

L'action du gel sur les parois rocheuses du Jura : l'exemple de Château-Cugny (JU)

Autor(en): **Pancza, André**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **113 (1990)**

PDF erstellt am: **30.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-89317>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

L'ACTION DU GEL SUR LES PAROIS ROCHEUSES DU JURA: L'EXEMPLE DE CHÂTEAU-CUGNY (JU)

par

ANDRÉ PANCZA

AVEC 6 FIGURES ET 2 TABLEAUX

1. INTRODUCTION

Situées à environ 6 km de Saignelégier (564 90/236 90), les parois rocheuses de Château-Cugny connaissent de nos jours une évolution particulièrement rapide. Il s'agit d'escarpements orientés au sud dont le recul annuel dépasse 1,5 mm.

A partir d'observations faites dès 1973 et de mesures continues effectuées dès 1981, nous cherchons à cerner les facteurs climatiques responsables de l'évolution actuelle de ces parois. L'instrumentation mise en place (mesure continue de la température de la roche, pluviographe, anémographe et «pièges à gélifracsts») permet d'établir d'une part, le nombre de cycles de gels-dégels à la surface et à diverses profondeurs dans la paroi et d'autre part, le régime des chutes de pierres (PANCZA 1985).

POSER (1954) en Autriche, RAPP (1960) et RUDBERG (1960) en Suède sont des pionniers de l'étude quantitative de l'action de la gélivation. Ces chercheurs ont mesuré la sensibilité au gel des surfaces rocheuses en contrôlant la quantité d'éclats détachés. Plus récemment, LUCKMANN (1976) et DOUGLAS (1980) ont réalisé des mesures ponctuelles au Canada et en Irlande du Nord. Ils donnent des renseignements intéressants sur la taille des blocs détachés et l'intensité horaire des chutes.

Seuls, FRANCOU (1982), COUTARD (1982) et THORN (1979) ont réalisé simultanément l'enregistrement de la température au sein de la masse rocheuse et le contrôle de l'action de la gélivation.

Les mesures effectuées à Château-Cugny nous renseignent sur les variations de la température à la surface de la paroi rocheuse et à diverses profondeurs (fréquence, durée et intensité du gel), de même que sur l'importance de la teneur en humidité de la roche. Le régime des chutes de pierres, l'influence de l'orientation de la paroi et le rôle joué par le vent dans l'action de la gélivation ont aussi été étudiés.

2. QUALITÉS PHYSIQUES DE LA ROCHE

Le calcaire de Château-Cugny est blanchâtre, à cassure mate. De dureté moyenne (résistance à l'écrasement: 280 à 600 kg/cm²), il est souvent lézardé de fissures et microfissures. C'est une roche poreuse renfermant 10 à 12% de vide. La courbe de répartition de la dimension des pores (mesurée à l'aide d'un porosimètre à mercure) montre que les 80% de ceux-ci se situent en dessous de 0,5 μm (fig. 1). C'est précisément ce type de porosité qui caractérise les calcaires gélifs, LAUTRIDOU (1972).

Les tests d'ascension capillaire montrent que le calcaire de Château-Cugny s'imprègne rapidement et aisément d'eau. Ce sont sans doute les qualités physiques de ce calcaire: sa porosité élevée, sa fissuration dense et ses aptitudes à absorber l'eau qui expliquent sa grande sensibilité à la gélivation.

