

REPARTITION DE LA CENDRE-VOLCANIQUE WHITE RIVER SELON LES CARACTERISTIQUES DU MILIEU, ET SON IMPACT SUR LA VEGETATION (SUD-OUEST DU TERRITOIRE DU YUKON, CANADA)

par Véronique DEWEZ (*), Marie-Anne GEURTS (*)

et Michel PHIPPS (*)

RESUME. - Des analyses multivariées basées sur la théorie de l'information sont utilisées dans cette étude pour mettre en évidence les facteurs physiques déterminant au mieux la distribution, l'épaisseur, la profondeur et le faciès de la cendre volcanique connue sous le nom de "White River Ash" (1250 BP). Le rôle de la couverture végétale apparaît parmi les facteurs les plus discriminants.

Des analyses polliniques montrent que le saupoudrage de la cendre a eu un impact sur toutes les formations végétales, mais celui-ci est plus marqué dans les toundras herbacées, qui ont été affectées même dans les zones les plus marginales du dépôt.

INTRODUCTION.

La "White River Ash" est une cendre volcanique visible à faible profondeur sous la surface topographique dans une zone d'environ 300.000 km². Elle couvre le Sud du Territoire de Yukon et une partie des territoires du Nord-Ouest (Canada). Elle fut signalée dès 1885 par SCHWATKA, et 1889 par DAWSON. Son extension spatiale fut estimée par CAPPS (1915) et son aire bilobée déterminée par BOSTOCK (1952). Selon LERBEKMO et coll. (1975), cette forme bilobée est due à deux éruptions du Mont Bona en Alaska. Le lobe nord est daté en moyenne de 1887 BP et le lobe Est de 1250 BP (LERBEKMO et coll., 1975).

La White River Ash suscite l'intérêt des chercheurs de diverses disciplines, car elle constitue un excellent repère lithostratigraphique bien daté. Cependant, si la carte de LERBEKMO et coll. (1975) donne les courbes d'isoépaisseur de la couche de cendre, les points d'observation correspondent toujours à des surfaces horizontales situées près des routes principales, donc à basse altitude. Or la cendre est loin d'être uniformément distribuée; elle peut en effet être présente ou absente à quelques mètres d'intervalle, et son épaisseur, son faciès et sa profondeur varient énormément.

Par conséquent, l'étude de la répartition de la White River Ash en fonction de facteurs physiques s'avère nécessaire si on veut l'utiliser comme critère d'évolution de la morphogénèse et comme repère lithostratigraphique dans les études palynologiques.

Parallèlement à son intérêt stratigraphique, on conçoit facilement que le saupoudrage des cendres ait pu avoir un impact considérable sur l'homme qui occupait la région à cette époque. En effet, la chaîne écologique peut avoir été profondément perturbée sur une vaste région si la végétation a souffert du saupoudrage, et le peuple Dene a probablement vu disparaître ses principales ressources alimentaires (WORKMAN, 1974). Selon MCGHEE (1983), ces éruptions seraient à l'origine de la dispersion de ce peuple, dont les descendants seraient les Kutchin du Nord du Yukon et les Navahos du Sud-Ouest des Etats-Unis.

De telles conséquences exigent de connaître l'impact réel de cet événement sur la végétation, ce qui n'a pas encore été étudié de façon systématique. Les informations actuelles restent fragmentaires et contradictoires. Selon BIRKS (1980), la cendre volcanique peut avoir engendré le développement de la végétation dans les

(*) Département de Géographie, Université d'Ottawa, Ottawa, Ontario, Canada, K1N 6N5

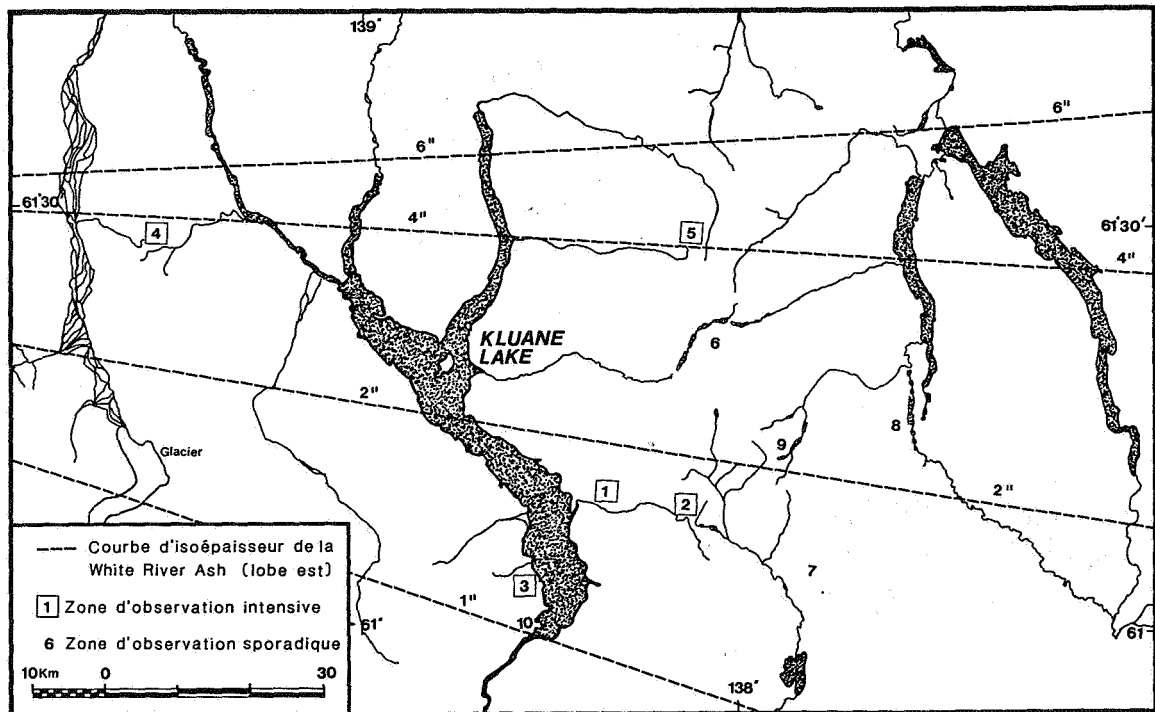


Fig. 1 - Carte de localisation des sites étudiés. Les courbes d'isoépaisseur de la White River Ash, exprimées en pouces, sont tirées de LERBERMO et coll., 1975.

zones où elle était soit épaisse soit inexistante. En effet, dans les profils de sol on constate souvent que les horizons humifères se trouvent uniquement au-dessus de la cendre. D'autre part, RAMPTON (1971) a noté des souches d'arbres tués par une couche de cendre de 60 à 150 cm d'épaisseur.

Afin de résoudre ces deux questions, c'est-à-dire l'impact de la cendre sur la végétation et ses caractéristiques en fonction de facteurs physiques, nous avons effectué 220 profils de sol au cours de l'été 1983. Quarante quatre échantillons, prélevés de part et d'autre du niveau des cendres (lobe Est) furent soumis à l'analyse palynologique. Les profils et les échantillonnages ont été réalisés à la faveur d'affleurements naturels ou dans des tranchées creusées à la pelle.

LES SITES.

Les profils ont été effectués dans cinq sites principaux, situés dans des zones d'isoépaisseur de cendre différente (fig. 1) et à une distance variable de la source. Il nous a cependant paru nécessaire de corriger les distances "brutes" en fonction de l'angle des sites par rapport à l'axe de dispersion. En termes de distances corrigées, le site de Nickel Creek (zone 4) dans la chaîne de Kluane est le plus proche, suivi du site de Talbot Creek, au coeur de la chaîne Ruby. L'embouchure de Cultus Creek (zone 1) et le site de Willisroft Creek (zone 3) sont à une distance similaire, tandis que l'amont de Cultus Creek (zone 2) est le plus éloigné des sites. Si on considère les isoépaisseurs, Talbot Creek vient au premier rang, suivi de près par Nickel Creek. Les trois autres sites appartiennent au même intervalle, mais les sites de Cultus Creek sont plus proches de l'isoépaisseur 2 pouces et celui de Willisroft Creek proche de l'isoépaisseur 1 pouce (=2,54 cm). Les quelques sites d'observation sporadique ont été rattachés au site principal le plus

proche. Nickel et Talbot Creeks, sites les plus proches et à cendre épaisse correspondent également à une altitude nettement plus élevée (1100 à 2090 m) que les trois autres sites (800 à 1700 m).

