

Etude dendroécologique des épicéas nains. Etude de cas dans la combe de Dreveneuse (Valais, Suisse)

Claire-Anne Dvorak¹
Christophe Lambiel¹
Markus Stoffel^{2,3}

¹ Institut de géographie
Université de Lausanne
Anthropole
CH - 1015 Lausanne

² Institut für Geologie
Universität Bern

³ Institut des Sciences de l'Environnement
Université de Genève

E-mails :
christophe.lambiel@unil.ch
markus.stoffel@dendrolab.ch

In Lambiel C., Reynard E. et Scapoza C. (Eds) (2011). *La géomorphologie alpine: entre patrimoine et contrainte. Actes du colloque de la Société Suisse de Géomorphologie*, 3-5 septembre 2009, Olivone (Géovisions n° 36). Institut de géographie, Université de Lausanne.

Résumé

Les circulations d'air dans les dépôts sédimentaires poreux ont un impact important sur la végétation avoisinante. Le nanisme des arbres s'y développant est un indicateur de conditions de croissance difficiles. La dendroécologie, qui permet d'étudier les variations des conditions de croissance des arbres au cours du temps, a été utilisée sur des épicéas nains se développant au pied d'un éboulis froid et sur le front d'un glacier rocheux fossile dans la combe de Dreveneuse (Valais). Si la corrélation entre les courbes de croissance des épicéas nains et celles d'épicéas de taille normale a été difficile à établir, les comparaisons avec des données météorologiques montrent qu'une diminution de la croissance des cernes s'est opérée depuis les années 1990, alors que les températures atmosphériques ont augmenté.

1. Introduction

La moyenne montagne présente une grande variété de milieux naturels. L'altitude, le climat, la topographie, la diversité des formes du relief et de la géologie conditionnent, par leurs particularités, autant de milieux différents pour la végétation. C'est par exemple le cas pour les portions aval de formations sédimentaires poreuses, sur-refroidies par des circulations d'air internes au dépôt. Ces phénomènes ont été observés à l'étage forestier depuis de nombreuses années (voir par ex. Wakonigg, 1996; Ruzicka, 1999; Sawada et al., 2003; Delaloye, 2004; Lambiel, 2006, Morard et al., 2010).

Les circulations d'air dans les dépôts sédimentaires poreux sont initiées par la différence de température entre l'air ambiant et l'intérieur du dépôt (Delaloye et al., 2003). En hiver, l'air plus chaud, et donc moins dense, contenu dans l'éboulis est évacué par la partie supérieure de la pente. Pour combler la dépression ainsi créée, de l'air froid est aspiré dans la partie inférieure de la pente. En été, le mécanisme inverse se met en place. L'éboulis étant plus froid que l'air ambiant, l'air interne, lourd et dense, s'écoule par gravité vers le pied de la pente. Au final, une anomalie thermique négative de plusieurs degrés peut être mesurée dans la partie aval de l'éboulis. Les conditions de vie difficiles qui en résultent se traduisent par le nanisme de la couche arbustive (épicéas, pins à crochet, bouleaux, etc.) et la présence d'une végétation hygrophile parsemée d'espèces alpines est la conséquence de conditions de vie difficiles (sol trop sec ou/et trop froid).

L'étude présentée ici a cherché à (1) analyser l'évolution des cernes de croissance d'épicéas nains localisés dans des secteurs froids de deux formations sédimentaires et à (2) mettre en évidence par le biais de l'étude de la croissance des cernes d'éventuelles modifications de la ventilation interne au cours des dernières décennies. La méthode utilisée pour ce travail est la dendroécologie, qui étudie les relations entre la largeur des cernes des arbres et les phénomènes environnementaux. Les études déjà réalisées par Bertinelli et al. (1993) et Schudel (2002) n'ont pas abouti à des conclusions définitives. Ce travail a donc tenté une approche différente de la dendroécologie (principalement dans l'échantillonnage), en utilisant d'autres techniques d'analyse (comparaison avec des données dendroécologiques de référence, des données climatiques ou encore leur situation orographique).

2. Site d'étude

Le site d'étude se trouve dans la combe de Dreveneuse, au nord-ouest de Monthey (VS) (Fig. 1). Perchée au-dessus de la vallée du Rhône à des altitudes comprises entre 1'300 à 1'850 m, la combe est ceinturée de parois calcaires qui dominent de vastes tabliers d'éboulis. Ces éboulis sont prolongés localement par des glaciers rocheux fossiles. Des épicéas de petite taille occupent la partie inférieure de plusieurs éboulis. On en observe également ça et là sur les glaciers rocheux fossiles. La partie basse de la combe est couverte d'une forêt d'épicéas plus ou moins dense et de quelques zones de clairières, alors que la partie haute n'est que peu densément boisée. On y observe des épicéas, des mélèzes et des pins à crochets.