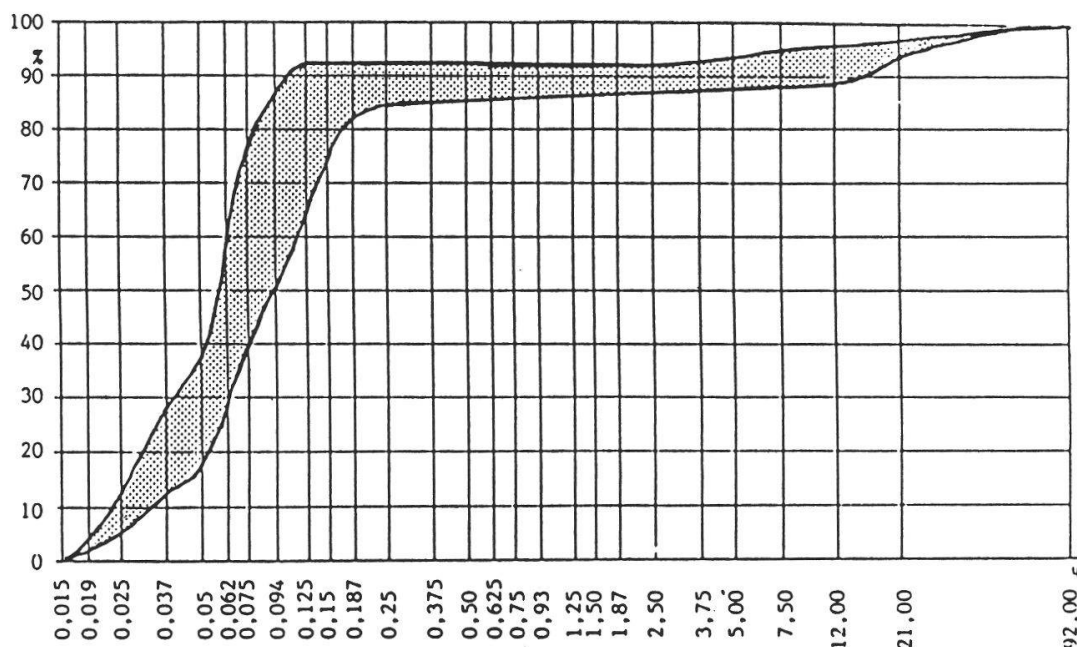


Fig. 1. Porosité moyenne du calcaire de Château-Cugny: courbe de répartition du rayon des pores (6 échantillons mesurés).

3. ESSAIS DE GÉLIVATION EXPÉRIMENTALE EN LABORATOIRE

Des essais de gélifraction expérimentale ont été effectués sur des échantillons de Château-Cugny au Centre de Géomorphologie du CNRS à Caen. Durant ces essais, les variations de température dans les chambres froides furent semblables aux conditions du climat hivernal jurassien: soit chaque semaine, 3 cycles journaliers de +18° à -6°C et 2 plus longs cycles de +18° à -12°C. Le refroidissement des échantillons était progressif (0° à -6°C en 8 heures) tandis que le réchauffement fut toujours brusque, imitant l'action des rayons du soleil sur les parois exposées au sud; afin d'assurer leur humectation, les échantillons ont été tour à tour

immergés ou placés dans une lame d'eau de 4 cm dont le niveau fut maintenu constant.

Tous les échantillons ont fourni des débris et plusieurs d'entre eux, déjà après une trentaine de cycles de gel-dégel. Après 100 alternances de gel, 4 échantillons sur 10 ont éclaté et les autres ont subi d'importantes pertes de poids. Au terme des essais (300 cycles), 9 échantillons ont éclaté (fig. 2) tandis que le dixième, moins gélif, a fourni 40 % de débris. La granulométrie des fragments (taille et forme des éclats) est semblable à celle des pierres qui alimentent les éboulis de Château-Cugny. Ces éclats sont caractéristiques d'une roche macrogélive dans laquelle le gel exploite les zones de faiblesses structurales : les microfissures. On constate en effet, que lors d'une cryoclastie expérimentale, l'amenuisement des fragments cesse après un stade rapidement atteint.

