

## Note

---

« Variations de la forme des versants le long d'un cours d'eau miniature »

Louis Mathier et André G. Roy

*Géographie physique et Quatenaire*, vol. 38, n° 1, 1984, p. 81-86.

Pour citer cette note, utiliser l'information suivante :

URI: <http://id.erudit.org/iderudit/032539ar>

DOI: 10.7202/032539ar

Note : les règles d'écriture des références bibliographiques peuvent varier selon les différents domaines du savoir.

---

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter à l'URI <https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/>

---

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche. Érudit offre des services d'édition numérique de documents scientifiques depuis 1998.

Pour communiquer avec les responsables d'Érudit : [info@erudit.org](mailto:info@erudit.org)

# VARIATIONS DE LA FORME DES VERSANTS LE LONG D'UN COURS D'EAU MINIATURE

Louis MATHIER et André G. ROY, Département de géographie, université de Montréal, c. p. 6128, succursale «A», Montréal, Québec H3C 3J7.

**RÉSUMÉ** Le long du cours d'eau principal d'un bassin-versant miniature, la forme des versants est en partie contrôlée par l'exposition et la distance de l'embouchure. Les versants exposés au SE sont plus raides, plus courts et comportent moins de segments rectilignes que ceux exposés au NW. Par contre, l'angle des versants n'augmente ni ne diminue de la tête du cours d'eau vers l'embouchure. Les versants convexes à l'amont deviennent brusquement concaves à l'aval. Ce changement morphométrique s'effectue à l'endroit où le cours d'eau cesse de s'inciser activement.

**ABSTRACT** *Variations of slope forms along a miniature stream.* Along the main channel of a miniature drainage network, slope form is partly explained by aspect and distance from the outlet. Slopes exposed to the SE are steeper, shorter and less complex than those exposed to the NW. Slope angle, however, is unrelated with distance to the outlet while the percentage of convexity of the slopes decreases downstream. This change in slope convexity is very abrupt and it takes place where active stream downcutting ceases.

## INTRODUCTION

La position des versants à l'intérieur d'un bassin hydrographique peut jouer un rôle prépondérant sur leur forme. La morphométrie des versants situés à la tête des cours d'eau diffère souvent de celle des versants qui forment la vallée principale. L'effet de la position du versant est cependant difficile à cerner puisqu'il est obitéré ou exagéré par des changements concomitants des autres variables indépendantes, comme la lithologie, la structure de la roche, les processus dominants, le climat, etc. Cette note a pour but de présenter les changements de forme des versants, d'amont en aval, le long d'un cours d'eau miniature. Dans ce bassin, la lithologie, le climat et la végétation n'affectent pas la forme des versants. Le développement des versants est directement lié à l'incision du cours d'eau et à l'évolution du réseau hydrographique d'une part et à l'exposition d'autre part.

## ÉCHANTILLONNAGE ET DÉFINITIONS OPÉRATIONNELLES

### LE SITE

Le bassin-versant que nous étudions s'est développé depuis 1958 (BERNARD et MASSON, 1977) dans des sédiments extraits d'une mine de cuivre, située près de Eastman, en Estrie (Québec). Du point de vue physiographique, il s'agit d'un petit plateau (45 000 m<sup>2</sup>) disséqué par de nombreux cours d'eau intermittents regroupés en cinq bassins-versants. Nos données proviennent du bassin principal, qui occupe plus de 70% de la superficie du plateau. Le dépôt se compose de particules fines. De façon générale, les limons argileux massifs se trouvent au centre, alors que les sables fins occupent la bordure et le sommet du plateau où ils ont été déposés en minces placages.