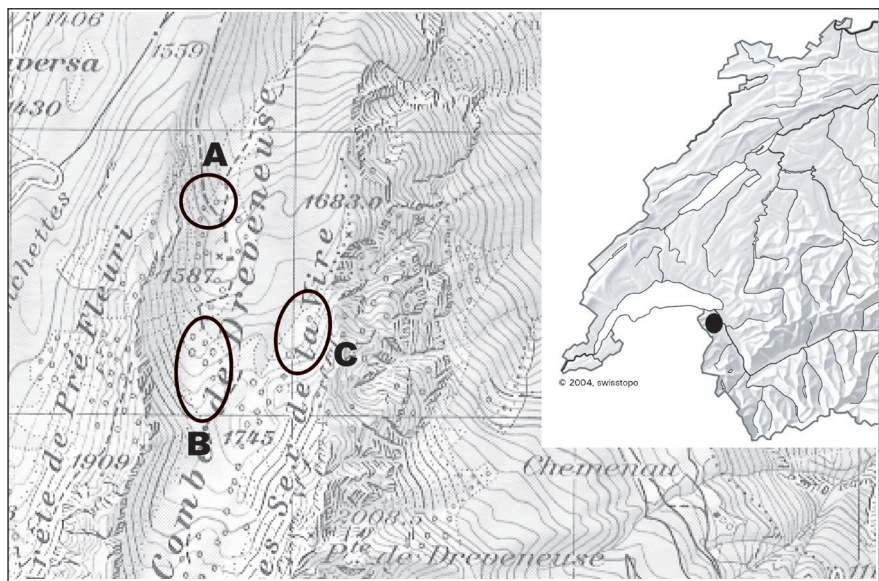


Fig. 1 : Situation de la zone d'étude. A : site d'étude permanent (cf. Delaloye, 2004; Lambiel, 2006), B : glacier rocheux fossile (Dorthe et Morard, 2007), C : zone d'échantillonnage des épicéas nains en pied de pente d'éboulis. Reproduit avec l'autorisation de swisstopo (BA100730).

Plusieurs investigations ont été menées en rive gauche de la combe de Dreveneuse depuis 2004 (Delaloye, 2004; Lambiel, 2006; Dorthe et Morard, 2007; Morard et al., 2010). Actuellement, le suivi du régime thermique de surface et dans 2 forages situés dans les portions médianes et aval de la pente ainsi que le monitoring électrique du terrain sont en cours sur l'éboulis de «Dreveneuse d'en bas» (site A, Fig. 1, voir Morard et al., 2010). L'éboulis de «Dreveneuse d'en haut» et le glacier rocheux fossile qui le prolonge (site B, Fig. 1) ont été étudiés par Dorthe et Morard (2007), qui y ont notamment effectué des mesures thermiques de surface (mesures BTS) et des mesures géoélectriques. Un suivi du régime thermique de surface du site y est effectué. Les différentes études menées sur les 2 sites mettent clairement évidence le phénomène de ventilation interne aux accumulations sédimentaires.

Deux sites ont été choisis pour l'étude présentée ici. Le premier se situe sur le front du glacier rocheux fossile étudié par Dorthe et Morard (2007) (site B). Le front du glacier rocheux est bien marqué dans sa partie sommitale, mais difficile à délimiter de manière précise à sa base (à environ 1'620 m). Ce glacier rocheux est entièrement végétalisé par des espèces de la strate herbacée à arborée. Des épicéas nains sont présents sur la partie supérieure du front du glacier rocheux, ainsi que dans la partie aval de l'éboulis qui le domine. Le deuxième site est un éboulis de la rive droite de la combe (site C). Orienté à l'ouest, cet éboulis est compris entre des altitudes de 1'660 et 1'740 m. La partie inférieure de la pente est colonisée par une couverture végétale peu diversifiée et caractéristique de conditions de croissance difficiles, avec des épicéas nains et quelques mélèzes disposés de manière plus ou moins dense. La couverture pédologique y est peu épaisse et laisse apparaître des blocs de taille décimétrique et quelques-uns de taille métrique. Des trous soufleurs sont présents en tous points de la partie basse de l'éboulis, souvent au pied de gros blocs.

3. Méthodologie

La méthode principale utilisée pour ce travail est la dendroécologie, qui étudie l'impact des conditions environnementales locales sur la croissance des arbres, au travers de l'évolution de la largeur des cernes. Les cernes sont l'expression visible du cycle de croissance annuel des végétaux ligneux et ne peuvent se former que dans des zones climatiques à saisons clairement différenciées. Cette méthode peut être appliquée dans de nombreux domaines comme les études climatiques ou historiques.

