

DISCUSSION SUR « La stabilité des pentes et des pics » de Pierre DUFFAUT

par P. HABIB
G.3S – Ecole polytechnique*

Rev. Franç. Géotech. n° 63, pp. 65-66 (avril 1993)

Les observations présentées par Pierre Duffaut sur la hauteur des montagnes, pics ou arêtes, en fonction de leur pente sont très intéressantes, car elles permettent d'étudier la stabilité mécanique de très grands édifices rocheux; cela peut nous livrer des informations précieuses sur les propriétés mécaniques pour des volumes extrêmement grands et, par conséquent, d'extrapoler la notion d'effet d'échelle.

Les exemples cités portent sur des reliefs alpins dans des formations rocheuses, qui sont de natures voisines ou, tout au moins, qui ne sont pas fondamentalement différentes comme le seraient, par exemple, des calcaires tendres comparés à des roches éruptives. Les photographies qui illustrent cet article montrent à l'évidence des formes qui suggèrent des grandes ruines, notamment la photographie de la Meije, avec des effondrements brutaux plutôt que le lent travail de l'érosion ou le polissage par le temps.

Les observations de Pierre Duffaut appellent les commentaires suivants: il est tentant d'utiliser les relations classiques qui donnent la hauteur maximale d'un talus de pente donnée pour un matériau de Coulomb défini par son angle de frottement interne φ et sa cohésion C . Certes les matrices rocheuses ont souvent des courbes intrinsèques paraboliques avec de très grandes valeurs de φ , au moins au voisinage de l'origine. Mais, il s'agit de massifs naturels donc fissurés, et on verra plus loin que les angles de frottement évalués sont relativement modestes.

En utilisant la figure 6 de l'article de P. Duffaut, bien entendu en prenant une courbe qui enveloppe les valeurs les plus grandes de l'ensemble des observations des hauteurs naturelles (fig. 1), on obtient le tableau ci-contre.

La dernière colonne du tableau I donne les facteurs de stabilité pour un angle $\varphi = 25^\circ$ d'après les abaques de Taylor (« Fundamentals of Soils Mechanics », Wiley, New York, 1948, p. 459), qui ont été établis dans l'hypothèse de la rupture circulaire. Le choix de l'angle $\varphi = 25^\circ$ provient du fait que c'est la pente associée à la plus grande hauteur, et l'on peut supposer que le rôle de la cohésion est relativement peu important par rapport au frottement interne pour la très grande hauteur de 3 500 m: φ y est probablement responsable de la plus grande partie de la résistance, puisque c'est la

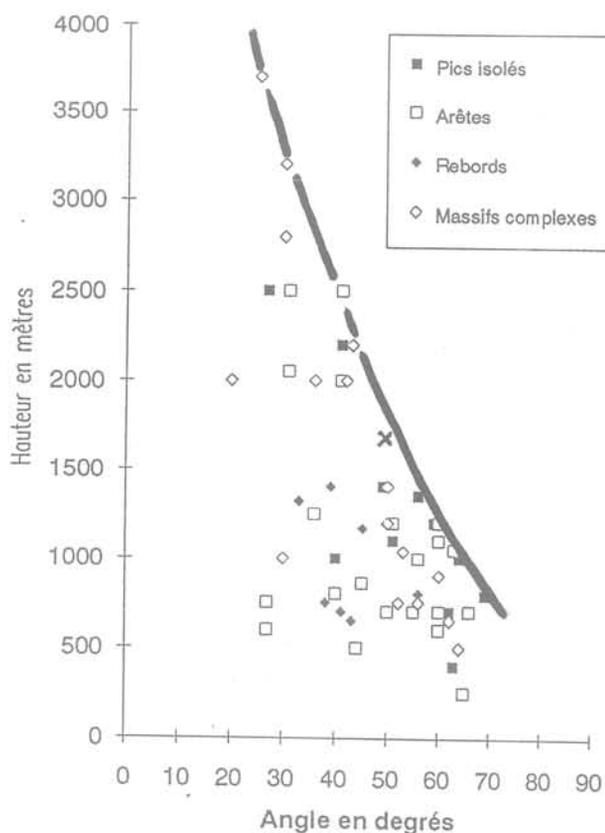


Fig. 1. — (d'après la fig. 6 de Pierre Duffaut).