L'érosion fluviale est très active et la tête du cours d'eau incise rapidement le plateau. Le profil longitudinal des cours

d'eau est souvent marqué de ruptures de pente importantes atteignant parfois un mètre de hauteur. Le cours d'eau principal a cependant atteint son niveau de base et présente un profil longitudinal concave (fig. 1). En amont d'une distance de 70 mètres de l'embouchure, la dégradation du cours d'eau est encore très active. D'amont en aval, la taille du lit du cours d'eau principale augmente rapidement et le rapport largeur/profondeur passe de 2 à 21. Ce changement de forme s'explique par la variation de la cohésion des sédiments qui forment les berges. En amont, le cours d'eau s'est incisé dans l'argile massive alors qu'en aval il est bordé par une plaine alluviale sableuse. De plus, notons que le cours d'eau principal n'est pas très sinueux.

Le long du tronçon principal, les versants exposés au NW et au SE se sont développés principalement dans l'argile et sont dénués de végétation. À la tête du cours d'eau, ils évoluent par reptation et par ruissellement. Vers l'aval, les mouvements de masse et le ruissellement deviennent les processus dominants. D'amont en aval, la position des mouvements de masse sur les versants migre de la base vers le sommet. En amont, les décrochements se produisent au pied du versant et sont liés au sapement de la base du versant par le cours d'eau. Par contre, en aval, les mouvements de masse se situent sur une petite paroi abrupte qui occupe la partie sommitale des versants.

### L'ÉCHANTILLONNAGE ET LES MESURES

Les études de l'effet de la position du versant à l'intérieur du bassin hydrographique sur sa forme se fondent généralement sur un échantillonnage aléatoire couvrant tout le bassin. Puisque dans un réseau hydrographique le nombre de petits cours d'eau excède largement celui des plus gros, un échantillonnage aléatoire résulte en une sur-représentation des petites vallées. Afin d'éviter ce problème, nous avons opté pour un échantillonnage systématique des versants le long du tronçon principal du réseau hydrographique.

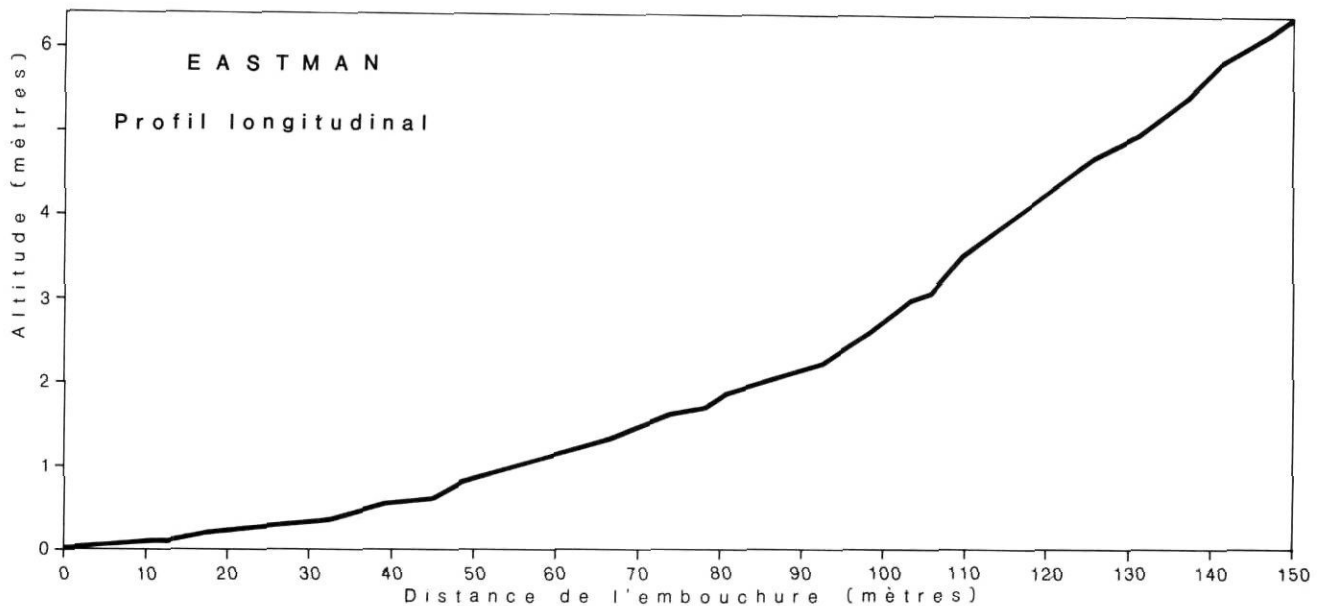


FIGURE 1. Profil longitudinal du cours d'eau principal, à Eastman. *Longitudinal profile of the main stream at Eastman.*