Toutes les particularités que l'on peut observer dans les échantillons à analyser sont des indicateurs de perturbations ou, au contraire, d'amélioration des conditions de développement pour l'arbre. Parmi les indicateurs de contraintes, les plus importantes pour ce travail sont:

- l'augmentation ou la diminution abrupte de la croissance. Traduite par des cernes larges, l'augmentation de la croissance est un signe d'une amélioration notable des conditions environnementales de l'arbre (climat plus favorable, meilleur drainage du terrain, élimination d'arbres voisins, etc.). Au contraire, une diminution abrupte de croissance (cernes étroits) est le signe d'une perturbation majeure et durable pour l'arbre (Stoffel et Bollschweiler, 2008, 2009) ;
- le bois de compression. Celui-ci se forme sur les conifères lorsque l'arbre est déstabilisé (par ex. par un glissement de terrain). Pour retrouver sa verticalité, l'arbre doit produire plus de cellules sur le côté opposé au facteur stressant, c'est-à-dire du côté aval pour les processus liés à la pente. Les cellules du bois de compression sont généralement rondes et leur paroi est plus épaisse. De plus, du fait du stress imposé à l'arbre, la division cellulaire y est plus rapide. Tout ceci induit des cernes plus larges du côté incliné (Schweingruber, 1996) ;
- les cernes incomplets. Il arrive que certaines années un cerne ne se développe pas sur tout le pourtour du tronc. Ceci est lié à des conditions envi-

ronnementales particulièrement difficiles pour l'arbre, comme des températures très froides durant la période de croissance.

L'échantillonnage et la mesure des cernes peuvent être effectués sur quatre faces différentes de l'arbre en fonction des informations recherchées (Fig. 2) :

- la face C correspond à la face amont de l'arbre, soit celle qui est directement exposée aux perturbations liées à des processus géomorphologiques ;
- la face D est située à l'opposé, du côté aval, là où se manifestent certaines réactions de l'arbre suite à une perturbation ;
- les faces A et B correspondent aux faces latérales. Ces deux prélèvements permettent, normalement, de s'affranchir des effets de la perturbation géomorphologique éventuelle précitée. Ils peuvent être utilisés pour montrer les conditions de croissance générales (climat, modifications dans l'environnement direct, etc.).

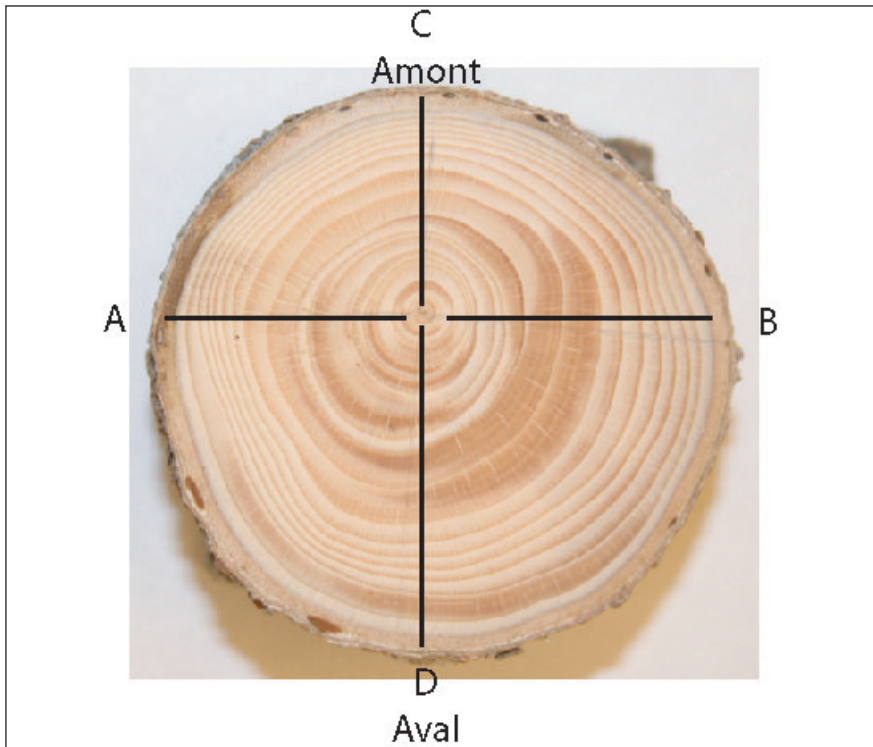


Fig. 2 : Situation des différentes directions où les échantillons peuvent être prélevés (d'après Stoffel, 2005).

Pour cette étude, deux types d'arbres ont été analysés. Des épicéas de taille « normale », situés dans la forêt climacique, ont servi à créer une courbe de référence locale qui représente la croissance normale de l'espèce sur le site d'étude. Les échantillons, prélevés à la tarière, mesurent 5 mm de diamètre. Cette technique a l'avantage de préserver l'arbre.

Les autres arbres échantillonnés sont des épicéas nains situés dans les zones froides. Dans ce cas, les épicéas ont été sciés à leur base et les analyses réalisées sur des disques de section. Les échantillons ont été prélevés sur quinze épicéas nains, cinq du site B et dix du site C. Sur chacun des arbres, quatre rondelles ont été découpées à un intervalle de 30 cm environ, en fonction de la disposition des branches ou de la présence éventuelle de blessures. La première rondelle a toujours été prise au niveau du sol.

Une fois prélevés, les échantillons ont été collés sur des supports, les cellules disposées verticalement, puis poncés afin d'obtenir une meilleure lisibilité. Les cernes ont ensuite été comptés, de l'extérieur vers l'intérieur de l'arbre. Puis, les échantillons ont été analysés visuellement afin de mettre en évidence les anomalies de croissance. Finalement, la largeur des cernes a été mesurée avec une précision de 1/100 mm (voir Stoffel, 2005).

