

während der Erdkörper kurzdauernden Kräften gegenüber elastisch fest bleibt.

Den Schluß bilden Überlegungen über die Schardt-Lugeon'sche Theorie. Ampferer's Einwände gegen dieselbe beruhen auf dem als unrichtig erwiesenen Grundsatz der Unmöglichkeit einer Fortleitung der Tangential-Spannungen auf grössere Entfernungen sowie auf der Voraussetzung, daß die Schichten beinahe unausehnbar sind; in Wirklichkeit kann deren Dicke und im Zusammenhang damit auch deren Horizontaldimension in weiten Grenzen variieren. Auch ist der Begriff der „Wurzeln“ bei einem plastischen Kern überhaupt von problematischem Wert. Hierauf werden Mel-lard-Read'e's Einwände besprochen, und es wird auf die Rolle der Schwerkraft und dadurch verursachte Gleiterscheinungen hingewiesen, welche auch in Sollas' Pech-Experimenten zum Ausdruck kommt; Bonney's Einwände sind unberechtigt, da der Unterschied in der Plastizität von Pech und Fels (bei höherer Temperatur und bei hohem Druck) zwar sehr groß aber doch nur graduell ist und bloß eine dementsprechend grössere Zeitdauer zur Hervorbringung analoger Phänomene erfordert. Vom physikalisch-theoretischen Standpunkt aus läßt sich also gegen die Schardt-Lugeon'sche Theorie kein ernstlicher Einwand erheben.

## VI. SUR LA THÉORIE MÉCANIQUE DE L'ÉROSION GLACIAIRE.

Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Tôme 150. pp. 1368—1371; 1910.

Dans une Note récente <sup>1)</sup>, M. E. de Martonne a fait un essai très intéressant pour établir les lois de l'érosion glaciaire par des raisonnements théoriques, basés sur les principes de la mécanique du frottement. Il trouve que les résultats obtenus s'accordent avec l'observation directe des faits morphologiques <sup>2)</sup>. Comme l'importance du problème paraît exiger une discussion approfondie de cette théorie, je me permets d'adresser quelques remarques concernant la déduction théorique de ces lois, sans aborder du reste la partie expérimentale.

Considérons le travail effectué par la gravité contre les forces du frottement entre le glacier et son lit (ce travail étant rapporté à l'unité de surface horizontale et à l'unité de temps) et désignons-le par  $f$ . C'est cette grandeur évidemment qui définit l'érosion du lit du glacier dans un certain point et non pas le travail total sur le périmètre  $P$  du lit, calculé par M. de Martonne.

Pour évaluer ce travail, envisageons successivement deux hypothèses:

1. Si nous assimilons le glacier à une plaque solide (de poids  $p$ , d'épaisseur verticale  $h$  et de densité égale à l'unité), glissant avec la vitesse  $v$  sur une surface inclinée sous l'angle  $\alpha$ , on aura la force de frottement  $A p \cos \alpha$ , où  $A$  désigne le coefficient de frottement, et par conséquent

$$f_1 = Ahvg \cos \alpha.$$

<sup>1)</sup> *Comptes rendus*, t. 150, p. 135.

<sup>2)</sup> *Comptes rendus*, t. 149, p. 1413; et t. 150, p. 243.

La même formule se déduirait aussi d'une supposition plus rationnelle: en considérant le glacier comme un amas de prismes verticaux de hauteur  $h$ .

2. Si la pression de la glace peut être assimilée à une pression hydrostatique, eu égard à la fluidité ou plasticité de la glace, ce qui paraît être l'hypothèse faite par M. de Martonne, la pression normale à la surface du lit aura la valeur  $hg/\cos \alpha$  par unité de surface horizontale et l'on obtient

$$f_2 = \frac{Ahvg}{\cos \alpha}.$$

On voit que le facteur  $\cos \alpha$  devrait dans ce cas apparaître au dénominateur. Du reste son importance ne semble pas être très grande, puisque les limites de sa variabilité sont comprises entre l'unité et (pour une inclinaison excessive de 50 pour 100) 0.894, tandis que les facteurs  $A, h, v$  sans aucun doute sont beaucoup plus variables.

Même si l'on adopte la formule de M. de Martonne et la supposition, très plausible en général, que les variations de  $\cos \alpha$  sont de signe contraire, on n'en peut rien conclure, pas même que les lieux d'érosion maxima ne peuvent pas coïncider avec les plus grandes pentes, jusqu'à ce qu'on ait des connaissances plus exactes sur l'importance relative de ces facteurs.

Mais on pourrait essayer de pousser plus loin l'analyse d'une manière rationnelle en adoptant la supposition que le mouvement du glacier obéisse à la condition du régime permanent, c'est-à-dire que des quantités égales de glace traversent, par unité de temps, toutes les sections transversales du glacier. En supposant dans ce cas la vitesse dans une certaine section indépendante de la profondeur et de la position latérale, on aurait la condition

$$Sv \cos \alpha = c,$$

où  $S$  désigne l'aire de la section, égale approximativement au produit du périmètre  $P$  et de la hauteur  $h$ ;  $c$  une grandeur constante.

Les deux formules entre lesquelles on a à choisir se simplifient par l'élimination de deux facteurs inconnus:

$$f_1 = \frac{Agc}{P}, \quad f_2 = \frac{Agc}{P \cos^2 \alpha}.$$

On voit que c'est le coefficient de frottement  $A$  qui y joue le rôle le plus important, mais malheureusement on ne sait rien d'exact, ni en ce qui concerne sa valeur absolue, ni quant à sa dépendance de l'épaisseur de la moraine du fond, ni quant à sa dépendance de la pente; il paraît très hasardeux de faire là-dessus des hypothèses.

En tout cas, on voit que le pouvoir érodant varie dans une proportion inverse au périmètre  $P$  du glacier. Donc les étranglements devraient être des endroits d'érosion maxima.

On pourrait faire de graves objections contre les suppositions de ces calculs, surtout contre la supposition d'après laquelle la vitesse  $v$  serait la même dans tous les points d'une section. Sans doute elle sera plus grande à la surface du glacier que dans les points de contact avec son lit; c'est ce qui peut entraîner des changements dans la condition du régime permanent.

Il n'est nullement évident que la pression exercée sur le lit soit définie uniquement par l'épaisseur de la glace en ce point. Il est possible qu'elle dépende aussi des tensions exercées par les parties environnantes du glacier, ce qui se ferait sentir surtout dans les points d'un changement abrupt de la pente. Ne faut-il pas s'attendre à des phénomènes analogues à la tension d'une corde dans les endroits de courbure convexe du lit, et à des phénomènes inverses dans les endroits de courbure concave? Nous n'en savons rien.

Nous n'avons déduit ces formules que pour établir les résultats qu'on obtient en poursuivant, avec plus de précision, l'ordre d'idées indiqué par M. de Martonne et pour montrer que l'état actuel de notre connaissance du mécanisme de ces phénomènes ne nous donne point le moyen d'en tirer des conclusions légitimes concernant les lois de l'érosion glaciaire.