Le premier site d'échantillonnage, en amont, est situé là où le cours d'eau s'incise dans l'argile; à cet endroit, le cours d'eau devient permanent. À partir de ce point, nous avons divisé le cours d'eau principal, long d'environ 150 m, en 28 sections contiguës de 4 m (fig. 2). À l'intérieur de chacune des sections, le site d'échantillonnage occupait à peu près le centre de la section de 4 m. Lorsqu'un tributaire entrait dans le cours d'eau principal, nous avons dû déplacer le site d'échantillonnage afin de minimiser l'effet de la confluence sur les versants.

À chaque site d'échantillonnage, nous avons relevé le profil de la coupe transversale de la vallée incluant celle du cours d'eau (fig. 3). Dans cette étude, la forme des versants est décrite par la hauteur, la longueur horizontale, l'angle moyen et maximal, le nombre de segments rectilignes et le pourcentage de convexité, qui est égal à la longueur du versant occupée par une convexité divisée par la longueur totale du versant. La banque de données comprend la description morphométrique de 28 vallées, donc de 56 versants.

### LA FORME DES VERSANTS D'AMONT EN L'AVAL

Avant de tester l'effet de la position le long du cours d'eau, nous devons d'abord évaluer le rôle de l'exposition sur la forme des versants. Puisqu'une série de versants est exposée au NW et l'autre au SE, il n'est pas surprenant que la morphométrie des versants soit affectée par l'exposition (tabl. I et II). Les versants exposés au SE sont plus raides, plus courts et moins complexes que ceux exposés au NW. L'exposition ne joue toutefois pas sur la convexité et la hauteur des versants. En raison de l'homogénéité du milieu, nous interprétons cet effet comme étant topoclimatique. L'exposition affecte le bilan hydrique des versants, qui, en retour, contrôle les processus d'érosion et particulièrement le ruissellement (CHURCHILL, 1981).

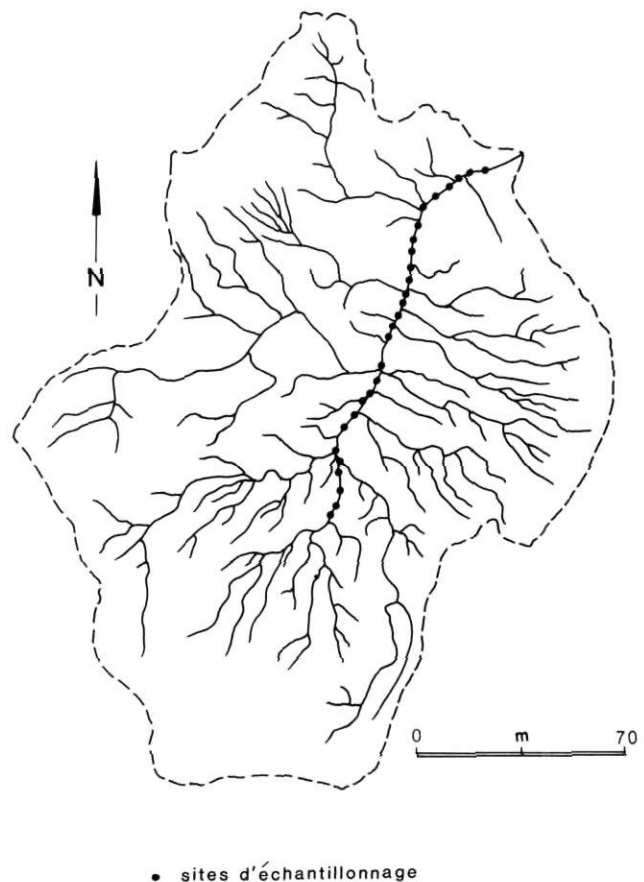


FIGURE 2. Localisation des sites d'échantillonnage des versants le long du cours d'eau principal.