La courbe de référence est représentative de la croissance des arbres ne subissant pas de contraintes autres que climatiques. Elle a été construite en effectuant une moyenne des deux échantillons prélevés sur les côtés A et B. Cette moyenne a été indexée et une moyenne mobile de 11 ans a été appliquée pour supprimer l'effet des tendances à long terme (vieillesse). Malgré ce lissage, les variations de croissance interannuelles importantes sont toujours visibles (Stoffel, 2005).

4. Résultats et analyse

4.1. Courbes de croissance

Courbe de référence

Les échantillons ont été prélevés sur 32 arbres dans les environs immédiats des deux clairières d'épicéas nains, à des altitudes allant de 1'630 à 1'690 m (Fig. 3). La forêt y est peu dense et les arbres sont, pour la plupart, de grande taille.

Les mesures effectuées sur ces échantillons montrent une grande variabilité de la taille des cernes, avec des valeurs comprises entre 0,02 mm et 6,2 mm. La largeur moyenne est de 1,45 mm. La courbe de référence (Fig. 4), qui débute en 1774, montre plusieurs pics de valeurs, tant positifs que négatifs. Les années 1811, 1846, 1873 et 1881 ont connu une croissance particulièrement marquée. Les années 1813, 1816, 1886, 1912, 1913, 1948-1951 et 1976 ont connu au contraire une croissance particulièrement faible. On peut relever que les années avec la plus forte croissance appartiennent toutes au 19^e siècle, alors que celles avec la croissance la plus faible se situent plutôt au 20^e siècle. A partir des années 1950, les variations interannuelles sont spécialement importantes.

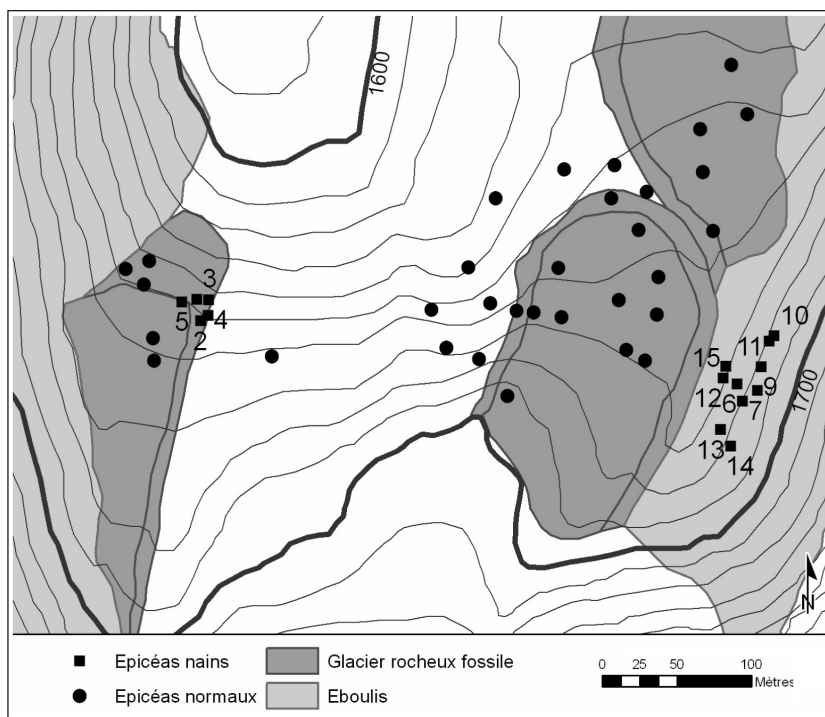


Fig. 3 : Situation de l'échantillonnage.

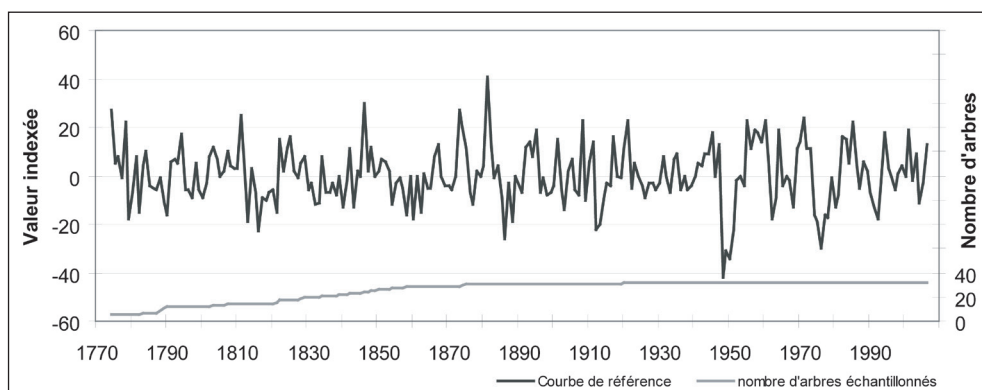


Fig. 4 : Courbe de référence réalisée à partir des échantillons prélevés sur les épicéas normaux.