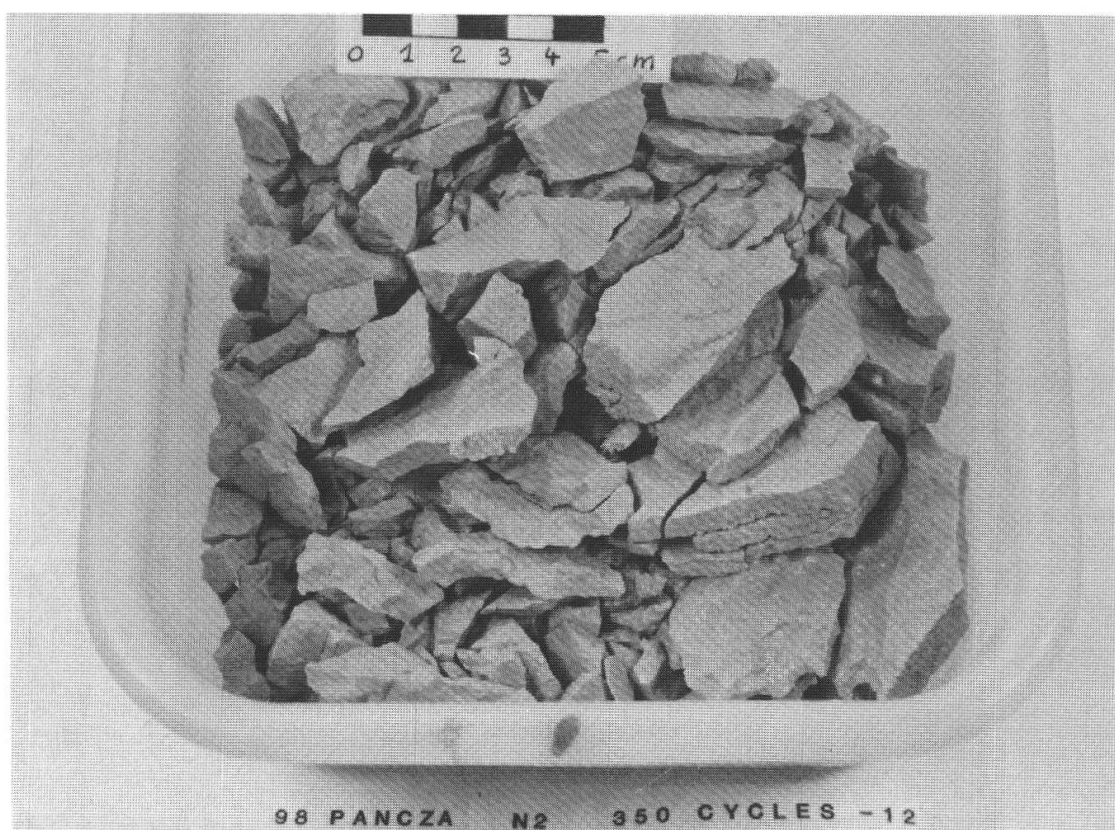


Fig. 2. Comportement du calcaire de Château-Cugny à la gélivation expérimentale. La morphométrie des éclats est semblable à celle des pierres qui alimentent les éboulis.

4. MESURES EFFECTUÉES SUR LE TERRAIN

4.1. Premiers contrôles

Les premiers contrôles d'évolution des parois rocheuses de Château-Cugny ont été effectués de 1973 à 1975 par la méthode de coloration.

Cette dernière consistait en une application d'un voile de peinture de couleur jaunâtre fait à l'aide d'un spray sur des surfaces témoins gélives, PANCZA (1979). Ces mesures prouvent que le recul annuel des zones gélives a atteint 1,7 mm en moyenne, ce qui est particulièrement élevé. En effet, des mesures semblables effectuées par RAPP (1960), RUDBERG (1960) en Suède et POSER (1954) en Autriche montrent certes un recul rapide des parois, mais sensiblement moins intense que celui de Château-Cugny (fig. 3).



Fig. 3. Vue partielle de l'un des «châteaux». On distingue la paroi principale à l'arrière-plan. La vitesse du recul de la paroi s'observe par la fraîcheur des formes et aussi par les racines des arbres qui pendent dans le vide.

4.2. Mesures en cours

Dès 1981, nous avons installé un potentiomètre à voies multiples destiné à l'enregistrement des températures en surface et à diverses profondeurs de la paroi rocheuse. C'est également en 1981 que nous avons équipé le pied des parois de «pièges à gélifracts» qui servent à recueillir les fragments détachés (fig. 4). Il s'agit de dispositifs simples qui permettent de mesurer l'évolution de plusieurs escarpements rocheux dont la superficie totale dépasse 80 m², PANCZA (1985). Un pluviographe installé en 1982, 150 m plus bas (au lieu-dit «Sur-le-Rang») fournit des renseignements sur la fréquence et l'intensité des précipitations. Un anémographe compléta les installations entre 1985 et 1988, nous fournissant des données sur les déplacements de l'air.



Fig. 4. Paroi rocheuse équipée de «pièges à gélifracsts»: station II *a*, vue partielle. (Mise en place et description des installations: PANCZA 1985.)

5. RÉSULTATS ENREGISTRÉS

5.1. Nombre de cycles de gel-dégel

La pénétration du gel dans une paroi rocheuse est fonction d'une part, de la température de l'air et d'autre part, de la durée du froid. Le vent, l'humidité de la roche et l'ensoleillement l'influencent aussi.