CARACTERISTIQUES DE LA CENDRE EN FONCTION D'UN SYSTEME PHYSIQUE.

Quatre aspects de la cendre ont retenu notre attention : sa présence/absence, son épaisseur, sa profondeur et son faciès, chacun caractérisé par plusieurs classes ou états (Tableau I). Pour ces quatre caractéristiques, nous avons cherché les relations avec un système de 10 facteurs physiques : la distance par rapport à la source (corrigées, les isoépaisseurs, le site général, la pente, la topographie, la présence ou non d'un affleurement de matériaux meubles, la végétation, l'altitude, la nature du matériel et l'exposition. Ces variables comportent elles aussi un certain nombre de classes ou états (Tableau I). Munis de ces données, nous avons tenté de découvrir :

1. dans quelle mesure chacun des aspects de la cendre se trouvait expliqué par ces facteurs;
 2. l'importance relative ainsi que
 3. le rôle des différents facteurs.
- Ceci implique l'utilisation d'analyses de type multivarié adapté à des variables codées en classes. Posée en d'autres termes, la question est de voir si et dans quelle mesure on peut prédire une caractéristique de la cendre en un point d'observation lorsqu'on connaît le système physique qui s'y rapporte. Le fait de rechercher une organisation - un ordre - incite à utiliser la théorie de l'information, comme le suggère ATLAN (1979). Celle-ci possède déjà de nombreuses applications en écologie (MARGALEFF, 1958; PIELOU, 1975; PHIPPS, 1981), mais peu en géographie physique (DEWEZ, 1983). Pour effectuer ces analyses de type systématique, à variables codées en classes, et basées sur la théorie de

TABLEAU I

VARIABLES PHYSIQUES, "INDEPENDANTES"

DISTANCE: DI1 Embouchure Cultus Creek
 DI3 Willisroft Creek
 DI2 Amont Cultus Creek
 DI4 Nickel Creek
 DI5 Talbot Creek

ISOEPAISSEURS: DI1 Talbot Creek (4"-6")
 DI2 Nickel Creek (2"-4")
 DI3 Embouchure + Amont Cultus Creek (1"-2")
 DI4 Willisroft Creek (1"-2")

SITE GENERAL: SG1 Plateau - SG2 Versant - SG3 Fond de vallée

PENTE: PE1 0°-4° PE2 4°-8° PE3 8°-16° PE4 16°-22° PE5 >22°

TOPOGRAPHIE: T01 surface plane T02 surface convexe
 T03 surface concave T04 surface inclinée retiligne

AFFLEUREMENT: AF1 absent AF2 présent

VEGETATION: VG1 sol dénudé
 VG2 forêt + toundra forestière + toundra arbustive
 VG3 toundra herbacée
 VG4 prairie à chaméphytes

ALTITUDE: AL1 2700 - 3200 pieds
 AL2 3200 - 4000 pieds
 AL3 4000 - 5000 pieds
 AL4 > 5000 pieds

NATURE DU MATERIEL: NM1 tourbe ou sol organique
 NM2 silt
 NM3-NM4 sable - cailloutis
 NM5 arène

EXPOSITION EX1 surface horizontale
 EX2 surface parallèle à la direction de propagation
 EX3 surface contre cette direction
 EX4 surface face à cette direction

CARACTERISTIQUES DE LA CENDRE,
 VARIABLES "DEPENDANTES".

PRESENCE / ABSENCE

EPAISSEUR: ABS = cendre absente
 MIN = cendre mince (0-3cm)
 MOY = cendre moyenne (4-10cm)
 EPS = cendre épaisse (> 10cm)

PROFONDEUR: ABS = cendre absente
 PPR = cendre peu profonde (0-10cm)
 MPR = cendre moyennement profonde (10-20cm)
 PRO = cendre profonde (> 20cm)

FACIES: CTN = faciès continu
 DIS = faciès discontinu
 POC = faciès en poche
 DIF = faciès diffus

Tableau I - Liste des facteurs physiques (en classes) et des caractéristiques de la cendre (en classes).

l'information, nous avons choisi la procédure PEGASE (◇) mise au point par PHIPPS (1981), et améliorée tout récemment.

METHODOLOGIE.

Cette procédure a été décrite en détail par PHIPPS (1981), et nous ne reprendrons ici que les points essentiels à la compréhension de cette étude. Chacun

des quatre aspects de la cendre a été traité dans des analyses séparées, faisant à tour de rôle fonction de variable à expliquer, ou encore de variable dépendante. Les facteurs physiques en revanche, appelés variables explicatives ou indépendantes, n'ont pas varié suivant les analyses.

Toutes les analyses se sont effectuées suivant la même procédure de base :

1. Au départ, tous les sites sont considérés comme formant un seul ensemble, et sont définis par un état (= classe) repéré par un code pour chaque variable indépendante Vi et pour la variable dépendante F. A cet ensemble est associée une entropie Ho (= indétermination), calculée selon la formule

$$H_o = -\sum p_i \ln p_i$$
 où pi = fréquence en % de la classe Fi.

La procédure PEGASE cherche donc à atteindre la négentropie maximale pour la variable F (c'est-à-dire en lever le maximum d'indétermination) en sélectionnant pas à pas certaines variables selon lesquelles les points d'observation seront progressivement divisés en sous-ensembles. Afin que cette sélection soit univoque, il faut définir un critère; celui que nous utiliserons dans toutes les analyses est le critère de rapport de signification maximal, défini selon la formule

$$RA_{(Vi,F)} = \frac{2 N IM(Vi,F)}{\chi^2(0.05, nd1)}$$

ou Vi a m états (=classes)

F a n états (=classes)

IM(Vi,F) = information mutuelle de Vi et F

N = nombre de points d'observation concernés

$\chi^2(0.05, nd1)$ = test du chi-carré, au seuil 0.05 et à (m-1).(n-1) degrés de liberté.

Le numérateur est donc lié directement à l'information mutuelle, tandis que le dénominateur est une fonction du nombre de classes de Vi. Un RA élevé pour une variable correspond à une information mutuelle forte et un faible nombre de classes pour cette variable. Ce critère va tendre ainsi à maximiser la négentropie du système tout en minimisant le nombre de sous-ensembles créés.

- 2) Déroulement des opérations. A chaque palier, toutes les caractéristiques Vi sont successivement testées par rapport à la variable dépendante F; est électionnée la variable ayant le plus haut RA. L'ensemble des points se divise alors en sous-ensembles correspondant aux différentes classes de la variable sélectionnée. Ces sous-ensembles sont considérés au palier suivant comme de nouvelles unités de base indépendantes jusqu'à ce qu'interviennent des règles d'arrêt. Celles-ci correspondent, pour chaque sous-ensemble, à deux types de situation : i) le nombre de points du sous-ensemble formé tombe sous un minimum fixé (15 dans notre cas), ii) aucune des variables disponibles n'ajoute de négentropie significative, alors que l'entropie demeure relativement élevée.

Le résultat de la procédure PEGASE consiste ainsi en un certain nombre de sous-ensembles terminaux (S.E.T.)

(◇) PEGASE tient pour Partition d'un Ensemble Géographique pour l'Analyse Spatiale Ecologique.

