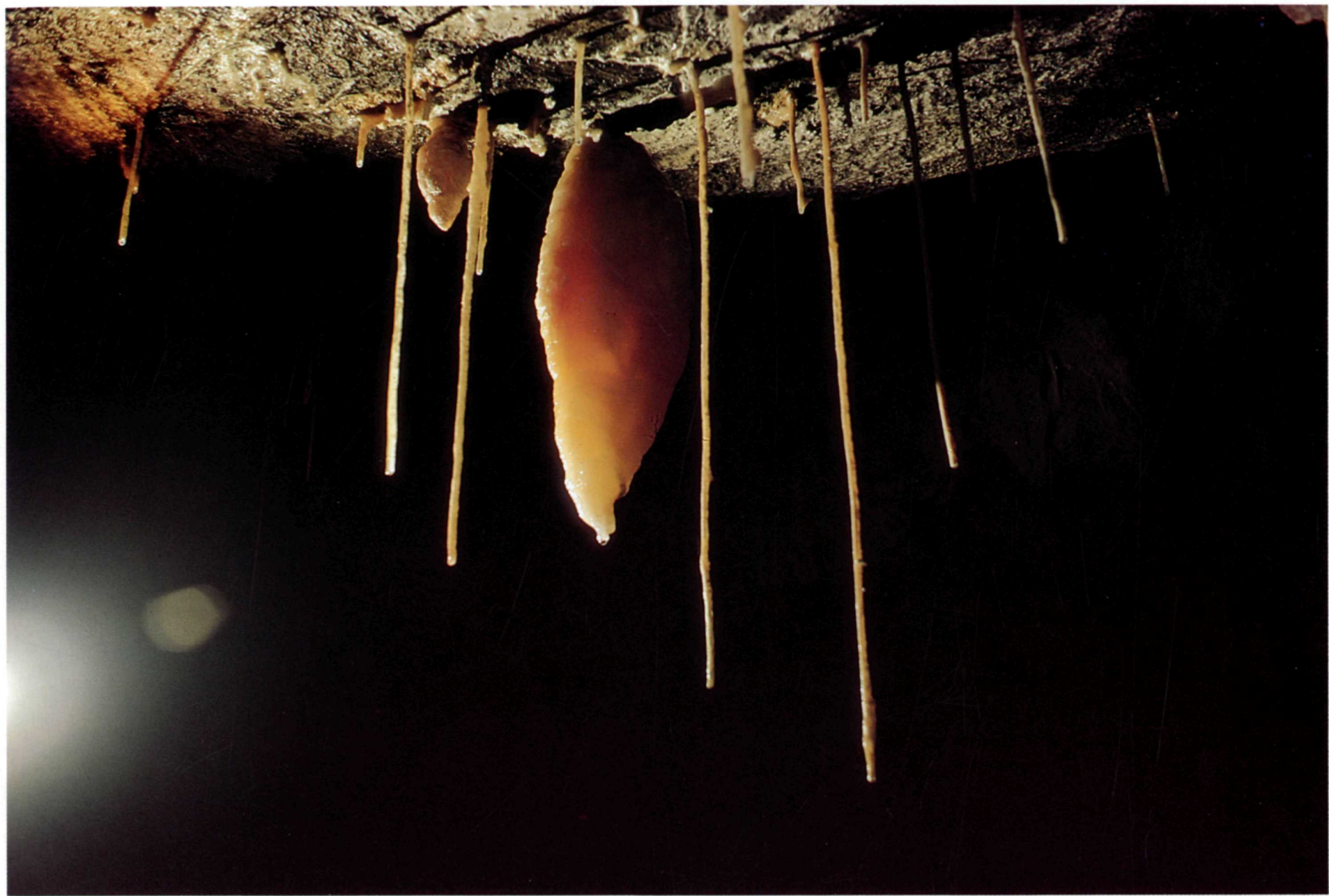
Les dépôts résultant d'une évaporation rapide sont des agrégats lâches, ternes et terreux. On les retrouve dans les niches des falaises, sous les vieux ponts de pierre et aussi à l'entrée des cavernes.

Par contre, les dépôts provenant de la diffusion lente du gaz carbonique, hors de son milieu aqueux, sont fait d'agrégats serrés de cristaux de

calcite translucides ou brillants. Ces dépôts se retrouvent généralement sous trois formes : les stalactites, les stalagmites et les coulées stalagmitiques.

Les stalactites se forment au plafond d'une galerie, là où l'eau suinte de la voûte et ils se prolongent vers le sol. Ils ont en général la forme d'un chalumeau. Ceux que l'on aperçoit ici mesurent jusqu'à 50 cm.

Très souvent, de la calcite obstrue l'espace libre à l'intérieur du chalumeau. L'eau est alors forcée en dehors du canal et coule à l'extérieur du chalumeau; elle y dépose ainsi des couches successives de calcite. Il en résulte des stalactites plus gros, plus aplatis et plus résistants qui ressemblent à des carottes. Nous en voyons ici deux exemples. Un des stalactites est gros et bien développé alors que l'autre commence à peine à se former.



87/LES «CHALUMEAUX»

L'exploration des cavernes exige une grande force physique et une bonne discipline mentale. Malgré les défis qu'il lui faut relever à tout moment, l'explorateur est récompensé pour ses efforts lorsque des objets et des endroits d'une indicible beauté et d'une grande fragilité lui sont révélés. La vue de ces stalactites en forme de chalumeaux excessivement délicats est l'un des moments mémorables de l'exploration des cavernes.

Le chalumeau est constitué par une seule couche de cristaux entourant un canal central.

L'eau d'infiltration coule dans le canal et dépose la calcite à l'autre bout avant de s'égoutter sur le sol. Il est difficile de comprendre comment leur propre poids ou des tremblements de terre ne les ont pas encore détachés. Ces stalactites-ci, se joindront probablement bientôt à leur contrepartie, la stalagmite, plus robuste, fixée au sol. Si cela se produit, la partie supérieure sera soutenue et le tout, solidement ancré, sera dorénavant plus rigide et moins vulnérable.



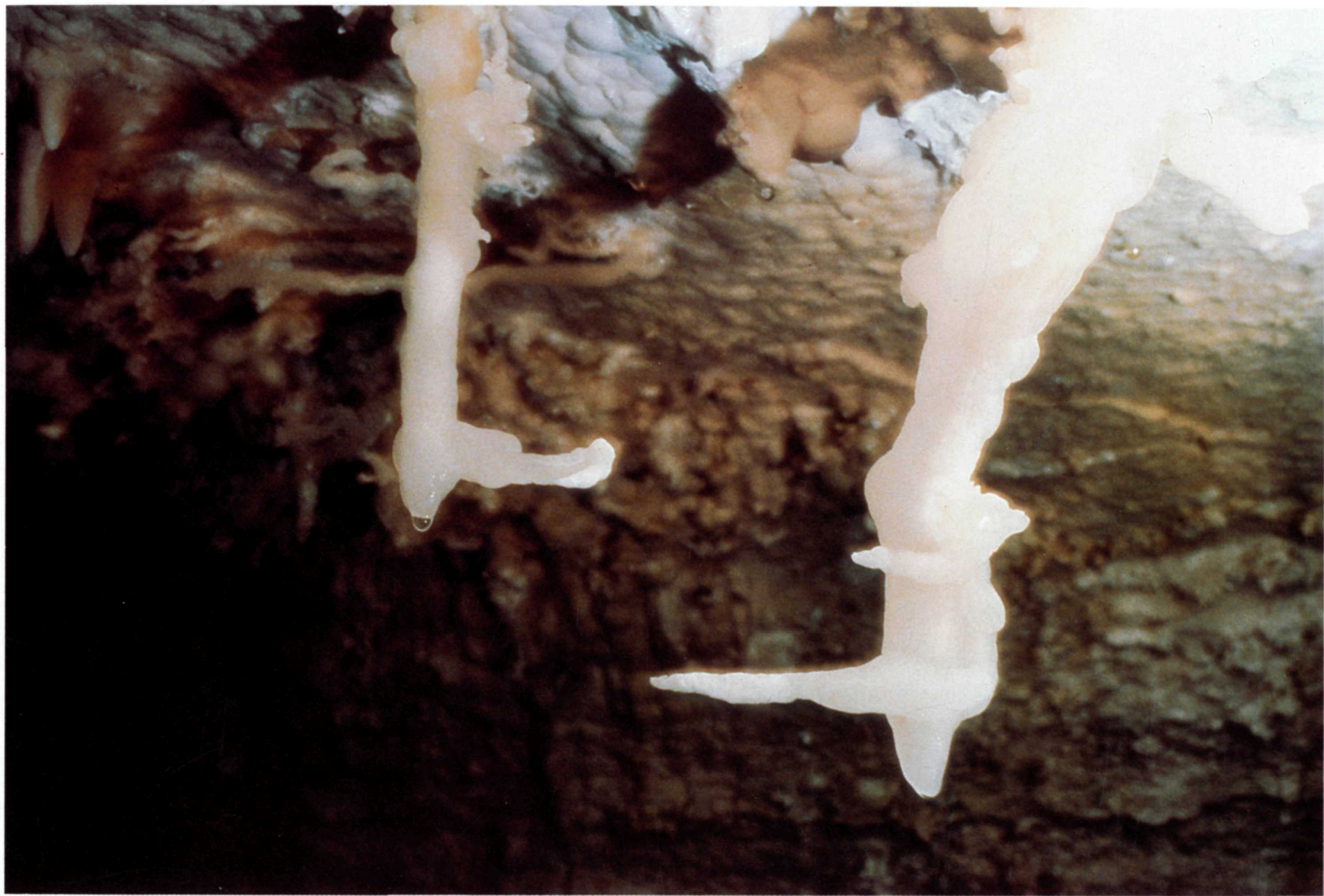
88/CONCRÉTIONS EXCENTRIQUES

Dans plusieurs cavernes, les stalactites en forme de chalumeau ou de carotte sont tordus en spirales ou produisent des excroissances dans toutes les directions. On appelle «concrétions excentriques» les stalactites qui ont de telles particularités.

Dans la caverne de Castleguard, la principale cause de ces déformations est un courant d'air continu qui favorise la précipitation de la calcite et la force à suivre une direction horizontale. Parce que ces déformations ressemblent à des fanions, on dit que les stalactites sont pavoisés. Les «fanions» suivent le courant d'air. Certains fanions mesurent

jusqu'à 30 cm et ils ont probablement pris plusieurs milliers d'années pour atteindre cette longueur.

C'est le courant d'air estival qui prédomine, passant dans les couloirs au sud-est et sortant par la voie d'entrée des explorateurs. Ainsi, des centaines de stalactites, comme le plus gros que nous voyons ici, se sont dotés d'une ou de plusieurs extensions qui pointent vers l'entrée. Le fanion de la concrétion excentrique plus petite, lui, pousse dans le sens des vents d'hiver. On peut supposer que ce stalactite reçoit ses eaux de suintement principalement en hiver bien que ceci soit inusité.



89/UN STALACTITE

Ce stalactite d'environ 150 cm est particulièrement gros pour une caverne alpine. Il a probablement grossi pendant plus de 10 000 ans. Il croît dans le couloir Holes-in-the-Floor à côté d'un mince filon

sédimentaire, la saillie que l'on voit à gauche. L'eau de suintement qui l'alimente pénètre probablement à la rencontre du calcaire avec le filon.



90/UN PILIER DE CALCITE

Cette colonne est le dépôt actif le plus massif trouvé jusqu'ici dans la caverne. Il mesure 3 m de haut et plus d'un mètre de circonférence. Son eau d'alimentation descend le long de la ligne de contact entre le calcaire et le filon à l'extrémité sud-est du couloir Holes-in-the-Floor.

Le chicot délavé de calcite, que l'on aperçoit au plafond devant le pilier, n'est pas aussi impressionnant, mais il en dit plus long sur l'histoire des

cavernes. C'est ce qui reste d'un gros stalactite ou d'un pilier semblable à celui que l'on voit aujourd'hui. Il fut érodé presque à la hauteur du plafond au cours d'une ou de plusieurs crues de longue durée. L'argile que l'eau charriait s'est incrustée dans la calcite et lui conféra une couleur brune. Nous avons trouvé beaucoup de ces dépôts très érodés dans les galeries centrales ce qui indiquerait que la caverne a vécu plusieurs cycles d'érosion, de dépôt et de repos.