A Château-Cugny, nous constatons que dans les conditions climatiques actuelles, il y a chaque année dans les parois rocheuses orientées au sud, en moyenne 38 cycles de gel-dégel en surface; toutefois, à l'intérieur de la roche leur nombre diminue: soit 28 à 6 cm, 23 à 12 cm, 18 à 25 cm, 4 à 50 cm et seulement 1 à 1 m de profondeur. Il gèle moins souvent dans les escarpements ayant une autre orientation; ainsi, on compte seulement 12 cycles de gel-dégel par an à 25 cm de profondeur dans une paroi tournée au nord.

5.2. Régime des chutes de pierres

Quatre «pièges à gélifracsts» d'un accès facile permettent de contrôler les éclats détachés de quatre escarpements rocheux d'une superficie totale

d'environ 80 m². Deux de ces parois regardent au sud, une à l'ouest, tandis que la quatrième est orientée au nord. Le contrôle de la quantité d'éclats détachés s'effectue une fois par semaine.

Trois autres « pièges » furent mis en place dans une autre zone gélive d'un accès plus difficile. Il s'agit, dans ce cas, de « totalisateurs » qui ne sont vidés que deux fois par an (avril, octobre) et qui servent d'éléments de comparaison.

Le tableau 1 montre le régime annuel des chutes de pierres dans les parois gélives de Château-Cugny (moyenne arithmétique établie sur 4 ans : 1982-1983 et 1985-1986).

Il s'agit d'éclats détachés, recueillis et pesés dans les quatre zones d'escarpements surveillés. Ces valeurs montrent un recul des parois qui correspond à 1,8 mm/an en moyenne pendant cette période.

TABLEAU I

*Régime annuel des chutes de pierres
(Moyenne arithmétique établie sur 4 ans — 1982-1983 et 1986-1987)*

Janvier	81,0 kg	Mai	8,1 kg	Septembre	1,6 kg
Février	118,8 kg	Juin	15,3 kg	Octobre	6,9 kg
Mars	69,0 kg	Juillet	6,6 kg	Novembre	16,5 kg
Avril	25,8 kg	Août	6,0 kg	Décembre	45,9 kg

Il s'agit d'éclats détachés recueillis et pesés dans quatre zones d'escarpements d'une superficie totale de 78 m².

Le régime des chutes de pierres nous suggère les remarques générales suivantes :

- il tombe 10 à 20 fois plus d'éclats pendant l'hiver que durant la belle saison ;
- les gélifracsts sont régulièrement répartis le long des pièges pendant l'hiver, attestant un recul uniforme de la paroi, tandis qu'en été, leur répartition est irrégulière, prouvant l'existence de petits éboulements locaux ;
- les parois tournées au sud reculent plus vite que celles orientées différemment ;
- la teneur en eau de la roche joue un rôle capital : la quantité d'éclats est plus importante si le gel intervient après une période de pluie ou après la fusion de la neige¹ ;

¹ L'hiver 1988-1989, très peu humide et rigoureux, de même que le début de l'hiver 1990 (sec également) correspondent à des périodes calmes, caractérisées par des chutes de pierres rares et espacées. Ainsi, en 1988-1989, le recul des parois ne fut en moyenne que de 0,7 mm !

— enfin, les gels les plus efficaces correspondent aux séries de gels-dégels quotidiens lors des périodes de froid durable. Dans une telle situation, l'ensoleillement direct provoque le dégel et la fusion superficielle, tandis que les zones plus profondes de la paroi demeurent constamment gelées.

5.2.1. *Le régime journalier des chutes de pierres* illustré par la figure 5 a été établi d'une part, par des observations continues (le jour) et d'autre part, par l'enregistrement sonore des bruits de chutes de pierres sur l'éboulis (la nuit).

On remarque le rôle capital de l'ensoleillement direct sur le détachement des éclats. En effet, le réchauffement brusque de la surface provoque des chutes d'une manière concentrée, alors qu'un jour nuageux, il tombera moins de pierres sur l'éboulis et l'intensité des chutes sera mieux répartie. Il apparaît donc que le brusque réchauffement accélère le détachement des pierres déjà « déchaussées ».