*Location of the sampling sites along the main stream.*

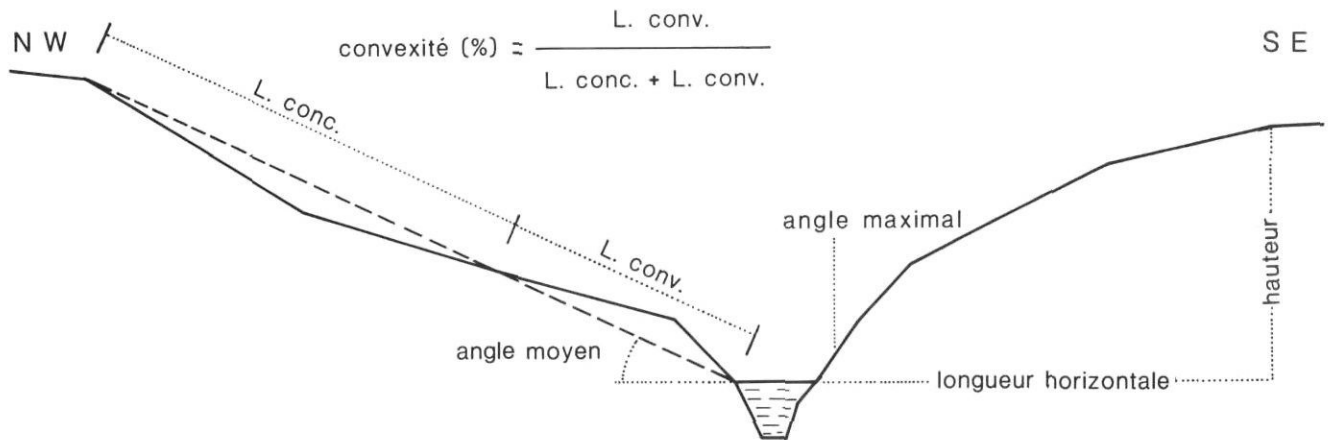


FIGURE 3. Les variables morphométriques utilisées pour décrire le profil des versants. *Morphometric variables used to describe the slope profile.*

Les changements de formes des versants, d'amont en aval du cours d'eau, sont mis en évidence par la relation entre les variables morphométriques et la distance le long du cours d'eau à partir de sa tête. Ces relations doivent être établies séparément pour chacune des expositions. D'abord, l'angle moyen des versants n'augmente ni ne diminue régulièrement vers l'aval (fig. 4). Malgré cette absence de tendance en l'aval, l'angle moyen des versants est sujet à une très grande variabilité (fig. 4). Nous avons obtenu des conclusions

similaires en ce qui a trait à l'angle maximal. Nos observations sur le terrain suggèrent que la variabilité angulaire n'est imputable ni à l'arrivée des tributaires dans la vallée principale ni au sapement à la base des versants là où le cours d'eau fait quelques méandres. De plus, l'angle exposé au NW ne varie pas avec celui exposé au SE ( $r = 0,14, p > 0,05$ ). La variabilité de l'angle moyen semble liée à des facteurs locaux, entre autres à la présence ou à l'absence de mouvements de masse récents et à la variabilité de la cohésion et de la structure des sédiments. Ces deux facteurs varient de façon aléatoire le long du cours d'eau principal.