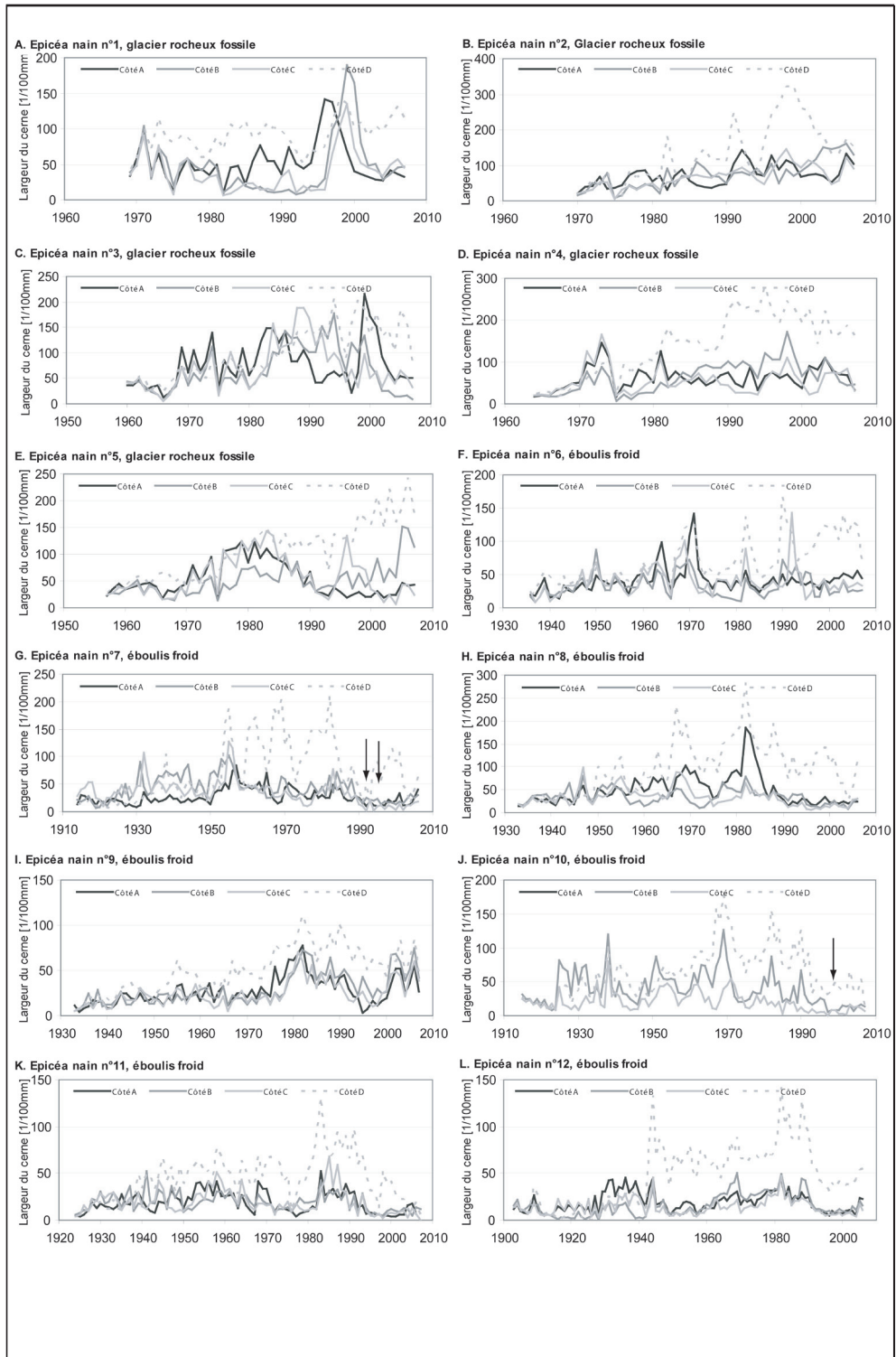
Epicéas nains

Dans leur structure interne, les arbres des deux zones ne montrent pas les mêmes caractéristiques. Si leur taille est identique, le nombre et la largeur de leurs cernes diffèrent. Les épicéas nains du glacier rocheux fossile possèdent des cernes moins nombreux (ils sont donc plus jeunes, à taille égale) et plus larges que ceux de l'éboulis froid. Du fait de cette différence, les arbres des deux zones ont été analysés de manière distincte.