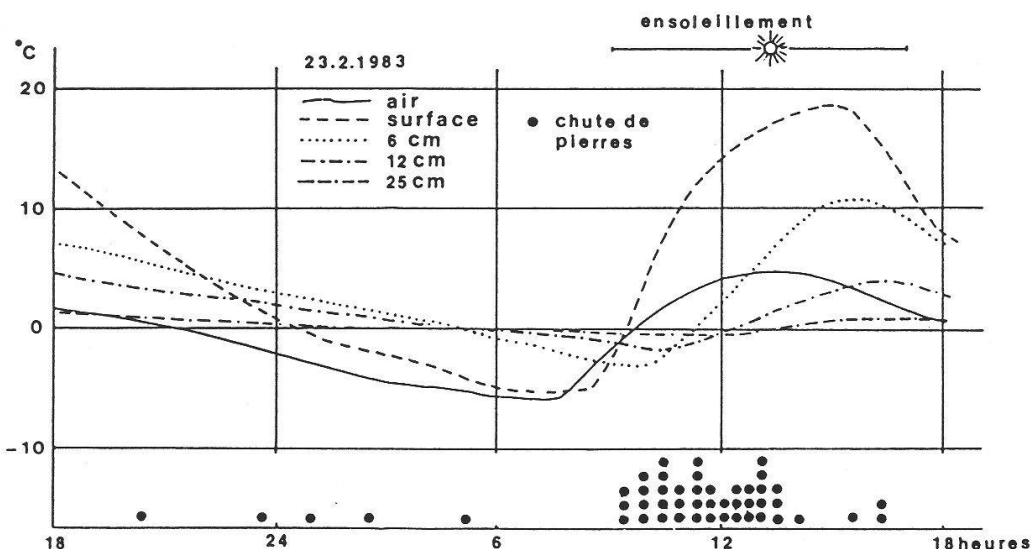


Fig. 5. Variations de la température de la roche et des chutes de pierres lors de faibles gelées nocturnes suivies d'un intense réchauffement. (Chaque point correspond à un bruit dû à la chute d'éclats détachés.)

5.3. Le rôle du vent dans la gélivation

Le processus de gélivation est complexe et il est difficile de quantifier l'influence spécifique des divers facteurs climatiques qui y jouent un rôle majeur. L'influence du vent en tant qu'« accélérateur des échanges thermiques » est bien connue et mesurable; cependant, nous savons peu de chose de son action réelle en cryoclastie et on peut se poser la question si un gel accompagné de vent est plus « efficace » qu'un gel semblable qui se produit par temps calme. Nos mesures effectuées entre 1985 et 1988 apportent quelques éléments pour répondre à cette interrogation. La comparaison entre périodes de gel par temps calme avec des gels semblables accompagnés d'un vent vif, nous montre que les gels en présence du vent peuvent

correspondre à une quantité d'éclats tombés, anormalement élevée ou exceptionnellement faible.

L'exemple présenté par la figure 6 illustre une semaine pendant laquelle le vent semble avoir contribué activement à la gélifraction.