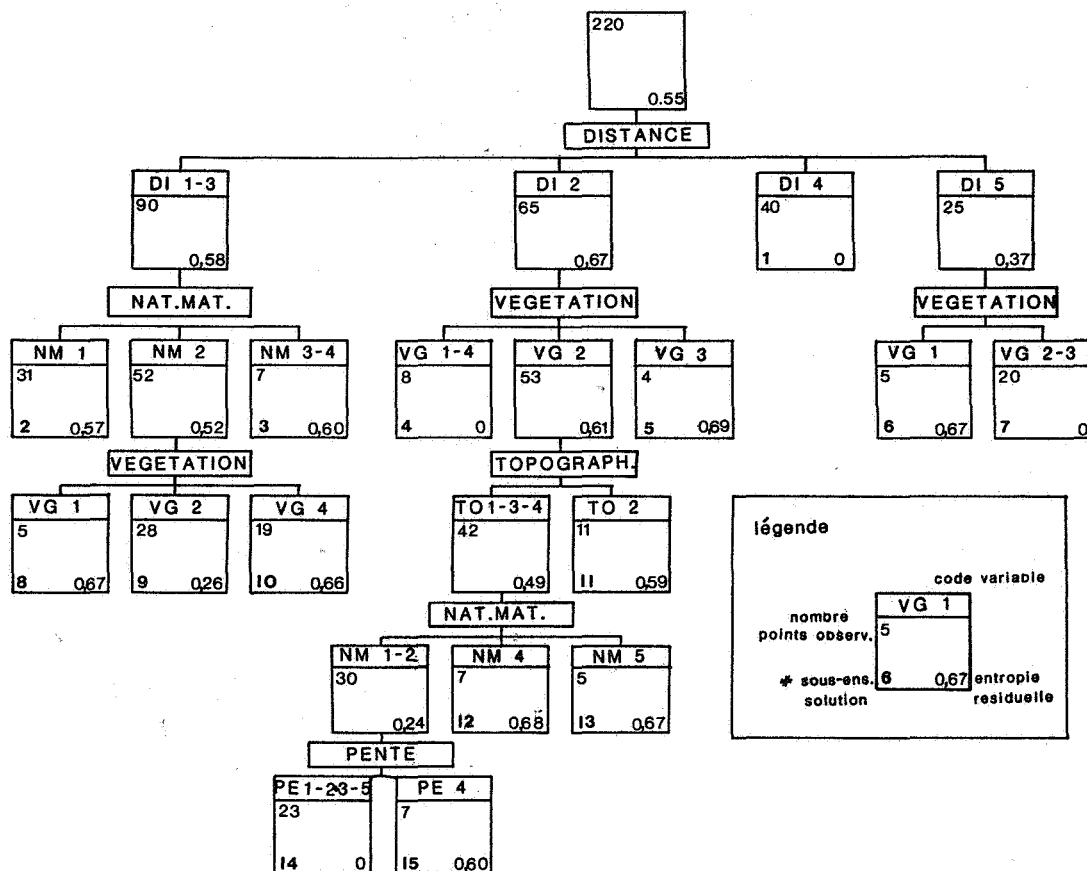


Fig. 2 - Dendrogramme Présence/Absence de la cendre, avec distance par rapport à la source (corrigées).

non subdivisibles et résultant de combinaisons spécifiques des caractéristiques physiques sélectionnées.

Les relations entre S.E.T., la nature de chaque combinaison ainsi que le nombre de points et l'entropie finale de tous les S.E.T. sont mis en évidence dans un dendrogramme. Celui-ci visualise à la fois le processus divisif de la méthode et la progression vers une indétermination de moins en moins grande de la caractéristique de la cendre considérée (présence/absence par exemple) au sein des sous-ensembles créés progressivement (Fig. 2). Le pourcentage de néguentropie indique dans quelle mesure l'indétermination a été levée. On peut ensuite calculer la contribution de chacun des facteurs du système physique au lever d'indétermination de chaque analyse. Cette contribution dépend

- i) du nombre de fois que la variable considérée a été sélectionnée;
 - ii) de sa valeur d'information mutuelle lorsqu'elle intervient;
 - iii) du nombre de sites concernés.
- Ceci permet une hiérarchisation des variables pour chaque analyse.

ANALYSES.

Au total, 18 procédures PEGASE ont été effectuées, car chaque aspect de la cendre a subi une triple analyse (Tableau II). En effet, la distance par rapport à la source des isoépaisseurs

étaient trop redondants pour être utilement intégrés à une même analyse, et tous deux tellement discriminants par rapport aux autres variables qu'ils les empêchaient d'intervenir pleinement. Distance et isoépaisseurs sont donc insérées dans des analyses séparées, et exclus dans une troisième analyse. En ce qui concerne les caractéristiques de la cendre, deux d'entre elles - épaisseur et profondeur - ont subi des analyses distinctes suivant la prise en considération ou non des points d'observation où la cendre est absente.

En résumé, la caractéristique "présence-absence" est analysée en considérant les 220 points d'observation; la caractéristique "faciès" n'a de sens que pour les 164 points d'observation où la cendre est effectivement présente; tandis que les aspects "épaisseur" et "profondeur" sont envisagés pour 220 et 164 points d'observation.

La multiplication des analyses se trouve justifiée par le fait que la procédure PEGASE, par son caractère divisif requiert normalement un nombre de points d'observation bien plus élevé que celui dont nous disposons. Or, par ce biais, les résultats des diverses analyses peuvent se confirmer mutuellement. De plus, cela permet à davantage de variables d'intervenir de manière significative alors que chacune des analyses considérée individuellement s'arrête prématurément par manque de points d'observation.

	PRES / ABS			EPAISSEUR 220			EPAISSEUR 164			PROFONDEUR 220			PROFONDEUR 164			FACIES		
	DIST	ISOP	INV	DIST	ISOP	INV	DIST	ISOP	INV	DIST	ISOP	INV	DIST	ISOP	INV	DIST	ISOP	INV
ENTR IN.	0,552			1,225			0,887			1,337			1,088			1,289		
ENTR FIN.	0,32	0,37	0,37	0,85	0,82	0,84	0,56	0,50	0,66	0,87	0,93	1,01	0,79	0,81	0,80	0,92	0,91	0,94
% NEGU.	43	34	33	31	33	32	37	44	26	37	33	27	28	26	27	29	29	27
DISTANCE	31,7*			63*			66*			22,2*			15			26,4		
	0,074			0,237			0,217			0,11			0,045			0,10		
ISOPAQUE		39*			60*			56,6*			45,3*			45,3*			24	
		0,072			0,237			0,220			0,167			0,126			0,091	
SITE GEN			6,2	6,8	6,5					10,3	8,9					12	11,8	13
			0,011	0,026	0,026					0,05	0,033					0,04	0,045	0,045
PENTE	6,14		18,6	11	14	15	13	11,3		12,6		24,8	32,1		45	17,9	17,6	19,1
	0,014		0,034	0,042	0,055	0,058	0,043	0,044		0,06		0,11	0,096		0,13	0,07	0,067	0,067
TOPOGR.	10,8	17	11,6		9,6	11,4	12	18,3		6,8	21,2	13,3	30,15	16,6	31,5	9,8	9,6	10,5
	0,025	0,032	0,021		0,038	0,044	0,039	0,071		0,03	0,078	0,06	0,09	0,046	0,09	0,04	0,036	0,036
AFFLEUR.			4,6										9*		9,5*	9,6*	9,4*	10,3*
			0,008										0,028		0,028	0,04	0,036	0,036
VEGETAT.	3,5	2,2	3,0*	10,8	6,2			5,5		14,7	6,1	15,5*		9,3		24,15	27,4	31,3
	0,08	0,04	0,054	0,041	0,025			0,021		0,07	0,022	0,07		0,026		0,09	0,104	0,109
ALTITUDE			9,1			31,5*		58,2*	4,25			8,9						
			0,017			0,122		0,134	0,02			0,04						
NAT MAT	16,3	14,2	20	8,4	3,8	23,6	9	8,4	33,9	15,3	10,7	14,5	13,7	28,8	14,2			16
	0,04	0,026	0,036	0,032	0,015	0,09	0,03	0,03	0,078	0,08	0,039	0,06	0,041	0,08	0,04			0,05
EXPOSIT.		8				18,5			7,9	13,9	7,8	23						
		0,015				0,072			0,018	0,07	0,029	0,10						

Tableau II - Résultats des analyses.