Les rondelles prélevées montrent des différences de croissance entre les quatre faces analysées (Fig. 5). En effet, malgré le choix d'arbres les plus droits possible, presque tous montrent du bois de compression sur la face aval de la rondelle (côté D). Certains cernes sont peu distincts des autres du fait de leur très faible épaisseur, qui est généralement de deux ou trois rangs de cellules (une ou deux de bois précoce et une de bois tardif) (ex. Fig. 5J, flèche). Ceci empêche un comptage des cernes fiable sur certains côtés des échantillons. Il a donc fallu se baser sur des cernes pouvant servir de référence, du fait de leur largeur suffisante, depuis un autre côté, afin d'en déterminer l'âge. Par ailleurs, certaines années, les cernes sont incomplets (ex. Fig. 5G, flèches). Certains cernes peuvent en outre être complets à une hauteur donnée de l'arbre, mais pas à une autre. Il est parfois difficile, voire impossible de déterminer quel est le cerne manquant sur un côté de l'échantillon, du fait de la présence de branches ou de blessures qui empêchent de suivre les cernes sur leurs circonférences depuis un autre côté (ex. Fig. 5J). De nombreux cernes incomplets sont ainsi visibles sur les épicéas nains de l'éboulis froid, généralement sur les côtés A et C.

D'un arbre à l'autre, les différences de croissance semblent marquées et il est difficile de mettre en évidence des caractéristiques communes à tous les arbres. Ceci est lié au fait que, d'une part, les arbres répondent de manière individuelle à une certaine contrainte et que, d'autre part, leur situation orographique leur apporte des conditions environnementales également particulières. Comme on peut le voir sur la figure 5, les mesures effectuées sur les différents côtés de chaque rondelle montrent une certaine hétérogénéité, tant sur les arbres du glacier rocheux fossile que ceux de l'éboulis froid. Durant certaines périodes, on peut observer une bonne corrélation de croissance entre les différents côtés (ex. Fig. 5I à partir de 1965 ou 5L dès 1940, sans tenir compte du côté D), tandis qu'à d'autres moments, cette corrélation n'est pas effective (ex. Fig. 5C à partir de 1980 ou 5G durant les années 1980).

Lorsqu'un arbre n'est pas perturbé dans sa croissance, la largeur des cernes peut légèrement diminuer avec la hauteur, mais les courbes de croissance établies sur les différents côtés demeurent bien corrélées (Schweingruber, 1996). Les épicéas nains ont souvent des courbes de croissance par côtés séparés, prises à différentes hauteurs, qui ne semblent pas être, à première vue, parfaitement bien corrélées (Fig. 6 et 7A). Souvent, les deux rondelles inférieures de l'arbre sont relativement bien corrélées entre elles, mais celles prises plus haut le sont moins, voire beaucoup moins. Il n'y a pas de différence de croissance marquée entre les épicéas nains poussant sur le glacier rocheux fossile et ceux poussant sur l'éboulis froid, chaque arbre montrant une tendance à l'unicité. Il n'est donc pas possible d'effectuer une généralisation en analysant uniquement les courbes de croissance par côté.



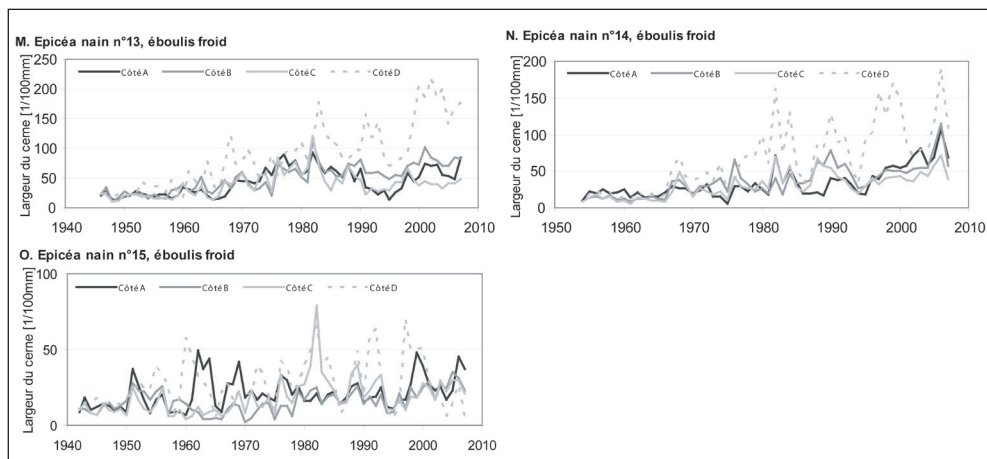


Fig. 5 : Courbes de croissance des épicéas nains, mesurées sur la première rondelle.

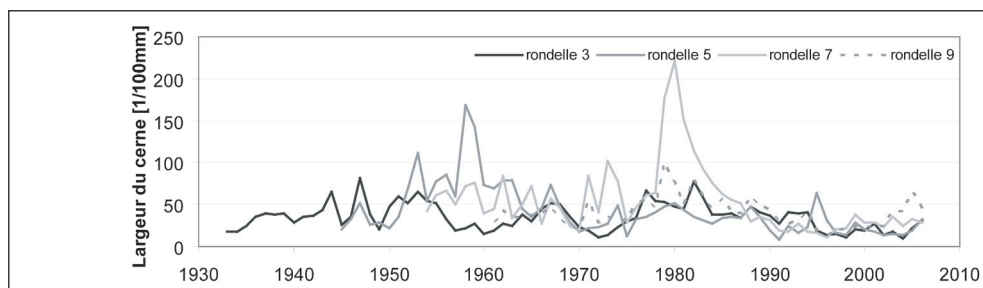


Fig. 6 : Courbes de croissance de l'arbre n°8, côté B, mesurées à différentes hauteurs.