91/UNE COULÉE STALAGMITIQUE

Les incrustations de calcite recouvrant le banc d'argile s'appellent «coulées stalagmitiques». On aperçoit un renflement à la partie supérieure tandis qu'il y a une petite stalagmite à la base de la coulée.

La plupart des dépôts dans les galeries centrales sont d'un blanc éblouissant, une caractéristique rare dans les cavernes ailleurs dans le monde. La calcite pure est blanche, mais la majorité des stalactites, des stalagmites et des coulées sont généralement coquille d'oeuf avec des tons marqués de jaune, de

brun ou de rouge dus à la présence d'infimes quantités d'acides organiques parmi les cristaux de calcite. Ces acides proviennent habituellement de matière en décomposition absorbée par l'eau d'alimentation passant à travers l'humus ou encore à travers des sols renfermant des racines. Comme aucune plante ne pousse au-dessus de la section centrale de la caverne de Castleguard depuis des dizaines de milliers d'années, la calcite que l'on trouve ici est d'un blanc pur.



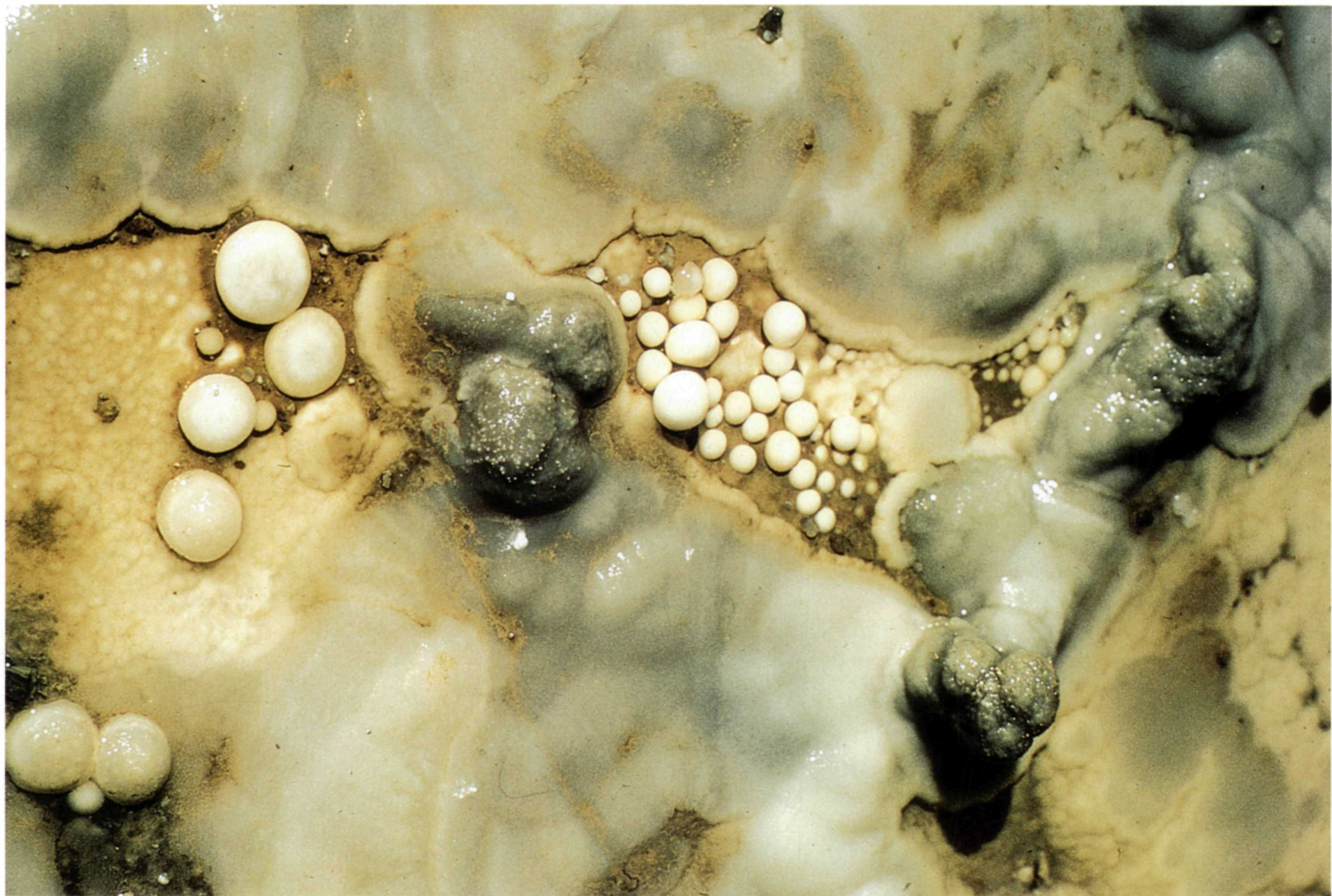
92 / DES PERLES DE CAVERNE

Les perles de caverne, tout comme celles produites par les huîtres, se forment autour d'un grain de sable ou d'une autre impureté. Dans une caverne, l'eau sursaturée de calcaire peut dégoutter de façon régulière dans des flaques d'eau où se trouvent des grains de sable. Cette action agite et remue les grains et y fait précipiter la calcite. Il en résulte une succession d'enveloppes sphériques, un peu comme si l'on construisait une boule de glaise en la roulant sur une surface argileuse.

Les perles sphériques ou semi-sphériques ne sont pas rares dans les cavernes bien «concrétionnées». On les trouve généralement en grappes ou dans des «nids». Une perle, qu'une goutte d'eau fait rouler, déplace les autres qui roulent à leur tour. Cette action réciproque fait grossir au même rythme les perles d'un même nid.

Les galeries centrales contiennent des milliers, probablement des dizaines de milliers de perles dans des centaines de nids. La plupart d'entre elles ne sont pas plus grosses que des têtes d'épingles, mais il y en a qui, comme celles-ci, peuvent avoir un ou deux centimètres de diamètre.

La croissance des perles s'arrête lorsqu'elles sont rejetées du nid par une goutte d'eau ou par une voisine trop agitée ou encore si elles deviennent trop grosses pour être roulées. Les grosses perles se cimentent au fond de la flaque et deviennent partie intégrante du plancher stalagmitique. Une nouvelle génération de perles peut se développer sur elles. Des perles de la grosseur de têtes d'épingles, des perles hors-nid et de très grosses perles figurent toutes dans cette photographie.



93/DES PERLES CUBIQUES

Les nids de perles sphériques sont très communs, mais ce nid-ci rempli de cubes réguliers est excessivement rare. Nous ne connaissons que trois autres endroits où l'on retrouve ce phénomène, soit en France, en Roumanie et à Porto-Rico.

Nous avons trouvé ce nid sur une corniche à mi-chemin le long du deuxième cañon. Il a un diamètre d'environ 15 cm et contient environ 300 perles placées bien régulièrement en deux rangs à la manière de carrés de sucre dans une boîte. À 50 cm à peine de ce nid, il y a quatre autres nids qui, eux, contiennent des perles sphériques. Quelques perles cubiques ont été repoussées au bord du nid tandis que d'autres sont agglutinées dans la gangue de son plancher de calcite. Quatre perles sphériques ont aussi été repoussées vers ce nid.

Les perles cubiques ont un diamètre de 5 à 7 mm. Lorsqu'on en étudia une lamelle au microscope, on put constater que leur formation avait débuté à même une coque sphérique normale de calcite. Ayant atteint en diamètre de 1,3 mm, la perle devint tassée contre ses voisines et sa périphérie fut aplatie progressivement là où elle entraînait en contact avec les autres. Nous devons donc supposer que les gouttes de suintement tombant dans cette flaque étaient suffisamment grosses pour agiter les perles mais pas assez pour les faire rouler après qu'elles eurent dépassé un millimètre. Ceci démontre parfaitement la grande stabilité qui peut exister dans ce royaume souterrain car les gouttes ont sûrement exercé une force égale sur les perles pendant un grand nombre d'années.



94/CONCRÉTIONS EXOTIQUES

Nous avons placé ces photographies ensemble pour montrer comment des phénomènes semblables peuvent se produire dans des circonstances complètement différentes. Les deux dépôts sont des précipités de carbonate en forme d'écusson qui ont suinté du roc et mesurent quelques centimètres de diamètre. Et c'est là toute la ressemblance.

La photographie du bas montre une partie de voûte dans les galeries centrales. Elle fut prise presque directement sous l'endroit où fut prise la photographie du haut, mais 300 m de roc séparent ces deux emplacements. Le dépôt blanc est un produit de combinaison rare. La partie bulbeuse centrale est un minéral brillant, l'aragonite, de même composition chimique que la calcite mais d'une structure cristalline différente, c'est-à-dire que leurs atomes ont une forme géométrique différente. L'aragonite, rare dans les cavernes froides, est instable; après quelques centaines ou milliers d'années, sa structure cristalline se transforme en calcite.

Un dépôt poudreux ressemblant à un chou-fleur entoure l'aragonite. C'est de l'hydrocarbonate de magnésie, $\text{Mg}_4(\text{CO}_3)_3(\text{OH}_2) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, un mélange de magnésium, de carbonate et d'eau. Nous ne savons pas exactement ce qui produit ce dépôt, mais nous supposons que l'eau qui contient du calcaire et de la dolomite en solution est poussée sous pression hors du roc. L'abondance de magnésium contenu

dans la dolomite force le carbonate de calcium à se débarrasser de son eau sous forme d'aragonite plutôt que de calcite. Tout autour de l'aragonite, l'eau est évaporée lentement par le courant d'air froid qui souffle dans les galeries centrales. Le dessin exotique de la croûte se produit lorsqu'une partie de l'eau d'évaporation est emprisonnée par les molécules de magnésium et de carbonate. Le plafond obscur de la section centrale est décoré de plusieurs milliers de ces fleurs minérales.

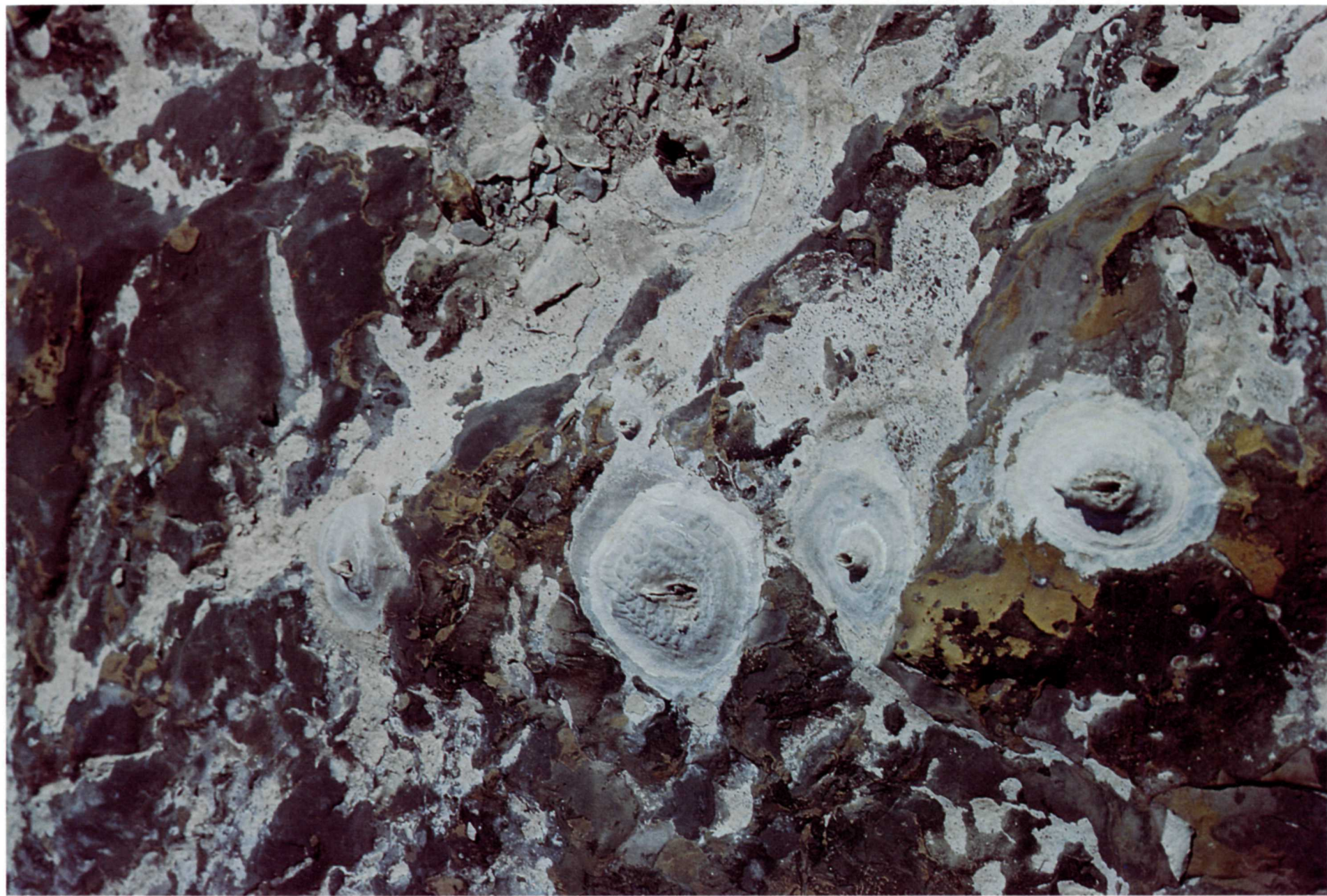
Au-dessus de la caverne, parmi les calcaires Pika des terrasses du mont Castleguard, nous pouvons voir des précipités subglaciaires remarquables. Ici, l'eau de fonte est injectée dans la roche d'où elle parcourt horizontalement une certaine distance avant de s'exsuder par de tout petits orifices. Dans la photographie du haut, nous pouvons constater que, à chaque orifice, une stalagmite creuse s'est élevée et un napperon de calcite s'est étalé à la base. Ces petits dépôts de 2 à 5 cm de diamètre reçoivent le carbonate de calcium de l'eau qui gèle. À l'exception de leur froide température, ils sont l'équivalent des grosses buttes de carbonate et des terrasses qui s'élèvent autour des sources thermales comme celle de Rabbitkettle dans la réserve du parc national de Nahanni (Territoires du Nord-Ouest), ou du geyser Old Faithful dans le parc Yellowstone aux États-Unis.