PRES / ABS = Présence/Absence de la cendre.
EPAISSEUR 220 = Epaisseur de la cendre en considérant tous les sites,
DIST Analyse avec la distance par rapport à la source (corrigée)
ISOP Analyse avec les isoépaisseurs.
INV Analyses avec les distances des isoépaisseurs supprimées.
ENTR IN Entropie initiale
ENTR FIN Entropie finale
% NEGU % de néguentropie atteint
TOPOGR. Topographie.
AFFLEUR. Affleurement de sédiments meubles.
VEGETAT. Végétation.
NAT. MAT. Nature du matériel.
EXPOSIT. Exposition

Pour chaque analyse, lorsqu'une variable est intervenue, on donne sa contribution à la néguentropie (en %) et son information mutuelle totale. Le chiffre souligné 2 fois correspond à la contribution la plus élevée, celui souligné 1 fois correspond à la contribution venant au deuxième rang, et l'astérisque à la variable intervenue au premier palier.

RESULTATS (TABLEAU II)

- A. La "présence/absence" de la cendre fait clairement ressortir l'importance de la distance par rapport à la source, des isoépaisseurs ainsi que celui de la végétation, la nature du matériel venant en troisième plan.

Le rôle de la distance est le plus net, et très logique : plus on s'éloigne de la source, plus la cendre est souvent absente. Les isoépaisseurs, même si elles paraissent plus discriminantes par leur contribution à la néguentropie, permettent seulement d'associer cendre théoriquement épaisse (Talbot et Nickel Creeks) à souvent présente, et cendre théoriquement mince (Cultus et Willisroft Creeks) à une cendre plus fréquemment absente. La nature du matériel montre une opposition marquée entre sol

organique-silt, où la cendre est pratiquement toujours présente, et sable-cailloutis où elle est souvent absente. Quant à la végétation, variable qui, dans deux analyses sur trois, contribue le plus à la néguentropie, elle permet de dégager une gradation très nette : sol dénudé - toundra herbacée - prairie à chaméphytes - toundra forestière et arbustive. Au sol dénudé correspond une cendre majoritairement absente, et à la toundra forestière une cendre quasi toujours présente. Cette gradation suggère que, plus le couvert végétal est important, mieux la cendre est conservée. Nous pensons donc que la végétation a servi de piège essentiel à la conservation et accumulation secondaire de la cendre.

Le dendrogramme (fig. 2) montre que si on veut prédire avec justesse la présence/absence de la cendre, on

devra considérer qu'à :

- Nickel Creek, seule la distance (faible) a assuré une détermination totale (néguentropie = 100 %);
- Talbot Creek une deuxième variable (la végétation) a aidé à réduire l'indétermination;
- Williscroft Creek et l'embouchure de Cultus Creek une deuxième et une troisième variable se sont ajoutés;
- l'amont de Cultus Creek un total de 5 variables ont dû intervenir.

Un nombre de plus en plus grand de conditions spécifiques sont donc requises au maintien de la cendre ou à la prédiction de sa présence dans un site lorsqu'on s'éloigne de la source.

- B. L'épaisseur de la cendre, mieux que toute caractéristique, est susceptible de montrer l'importance des isoépaisseurs et de la distance par rapport à la source. A défaut de ces deux variables, c'est l'altitude qui prend la relève. La pente et la nature du matériel jouent un rôle secondaire; et la végétation n'est ici qu'un facteur mineur.

La distance par rapport à la source met en évidence un gradient très net depuis les points les plus proches où la cendre est majoritairement épaisse, jusqu'aux zones les plus éloignées où elle est majoritairement absente. Les isoépaisseurs en revanche n'offrent pas d'interprétation directe (pas de gradation), même si l'information mutuelle de cette variable est aussi élevée que celle de la distance. Voici un aspect intéressant de l'analyse de l'épaisseur de la cendre en fonction de facteurs physiques, car on pouvait a priori penser que les isoépaisseurs seraient mieux liées à l'épaisseur réelle de la cendre que la distance. Mais l'étude de la disposition des sites sur la carte des isoépaisseurs suggère l'interprétation suivante : cette carte a été établie par extrapolations à partir d'observations le long de la grande route de l'Alaska; or, il suffirait de modifier très légèrement les limites des isoépaisseurs pour inverser l'ordre des sites et établir la même gradation qu'avec la distance par rapport à la source. L'altitude quant à elle, n'est sélectionnée dans la procédure que lorsque la distance et les isoépaisseurs sont invariants, car c'est la variable qui y est le mieux corrélée : plus on se rapproche de la source, plus l'altitude est en moyenne élevée. C'est ce qui explique la gradation qui se dégage de l'analyse : plus l'altitude est élevée, plus la proportion de points d'observation où la cendre est présente augmente. La concentration de cendre épaisse entre 4000 et 5000 pieds correspond d'ailleurs à la zone de Nickel Creek, située le plus près de la source. La pente, variable la plus explicative après la distance et les isoépaisseurs, montre un gradient très logique : à pentes faibles correspond une concentration de points ou la cendre est moyenne

à épaisse, et inversement plus la pente augmente plus la cendre devient mince (ou absente). Cette variable met en relief une évolution "post-dépôt" de la cendre : son érosion sur pentes moyennes à fortes. La nature du matériel, qui joue pleinement son rôle lorsque la distance et les isoépaisseurs sont invariants, se révèle très intéressante. De manière générale, au silt correspond une concentration de points ou la cendre est épaisse; tandis que les sables et cailloutis enregistrent une forte proportion de points à cendre absente. Nous pensons que cette variable reflète une situation de "dépôt" : le silt correspond souvent à des dépressions lacustres (Talbot Creek), où la cendre a pu s'accumuler à un rythme relativement rapide. Il constitue également un matériel dans lequel la cendre n'a pu se diffuser facilement par percolation. Le sol organique correspond à des tourbières ou zones forestières servant de piège lors du dépôt, mais sans permettre d'accumulation ultérieure; tandis que les sables et graviers ne constituent qu'un piège très médiocre au dépôt et maintien de la cendre, car la végétation n'y pousse que de façon clairsemée et que la percolation est particulièrement active dans ce matériel grossier.

- C. La "profondeur" de la cendre se révèle une caractéristique assez délicate à manier, probablement par la complexité des facteurs qui la régissent. Les différences entre analyses prenant en considération les points où la cendre est absente et celles où elle est partout présente résultent essentiellement du fait que l'absence de la cendre correspond à des facteurs différents de ceux régissant sa profondeur lorsqu'elle est présente. Les interprétations qui suivent se basent donc surtout sur les analyses à 164 sites, celles à 220 ne servant qu'à confirmer nos hypothèses, ce dans la mesure du possible.

Lorsque les isoépaisseurs sont introduites, cette variable domine largement, dégageant une opposition entre Talbot Creek (isoépaisseur élevée) et Williscroft (isoépaisseur faible). A isoépaisseur élevée correspond une cendre proche de la surface et vice-versa tandis que les sites intermédiaires sont hétérogènes. Sachant que Talbot correspond également à une altitude moyenne nettement plus élevée, on peut penser que cette zone a été moins favorable au développement d'un sol.

En l'absence des isoépaisseurs, la pente domine, suivie de la topographie. Le rôle de la topographie est limpide : dans les surfaces planes et convexes, propices au transit et à l'érosion des matériaux, la cendre se retrouve proche de la surface, tandis que les sites concaves, qui voient s'accumuler le matériel, enregistrent essentiellement une cendre profonde. Schématiquement, la pente peut se résumer à ceci : sur pentes faibles, la cendre se retrouve souvent proche de la surface, mais régulièrement en profondeur; les moyennes correspondent à une cendre proche de la surface et les pentes fortes à une cendre essentiellement profonde. Voici qui ne peut s'expliquer

que par l'action conjointe de deux processus - érosion et accumulation - qui se combinent différemment suivant la valeur de la pente, la nature du matériel et l'environnement (ex. : un replat au sommet ou en bas d'un versant n'auront pas le même rôle). La nature du matériel offre des relations peu évidentes, sauf au niveau du silt qui concentre les points à cendre profonde. Ceci confirme notre hypothèse de dépôt en milieu lacustre, permettant une accumulation tant de la cendre que des matériaux sus-jacents. Mentionnons également la coupe dans les sédiments meubles car cette variable discrimine au premier palier, donc tous les points d'observation. Sa valeur explicative est faible et sa sélection est due au fait qu'il n'y a que deux classes. En présence d'affleurement, la cendre est profondément enfouie sous les matériaux prélevés par le vent le long de la coupe, soufflés vers le haut et redéposés au sommet de celle-ci.