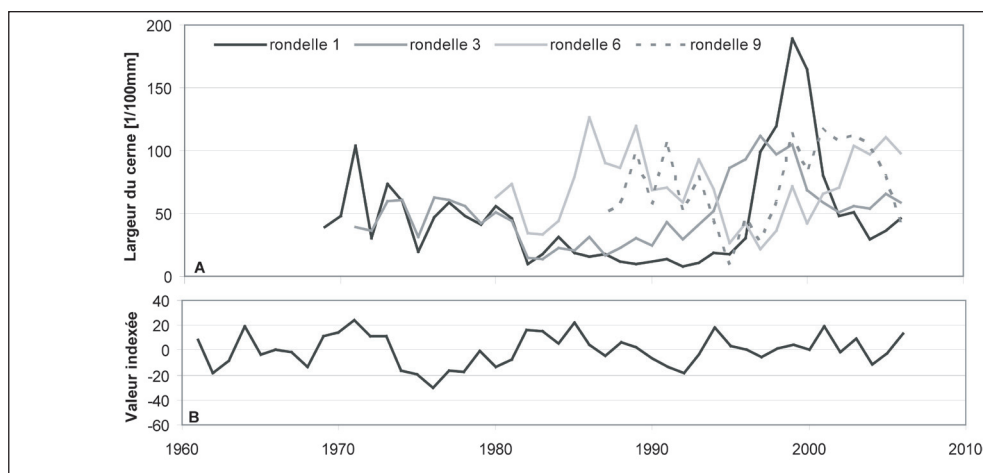


Fig. 7 : Courbes de croissance de l'épicéa nain n°1 (A), côté B, mesurées à différentes hauteurs et courbe de référence (B). La rondelle n°1 est prise au niveau du sol.

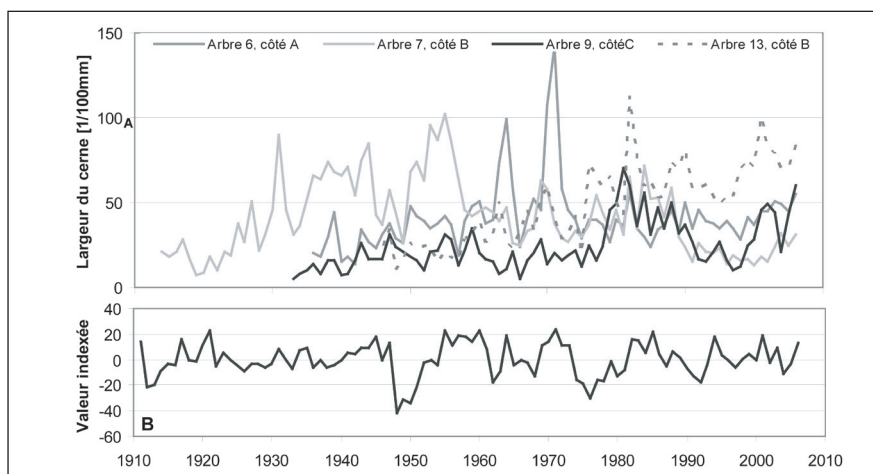


Fig. 8 : Courbes de croissance de différents épicéas nains (A), mesurées au niveau du sol et courbe de référence (B).

4.2. Comparaison de la croissance des épicéas nains avec la courbe de référence

Les comparaisons entre la courbe de référence et les courbes de croissance des épicéas nains ont été effectuées de manière visuelle. Elles montrent que les années marquantes des deux environnements ne sont pas synchrones (Fig. 8). On peut ainsi observer une alternance de périodes de croissance en phase ou en déphasage avec la courbe de référence.

Les épicéas nains des deux sites montrent une perturbation de croissance dont l'intensité varie d'un arbre à l'autre, en fonction de la hauteur de l'échantillon. La perturbation est marquée au niveau du sol (Fig. 7 et 8) et diminue avec la hauteur (Fig. 7). Ainsi, certains arbres ne montrent une forte perturbation qu'au niveau du sol, d'autres jusqu'à une faible hauteur ou encore sur toute leur hauteur.

4.3. Comparaison de la croissance des épicéas nains avec les données climatiques

Les courbes de croissance des épicéas nains ont également été comparées avec les données de température de la station de MétéoSuisse de Château-d'Oex (VD). L'évolution des températures de l'air est marquée par un réchauffement à partir des années 1970 et par une accélération du réchauffement dès 1990 (Beniston, 2000). Or, la moitié des épicéas nains situés au pied de l'éboulis froid montrent une diminution de croissance à partir des années 1990 au niveau du sol (cf. Fig. 5G, H, J, K et L). De plus, la plupart des cernes incomplets s'observent depuis cette période (Fig. 5G, I, J, K, L, M et O). Même si la relation n'est pas établie de manière absolue, il est possible que l'augmentation des températures atmosphériques ait, indirectement, conduit à une péjoration des conditions de vie de certains épicéas, visible dans le ralentissement de la croissance des cernes. Cette relation est, à l'heure actuelle, difficile à expliquer. Est-ce que le réchauffement a conduit à une modification des circulations d'air internes, qui, d'une manière ou d'une autre, aurait péjoré les conditions de croissance des arbres ?