95 / DES MICRO-GEYSERS

Les micro-geysers se forment en série et en groupe selon les canalisations pressurisées par lesquelles l'eau de fonte s'est déplacée dans le roc avant de revenir à la surface. La photographie fait voir trois geysers; celui du centre apparaît profilé en gros plan

dans la photo 94. Tous les micro-geysers ont été découverts sur les terrasses récemment exposées du côté sud du mont Castleguard que l'on aperçoit dans les photos 40 et 41.



96/LES ARGILES À VARVE

La caverne de Castleguard possède plusieurs dépôts d'alluvion et d'argile qui étaient autrefois très profonds, comme la photo 75 en donne la preuve. Ils sont érodés très facilement par les eaux de ruissellement qui, dans la plupart des cas, les réduisent à l'état fragmentaire le long des parois ou en de fragiles ponts comme dans le couloir Holes-in-the-Floor.

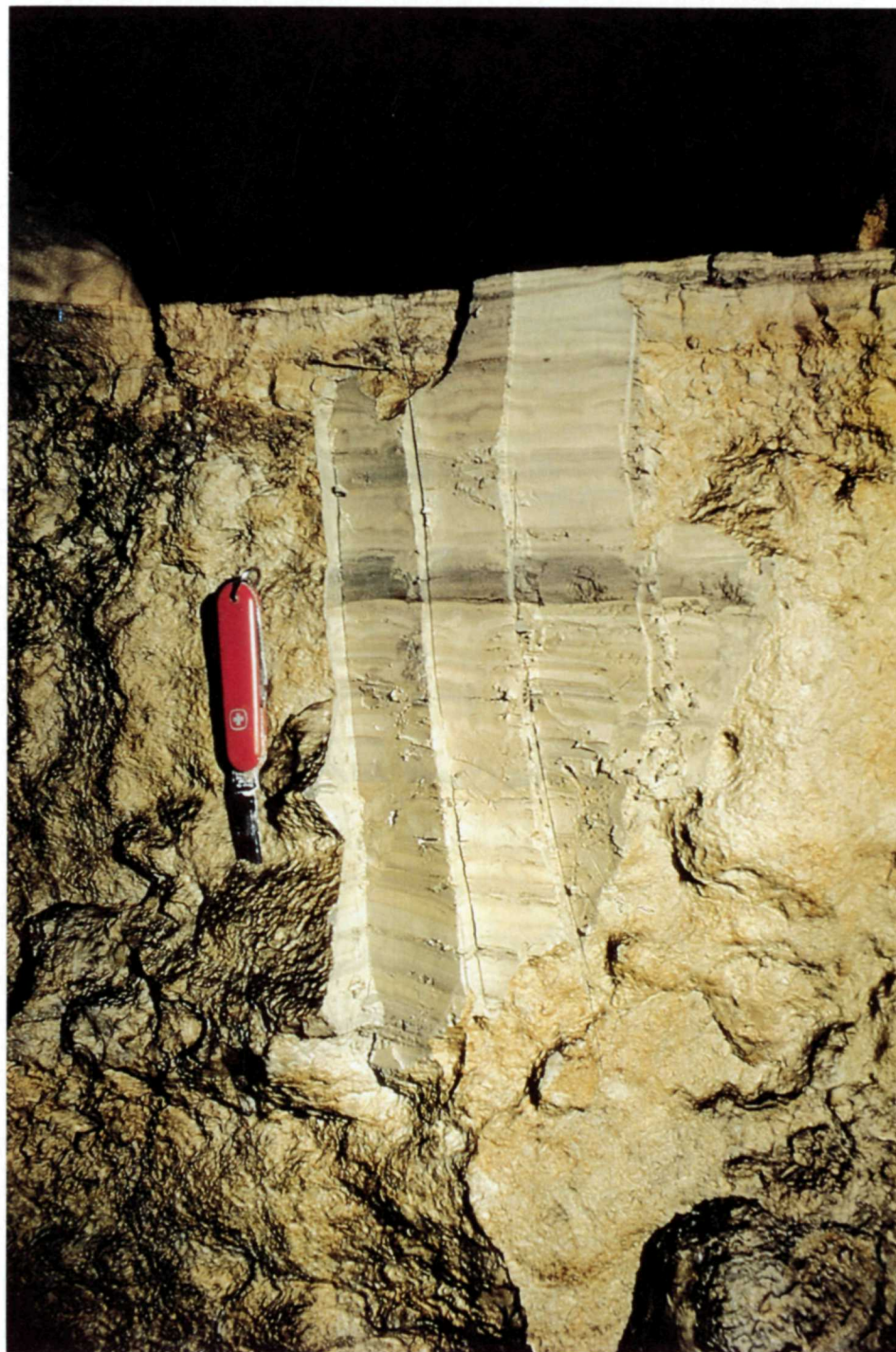
Les surfaces argileuses sont effritées, souillées par la poussière et sans éclat; et, pourtant, une fois nettoyées, elles révèlent un motif de couches riche et régulier qui raconte l'histoire géologique de la même façon que les anneaux racontent l'histoire des arbres.

Ces veines d'argile se retrouvent dans les lacs qu'alimentent les glaciers. L'été, le lac est libre de glaces et est alimenté d'eau de fonte turbide. Le vent et les courants tiennent l'eau du lac continuellement en mouvement de sorte que seules les plus grosses parcelles de glaise, qui sont aussi les plus foncées, se déposent au fond du lac. L'hiver, lorsque le lac est tranquille, abrité sous une couche de glace, les substances en suspension plus fines, plus légères et plus pâles se déposent au fond à leur tour. Chaque couche double, est une stratification qui représente l'accumulation annuelle de la matière estivale sombre recouverte par la boue plus pâle de l'hiver.

Dans la stratification que l'on voit ici, l'épaisseur des strates jumelées varie, ce qui indique que les eaux étaient plus turbides à certains moments qu'à d'autres. La rangée plus foncée et plus proéminente au centre fait supposer qu'un événement exceptionnel - tel l'effondrement d'une masse argileuse en amont du cours d'alimentation - a eu lieu.

On trouve des argiles à varve partout dans la caverne sauf dans la zone contemporaine d'inondation. Elles semblent avoir été déposées au cours d'au moins trois périodes différentes. Entre les périodes de dépôt, les argiles furent érodées, et des stalactites et des planchers stalagmitiques se sont formés. Une couche doublée dépasse rarement un centimètre d'épaisseur. Pendant l'une des période de dépôt, les argiles varvées se sont accumulées sur une profondeur de 5 m ce qui équivaldrait à 500 ans de dépôts continus.

Durant les périodes glaciaires principales, toute la région de Castleguard était ensevelie sous des glaces en mouvement mis à part les plus hauts pics et les crêtes des montagnes. Les cours d'eau, servant à l'écoulement de la caverne, étaient bloqués ou leur débit était refoulé par celui des glaciers transformant ainsi la caverne en un lac profond sous la glace. Les argiles se déposèrent au fond de ce lac.



97/REDISSOLUTION

Ce stalactite ressemble à un tronc d'arbre endommagé et partiellement cicatrisé. En fait, son histoire en est à peu près semblable. C'est l'exemple de l'action de redissolution, un phénomène assez commun dans les cavernes, particulièrement celles qui sont assujetties à de grands changements de température.

L'eau de suintement sursaturée a déposé de la calcite produisant un stalactite en forme de carotte.

L'équilibre chimique de l'eau devint ensuite légèrement acide pendant un certain temps. Elle creusa ainsi une rainure tout au long du stalactite. Aujourd'hui, l'eau n'est plus acide mais elle est de nouveau sursaturée, et elle a recommencé à remplir le creux du stalactite d'un nouveau dépôt plus blanc de calcite.



98/UN VESTIGE MILLÉNAIRE

Voici ce qui reste d'une grosse protubérance créée par une coulée stalagmitique dans la salle aux cascades du premier cañon. (Les dépôts avoisinants apparaissent dans la photo 78.) Ce renflement est le résultat de plusieurs actions alternées. La calcite fut d'abord déposée sur le roc pour être ensuite érodée par des eaux acides. Il y eut ensuite de nouveaux dépôts de calcite dont certains furent aussi érodés. Au cours de chaque cycle, il y eut moins de calcite à être absorbée qu'il y en eut de déposée jusqu'à ce qu'il en reste une imposante coulée stalagmitique.

Plus tard, une chute d'eau acide provenant d'une ouverture, située plus haut, fut créée. Cette eau a dissous le centre de la masse, et les éclaboussures et les filets d'eau ont déteint et marqué les résidus de la coulée. Néanmoins, ces

ruines mesurent encore plus de 4 m de hauteur et 1 m d'épaisseur à certains endroits.

Il est possible d'établir l'âge de plusieurs stalagmites au moyen de la datation à l'uranium ou en mesurant leur pouvoir magnétique. Ce dépôt-ci est l'un des plus vieux de la caverne de Castleguard. Ses parties les plus anciennes sont vieilles de 730 000 à 1 250 000 ans. Le travail de la chute acide, lui, aurait commencé il y a moins de 50 000 ans.

La croissance de ce renflement de calcite n'a pu commencer avant que le premier cañon, dans lequel il se trouve, ait été creusé au moins aux trois quarts de sa profondeur actuelle. La caverne, par conséquent, devait être développée presque entièrement il y a 750 000 ans.



99/UN BOUCHON DE GLACE DU GLACIER

Notre traversée du principal passage de la caverne de Castleguard est terminée. À l'entrée de la zone d'inondation, nous avons été en présence de glace saisonnière; ici, c'est de la glace permanente qui a été injectée à 10 km de distance et à une élévation supérieure de 380 m à celle de l'entrée de la caverne.

Le point accessible le plus reculé du complexe de passages fut atteint en 1973 à partir du deuxième cañon. Là, après avoir grimpé 800 m, les explorateurs durent s'arrêter. La photographie du haut fut prise en avril 1974 et celle du bas le fut en avril 1983 : le bouchon de glace n'a pas bougé de plus d'un ou de deux centimètres en neuf ans. La glace bouche le passage complètement en une cloison étanche à l'air et à l'eau. Ce bouchon soutient aussi le bloc portant le signe P1 de l'arpenteur; dans le passé, il avait aussi poussé les blocs à l'avant-plan.