D. Le "faciès" de la cendre dépend essentiellement de la végétation, de la distance ou des isoépaisseurs, et de la pente; ce, même si à nouveau l'affleurement est la première variable sélectionnée. A sa présence correspond une très large majorité de points d'observation, à cendre continue, vu son rôle protecteur. La pente joue un rôle très clair : le faciès continu domine sur pentes faibles, celui en poches sur pentes moyennes, et diffus sur pentes fortes où les processus de ruissellement et de solifluxion sont les plus efficaces. La distance par rapport à la source comme les isoépaisseurs n'offrent aucune relation évidente. Seules de légères tendances de dégagent : les isoépaisseurs élevées contiennent pas de faciès discontinu, qui apparaît seulement dans les isoépaisseurs plus faibles; et plus on se rapproche de la source plus la cendre est souvent continue ou diffuse. Dans les deux cas, nous pensons qu'il y a relation immédiate avec l'épaisseur réelle de la cendre : lorsque celle-ci est épaisse, elle se présentera essentiellement sous forme continue (c'est-à-dire en place) ou diffuse (c'est-à-dire visible malgré un remaniement). La végétation quant à elle, intervient de manière différentielle selon la situation : i) sur pentes fortes, la cendre est essentiellement diffuse en toundra forestière, arbustive et prairie à chaméphytes, et continue ou en poche en toundra herbacée. ii) sur pentes moyennes, la cendre est surtout continue en toundra forestière et arbustive, parfois en poche tandis qu'en toundra herbacée elle est soit continue soit diffuse. iii) dans les fonds de vallée, toundra herbacée et prairie à chaméphytes sont hétérogènes; les toundras forestières et arbustives révèlent une cendre surtout continue, sinon en poche ou diffuse. Il est évident que ces différences de faciès correspondent à des évolutions spécifiques post-cendre du sol, celles-ci dépendent à la fois de la pente et de la végétation.

CONCLUSION.

Ces analyses mettent en relief un certain nombre d'observations précieuses à l'ensemble des chercheurs intéressés à la White River Ash.

- a. Tout d'abord, ce type d'analyse met en évidence la complexification du problème plus on s'éloigne de la source. De nombreux facteurs sont alors requis pour expliquer les différentes caractéristiques de la cendre ou pour prédire sa présence.
- b. La présence comme l'épaisseur de la cendre seraient davantage corrélés à la proximité du site par rapport à la source qu'à l'isoépaisseur auquel ce site se rattache. Nous proposons, pour remédier à ce paradoxe, une modification de la carte des isoépaisseurs. Ceci démontre l'utilité de cette recherche en regard d'une carte établie par extrapolations.
- c. La végétation se révèle un meilleur indice encore que la distance pour celui qui recherche la cendre. Celle-ci a en effet servi de piège efficace à son dépôt et maintien.
- d. La pente est un indice majeur dans l'ensemble des analyses, car elle va déterminer l'érosion et/ou l'accumulation de la cendre (déterminant ainsi son épaisseur) comme des matériaux sus-jacents (régissant sa profondeur).
- e. La nature des matériaux joue également un rôle essentiel : les sables et graviers se révèlent nettement moins riches en cendre que les silts et sols organiques, ceci résultant de deux facteurs : la porosité et relative stérilité de ces sols ainsi que leur situation générale (sable associé schématiquement à till et silt à dépôt lacustre).
- f. La topographie, qui intervient dans toutes les analyses, régit surtout la profondeur de la cendre, les sites concaves facilitant l'accumulation, les sites convexes l'érosion. A site concave nous pourrions associer cendre épaisse, profonde, à faciès continu; à site convexe une cendre absente ou mince, proche de la surface, en poche.

Il est essentiel de réaliser que ces conclusions sont indissolublement liées au type de traitement réalisé. Le processus divisif, sélectionnant indépendamment à chaque palier la variable la plus discriminante, permet à la fois d'effectuer un tri dans les variables et de les faire intervenir chaque fois mais uniquement lorsqu'elles sont dans des conditions optimales. Seul ce type divisif d'analyse permet d'ailleurs d'obtenir qu'une variable non sélectionnée en premier lieu (c'est-à-dire pour l'ensemble des sites) ne soit pas celle qui contribue le plus à l'explication.

ANALYSES POLLINIQUES DE PART ET D'AUTRE DE LA COUCHE DE CENDRE VOLCANIQUE.

L'étude de l'impact de la cendre volcanique sur la végétation peut être abordée par l'analyse pollinique. Cependant, le profil palynologique d'Antifreeze Pond (RAMPTON 1971) ne montre pas de perturbations au niveau de la cendre et après celui-ci. Certains auteurs comme BRYSON et WENDLAND (1967) considèrent que l'analyse pollinique n'est souvent pas suffisamment sensible pour détecter des modifications trop brèves du couvert végétal. En fait, la finesse de reconstitution de l'évolution du peuplement végétal dépend essentiellement de la vitesse de sédimentation du dépôt étudié ainsi que de la sensibilité du site, et non de l'analyse pollinique elle-même. Un premier indice d'impact de la White River Ash a déjà été perçu par BOURGEOIS (1982) et BOURGEOIS et GEURTS (1983) dans le diagramme Grizzly-Duke des Montagnes St-Elie. Par conséquent, l'étude systématique du contenu pollinique de sédiments prélevés de part et d'autre de la cendre peut contribuer à éclaircir le problème.

L'étude s'est faite sur 84 échantillons répartis sur 41 profils de sols et prélevés de part et d'autre du niveau de cendre. En deux endroits d'échantillonnage, nous avons pris le niveau de la cendre elle-même, ce qui donne les triplets (W.R. 25-26-27 et W.R. 42-43-44). Le sol gelé a empêché le prélèvement du matériel sous la cendre dans un autre endroit. Là, les échantillons ont été pris dans le niveau de cendre et dans l'horizon supérieur à la cendre (W.R. 65-66).

Les sites d'échantillonnage correspondent généralement à des versants qui portent actuellement soit une forêt, une toundra forestière, une toundra arbustive, une prairie alpine, une lisière forestière (limite altitudinale) ou encore une zone de krummholz. Il y a toujours une forêt ou du moins une toundra forestière au pied du versant. Aucun changement climatique n'est survenu en même temps que le saupoudrage des cendres du lobe Est (BOURGEOIS, 1982 et BOURGEOIS et GEURTS, 1983). Cependant, une fluctuation climatique précède l'évènement d'environ 140 ans. Les spectres polliniques de l'époque du saupoudrage sont assez semblables aux spectres contemporains de surface. Par conséquent, nous présumons que la physionomie et les étages de la végétation ainsi que le climat vers 1250 BP étaient comparables à ce qu'on observe actuellement. Les spectres polliniques obtenus pour cette étude sont présentés en fréquences relatives par rapport au total des AP et NAP (fig. 3-4-5-6-7-8). Pour chacun des doublets ou triplets d'échantillons, le plus petit numéro indique l'horizon supérieur à la cendre.

Toundra herbacée (fig. 3)

Dix couples d'échantillons ont été prélevés dans les pelouses alpines, sur des versants exposés au Sud dans la vallée de Cultus Creek (1 et 2), sur des versants exposés au Nord dans la vallée de Nickel Creek (4), et le long du

versant du Lac Kluane près de Williscroft Creek (3) (cfr diagramme simplifié, fig. 3).

Dans neuf sites, on constate une augmentation du pourcentage total des arbres et des arbustes au-dessus du niveau des cendres, due essentiellement à la croissance des fréquences de *Picea*, accompagnée parfois d'une montée des fréquences d'*Alnus*, de *Betula* ou de *Salix*. La plupart des sites accusent une réduction marquée des ptéridophytes et de *Sphagnum*. Par contre, les autres herbes ne montrent pas de tendances nettes, sauf les Cypéracées qui augmentent presque toujours.

Dans la prairie alpine on assiste donc à la réduction des pourcentages polliniques des plantes herbacées. La couverture de cendre semble avoir étouffé temporairement la prairie alpine et ainsi diminué ses capacités de sporogénèse et de pollination. Ce sont apparemment les ptéridophytes qui ont le plus souffert du saupoudrage des cendres, et les Cypéracées qui les premières ont régénéré la pelouse alpine. Les arbres et les arbustes des étages inférieurs, non ensevelis sous la cendre, n'ont pas arrêté leur production pollinique et par conséquent leurs pollens encombrant les spectres de la toundra herbacée.