TABLEAU I

*Moyennes (et écarts types) des variables de forme des versants selon l'exposition (n = 28).*

	SE	NW
Angle moyen (degrés)	32,7 (4,6)	23,8 (4,7)
Angle maximal (degrés)	49,5 (7,1)	42,2 (11,0)
Convexité (%)	45,6 (35)	48,2 (38)
Nombre de segments rectilignes	5,7 (1,05)	6,5 (1,20)
Hauteur (m)	3,6 (1,6)	3,4 (1,5)
Longueur horizontale (m)	5,8 (3,2)	7,8 (3,2)

Sur la figure 4, on note aussi que, vers l'embouchure, les versants exposés au NW deviennent brusquement plus raides, alors que ceux exposés au SE deviennent plus doux. De plus, les quatre derniers versants en aval ne présentent pas de différence marquée de l'angle moyen selon l'exposition. Ces changements brusques de l'angle moyen coïncide avec un changement de la taille des sédiments d'une part et avec la présence de pieux qui retiennent les sédiments au pourtour du dépôt d'autre part. Le long du cours d'eau principal les versants se sont développés dans l'argile, sauf à l'embouchure du cours d'eau où ils sont dans le sable. Nous avons décidé de soustraire ces quatre versants du reste de l'analyse.

TABLEAU II

*Tests de la différence de la forme des versants selon l'exposition (n = 28)*

	Moyenne des différences	Écarts types des différences	Valeur du t
Angle moyen (degrés)	-8,9	6,1	-7,74**
Angle maximal (degrés)	-7,3	10,9	-3,54**
Convexité (%)	2,54	23,4	0,57
Nombre de segments rectilignes	0,79	1,79	2,32*
Hauteur (m)	-0,18	0,60	-1,55
Longueur (m)	2,05	2,24	4,84**

\* t significatif à 0,05

\*\* t significatif à 0,01

Bien que l'angle moyen ne change pas régulièrement d'amont en aval, la hauteur et la longueur du versant augmentent exponentiellement avec la distance de la tête du cours d'eau (tabl. III). La taille des versants augmentent donc vers l'aval parce que le cours d'eau incise un plateau dont le sommet est encore à peu près horizontal. Puisque le profil du cours d'eau est concave, il s'ensuit que les versants deviennent plus hauts et plus longs en aval. D'un point de vue géométrique, pour qu'il y ait augmentation de la taille sans changement de l'angle moyen, la hauteur et la longueur doivent varier à un même taux vers l'aval. La tangente de l'angle moyen étant égale au rapport hauteur/longueur, on constate au tableau III qu'en substituant à la hauteur et à la longueur les relations exponentielles, on obtient un rapport entre les ordonnées à l'origine des relations. Puisque l'effet de l'exposition se fait sentir sur les ordonnées à l'origine des relations longueur/distance, les angles moyens ainsi obtenus

diffèrent selon l'exposition. Donc, d'amont en aval, la taille des versants augmente tout en conservant un angle moyen qui oscille autour d'une constante, c'est-à-dire la moyenne. C'est un cas d'isométrie angulaire, et l'angle de pente n'est pas fonction de la position des versants le long du cours d'eau principal.

Par contre, le pourcentage de convexité des versants diminue vers l'aval et les versants convexes en amont deviennent concaves près de l'embouchure. Environ 70% de la variance du pourcentage de convexité s'explique par la distance de la tête du cours d'eau. Malgré cette forte proportion de variance expliquée, le changement de forme s'effectue très brusquement et le profil des versants devient concave sans passer par des formes intermédiaires convexo-concaves. Ce passage brusque s'effectue à peu près là où le tributaire le plus important rencontre le cours d'eau principal. Comme en témoignent les moyennes du tableau IV, les versants en amont de la jonction du tributaire et du cours d'eau principal sont extrêmement convexes, alors que ceux à l'aval sont très concaves. Si on exclut les trois versants convexo-concaves situés immédiatement après la jonction, la concavité devient encore plus apparente. Des 48 versants étudiés, seuls 10 d'entre eux ont un pourcentage de convexité entre 35 et 65.