La glace est opaque et grossièrement cristalline. Elle est de la même composition que des échantillons pris à même les glaciers du champ de glace Columbia et il n'y a pas de doute que ceci est de la

glace provenant de la base du champ de glace qui a été forcée à l'intérieur du passage. La glace de glacier est malléable et peut ainsi s'introduire dans un espace comme cela s'est produit ici.

Il est peu probable qu'il y ait plus de 30 à 40 m de couloir au-delà de ce point. Et, au-dessus de la tête de l'explorateur, il y a peut-être seulement 10 m de roc sur lequel 230 m de glace mouvante du champ de glace Columbia reposent.

Avant les expéditions de 1983 et de 1984 à Castleguard, on ne connaissait pas d'autres passages naturels bloqués par le glacier. Depuis, on a découvert six autres petits passages qui aboutissent à un mur de glace. La caverne fut décapitée par le glacier.

Ces photographies illustrent la grande stabilité des conditions environnementales au sein des cavernes. Aucun front glaciaire, nulle part, pas même dans les régions les plus froides du continent antarctique ne montrerait si peu de changement en neuf ans.



100/LA TRAVERSÉE

On craignait que ce bouchon de glace au fond du couloir, au-delà du deuxième cañon, mettrait fin à la perspective de nouvelles découvertes plus loin. Il y avait cependant un puits sur le côté du couloir. On y descendit en 1974, mais 23 m plus bas on s'y trouva, sans issue, sur un tas de blocs. En 1979, les explorateurs arrivèrent à traverser le haut de ce puits. Ce passage fut nommé «The Traverse» (la traversée). Ils durent fixer une cheville au centre de la paroi et y suspendre une courte échelle, ou étrier, afin de pouvoir passer de l'autre côté du puits.

L'explorateur, qui s'est accroché à la main courante, doit s'écarter et, du bord du gouffre, poser un pied sur l'échelle pour ensuite passer de l'échelle à l'autre côté.

Une fois accomplie, la traversée donna accès à plusieurs kilomètres de couloirs et de puits entièrement sous le champ de glace. En 1983, cinq autres chevilles furent fixées dans le roc pour permettre aux explorateurs de traverser un autre puits béant, celui-là de 60 m de profondeur.



101/LE BOULEVARD DU QUÉBEC

Les équipes d'explorateurs qui ont visité la caverne de Castleguard se sont toujours composées de membres provenant de toutes les régions du Canada et de l'étranger. Des groupes de deux ou trois explorateurs partent, tour à tour, à la découverte de nouveaux chemins à parcourir. Les premiers à franchir la traversée (photo 100) furent des membres de la Société québécoise de spéléologie. De là, leur escalade les mena à cette superbe galerie, qu'ils nommèrent «Boulevard du Québec».

C'est un bel exemple de galerie mixte : la voûte, un ancien couloir phréatique, et la tranchée creusée par la suite. Les parois de la tranchée ont été fracassées probablement par la charge du glacier au-dessus.

Il y a plusieurs intrusions de calcite dans cette partie de la caverne. La plupart sont beaucoup plus petites qu'elles ne le sont dans les galeries centrales, mais on peut voir des incrustations de calcite au plafond.



102/LE CALME ABSOLU

Au-delà du Boulevard du Québec (photo 101), les couloirs se divisent et rapetissent jusqu'à ce qu'il devienne impossible aux explorateurs d'aller plus loin.

Voici un autre exemple de couloir phréatique. Quoiqu'il soit probablement très ancien et seulement à quelques mètres sous le grand glacier, sa voûte, formée par dissolution, est lisse et intacte. Les apports d'inondation, laissés sur le plancher, sont

maintenant desséchés. Les moellons de roches provenant d'un passage latéral se sont répandus sur ces apports, ce qui se produit probablement au cours de glissements périodiques lorsque des eaux de fonte s'y infiltrent.

L'extrémité de la caverne est un endroit isolé et d'un calme absolu. Il faudra deux jours à l'explorateur pour revoir la lumière naturelle.



Le retour à la lumière

La grande caverne fait partie de l'ordre naturel de Castleguard. Ici, le système aquatique est principalement souterrain et l'eau se déplace dans un environnement qui ne connaît pas la lumière.

Lorsque l'eau de la caverne sort de terre, elle rejoint l'eau qui coule déjà en surface. Ces deux

eaux se mêlent et poursuivent ensuite leur route jusqu'à l'océan où elles déposeront la pierre et la boue qu'elles ont charriées au cours de leur périple. Puis, l'eau pure apportée de nouveau à Castleguard par la pluie et la neige recommence le cycle.

103/UN FLOT JAILLIT DE LA CAVERNE

Ces photos furent prises dans un laps de 30 secondes dans le chenal de crue à 60 m en aval de l'entrée de la caverne de Castleguard. Cette dernière est située dans l'escarpement partiellement caché par les arbres à l'arrière-plan.

Le premier 1,5 km de la caverne est fréquemment inondé pendant l'été. Deux ou trois jours de beau temps produisent, comme on peut le croire, suffisamment d'eau de fonte pour remplir les systèmes inaccessibles de Castleguard II et Castleguard III situés sous la pente de la caverne que nous connaissons. L'eau remonte donc dans les galeries et se répand en dessous du puits P8, à

100 m à l'intérieur de la caverne. Une partie de cette eau s'écoule par des sources inférieures, mais le niveau de l'eau ne cesse de monter dans le puits.

La fonte du glacier est à son apogée vers 14 h. Les eaux d'inondation coulent sous terre et s'élèvent habituellement dans le puits entre 16 et 19 h. Une fois qu'elles ont atteint le rebord du puits, elles jaillissent de la caverne en une vague spectaculaire.

Durant juillet et août, lorsque les conditions climatiques sont favorables, la crue quotidienne atteint son point culminant durant la nuit et elle se termine peu après le lever du soleil. S'il fait très chaud, une crue peut durer plusieurs jours sans arrêt.



104/LES GRANDES RÉSURGENCES

Au fort de la fonte d'été, on compte plus d'une centaine de résurgences dans la vallée de Castleguard en dessous de l'entrée de la caverne. Toutes sont à sec en hiver, mis à part celles qui sont situées en basse altitude. Ces résurgences servent à l'écoulement des eaux du coeur du champ de glace Columbia, du glacier supérieur Saskatchewan, du mont Castleguard et des Meadows par le biais du système des cavernes de Castleguard II et de Castleguard III. Ensemble, les résurgences ont un débit de 20 m^3 à la seconde durant la belle saison.

On appelle ces grandes résurgences «Big Springs». Au nombre de trois, elles sont distancées de 100 m les unes des autres et sortent du flanc nord de la vallée à une élévation de 40 m, et 270 m plus bas que la caverne. C'est la plus importante des trois que l'on voit ici à un moment où elle est en pleine force. L'eau surgit d'une petite ouverture sous une pression considérable. Depuis plusieurs années, cette résurgence coule continuellement de la fin juin jusqu'à la mi-septembre. La température de l'eau est toujours entre 1,5 et 2,2°C.



105/LA RÉSURGENCE RED SPRING

Voici comment une caverne se crée. L'eau sort d'une longue fente horizontale (un plan de stratification), mais l'ouverture pratiquée par érosion n'a guère plus de 2 ou 3 cm de haut. Au cours de centaines et de milliers d'années, son lit s'approfondira et la fente deviendra un couloir de caverne ayant plusieurs mètres de largeur et de hauteur.

Cette résurgence fut nommée «Red Spring» à cause des teintes rougeâtres des mousses et des algues qui poussent sur la falaise. La majorité des

résurgences de cette région sont à sec durant l'hiver mais celle-ci coule continuellement ne serait-ce que d'un litre ou deux à la seconde, soit moins de 1% du débit de juillet, époque où fut prise cette photographie. L'eau provient d'un chenal de crue dans la caverne de Castleguard, 150 m derrière l'endroit photographié; on croit qu'elle sert au drainage de certaines parties de la moitié sud des Meadows.



**106/L'EAU DES
RÉSURGENCES
ATTEINT LE FOND
DE LA VALLÉE**

On aperçoit une des résurgences de Big Springs en bas à gauche au début d'une descente de 40 m vers la vallée. De jeunes sources sortent des fentes du rocher un peu plus loin. Leurs eaux atteignent le cours d'eau plus bas. L'autre cours d'eau, à l'arrière-plan, est la rivière Castleguard qui a son origine au

bout du glacier sud du champ de glace Columbia. Il y a aussi une vingtaine de petites sources dans l'étendue de gravier entre les deux chenaux, qui proviendraient, croit-on, du même point d'eau que celles de Big Springs.



107/WATERSMEET, CARREFOUR DES EAUX

Voici le terminus du système des eaux souterraines karstiques à Castleguard. L'eau des Big Springs, à gauche, vient se confondre à celle de la rivière Castleguard à droite, à environ 300 m en aval des résurgences Big Springs (photo 104).

La rivière Castleguard est alimentée par l'eau de fonte qui coule en surface depuis le bout du glacier sud du champ de glace Columbia. Elle charrie une grande quantité de «farine glaciaire», matière en suspension qui lui donne une apparence laiteuse. L'eau des Big Springs est aussi originaire du champ de glace Columbia, mais elle provient des cavernes sous le mont Castleguard. Elle transporte peu de «farine glaciaire» et elle est presque limpide.

On voit que le cours d'eau de Big Springs est plus gros que la rivière qui est repoussée vers la rive

droite lorsque les eaux se rencontrent; cependant quelques centaines de mètres plus loin, les eaux se mélangeront et deviendront brouillées.

Depuis les dolines du champ de glace Columbia et les bouchons de glace dans la caverne de Castleguard sous lui, jusqu'à Watersmeet dans la vallée, la caverne a récompensé une génération de spéléologues. Entre ces extrêmes, il y a encore des cavernes, probablement beaucoup d'autres. Bien peu, peut-être, seront explorées parce que la plupart sont trop petites pour permettre au corps humain de s'y glisser, ou bien parce qu'elles sont remplies d'eau très froide. Mais les générations futures cherchent sûrement toutes les avenues possibles de découvertes.



Impressions

Un terrain inconnu aiguise la curiosité. Castleguard représente à la fois l'extrême simplicité et une incroyable complexité; c'est un milieu fragile et

pourtant immuable. C'est ce qui pousse le chercheur à vouloir pénétrer plus à fond tous ses secrets.

108/SOLITUDE

Chacun de nous a besoin de s'esquiver, de laisser
tout derrière soi, ne serait-ce que pour un moment,
le temps d'une contemplation à la dérobée.

Ces pierres dures et ces vieilles montagnes,
l'ascension épuisante et ce paysage qui en met

plein la vue renouvellent peut-être en nous cette
certitude qu'il y a un monde réel, ici, à Castleguard.
La douceur de l'eau, les espèces qui vivent tout près
nous procurent une sensation de bien-être.



109/EXALTATION

Les grands espaces répondent à notre besoin d'exaltation; les recoins, à celui d'y cacher nos secrets. Derrière une cascade idyllique, nous trou-

vons la fraîcheur. Un voile diaphane divise brièvement l'immensité de Castleguard en un espace bien personnel.



110/FUGACITÉ

Dans un paysage immuable se trouve aussi l'éphémère. Voir de ses propres yeux un phénomène d'un instant procure une satisfaction inégalée, car ce phénomène ne se produira plus de façon identique.

Ces bulles d'air dans la glace des cavernes dont les dessins ne se répéteront jamais font ressentir à l'explorateur le caractère unique de la connaissance humaine.



111/LE TEMPS

La découverte de Castleguard, c'est une randonnée dans le temps.

Les roches furent formées il y a des centaines de millions d'années. Les montagnes ont été soulevées par la force terrestre, il y a quelques dizaines de millions d'années. Les grands glaciers les ont recouvertes à plusieurs reprises au cours des quelques millions d'années passées, avant de se retirer, il y a à peine 10 000 ans. La petite période glaciaire s'est produite durant la période connue de l'histoire, il y a 700 ans tout juste. Elle s'est terminée au ^{XX}^e siècle et le recul de ses glaciers se poursuit encore de nos jours.

Chaque année, l'hiver recouvre le panorama de Castleguard et en modifie les détails. Des tempêtes, tard au printemps, repoussent la croissance et une gelée hâtive en été peut mettre fin à la floraison dans le pré.