L'échantillon WR 53 voit une augmentation de *Picea* accompagné des Cypéracées et une réduction de *Botrychium*. Le total des arbres diminue cependant car on compte moins de Pinacées déchirées (indicateurs de sol remanié). Les échantillons WR 65 et 66 apportent une information pertinente puisqu'ils ont été prélevés au-dessus et dans la cendre. Le spectre de la cendre est totalement dominé par les pollens de *Picea* tandis qu'au-dessus de la cendre l'augmentation des fréquences des arbustes et des Cypéracées indiquent le rétablissement de la production pollinique de l'étage arbustif et des Cypéracées dans les pelouses alpines, ce qui provoque une chute de la surreprésentation pollinique de *Picea*.

On peut donc conclure que la prairie alpine a souffert de l'impact de la cendre volcanique si l'épaisseur de celle-ci est encore actuellement comprise entre 2 et 5 cm au moins.

Krummholz (fig. 4)

Deux zones de krummholz ont été examinées, l'une à Cultus Creek (site 1) et l'autre à Williscroft Creek (site 2). Sur le versant de Cultus Creek, les krummholz existent jusqu'à proximité de la limite altitudinale des arbustes. Sur le versant de la chaîne Kluane, les krummholz se trouvent dans la toundra arbustive et à proximité de la toundra forestière.

Les deux couples d'échantillons montrent la même évolution que celle de la toundra herbacée, car on constate au-dessus de la cendre une réduction des pourcentages de *Botrychium* (ptéridophytes) au profit d'une augmentation des fréquences de *Picea* ou des arbustes. Le versant de Cultus Creek voit une augmentation des fréquences de *Betula* et l'augmentation des Cypéracées comme dans la plupart des sites de la toundra herbacée. On remarque également que le pourcentage des Cypéracées au-dessus de la

Toundra Herbacée

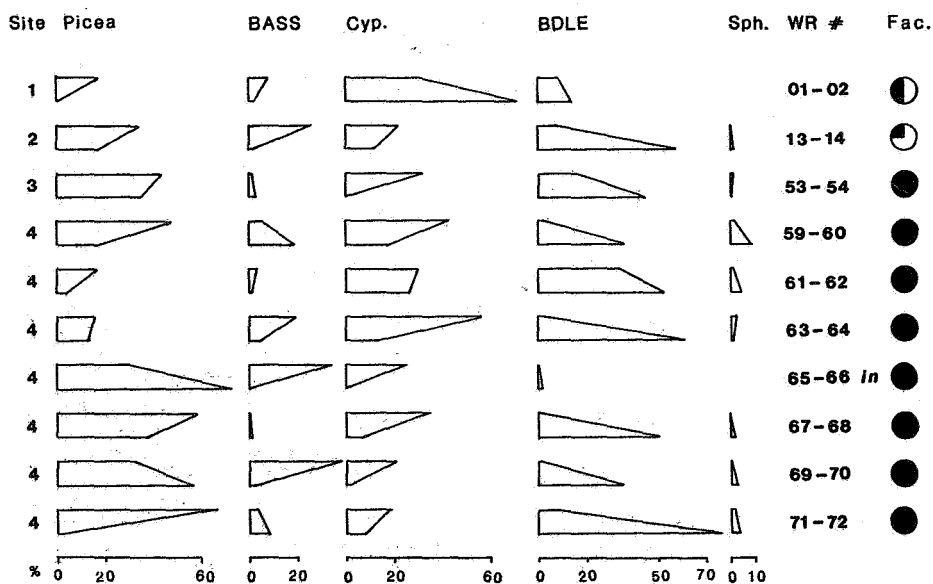


Fig. 3 - Diagramme pollinique simplifié des échantillons prélevés de part et d'autre du niveau de la cendre, dans les sites de toundra herbacée. De gauche à droite, les diagrammes des figures 3 à 8 indiquent :

- site : numéro de site
- Picea : % de Picea
- BASSMJ : fréquences relatives cumulées des arbustes (B=Betula, A=Alnus, S=Salix, 2e S = Shepherdia, M=Myrica, J=Juniperus)
- BDLE : fréquences cumulées des ptéridophytes (B=Botrychium, D=Dryopteris, L=Lycopodium, E=Equisetum)
- Sph : Sphagnum
- WR # : numéro de l'échantillon de la série WR : le plus petit numéro indique l'échantillon prélevé au-dessus de la cendre et représenté à la partie supérieure du doublet ou du triplet.
- Fac : Faciès de la cendre : continu=rond noir; discontinu=3/4 noir, en poche=1/2 noir et diffus=1/4 noir.

Krummholz

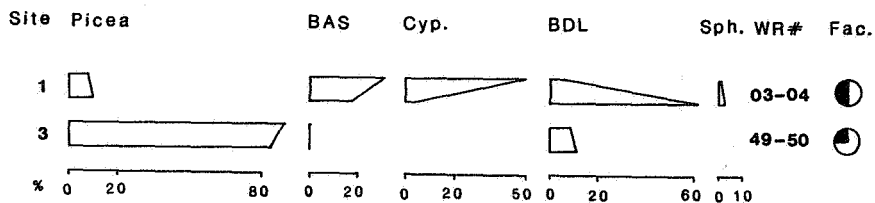


Fig. 4 - Diagramme pollinique simplifié des échantillons des zones de Krummholz.

Toundra Forestière

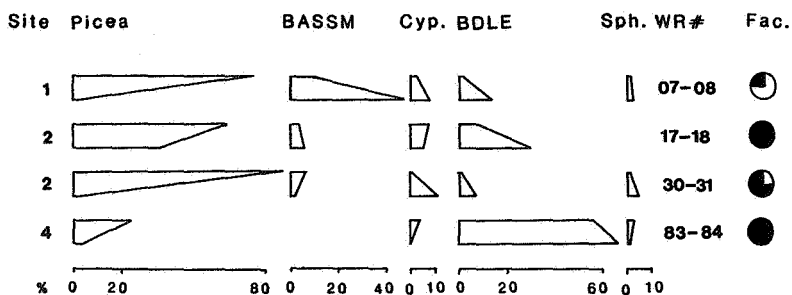


Fig. 5 - Diagramme pollinique simplifié des échantillons de la toundra forestière.

cedre est équivalent à celui obtenu dans la pelouse alpine du même versant. Cependant, comparativement au site de pelouse alpine actuelle, la zone de krummholz a moins subi la surreprésentation de *Picea*. Ceci s'explique par la présence de *Betula*, un producteur compétitif.

Toundra forestière (fig. 5)

Nous avons prélevé des échantillons dans la toundra forestière, sur trois versants de Cultus Creek (1 et 2) et dans la vallée d'Arch Creek (ruisseau qui s'écoule vers l'Ouest près de Nickel Creek). Tous les sites montrent une extension marquée des fréquences de *Picea* au-dessus de la cendre et une réduction très nette des ptéridophytes. On retrouve donc une évolution comparable à celle de la toundra herbacée. Cependant, les Cypéracées, actuellement peu fréquentes dans cet étage, ont un comportement variable suivant les sites. On constate de plus un parallélisme d'évolution entre toundra forestière et toundra herbacée sur le versant de Cultus Creek (1 et 2).

Bordure forestière ou limite altitudinale de la forêt (fig. 6)

Les spectres proviennent du versant de Cultus Creek (1), du versant situé au Nord-Ouest de Williscroft Creek (3) et du versant Sud de Nickel Creek (4). Sur ce dernier, où la couche de cendre est épaisse, on constate une évolution comparable à celle de la toundra herbacée, c'est-à-dire une augmentation des fréquences de *Picea* et des Cypéracées accompagnée d'une réduction des ptéridophytes et de *Sphagnum*.