Cette diminution de croissance est-elle liée à des modifications de l'enneigement ou de l'humidité du sol ? Ces questions demeurent ouvertes et nécessitent d'autres investigations, comme par exemple l'analyse détaillée de l'évolution des paramètres climatiques (températures mensuelles, précipitations) au cours des dernières décennies.

5. Conclusions

Les résultats de l'étude des épicéas nains par dendrochronologie sont exploitables pour l'étude du régime thermique des formations sédimentaires poreuses. Deux conclusions majeures peuvent être formulées :

- le travail sur rondelle a permis de mettre en évidence les variations de croissance existant au sein d'un même arbre. Celles-ci sont présentes entre les différents côtés d'un arbre, ainsi qu'à différentes hauteurs. La croissance lente et les cernes incomplets soulignent les conditions environnementales difficiles pour la végétation. Cependant, du fait du caractère unique de chaque arbre, il est difficile d'établir des corrélations entre eux, ainsi qu'avec des facteurs externes, de manière visuelle ;
- une concentration de cernes incomplets ainsi que la diminution de croissance mesurée sur quelques arbres de l'éboulis froid a été mise en évidence à partir des années 1990. L'explication de ce phénomène passe par une analyse statistique plus approfondie incluant des paramètres climatiques, ainsi que la poursuite du monitoring thermique et électrique des éboulis froids de l'étage forestier.

Bibliographie

- Beniston, M. (2000). *Environmental change in mountain and uplands*. London : Arnold.
- Bertinelli, F., Petitcolas, V., Asta, J., Richard, L. et Souchier, B. (1993). Relations dynamiques entre la végétation et le sol sur éboulis froids dans les Alpes françaises méridionales. *Revue d'Ecologie Alpine*, 2 : 93-104.
- Delaloye, R. (2004). *Contribution à l'étude du pergélisol de montagne en zone marginale*. Thèse. Fac. Sciences, Univ. Fribourg, Geofocus, Vol. 10.
- Delaloye, R., Reynard, E., Lambiel, C., Marescot, L. et Monnet, R. (2003). Thermal anomaly in a cold scree slope (Creux du Van, Switzerland). *Proceed. 8th Int. Conf. Permafrost, Zurich 2003*, 1, 175-180.
- Dorthe, J. et Morard, S. (2007). *Effets de la ventilation des éboulis froids et des glaciers rocheux fossiles dans les Préalpes suisses romandes*. Travail de diplôme, Institut de Géographie, Université de Fribourg (non publié).
- Lambiel, C. (2006). *Le pergélisol dans les terrains sédimentaires à forte déclivité : distribution, régime thermique et instabilités*. Thèse, Université de Lausanne, Institut de Géographie, Travaux et Recherches, 33, 260 p.
- Morard, S., Delaloye, R. et Lambiel, C. (2010). Pluriannual thermal behavior of low elevation cold talus slopes (western Switzerland). *Geographica Helvetica*, 65(2) : 124-134.

- Ruzicka, V. (1999). The freezing scree slopes and their arachnofauna. In B.M. Möser et R. Molenda (Eds), *Lebensraum Blockhalde*, Decheniana, Beihefte 37 : 141-147.
- Sawada, Y., Ishikawa, M. et Ono, Y. (2003). Thermal regime of sporadic permafrost in a block slope on Mt. Nishi-Nupukaushinupuri, Hokkaido Island, Northern Japan. *Geomorphology*, 52 : 121-130.
- Schudel, K. (2002). *Hexenwäldli, Dendroökologie von Kümmerfichtenbeständen auf unterkühlten Schutthalden*. Davos : Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Zürich : Departement Umweltnaturwissenschaften ETH (non publié).
- Schweingruber, F. H. (1996). *Tree Rings and Environment. Dendroecology*. Berne : Haupt.
- Stoffel, M. (2005). *Spatio-temporal variations of rockfall activity into forests - results from tree-ring and tree analysis*. Thèse. Fac. Sciences, Univ. Fribourg, Geofocus, Vol. 12.
- Stoffel, M. et Bollschweiler, M. (2008). Tree-ring analysis in natural hazards research – an overview. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8 : 187-202.
- Stoffel, M. et Bollschweiler, M. (2009). What tree rings can tell about earth-surface processes. Teaching the principles of dendrogeomorphology. *Geography Compass*, 3 : 1013-1037.
- Wakonigg, H. (1996). Unterkühlte Schutthalden, *Beiträge zur Permafrostforschung in Österreich. Arbeiten aus dem Inst. f. Geogr. Karl-Franzens-Universität Graz*, 33 : 209-233.