Castleguard est la parfaite incarnation du concept des Parcs nationaux : un patrimoine de paysages importants conservés pour les générations à venir tout en permettant de s'y récréer, d'y faire des découvertes, d'y exercer sa perspicacité et d'y accumuler des souvenirs.

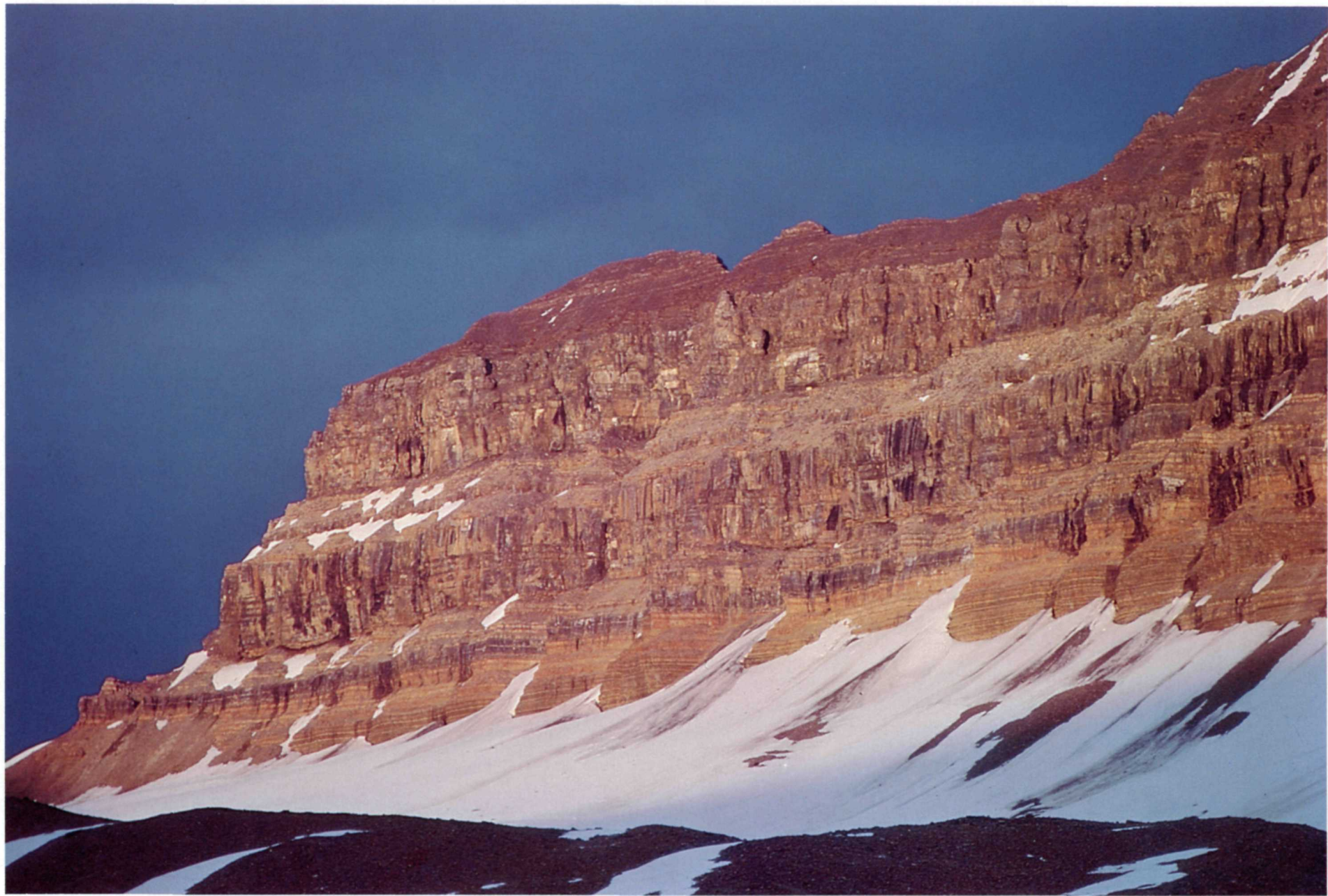


112/LA RÉCOMPENSE

Les premiers aventuriers rêvaient de chemins pavés d'or. Nous avons bâti une civilisation bien supérieure à ce luxe crûment imaginé. Pourtant, nous cherchons toujours et, parfois, nous trouvons un trésor plus extraordinaire.

Le soleil, qui nous avait brûlé toute la journée, s'était d'abord levé derrière le mont Terrace et avait brillé sur le glacier à proximité. Au coucher, il

transforma en or la muraille opposée malgré un ciel menaçant. Il fit ensuite passer l'ombre d'une autre montagne sur nous, sur les arbres au-delà du torrent, sur la vallée à nos pieds, sur les immenses moraines et sur les hautes vallées. Il resta un moment sur les neiges et les glaces qui s'accrochent toujours aux montagnes, avant d'assombrir les sommets.



113/RÉFLEXION

Nous vivons pour la plupart tellement loin d'un glacier que ce phénomène ne constitue pour nous qu'un vague objet de curiosité. Pourtant le Canada tout entier a été façonné par les glaces. Nous tirons notre nourriture et notre bois du sol qu'elles ont formé, nous y vivons et nous y enterrons les générations qui passent. À la lueur du feu de camp,

alors que nous admirons le soleil qui se couche sur le glacier réduit de l'autre côté de la vallée, nous pouvons ressentir cette continuité. Le reliquat de glacier sur le mont Terrace et cet autre glacier, plus près de nous, sont des réalités qui confirment notre place dans l'ordre naturel et nous lient aux mouvements qui moulent encore la face de la terre.



Perspective

La plupart des Canadiens ignorent que nos paysages se sont formés à partir des glaciers et de l'action de leurs fontes au cours de la grande période glaciaire. Nous ne semblons pas nous rattacher entièrement aux paysages de notre terre natale, et nous ne sommes plus au pas avec le temps. Il faut cependant nous rendre compte qu'il y a moins de 20 000 ans, la plupart des montagnes de l'ouest du Canada étaient recouvertes par plus de 300 m de glace; le reste du pays était enseveli sous encore plus de glace. Le champ de glace Columbia ne pouvait jadis se distinguer des glaciers qui couvraient le continent; il est de nos jours un rappel isolé et rigide de la période glaciaire. La dernière glaciation prit fin il y a environ 10 000 ans laissant seulement quelques vestiges dans l'Arctique et sur les sommets les plus élevés des montagnes de l'Ouest. Le champ de glace Columbia, avec une superficie de 325 km² de glace, compte parmi les plus imposants de ces vestiges. Il chevauche la ligne de partage continental où trois bassins se rencontrent, de sorte que l'eau de fonte coule vers trois directions : l'océan Arctique, l'océan Pacifique et la baie d'Hudson.

Le champ lui-même est assez stable, mais des embranchements, qu'on appelle «glaciers de vallée», en découlent et se meuvent lentement vers les vallées environnantes où ils fondent éventuellement. Le plus important de ces glaciers est le Saskatchewan qui, à partir du centre du champ, se dirige vers l'est. À côté du champ de glace, dans le parc national de Banff, se trouve Castleguard. Depuis la fin de la dernière grande période glaciaire, le paysage de Castleguard a été modifié, mais de façon mineure seulement, par la petite période glaciaire qui fut de courte durée. En examinant Castleguard, on peut comprendre les divers proces-

sus qui ont conduit aux paysages canadiens que l'on connaît aujourd'hui. À côté du mont Castleguard et au bord du champ de glace Columbia, un pré et une large vallée en fer à cheval sont suspendus entre deux montagnes. Ils sont coupés à une extrémité par le glacier Saskatchewan et à l'autre par la gorge d'une rivière. La vallée ne porte pas de nom sur les cartes. Traditionnellement, on réfère à l'ensemble sous le nom de «Castleguard».

La surface de la vallée fut formée, il y a dix ou douze mille ans, à la fin de la dernière glaciation appelée aussi «glaciation du Wisconsin». Les formes du terrain et la végétation attestent de l'âge et de l'origine de la vallée. D'autres paysages canadiens furent aussi formés à cette époque.

Sous les Meadows de Castleguard se trouve un vaste système de cavernes. Ces cavernes n'ont qu'une seule entrée, soit dans la pente la plus abrupte qui termine l'extrémité inférieure des Meadows. De cet endroit, le système s'oriente vers le nord. L'exploration a été poussée jusque sous le champ de glace, bien au-delà du mont Castleguard où elle s'est terminée à cause de la glace qui bloque les couloirs explorés les plus éloignés.

POUR CONNAÎTRE LA TERRE

Les géologues étudient les roches : leur origine, leur âge, leur composition chimique, leurs qualités physiques, l'ordre de leur formation et leur évolution.

Les géomorphologues, eux, considèrent la roche comme une donnée, et ils étudient les changements du relief terrestre, ce qui s'est produit après que la pierre a été formée. Ils examinent la configuration des montagnes, la distribution des vallées, la forme des cours d'eau, l'étendue de leurs méandres, l'inclinaison d'une plage et sa formation ou sa destruction au cours des années.

Le monde végétal peut être considéré comme le vêtement de la Terre et les écologistes le regardent de façon chronologique. La végétation est une composante importante des paysages. Elle apporte des changements à leur aspect physique et marque le rythme auquel plusieurs phénomènes physiques s'accomplissent.

LES CHANGEMENTS PHYSIQUES DU PAYSAGE

Les géomorphologues reconnaissent qu'au cours des modifications subies par la surface de la terre, différentes formes de terrains se développent selon différents climats et différents types de pierre. Les mouvements de l'écorce, tels les plissements et les failles peuvent déterminer à l'origine, la grandeur et la forme des terrains. Cependant, l'aspect de ces derniers peut être modifié aujourd'hui selon les différents types d'érosion qui les ont marqués. Quatre principales formes d'érosions agissent sur les continents.

La plus répandue est l'érosion «fluviale» ou des rivières. C'est celle qui agit dans la plupart des régions du Canada de nos jours.

La deuxième est le système «aride». Cette forme d'érosion est caractérisée par une décomposition chimique lente, par des lames d'inondation sporadiques et par le vent. Le système aride est sans importance au Canada quoique le vent ait façonné certaines plaines de l'Arctique ainsi que de petites dunes, des deltas et des plages.

Le long des rivages, le troisième système, celui des vagues et des courants, érode la plate-forme continentale et les rochers, crée les ensablements et les cordons de sable, les plages et les galets. Ce système est peu important à Castleguard.

Le quatrième principal système d'érosion est causé par les glaciers. Le socle rocheux est érodé et la matière libérée est transportée par le glacier en mouvement. C'est ce système qui fait l'objet principal de ce livre. Il y a 20 000 ans, trente pour cent des terres étaient couvertes de glaciers. Aujourd'hui, il n'y en a plus que dix pour cent y compris l'Antarctique et le Groenland. À l'exception de quelques petites parties du Yukon, le Canada était entièrement enseveli. La nappe de glace recouvrant l'Amérique du Nord était plus grande que l'Antarctique. Les Rocheuses canadiennes étaient aussi complètement ensevelies mis à part quelques pics et hautes arêtes. Le recul des glaces se fit lentement; il dura 7000 ans et se termina il y a 7000 ans environ. L'époque suivant le retrait est qualifiée de «post-glaciaire» ou «holocène». Les glaciers ont ainsi augmenté et diminué de taille plusieurs fois au cours du pléistocène, terme utilisé par les géomorphologues pour désigner la période commencée il y a deux millions d'années.

Les terres du Canada, aux yeux du géomorphologue, furent transformées par les effets de l'érosion durant les nombreuses périodes glaciaires, et par les débris que les glaciers y laissaient. Dans les montagnes, ce sont les formes d'érosion glaciaire qui prédominent. La glace, en se déplaçant a nettoyé le lit des vallées et a affouillé les arêtes rocheuses et les pics produisant le relief aiguisé qu'on appelle «topographie alpine». C'est le type de terrain le plus accidenté de notre planète.

Maintenant que la plus grande partie de la glace est partie, l'eau est le principal agent d'érosion et de transport de débris dans les Rocheuses canadiennes. En termes géomorphiques, peu de temps s'est écoulé depuis la dernière période glaciaire. Mais maintenant, les plus grandes rivières

des montagnes n'ont le temps que de faire des retouches aux paysages glaciaires ou de redistribuer les débris localement.