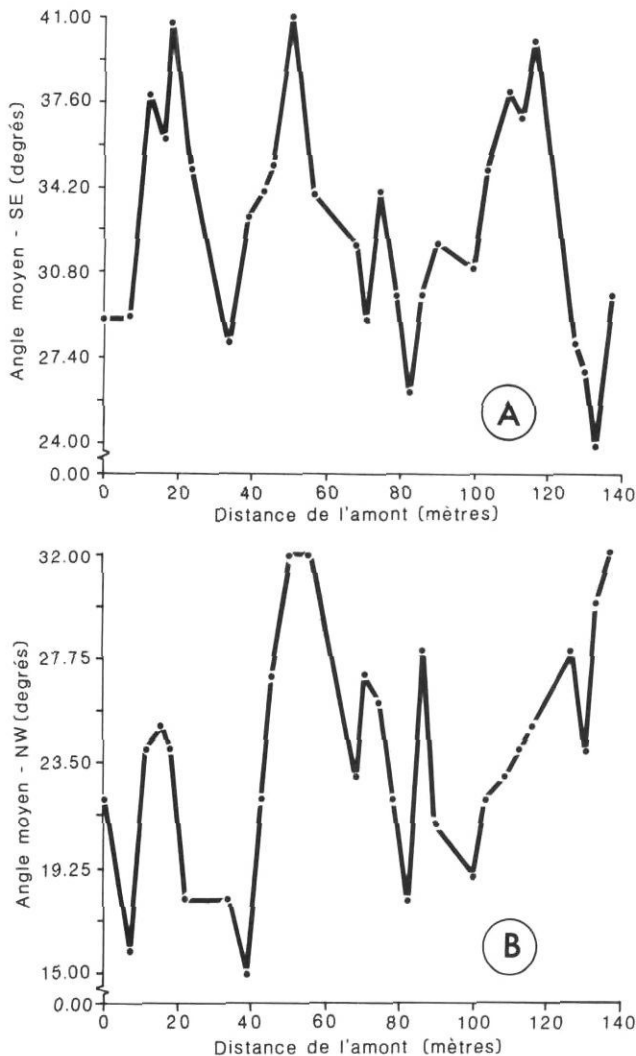


FIGURE 4. Variations de l'angle moyen des versants d'amont en aval du cours d'eau principal: A) pour les versants exposés au SE; B) pour les versants exposés au NW.

Variations in mean slope angle along the main stream: A) for slopes facing the SE; B) for slopes facing the NW.

TABLEAU III

Équations exprimant la hauteur (H) et la longueur horizontale (L) des versants en fonction de la distance (D) de la tête du cours d'eau (pour toutes les relations n = 24)

Pour les versants exposés au SE:

$$H = 1,43 (1,01)^D; (r^2 = 0,95)$$

$$L = 2,20 (1,01)^D; (r^2 = 0,93)$$

$$\frac{H}{L} = \tan \theta_v = 0,65 = 33 \text{ degrés}$$

Pour les versants exposés au NW:

$$H = 1,43 (1,01)^D; (r^2 = 0,84)$$

$$L = 3,68 (1,01)^D; (r^2 = 0,64)$$

$$\frac{H}{L} = \tan \theta_v = 0,39 = 21 \text{ degrés}$$

( $\theta$ : angle moyen des versants)

TABLEAU IV

Comparaison des moyennes du pourcentage de convexité en amont et en aval du tributaire principal

	n	SE	NW
Amont	11	79,9	88,1
Aval	13	26,5	26,1
Aval(1)	10	22,7	18,2

(1) Aval excluant les trois versants immédiatement en aval de la jonction du tributaire et du cours d'eau principal.