A Cultus Creek, l'endroit échantillonné correspond actuellement à la bordure supérieure d'une peupleraie. Les spectres de part et d'autre d'une cendre en poche peu épaisse (moins de 2 cm) ne montrent aucun arbuste. Les herbes y sont abondantes et leurs fréquences augmentent au-dessus de la cendre tandis que *Picea* décroît. Il semble que cette évolution soit totalement indépendante du dépôt des cendres. Il n'est pas rare de trouver des traces d'incendies dans les peupleraies, et une réduction drastique des fréquences de *Picea* peut s'expliquer par un feu, même si on n'en a aucune preuve dans ce site précis. A proximité de Williscroft Creek, la cendre en poche ne semble avoir eu aucun effet sur la strate herbacée puisque les pourcentages des herbes augmentent. Les spectres WR 47 et 48, où *Picea* est quasi absent, nous semblent aberrants, et les échantillons devront être réexaminés. Le spectre WR 51, qui montre une extension des herbes et une réduction de *Picea*, confirme l'aspect étrange de l'évolution de cet environnement. La cendre n'y apparaît qu'en poche également et la strate herbacée ne semble pas avoir été affectée. Un apport par ruissellement de sédiments contenant des pollens de l'étage arbustif peut être envisagé, comme pour la diagramme Grizzly Duke (BOURGOIS 1982, BOURGOIS et GEURTS, 1983), mais ceci impliquerait que dans ces sites-ci la toundra devait être riche en Cypéracées, ce qui devrait être vérifié.

Forêt (fig. 7)

Nous possédons les analyses palynologiques de 7 points d'observation situées en zone forestière, dont 5 dans la vallée de Cultus Creek. Les tendances ne sont pas nettes, car on constate des variations en sens inverse pour tous les taxons. Les épaisseurs de cendre sont aussi très variables.

Le premier coupe, WR 11 et 12 montre des spectres riches en *Picea*, mais sa fréquence diminue au-dessus du niveau des cendres tandis que les Cypéracées et *Epilobium* s'étendent. Le site est en dépression, ce qui a permis l'accumulation de 13 cm de cendre. Mais cette épaisseur est due à un remaniement car la cendre est diffuse dans un silt à la partie supérieure de cet horizon. Ce profil appartient au même versant que celui des échantillons WR 9-10, et on y retrouve la même évolution pour les fréquences de *Picea* et des Cypéracées. Nous pensons à nouveau que la chute des pollens de *Picea* serait due à un incendie, même si on ne retrouve pas de charbon de bois dans le profil. Sur le versant opposé les traces d'incendie sont bien visibles. Le couple d'échantillons WR 23-24 est significatif à cet égard. Ils ont été prélevés sur un versant de la zone 2 (fig. 1), où la cendre est diffuse et où les charbons de bois sont abondants dans la coupe. Les spectres montrent une chute drastique de *Picea*. Les plantes herbacées se régèrent plus vite et croissent rapidement après l'incendie. Cependant, cet incendie n'a pas ravagé le versant de façon uniforme, car dans le couple WR 38-39 *Picea*, les graminées et les Cypéracées s'étendent tandis que les pourcentages des arbustes régressent, et dans le couple WR 38-39 *Picea* est stable.

La cendre est diffuse ou en poche dans les 4 profils de sol et ne semble pas avoir affecté la végétation. Ces faciès indiquent un remaniement sur ce versant en pente moyenne ($\approx 10^\circ$).

Sur le versant Sud-Ouest de Williscroft Creek, la cendre épaisse de 2 cm a apparemment été favorable à *Sherpherdia*, mais ceci devrait être vérifié car la réaction de cette espèce est très variable dans les divers sites. Enfin, dans la vallée d'Arch Creek (zone 4), malgré une couche de cendre épaisse, le spectre pollinique de la forêt ne s'est guère modifié.

Toundra arbustive (fig. 8)

Dans l'ensemble, la toundra arbustive semble réagir comme la pelouse alpine au dépôt des cendres. Ces spectres montrent une augmentation des fréquences de *Picea* et/ou des arbustes, accompagnée d'une réduction des ptéridophytes. Ceci est apparent dans les séries d'échantillons WR 5-6, WR 25-26-27, WR 28-29, WR 32-33, WR 34-35, WR 57-58, WR 75-76. Par contre, il n'est pas aisé d'identifier l'influence de la cendre ou d'un incendie sur un des versants du site 2 (WR 19-20, WR 21-22) où on voit une chute des Ericacées et un comportement variable des fougères. Il en est de même pour le triplet WR 25-26-27, où *Epilobium* s'étend dans le niveau de cendres.

Bordure Forestière

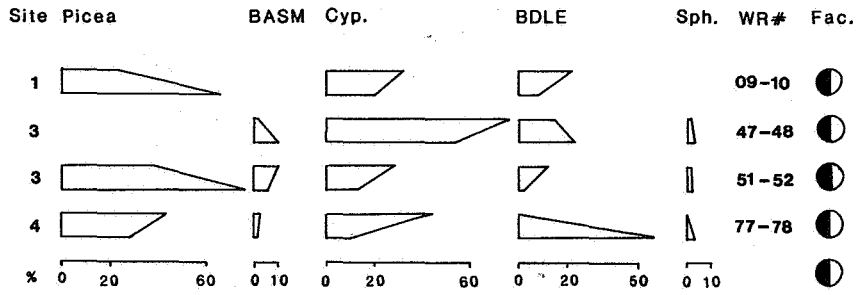


Fig. 6 - Diagramme pollinique simplifié des échantillons de la bordure forestière.

Forêt

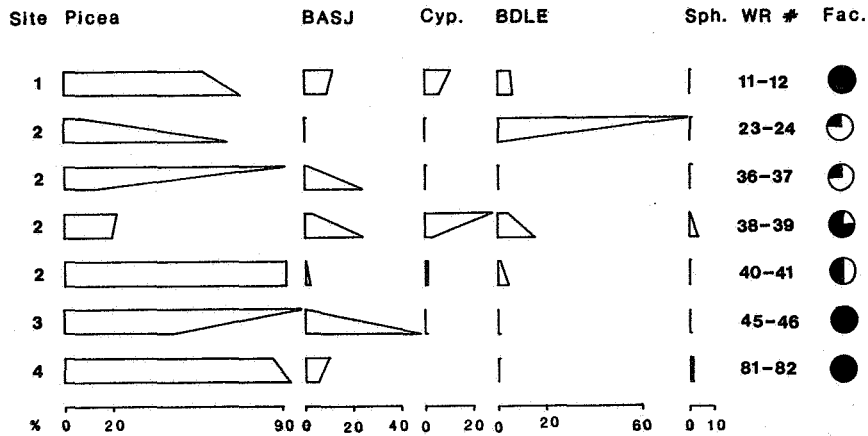


Fig. 7 - Diagramme pollinique simplifié des échantillons des sites forestiers.

Toundra Arbustive

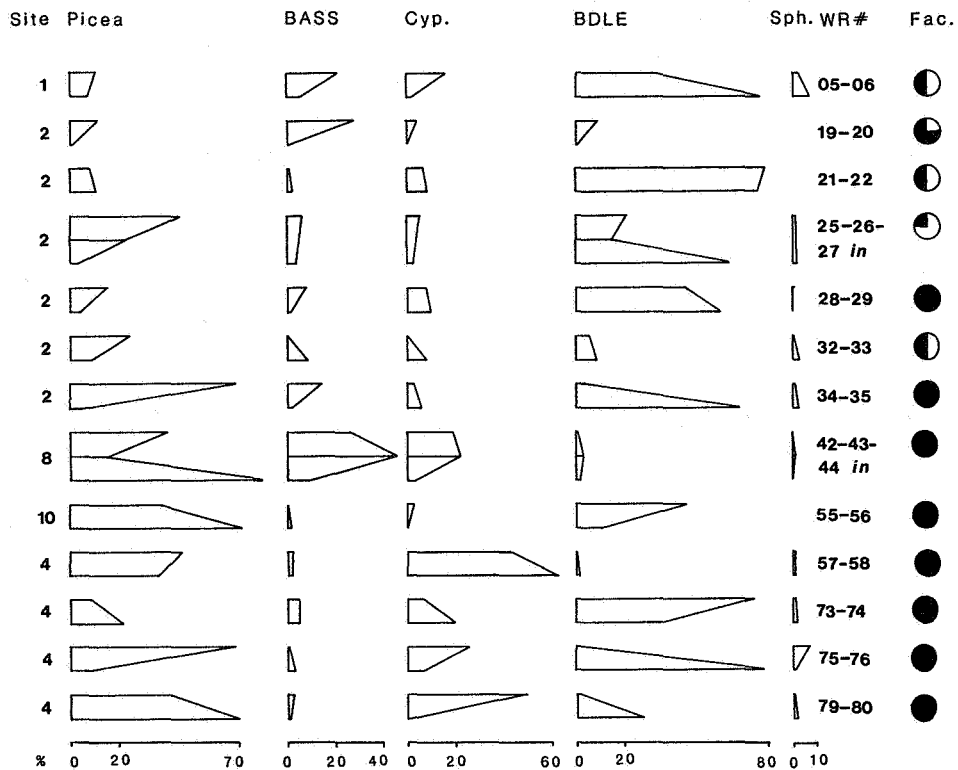


Fig. 8 - Diagramme pollinique simplifié des échantillons de la toundra arbustive.