Il y a deux sortes de paysages glaciaires à Castleguard. Les paysages glaciaires formés par les glaciers très anciens sont merveilleusement représentés aux Meadows alors que, près du mont Castleguard, on peut apercevoir des paysages glaciaires modernes qui ont été produits durant la petite période glaciaire.

LA PETITE PÉRIODE GLACIAIRE

Un refroidissement climatique léger, mais d'importance, commença il y a 700 ans environ dans plusieurs des régions septentrionales du globe. Les glaciers alors en existence commencèrent à épaissir un peu et à s'avancer de quelques kilomètres au sein de leurs vallées. Mais cette expansion était insignifiante comparativement à un âge glaciaire; cette période prit le nom de «petite période glaciaire» ou «période néo-glaciaire». La fin de la petite période glaciaire s'amorça, il y a une centaine d'années, quand les glaciers de montagnes commencèrent à s'amincir et à s'éloigner de leurs bords. Les glaciers ont diminué rapidement entre 1930 et 1960 et ils continuent à le faire. Leur recul est évident autour de la plupart des glaciers des Rocheuses, particulièrement dans le quartier sud-est du champ de glace Columbia où se situe le mont Castleguard.

On peut voir des arbres morts, dans les hautes vallées près de la montagne, leur système radical ayant été endommagé par le mouvement des glaces durant la petite période glaciaire. On les voit appuyés contre d'autres arbres d'une forêt alpine d'âge mûr. Des photographies nous révèlent que ces arbres ont été tués il y a 80 ans environ.

À mesure que les glaciers reculent, des vagues

successives de végétation avancent dans les terres nouvellement exposées.

Dans les montagnes de l'Ouest, il y a beaucoup de terrains façonnés par l'action des glaces et des rivières. À Castleguard, deux autres systèmes d'érosion viennent en compétition avec elles de sorte que l'histoire se complique tout en s'enrichissant.

LE PROCESSUS DU GEL ET DU DÉGEL

L'un de ces systèmes est l'alternance du gel et du dégel. Ce système travaille le socle rocheux, les amoncellements de débris et la terre. On l'appelle souvent «système périglaciaire» parce qu'il se produit proche des glaciers ou subit leur influence. Le système périglaciaire fait éclater la pierre et la réduit en moellons. Une fente dans le roc s'emplit d'eau; l'eau gèle et se dilate; la pierre se brise en éclats. La glace située dans les interstices de la roche fracassée forme sur celle-ci des motifs de polygones, de bandes ou de lobes. Au fur et à mesure que les glaciers voisins fondent, le sol et les moellons glissent le long des pentes saturées et rendues glissantes par l'eau de fonte. Ce mouvement lent porte le nom de «solifluxion». Les moellons dévalent le mieux le long des pentes gelées en permanence sous la surface - le pergélisol. Seule la couche de surface du sol dégèlera.

Les formes de terrains périglaciaires sont répandues dans l'Arctique canadien et aussi dans les montagnes subarctiques du Labrador, des Territoires du Nord-Ouest et du Yukon. Très souvent, les motifs délicats gravés par le système périglaciaire se retrouvent par-dessus des terrains glaciaires plus anciens. Le système périglaciaire, dans les montagnes Rocheuses agit principalement par delà la

limite des arbres. Il y a peu d'effets périglaciaires aux endroits boisés des Meadows; cependant, dans les prés plus élevés, on voit de nombreux motifs qui dominent sur les hautes crêtes et sur les pentes caractérisées par des étendues de moellons de gel.

LES PROCESSUS KARSTIQUES

Les terrains de dissolution appelés «karsts» forment le second système de paysages distinctifs représentés à Castleguard. Les terrains karstiques sont créés quand la pierre se dissout dans l'eau. L'eau acide provenant de la pluie, de la neige ou de la fonte des glaces s'infiltre dans la terre, élargissant les conduits de solution qui se combinent pour former un système naturel de plomberie. L'eau ressort plus bas dans des résurgences. Le système karstique diffère des systèmes fluviaux parce que la «plomberie» (la caverne) est entièrement sous terre. Ce système se développe le mieux dans le calcaire et la dolomie. Le terrain de Castleguard est fait principalement de ces pierres.

Petit à petit, l'eau se creuse un chemin à travers le roc et la caverne s'agrandit. Parfois toute une série de grands couloirs d'un système peuvent être laissés vides et abandonnés alors que l'eau s'engage dans de nouveaux conduits sous eux. La caverne que nous avons pu explorer à Castleguard est en grande partie un tel passage abandonné. Depuis l'entrée, les explorateurs ont cartographié 18 km de couloirs s'élevant de 373 m jusqu'à leur extrémité en amont.

Il y a au moins deux autres systèmes de couloirs souterrains sous la caverne qui a été explorée. Ces deux systèmes qu'on appelle Castleguard II et Castleguard III servent de drain à la crue de l'été et apportent l'eau aux résurgences Big Springs à l'extrémité sud-est de la formation karstique.

Malgré des efforts méritoires, personne n'a pu pénétrer dans Castleguard II ou III; les couloirs sont inaccessibles parce qu'ils sont soit trop petits soit remplis d'eau. Nous connaissons quand même certains détails à leur sujet car nous avons étudié l'eau qui y pénètre via les dolines et nous en avons mesuré le débit à Big Springs. Castleguard II et III pourraient avoir plus de 100 km de couloirs.

La partie explorée de la caverne s'étend loin sous le champ de glace Columbia. L'eau de fonte à la base du glacier s'écoule directement dans la caverne sous-jacente inexplorée. Certains des couloirs les plus éloignés de la caverne explorée sont obstrués par de la glace du glacier qui forme un sceau imperméable à l'eau et à l'air. On présume qu'il y a moins de 10 m de roc par-dessus, alors qu'il y aurait 230 m de glace reposant sur le roc. D'autres couloirs se ramifient en des tubes plus petits et apportent de l'air au lit du glacier en hiver.

Les formes de terrain karstique se développent aussi à la surface de la terre. L'eau d'écoulement s'engage sous terre soit par les fissures soit par les dolines.

Les lapiaz constituent une grande variété de formes de dissolution sur les pierres. Les plus grands lapiaz sont des fractures et des sillons qui ont été agrandis et approfondis par dissolution. Quand il y en a beaucoup qui s'entrecoupent en surface, ils divisent le roc en blocs. Les diaclases et les blocs forment ensemble un pavé karstique qui peut être tellement géométrique et régulier qu'il peut sembler avoir été dessiné par un humain. Ce genre de terrain est bien développé à Castleguard.

Les dolines peuvent laisser passer beaucoup d'eau dans une petite ouverture. Les types les plus communs sont des dépressions du terrain en forme d'éviers qui écoulent l'eau vers un lieu central

d'infiltration généralement recouvert de terre. Ces «entonnoirs» peuvent atteindre 1 km de diamètre. Les terrains alpins tels que ceux de Castleguard ont de petits affaissements escarpés munis de plusieurs puits.

Les caractéristiques karstiques sont nombreuses à Castleguard. Dans la caverne, les couloirs gardent chacun leur dimension et leur forme sur des distances remarquables. Au centre de la caverne, sous la montagne, on trouve de magnifiques stalactites et stalagmites là où, scientifiquement parlant, il ne devrait pas y en avoir. À la surface, il y a les plus beaux spécimens de précipités de calcite au monde, le produit de l'action karstique et glaciaire combinée.

Les processus glaciaire, karstique et de gel rivalisent les uns avec les autres. Les glaciers récurrent les formes karstiques; les dolines drainent les glaciers pour amoindrir leur pouvoir de rcurage. L'eau s'infiltré dans la roche karstique et la prépare à être fracassée par le gel. Plusieurs caractéristiques du système fluvial et des surfaces karstiques furent effacées au cours de la dernière période glaciaire (quelques-unes demeurent toujours mais sous une forme modifiée). La plomberie souterraine est mieux protégée des bouleversements glaciaires que la surface. On retrouve dans les galeries fossiles de Castleguard ce qui compterait parmi les plus longues «chroniques» de l'histoire glaciaire et interglaciaire des Rocheuses.

La plupart des paysages naturels se développent très lentement. À Castleguard, on peut voir des exemples récents aussi bien que de très anciens.

LES CHANGEMENTS ÉCOLOGIQUES DU PAYSAGE

L'écologie a été définie comme l'étude de «l'habi-

tat de la nature»; comment les êtres vivants sont rattachés à leur environnement ainsi que les uns aux autres. (La biologie est l'étude de la vie même, de ses origines, de son évolution, de ses formes, de ses propriétés et processus fondamentaux.) Les écologistes s'intéressent à chaque espèce et aux milieux où plusieurs espèces réagissent réciproquement. Ce sont eux qui ont aussi remarqué que les formes de vie et les milieux tendent à réagir au changement d'une façon qui semble non proportionnelle à ce qui a incité ce changement.

L'autécologie se concentre sur l'individu et sur sa relation avec ce qui l'entoure. La synécologie étudie les populations en regard de leur matrice plus grande de relations possibles tant entre elles qu'avec les populations externes. La différence est moindre que ces deux mots le laissent entendre, et nous employons les deux points de vue pour décrire la situation à Castleguard.

LA VÉGÉTATION

Grâce à l'énergie solaire, les plantes transforment l'anhydride carbonique (un gaz) et l'eau (un liquide) en hydrate de carbone, une substance nutritive biologiquement utile. Ce système de conversion a aussi un sous-produit : la matière organique des plantes mortes enrichit le sol et en améliore les propriétés physiques favorisant ainsi une meilleure croissance de la végétation. Les plantes qui pourrissent acidifient aussi le sol ainsi que l'eau qui s'y infiltre. À Castleguard, des nattes de plantes mortes qu'on appelle «tourbe» affectent l'écoulement du terrain sur une petite échelle, et l'eau acide qui en résulte accélère le processus de formation des cavernes dans le roc calcaire sous-jacent. (Dans d'autres parties du monde, la terre organique est le type dominant du paysage et constitue une

importante ressource économique.)

La végétation est la réplique du monde vivant au paysage. La matière vivante se débat pour occuper tout habitat convenable. Par conséquent, nous étudions de plus près les types et les formes de végétation plutôt que les plantes individuelles et les espèces et nous mesurons l'étendue de leur succès (ou de leur échec) par la superficie du terrain disponible. À Castleguard, on en trouve de nombreux exemples, depuis le complet fiasco jusqu'à la réussite phénoménale. Les belles fleurs sont un plaisir pour la vue, mais c'est leur nombre surtout qui a une importance écologique.

C'est dans l'Arctique et dans les hautes montagnes que les débuts de la vie peuvent être problématiques. Ici, nombreux sont les écologistes qui se concentrent sur les agglomérations de plantes pionnières. Les régions plus septentrionales n'ont pas ce problème et l'étude scientifique porte plus sur le processus de développement et sur l'implantation stable et de longue durée d'agglomérations soi-disant à leur apogée.

LA COUVERTURE VÉGÉTALE

Certains endroits des Meadows sont complètement recouverts par une végétation de petites plantes alpines. Ces endroits ont habituellement un sol adéquat, un bon approvisionnement en eau et ils sont à l'abri des grands vents d'hiver. Un terrain dit complet ou «fermé» permet généralement la présence d'une agglomération végétale féconde, la matière organique des plantes mortes retenue sur place, enrichissant le terrain au lieu d'être emportée par le vent ou par l'eau.

Tout comme les plantes vivaces et les herbacées annuelles, les arbres luttent aussi pour s'enraciner et occuper le terrain. Ils s'efforcent de dominer afin

de s'assurer du soleil, de l'humidité et des substances nutritives du sol dont ils ont besoin. C'est ainsi qu'une forêt «fermée» ou d'âge mûr n'a plus d'espace pour accommoder d'autres arbres. De jeunes plants sortent de terre, mais ils doivent attendre que les plus vieux s'affaiblissent et leur cède la place avant d'arriver à maturité.