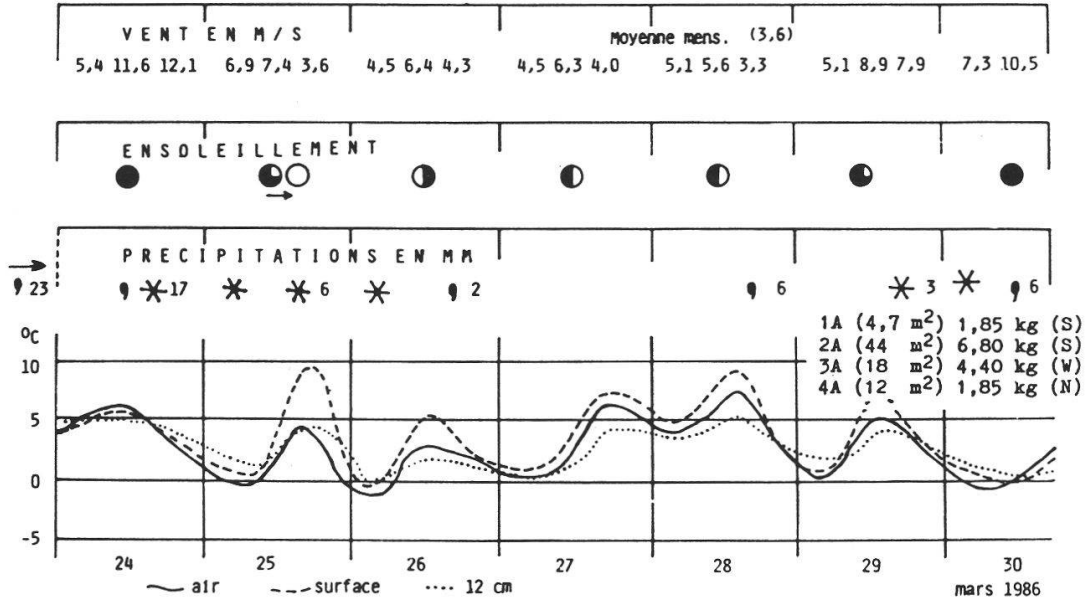


Fig. 6. Evolution de la température lors de faibles gelées de courte durée et représentation des autres facteurs climatiques influents. La quantité d'éclats détachés des parois est élevée.

La période allant du 24 au 30 mars 1986 fut peu rigoureuse à Château-Cugny. Les enregistrements de température montrent que la paroi orientée au sud ne fut gelée que superficiellement à deux reprises, soit le 26 et le 30 mars.

La teneur en eau de la roche fut élevée tout au long de la semaine (précipitations fréquentes sous forme de pluie et de neige et fusion partielle de cette dernière). Le ciel souvent nuageux et brumeux contribua à maintenir un milieu humide pendant tous ces jours. Les mesures faites sur des échantillons le confirment et prouvent que la teneur en eau de la roche fut supérieure à 90 %. Toutefois, le fait le plus marquant est la présence constante du vent qui souffla par moments en rafales avec des vitesses très largement supérieures à la moyenne mensuelle.

Nous sommes donc en présence d'une semaine caractérisée par de faibles gelées agissant à la surface d'une roche bien imbibée en eau. Habituellement, dans une telle situation, le gel n'est guère « efficace » et ne fournit que peu de gélifractions. Or, ici, la quantité d'éclats détachés est exceptionnellement importante. Aussi, il nous semble que le vent soit la cause principale de l'action efficace de ces faibles gelées.

A l'opposé de l'exemple décrit ci-dessus, l'effet du vent peut se traduire par un ralentissement et une perte d'efficacité de l'action du gel, notamment lors de gels intenses et durables.

La semaine du 7 au 13 janvier 1985 — peut-être la plus rigoureuse de l'année — est caractéristique de ce fait. Durant cette période, la tempéra-

ture de l'air oscilla entre -4° et -18°C et le front de gel pénétra à 1 m de profondeur. Seule la couche superficielle de la roche connut de brèves périodes de dégels et ceci uniquement dans les secteurs orientés au sud. Ces jours de gel furent accompagnés d'une faible brise variant entre 0,8 et 3,6 m/s.

Pendant une période de gel aussi intense et durable, on pouvait s'attendre à une abondante chute de pierres, alors que nous n'avons recueilli que peu d'éclats dans les « pièges » (2,25 kg au sud, 0,1 kg à l'ouest et 0 kg au nord). Ce fait peut surprendre, d'autant plus que la teneur en eau de la roche fut élevée (env. 90 %).

Ces gels intenses se révèlent donc peu « efficaces » à cause de l'absence de véritables cycles de gels-dégels journaliers. Le dégel des parois orientées au sud est souvent dû à l'ensoleillement direct, mais ici, l'air froid en mouvement entrave le réchauffement de la roche et empêche le dégel malgré l'ensoleillement¹.

Dans un tel cas, le vent a donc une influence négative sur la gélivation des parois rocheuses orientées au sud.

Nous avons remarqué que dans d'autres situations, l'effet du vent se manifeste souvent d'une manière indirecte en agissant sur la teneur en humidité de la roche. En effet, la ventilation constante de la paroi par de l'air relativement sec peut causer une dessiccation progressive de la surface rocheuse: la teneur en eau des échantillons prélevés à une semaine d'intervalle a diminué dans la proportion de 85 à 65 %. Pour cette raison, les cycles de gels-dégels ne connaissent pas leur efficacité habituelle.