Les spectres WR 42-44 et 79-80 voient une extension importante des Cypéracées, qui traduirait surtout une augmentation de l'humidité locale dans la dépression entre les deux moraines près de Bear Lake (WR 42 à 44, zone 8 sur le fig. 1), et sur le replat d'Arch Creek. Enfin les spectres de Sheep Mountain (WR 55-56, zone 10 sur la fig. 1) et de Nickel Creek (WR 75-76) voient augmenter les fréquences des fougères, ce qui nous semble résulter d'un apport par ruissellement en provenance des sols situés plus haut.

CONCLUSION.

La conclusion de cette étude palynologique est brève et simple : le dépôt de la White River Ash a eu un impact certain sur la pelouse alpine, et en particulier sur les fougères et les mousses. Les Cypéracées ont été les premières plantes à régénérer cette pelouse.

La toundra arbustive, les zones de Krummholz actuels et, à Nickel Creek les sites de toundra forestière, réagissent de façon comparable car il y a sur-représentation des pollens de *Picea* par altération de la sporogénèse et de la pollination des plantes herbacées.

Les sites des versants de Cultus Creek présentent cependant une réponse à un autre événement grave, un incendie, qui a modifié la couverture végétale de façon non uniforme. Tantôt c'est la forêt elle-même qui a subi l'incendie, tantôt c'est la strate arbustive de la toundra forestière ou de la forêt. En dehors de ces zones d'incendie, la forêt ne semble pas avoir subi l'impact du saupoudrage des cendres volcaniques, du moins dans les secteurs que nous avons étudiés.

SYNTHESE.

Cette étude révèle que dans les zones marginales, les sites favorables au dépôt et au maintien de la White River Ash se situent essentiellement dans les dépressions antérieures à la cendre où le couvert végétal est présent. Par conséquent, c'est dans ces topographies souvent associées à d'anciennes cuvettes lacustres de dimensions diverses où s'accumulent les silts (kettles, dépressions barrées par des moraines, ...) que l'on découvrira les sections où les cendres sont les plus profondes et les plus épaisses. C'est également dans ces sites que l'on découvrira les séquences post-cendres les plus complètes, pertinentes pour l'analyse palyno-stratigraphique du dernier millénaire. Il ne faut cependant pas oublier que l'épaisseur accrue des cendres dans ces sites n'est pas nécessairement due au dépôt initial, mais qu'elle résulte partiellement du remaniement des surfaces avoisinantes; on en tiendra donc compte dans l'interprétation palynologique.

Les analyses polliniques ont montré que la cendre a eu un impact sur la végétation, qui se traduit essentiellement par une surreprésentation des pollens de *Picea* et/ou des arbustes, surtout dans la toundra herbacée, qu'il ne faut pas confondre avec l'incidence d'une

fluctuation climatique.

Enfin, les résultats indiquent clairement que plus on se rapproche du Mont Bona, plus s'élève le nombre de types de communautés végétales qui ont été temporairement perturbées par cet événement.

REMERCIEMENTS.

La cueillette des données de cette étude a été réalisée grâce aux subventions du Conseil National en Sciences Naturelles et en Génie du Canada, et à une bourse de la Royal Canadian Geographical Society.

Nous remercions vivement les étudiants qui ont collaboré à ce travail sur le terrain et/ou au laboratoire : Michel DESJARDINS, Hector BEAUDET, Ian CAMPBELL, Shelley SHAPMAN et Pietro de BIASTIANI.

BIBLIOGRAPHIE.

- ATLAN, H. (1979) - Entre le cristal et la fumée : essai sur l'organisation du vivant. *Seuil, Paris, 288 p.*
- BIRKS, H. J. B. (1980) - Modern Pollen Assemblages and Vegetational History of the Moraines of the Klutlan Glacier and its surroundings, Yukon Territory, Canada. *Quat. Res. 14, 101-129.*
- BOSTOCK, H. S. (1952) - Geology of Northwest Shakhwack Valley, Yukon Territory. *Geol. Survey Canada, Mem. 267.*
- BOURGEOIS, J. (1982) - Etude palynologique dans la vallée du Grizzly Creek (Yukon). *Thèse de Maîtrise, Université d'Ottawa, 84 p.*
- BOURGEOIS, J. et M.-A. GEURTS (1983) - Palynologie et morphogénèse récent dans le bassin du Grizzly Creek (Yukon). *Journ. Can. Sc. Terre, 20, 1543-1553.*
- BRYSON, R. A. and W. M. WENDLAND (1967) - Tentative Climatic Patterns for some Late-Glacial and Post-Glacial Episodes in Central North America. in : *Life, Land and Water, William J. Mayer, Oakes Editor, Winnipeg, University of Manitoba Press, 271-298.*
- CAPPS, S. R. (1915) - An ancient eruption in the Upper Yukon Basin. *U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 95-D, 59-64.*
- DAWSON, G. W. (1889) - Report on an exploration in the Yukon District N.W.T. and adjacent northern portion of British Columbia, 1887. *Geol. Surv. Canada, Ann. Rept. 1887-88, Pt. 1, Rept. B.*
- DEWEZ, V. (1983) - Analyse systématique de la distribution des buttes cryogènes et tourbières au Nouveau-Québec. *Séminaire de doctorat, Université d'Ottawa.*
- LERBEKMO, J. F., J. A. WESTGATE, D. G. W. SMITH and G. H. DENTON (1975) - New data on the character and history of the White River Ash volcanic eruption, Alaska. in : *Quaternary Studies. Selected papers from IX INQUA Congress, Christchurch, New Zealand, 2-10 December 1973. Edited by R.P. Suggate and M. M. Cresswell. The Royal Society of New Zealand, Wellington, 1975, 203-209.*

- Mc GHEE, R. (1983) - Our Vesuvius. *Canadian Heritage, August-September 1983*, 6-8 et 138.
- MARGALEF, R. (1958) - Information Theory in Ecology. *Gener. Syst.*, 3, 36-71.
- PHIPPS, M. (1981) - Entropy and Community Pattern Analysis. *J. Theor. Biol.*, 93, 253-273.
- PIELOU, E. C. (1966) - The measurement of Diversity in Different Types of Biological Collections. *J. Theor. Biol.* 131-144.
- RAMPTON, V. N. (1971) - Late Quaternary vegetational and climatic history of the Snag-Klutlan Area, Southwestern Yukon Territory, Canada. *Geol. Soc. Am. Bull.* 82, 959-978.
- SCHWAIKA, F. (1885) - Along Alaska's Great River. *Cassel and Co. New York.*
- WORKMAN, B. W. (1978) - Prehistory of the Aishihik Kluane Area, Southwest Yukon Territory. *Commission Archéologique du Canada, Dossier 74 Volume Commémoratif de Diamond Jenness, Musées nationaux du Canada, Ottawa.*

Ciments d'Obourg s.a.

Ciments Portland à la pouzzolane PPz30

Ciments Portland P 40, P 50.

Ciments de haut fourneau HL 30, HK 40.

Concassés calcaires secs et lavés de tous calibres.

Sables spéciaux pour constructions.

Sables de concassage et fillers pour routes.

Mélanges spéciaux pour fondations de routes (graves laitier
(graves chlorure

Chaux hydraulique artificielle.

Administration centrale et direction générale

7048 OBOURG