Les arbres ont aussi un autre problème écologique que n'ont pas les petites plantes basses. Dans les régions aux hivers rigoureux, où le sol gèle et la neige est épaisse, les racines gèlent aussi et sont immobilisées. Longtemps après que la chaleur printanière a commencé à stimuler la croissance des autres plantes, certaines racines d'arbres peuvent demeurer gelées. Le faîte des arbres est exposé à la chaleur, en particulier dans les hautes altitudes où les chauds rayons du soleil printanier sont réfléchis par la neige. Les cimes ont alors besoin d'eau pour croître, mais les racines encore gelées ne peuvent la leur fournir, et certains arbres meurent. C'est ce qui s'appelle la «sécheresse physiologique»; elle affecte les plantes poussant dans le sol qui gèle en hiver. Elle frappe les arbres davantage parce que leur cime est bien au-dessus de la neige. Ce phénomène peut parfois se produire aussi dans les zones tempérées où il «brûle» nos pelouses et certaines céréales. D'elles-mêmes, les basses températures causent rarement cette décimation; c'est plutôt l'arrivée soudaine de la température propice à la croissance qui fait le dommage.

LA NICHE ÉCOLOGIQUE

Tous les êtres vivants réagissent les uns sur les autres, directement ou indirectement. Un organisme a d'abord besoin de nourriture et d'un abri pour survivre. Une fois ces besoins comblés, il pourra exercer une interaction avec une autre forme de vie.

Les premiers écologistes ont appelé «niche écologique» l'ensemble des besoins, indéfinissables mais importants, qui mènent tout organisme à la maturité et à la reproduction. Alors que les humains et les animaux se déplacent pour subvenir à leurs besoins, les plantes prospéreront là où les conditions sont convenables et elles disparaîtront quand leurs besoins ne seront plus remplis. Ce besoin de niche écologique est à l'origine de la succession naturelle des agglomérations végétales qui s'accomplit lorsque les conditions écologiques changent.

Deux types de plantes peuvent s'établir dans des habitats nouvellement disponibles. Ce sont d'abord les lichens, les plantes les plus primitives et les plus résistantes, qui ont uniquement besoin d'une surface stable et non toxique pour se développer. Le second groupe de plantes est probablement plus évolué, mais il doit pouvoir prospérer dans un sol pauvre, sans abri ou autres conditions favorables. Ces deux types de plantes se retrouvent à Castleguard.

SUCCÈS, CLIMAX, CHANGEMENT

Après la colonisation initiale, les agglomérations végétales tendent à se succéder et à se développer d'une façon ordonnée jusqu'à ce qu'elles arrivent à se perpétuer longtemps en agglomérations stables. Mais si une communauté végétale persiste, elle peut altérer les conditions locales. Si ces changements ne conviennent pas à l'espèce, une autre agglomération se développera. La définition et l'identification des «communautés climaciques» ou à leur climax sont encore sujettes à des débats parmi les écologistes.

Le concept du climax suppose que les conditions environnementales ne changent pas. Or nous savons bien que les conditions climatiques changent.

Par exemple, la petite période glaciaire a sûrement influencé le rythme et la direction de l'évolution de certaines plantes, et elle a probablement aussi modifié leur progression. Nous avons vu qu'à Castleguard, la petite période glaciaire avait tué des forêts alpines bien développées.

Dans la majeure partie de l'Amérique du Nord, disent les écologistes, il y eut une succession bien ordonnée de communautés végétales depuis la dernière période glaciaire. Il est aussi évident que les phases de succession et les communautés climaciques progressent lentement vers le nord. La gent ailée nous en donne une preuve. Les oiseaux sont mobiles de sorte qu'ils peuvent occuper ou délaisser rapidement un habitat. Les ornithologues amateurs rapportent que plusieurs espèces étendent leur territoire vers le nord où n'existaient auparavant que des environnements marginaux. Peu d'espèces se sont «retirées dans le Sud» depuis que les ornithologues amateurs prennent note des déplacements. La communauté végétale climacique habituelle ressemble plus à une vague lente qui s'avance et dépérit selon que le climat s'améliore ou se détériore.

Le climat difficile de la petite période glaciaire affecta la majorité des espèces boréales. À Castleguard, les glaciers s'avancèrent dans des vallées qui n'avaient pas connu les glaces depuis cinq ou dix mille ans. La température a sans doute reculé l'horloge de la succession écologique, mais de combien? On ne peut que supposer.

Castleguard présente un portrait varié d'effets de la petite période glaciaire datant d'au plus quelques centaines d'années, surimposés sur les effets de la dernière période glaciaire qui, eux, datent d'une dizaine de milliers d'années environ. Nous savons jusqu'où la glace s'est avancée, mais

nous ne savons pas comment la température et le climat locaux ont changé ou quels effets ces changements ont exercé sur la végétation et sur le développement des végétations successives.

Aurions-nous pu être témoins des événements au cours des 700 dernières années, nous pourrions comprendre plus clairement la signification des changements environnementaux courants. Nous croyons que si la température annuelle moyenne variait de quelques degrés, possiblement même d'un seul degré, il en résulterait de profonds changements dans la croissance des végétaux. Un environnement comme celui de Castleguard est un bon endroit pour étudier les effets de petits changements car les conditions locales sont très sensiblement balancées. Au moindre refroidissement ou réchauffement les glaciers peuvent s'avancer dans les vallées ou en reculer assez rapidement pour ne laisser derrière eux que le socle rocheux.

L'écologie de Castleguard est fascinante et dynamique. Une compréhension plus approfondie des conditions qui y existent nous éclairerait sans doute sur les changements climatiques des derniers siècles et nous permettrait probablement d'interpréter les changements que nous observons dans le monde aujourd'hui.

Les colonies de plantes, les pionnières en particulier, se développent lentement; parfois, cela prend des décennies ou des siècles pour que quelques changements seulement se produisent. Mais les plantes réagissent beaucoup plus vite que la plupart des paysages physiques où, typiquement, il faut des millénaires pour qu'un changement d'importance soit réalisé. C'est ce qui donne de la valeur à Castleguard : son paysage change presque au rythme de la végétation. Castleguard est très différent aujourd'hui de ce qu'il était il y a juste

100 ans lorsque Banff fut établi comme notre premier parc national.

SYNTHÈSE

Nous avons vu comment des processus physiques ont changé Castleguard. De grandes et petites glaciations ont nettoyé le terrain. Les pluies acides, l'eau de fonte et le gel façonnent continuellement la surface. L'eau s'écoule sous terre pour y effectuer de plus grands changements encore, en pleine noirceur.

Nous avons aussi observé comment la végétation s'est établie, s'est développée, a verdi la vallée et a initié des processus de croissance qui, au cours des millénaires, peuvent enfouir de grands espaces sous des amoncellements de débris végétaux. Ce sont ces débris qui acidifient les cours d'eau environnants et augmentent leur pouvoir de dissoudre le roc.

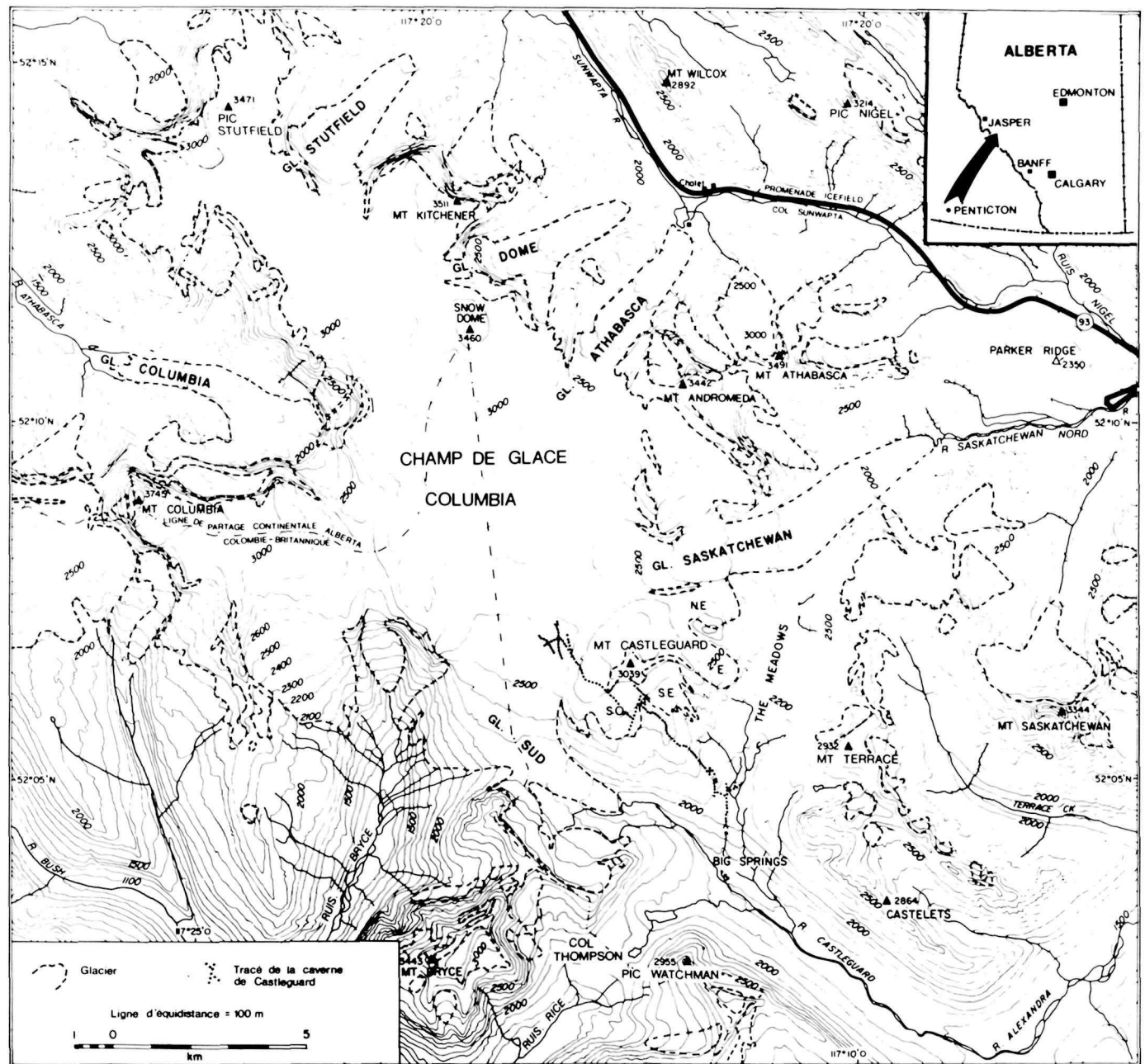
C'est ainsi que ce qu'il y a de plus doux - l'eau, le souffle des vents et la vie fragile qui en est résultée - travaillent ensemble et individuellement à déchiqueter et creuser les montagnes. Devant l'immensité des glaciers et les éléments climatiques, nous oublions parfois que la vie fait aussi partie du paysage et que la végétation fait le pont entre le majestueux et le sublime.

Castleguard, nous fait promener sur un champ de batailles épiques et lire l'histoire parmi les débris. Castleguard nous permet d'observer l'évolution du territoire au moment où elle se produit avec en arrière-plan l'eau courante, le grondement de glace qui dévale, le fracas de la pierre et, là où poussent les plantes, ce qui touche à la survie.

Il faut y marcher en toute humilité pour faire honneur au paysage.