Tableau I

Hauteur H en m	Pente θ°	Facteur de stabilité $C/\gamma H$
3 500	25	0,00
3 100	30	0,01
2 400	40	0,030
1 750	50	0,055
1 150	60	0,08
850	70	0,105

* 91128 Palaiseau Cedex.

valeur asymptotique d'une pente de hauteur infinie. Cette valeur de 25° est par ailleurs assez représentative d'un certain nombre d'accidents qui ont pu se produire sur de grandes surfaces structurales planes inclinées, dans des glissements naturels.

Sous cette hypothèse, et avec $\gamma = 26\,000\text{ N/m}^3$ on obtient les valeurs de cohésion du tableau II assez bien groupées autour d'une valeur moyenne de 2,3 MPa (si l'on excepte la valeur associée à la hauteur de 3 100 m qui n'est évidemment pas très significative).

Tableau II

H en m	C en MPa
3 500	0,00
3 100	0,81
2 400	1,87
1 750	2,50
1 150	2,39
850	2,32

On aurait pu prendre d'autres valeurs de φ , par exemple 20° et 30° , qui encadrent bien la valeur précédente. Les résultats des calculs sont indiqués ci-dessous :

Tableau III

H en m	Cohésion C en MPa		Pente θ°
	$\varphi = 20^\circ$	$\varphi = 30^\circ$	
3 500	0,109	0,00	25
3 100	2,01	0,00	30
2 400	3,12	1,25	40
1 750	3,41	1,82	50
1 150	2,99	1,94	60
850	2,65	1,99	70

On voit que pour $\varphi = 20^\circ$, les cohésions calculées sont plutôt croissantes avec la hauteur et qu'elles sont décroissantes pour $\varphi = 30^\circ$, ce qui renforce encore la justification du choix précédent, c'est-à-dire $\varphi = 25^\circ$.

A titre indicatif, si on extrapole les valeurs de cohésion des tableaux II et III pour $\theta = 90^\circ$ (falaises à front vertical), on trouve curieusement à peu près la même valeur $C = 2,0\text{ MPa}$ ce qui donne les hauteurs critiques suivantes :

Tableau IV

φ°	$C/\gamma H$	H (90°) m
20	0,18	427
25	0,17	452
30	0,15	513

Ces valeurs sont assez proches. Elles permettent d'autant moins de discriminer des valeurs de φ d'après des falaises verticales que de telles hauteurs semblent véritablement ne pas exister, ce qui est normal si l'on se souvient que dans les talus à front vertical des tractions horizontales apparaissent sur le plateau supérieur, et que les massifs rocheux fissurés ne peuvent évidemment pas les supporter.

On peut contester le choix de l'hypothèse de la rupture circulaire pour des accidents d'une telle ampleur ; on peut citer aussi les effets de la rupture progressive et même chercher d'autres formes de surface de glissement par exemple en relation avec la fissuration des massifs. Il est néanmoins probable que d'autres méthodes de calcul ne donneraient pas des résultats très éloignés de ceux qui ont été obtenus ici. Les estimations du critère de rupture ($\varphi = 25^\circ$ et $C = 2,3\text{ MPa}$) ou ($\varphi = 30^\circ$ et $C = 1,8\text{ MPa}$) paraissent donc assez raisonnables à des échelles de quelques kilomètres ; elles peuvent donner un ordre de grandeur de la résistance de la croûte terrestre lorsque celle-ci est soumise aux forces de la tectonique, du moins tant que la température liée au gradient géothermique n'a pas d'effets trop sensibles sur les propriétés mécaniques de la matrice rocheuse.