Des piquets installés au fond du cours d'eau principal à la fin de l'été 83 nous ont permis de constater que la zone en amont du tributaire principal s'incise très rapidement. Bien que nous ne soyons en mesure de fournir un taux annuel d'érosion précis, il semble que le cours d'eau principal s'enfonce à un rythme de plusieurs centimètres par année. Le changement de la forme convexe à la forme concave s'opère à l'endroit où le cours d'eau principal cesse de s'inciser activement et où débute la formation d'une plaine alluviale. En aval, l'accumulation des sédiments au pied du versant et la stabilisation du niveau de base du cours d'eau empêche le sapement à la base du versant. La facette abrupte du versant recule alors par glissements et la zone sujette aux mouvements de masse migre progressivement vers le sommet du versant. Ainsi, tant que l'érosion fluviale est active au pied du versant, il demeure convexe et dès qu'elle cesse, il devient concave. Dans ce bassin hydrographique, l'activité fluviale ne contrôle pas l'angle des versants mais la convexité.

Puisque l'incision du cours d'eau est très active en amont, les versants convexes fournissent une grande quantité de sédiments au cours d'eau. Par contre, les sédiments entraînés par mouvements de masse des sommets des versants concaves sont étalés à leur pied et ensuite transportés par ruissellement vers le cours d'eau. Une grande partie de sédiments est donc accumulée à la base des versants concaves et l'apport sédimentaire au cours d'eau est beaucoup moins important. Dans ce bassin-versant, la quantité de sédiments fournie au cours d'eau par les versants n'est donc pas fonction de la pente des versants mais de leur position le long du cours d'eau. Il n'est donc pas surprenant d'observer que la pente des versants ( $\theta_v$ ) est indépendante de la pente des cours d'eau ( $\theta_c$ ) qui coulent à leur pied (fig. 5).

SUMMERFIELD (1976) a aussi noté une diminution de la convexité d'amont en aval d'un bassin-versant des Southern Pennines, en Grande Bretagne. De plus, elle n'a pas observé de relation entre  $\theta_v$  et  $\theta_c$ . RICHARDS (1977) a par la suite démontré que le sens de la relation entre  $\theta_v$  et  $\theta_c$  varie en

fonction de la taille des cours d'eau considérés et, par conséquent, du débit. Richards, en utilisant l'ordre de Strahler comme indicateur du débit, a obtenu une relation positive pour les cours d'eau de premier ordre et une relation nulle pour ceux de quatrième ordre. Afin de tester l'effet de la taille du cours d'eau sur la relation entre  $\theta_v$  et  $\theta_c$ , nous avons divisé les versants en deux groupes. Le premier groupe correspond aux versants en amont du tributaire majeur, donc à la zone d'incision active, alors que le second comprend les versants en aval de ce tributaire. À l'entrée de ce tributaire, la pente du cours d'eau principal diminue de 53%. Les coefficients de corrélation présentés au tableau V indiquent qu'en général il n'y a pas de relation entre  $\theta_v$  et  $\theta_c$ . Il faut noter cependant que pour les versants en amont exposés au NW, la relation est positive alors que pour les versants en aval exposés au SE, elle est négative. Il semble donc que la taille du cours d'eau et son régime d'activité ne jouent pas sur la relation entre  $\theta_v$  et  $\theta_c$ . Il est intéressant de noter l'absence de cohérence entre les relations et le rôle de l'exposition sur le sens des relations.

**DISCUSSION ET CONCLUSION**

Dans ce bassin miniature où les cours d'eau sont en évolution rapide, les changements de forme des versants sont fonction de l'exposition et de la position des versants le long du cours d'eau principal. La pente et la longueur des versants varient en fonction de l'exposition, alors que la hauteur et la convexité des versants sont liées à la distance de l'embouchure.

Trois observations nous paraissent particulièrement importantes. D'abord, l'angle des versants n'est pas ajusté au changement d'intensité de la dynamique fluviale. L'angle des versants est maintenu d'amont en aval, même si le cours d'eau cesse de s'inciser activement. La constance de l'angle de pente s'explique en partie par le fait que les sommets du plateau ne sont pas soumis à une ablation importante et qu'il n'y a pas de lignes de crêtes. Les angles sont cependant extrêmement variables le long du cours d'eau principal. L'activité fluviale, dans un milieu où les mouvements de masse dominant, contrôle toutefois la convexité des versants.