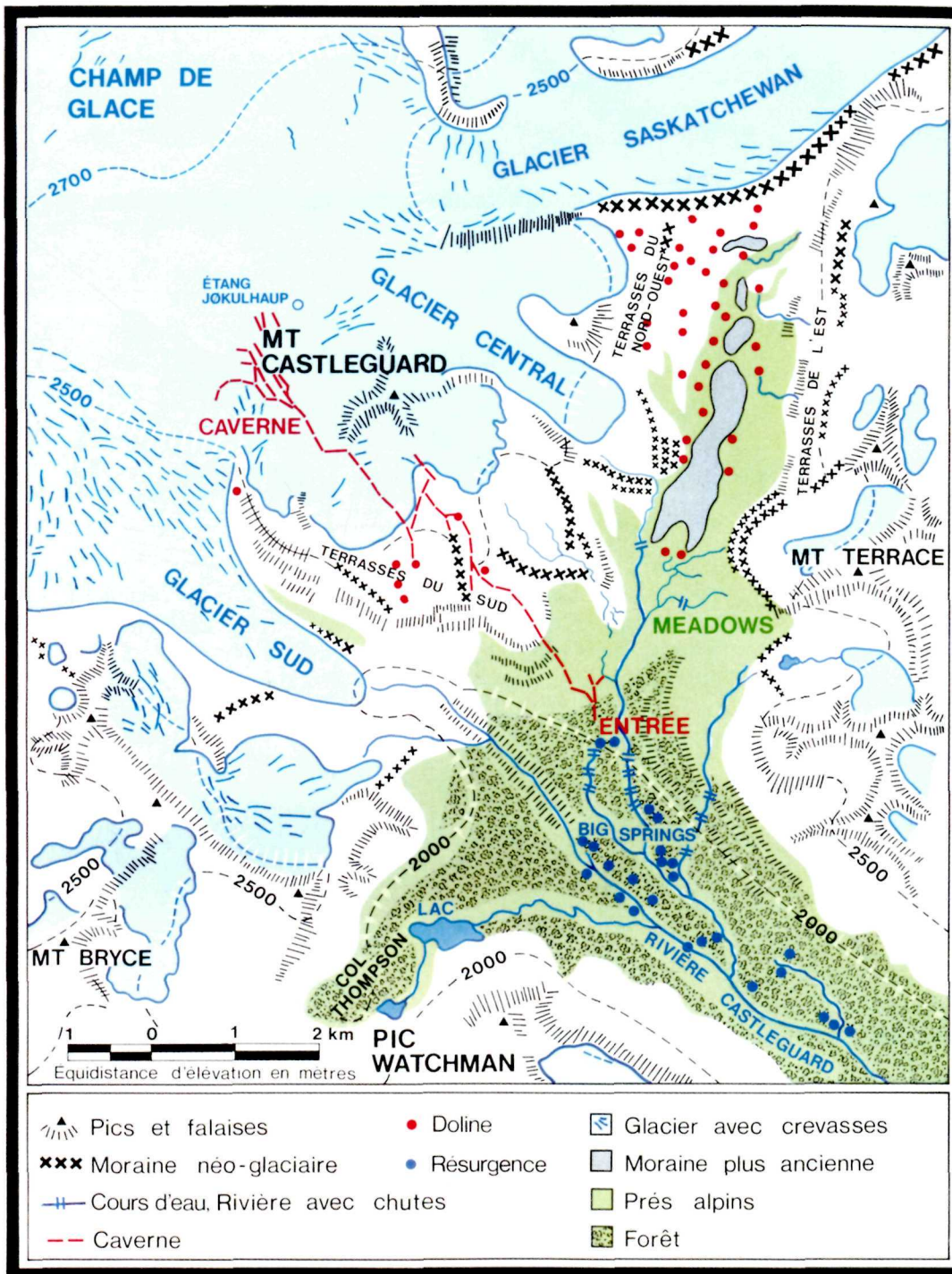
Carte topographique du champ de glace Columbia

La carte montre le champ de glace Columbia avec les principaux glaciers, les montagnes, les rivières et les cols de la région. La ligne de partage continentale (délimitation provinciale de l'Alberta et de la Colombie-Britannique) passe au centre. La promenade Icefield (route Banff-Jasper) traverse le coin nord-est. Le tracé approximatif de la caverne de Castleguard est indiqué au sud du mont Castleguard. Le médaillon situe le champ de glace en relation avec l'Alberta et la Colombie-Britannique.



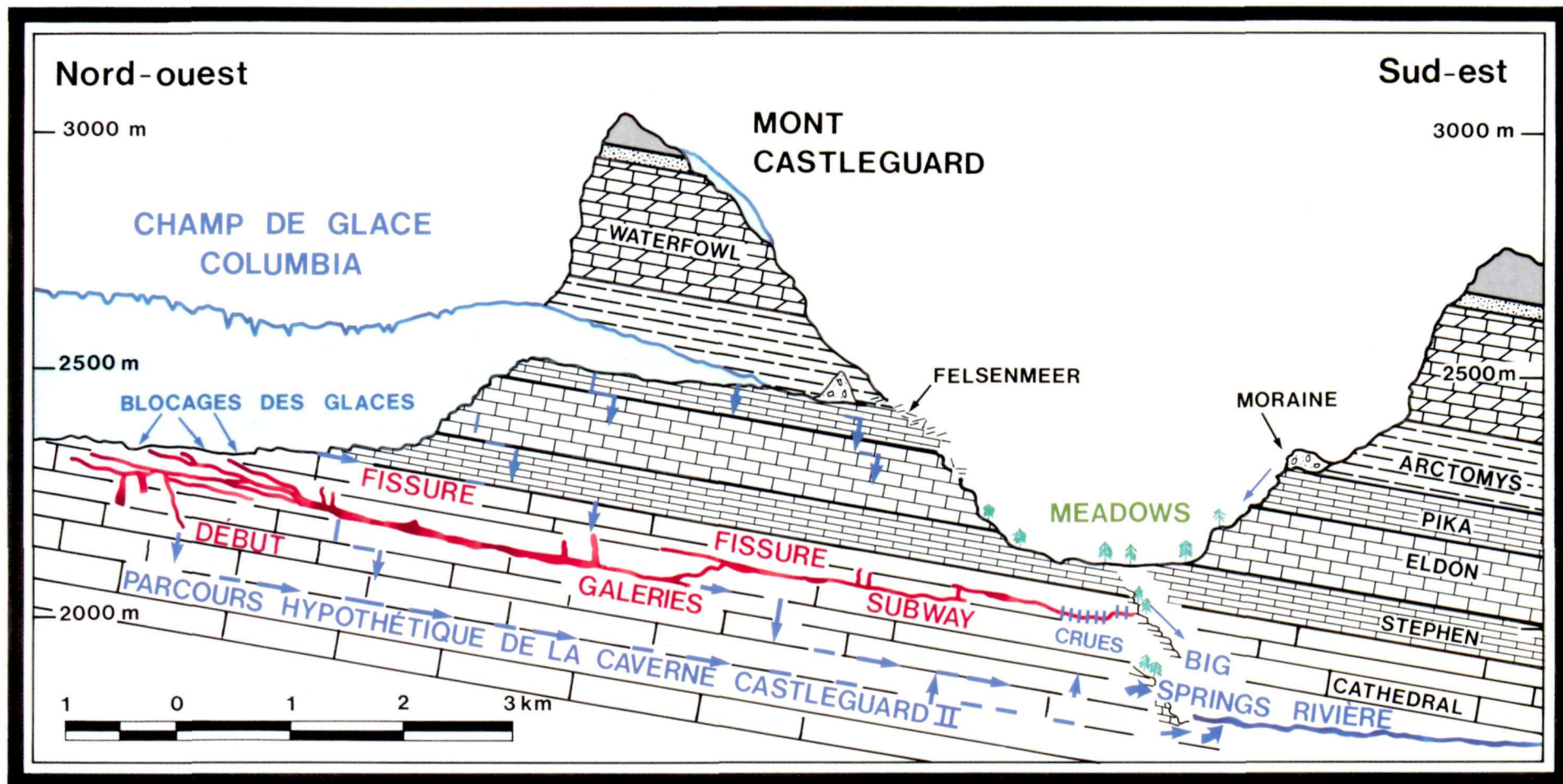
Castleguard et le champ de glace

Cette carte montre la distribution des principaux glaciers et des terrains karstiques en plus de la glace, de l'eau et de la végétation que l'on voit dans les photographies. L'échelle des caractéristiques importantes, comme les arêtes de moraine par exemple, est amplifiée pour les accentuer. Plusieurs dolines karstiques ont été omises; on suggère simplement ici une esquisse de leur distribution générale.



Profil du plateau karstique de Castleguard

Cette section s'étend du nord-ouest au sud-est à travers le karst de Castleguard. Nous en faisons une présentation schématique. L'échelle verticale est amplifiée de 4,5 fois pour accentuer le paysage montagneux. La caverne de Castleguard est indiquée en rouge et son profil est simplifié. Les cours d'eau dans le roc sont hypothétiques; les résurgences sont vraies. Les noms Waterfowl, Arctomys, Pika, Eldon, Stephen et Cathedral ont été donnés par les géologues aux principales formations rocheuses de la région.



Photographies

Daniel Caron	Photographies 93, 101
Derek Ford	Photographies 5, 34, 42-44, 46, 47, 49, 53, 57, 59-61, 65, 67-69, 71, 73-87 89-92, 94(en bas), 95-98, 103, 104, 106-108, 110, jaquette (en bas)
Russell Harmon	Photographie 75
Stein-Erik Lauritsen	Photographie 99(en bas)
Thomas Miller	Photographies 88, 100, 102
John Mort	Photographie 70
Dalton Muir	Photographies 1-4, 6, 7, 9-28, 30-33, 35-41, 45, 48, 50-52, 54-56, 58, 62-64, 66, 72, 94(en haut), 105, 109, 111-113, jaquette (en haut)
Anthony Waltham	Photographie 99(en haut)
Stephen Worthington	Photographies 8, 29

La photographie de A.O. Wheeler, reproduite en médaillon dans la photo 33, est conservée à la Division des levés géodésiques, Énergie mines et ressources Canada (n° d'entrée: PARC BOX 1024).

Coordination :	Susan Cargill-Johnson
Conception graphique :	Karen Okada
Adaptation française :	Claude G. Jarry
Révision :	Madeleine Choquette-Delvaux
Conseiller scientifique :	Daniel Caron, Société québécoise de spéléologie

Remerciements

Derek C. Ford a une dette de reconnaissance énorme envers ses compagnons de terrain à Castle-guard. Depuis le début des explorations, en 1967, plus de soixante-dix personnes ont travaillé très fort et sans accident à cet endroit, magnifique certes, mais difficile, froid et dangereux. Il remercie particulièrement Bob Bignell, Michael Boon, George Brook, Charlie Brown, Julian Coward, John Drake, Ralph Ewers, Peter Fuller, Michael Goodchild, Russel Harmon, Bryan Luckman, Tom Wigley et le regretté Gary Pilkington.

Grâce à ses recherches en hydrologie, Chris Smart nous a grandement aidés à comprendre le comportement des eaux souterraines à Castleguard. Steve Worthington a dirigé les relevés à l'origine des cartes des cavernes dont nous avons utilisé la révision de 1984. Plusieurs agents du parc national

de Banff, Tommy Ross en particulier, nous ont toujours été d'un grand secours au cours des ans. Le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (autrefois le Conseil national de recherches du Canada) nous a accordé la majeure partie de l'aide financière nécessaire à la recherche. Parcs Canada aussi fut généreux. Enfin, le Science and Engineering Board de l'université McMaster de Hamilton nous a prodigué l'aide supplémentaire dont nous avons besoin.

R. Dalton Muir remercie le Service canadien de la faune et Parcs Canada, tous deux des organismes d'Environnement Canada pour l'appui qu'ils lui ont donné pour entreprendre cette publication marquant le centenaire des parcs nationaux au Canada.



Dalton Muir



Derek Ford

Robert Dalton Muir est né à Toronto et il semble avoir hérité de ses parents de son goût de la nature et de la photographie. Après sa formation en biologie, il tourne des films scientifiques et oeuvre à la planification de parcs nationaux à travers le Canada. Il travaille maintenant au Service canadien de la faune dans les domaines des espèces en danger d'extinction et des réserves écologiques. Les territoires glaciaires y compris ceux de l'Arctique ont été, depuis toujours, l'une de ses préoccupations. Ce livre est le résultat d'une association de vingt ans avec Derek Ford et la cumulation de leurs intérêts réciproques.

Derek Ford est né dans la ville calcaire de Bath au sud-ouest de l'Angleterre. Lorsqu'il est encore écolier, il aime grimper aux rochers et explorer la caverne, dans les collines de Mendip Hills situées tout près. Il obtient plusieurs grades en géographie à l'université d'Oxford. En 1959, il émigre au Canada où, depuis 1964, il enseigne à l'université McMaster de Hamilton, en Ontario. Il s'intéresse professionnellement à la recherche sur les terrains calcaires, aux cavernes et aux problèmes des eaux souterraines. Il fait l'étude de sites karstiques de Terre-Neuve à l'île Vancouver et jusqu'à l'île Baffin au nord, et il en explore aussi de nombreux autres à travers le monde. Il est l'auteur de plus d'une centaine d'ouvrages scientifiques, de plusieurs articles et rapports. Il est récipiendaire de palmes académiques de cinq pays et il est vice-président de l'Union spéléologique internationale, le principal organisme de spéléologie.

MUIR
FORD

CASTLEGUARD