Deuxièmement, le passage extrêmement abrupt de la forme convexe à la forme concave est remarquable. Entre la série de versants convexes en amont et la série de versants concaves en aval, il n'y a que deux ou trois versants de forme

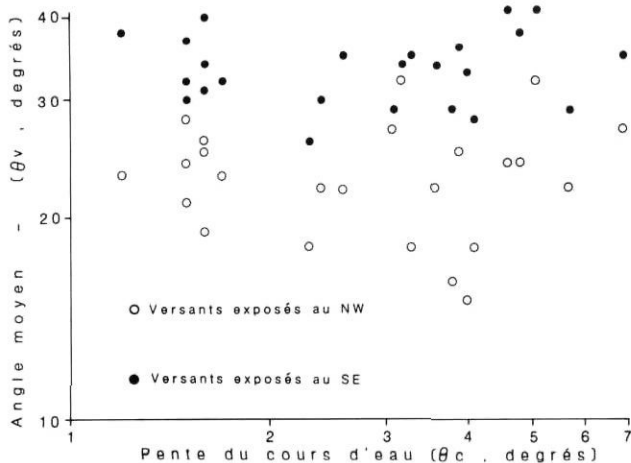


FIGURE 5. Relations entre l'angle moyen des versants ( $\theta_v$ ) et la pente du cours d'eau ( $\theta_c$ ).

Relationships between mean slope angle ( $\theta_v$ ) and stream gradient ( $\theta_c$ ).

TABLEAU V

Coefficients de corrélation entre l'angle moyen des versants ( $\theta_v$ ) et la pente du cours d'eau ( $\theta_c$ ), en amont et en aval du tributaire principal

	SE	NW
Amont (n = 11)	0,15	0,59*
Aval (n = 13)	-0,41	0,25

\* significatif à 0,05.

intermédiaire. Si on substitue l'espace au temps et qu'on suppose que les versants plus jeunes se situent près de la tête du cours d'eau, on doit conclure que la convexité originelle des versants devient très vite une concavité. Ce développement rapide de la concavité basale est sûrement liée au processus dominant, soit les mouvements de masse. La disparition complète et rapide de segments convexes est une caractéristique très importante des versants à Eastman. Les modèles d'évolution de versants où les mouvements de masse dominant devraient expliquer cette séquence (KIRKBY, 1983).

Finalement, l'absence de relation entre le gradient du cours d'eau et l'angle moyen des versants nous a permis de découvrir que cette relation peut être sensiblement affectée par l'exposition. En effet, aucune étude ne s'est penchée sur le rôle de l'exposition sur le rajustement entre les gradients. Le regroupement de tous les types d'expositions en une seule population de versants peut rendre difficile l'interprétation des relations entre  $\theta_v$  et  $\theta_c$  au même titre que l'utilisation de cours d'eau de tailles diverses.

#### REMERCIEMENTS

Nous remercions M. Claude Bernard de nous avoir fourni une carte du réseau hydrographique de Eastman; M.

René Roy de son aide sur le terrain; Mme Pierrette Turcotte, M. Michaël Woldenberg et un lecteur anonyme de leurs commentaires judicieux sur des versions antérieures de cette note.

#### BIBLIOGRAPHIE

- BERNARD, C. et MASSON, A. (1977): The empirical study of the evolution of drainage networks, *Notes et Documents 77-01*, Département de géographie, Université de Montréal.
- CHURCHILL, R.R. (1981): Aspect-related differences in badlands slope morphology, *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 71, p. 374-388.
- KIRKBY, M.J. (1983): Modelling cliff development in South Wales: Savigear re-viewed, *Working Paper 351*, School of Geography, University of Leeds.
- RICHARDS, K.S. (1977): Slope form and basal stream relationships: some further comments, *Earth Surface Processes*, Vol. 2, p. 87-95.
- SUMMERFIELD, M.A. (1976): Slope form and basal stream relationships: a case study in the Westend basin of the Southern Pennines, England, *Earth Surface Processes*, Vol. 1, p. 89-95.