5.4. Le rôle de l'orientation des parois

5.4.1. *La quantité d'éclats détachés*

Nous avons déjà décrit (PANCZA 1985), le rôle joué par l'orientation des escarpements dans la vitesse de leur recul. Cette évolution correspond, dans la paroi centrale orientée au sud, à 1,6-1,8 mm/an. Cette valeur est d'un tiers supérieur à celle que l'on mesure dans un escarpement regardant à l'ouest (1,2 mm) ou un autre tourné au nord (1-1,2 mm). Le plus grand nombre de cycles de gels-dégels qui se produit au cours de l'année dans les roches exposées au soleil permet d'expliquer cette différence.

Nos mesures montrent que les chutes de pierres varient considérablement d'une année à l'autre: l'hiver 1988-1989 correspond à des valeurs minimales (40 à 50 % inférieures à ces moyennes). Quant à la différence due à l'orientation des parois, elle ne change que très peu.

5.4.2. *La taille des gélifracsts tombés*

Le comportement des parois tournées vers le sud, comparativement à celles qui regardent vers le nord ne diffère pas seulement par la quantité d'éclats fournis mais aussi par la taille de ceux-ci.

¹ Lors d'un jour de gel, l'écart entre la température de l'air et celle de la surface rocheuse ensoleillée peut atteindre 15° et même 18°C (fig. 5).

L'un des pitons rocheux appelé «château» et équipé de pièges sur ses flancs nord, sud et ouest connaît une évolution intéressante illustrée par le tableau II.

TABLEAU II

Orientation des parois et taille des éclats recueillis

<i>Mois</i>	<i>Taille moyenne des fragments en grammes (moyennes de 2 ans)</i>		
	<i>Sud</i>	<i>Ouest</i>	<i>Nord</i>
Novembre	34,1	22,1	28,7
Décembre	37,6	23,8	71,0
Janvier	46,4	20,1	130,3
Février	48,1	34,2	145,3
Mars	52,3	25,5	114,8
Avril	31,6	17,0	48,2
Mai-octobre	40,1	22,4	26,3

(Valeurs basées sur 3667 éclats recueillis dans les pièges.)

Ces chiffres montrent d'une part, que la taille moyenne des fragments détachés en hiver est supérieure à la dimension de ceux qui tombent pendant les autres saisons et d'autre part, que la paroi nord libère des éclats beaucoup plus gros. Cette dernière observation nous a incité à entreprendre une nouvelle série d'essais en laboratoire de cryoclastie. Il s'agissait de vérifier si les échantillons prélevés dans les mêmes strates au nord et au sud du piton rocheux, ont un comportement semblable ou s'ils connaissent une évolution différente lors des essais de gélivation expérimentale. Ces expériences basées sur 20 échantillons (10 provenant du pied sud et les 10 autres du versant nord), nous ont montré que dans un milieu expérimental, soumis à des cycles de gel-dégel modérés ($-12^{\circ}\text{C}/+16^{\circ}\text{C}$) et journaliers, le comportement des échantillons fut semblable, PANCZA (1988). Au cours de ces essais, nous n'avons pas remarqué une différence notable, ni au niveau de la taille des éclats détachés, ni du point de vue de la vitesse de fragmentation des échantillons.

Or, à Château-Cugny, ces roches évoluent d'une manière fort différente. Faut-il attribuer ce comportement inégal à l'orientation de la paroi rocheuse? Nous le pensons, mais d'autres essais sont encore nécessaires pour l'affirmer avec certitude.

Ces mesures pourraient alors contribuer à l'explication de certaines formes bien caractéristiques des parois rocheuses jurassiennes. Nous pensons notamment aux escarpements tournés au sud qui sont d'une manière générale plus érodés et abaissés que leurs vis-à-vis orientés au nord.

Résumé

L'escarpement rocheux de Château-Cugny constitue un lieu particulièrement propice à l'étude des chutes de pierres, du fait que le calcaire y est très sensible à l'action du gel. En effet, le recul actuel des parois dépasse 1 mm par année en moyenne.

A partir d'observations faites dès 1973 et de mesures continues depuis 1981, nous cherchons à cerner les facteurs climatiques responsables de l'évolution actuelle de ces parois. L'instrumentation mise en place (mesure continue de la température de la roche, pluviographe, anémographe et «pièges à gelifracts») permet d'établir d'une part, le nombre de cycles de gels-dégels à la surface et à diverses profondeurs dans la paroi et d'autre part, le régime annuel des chutes de pierres.

Les mesures faites depuis 1985 ont montré le rôle joué par le vent dans l'action du gel. Depuis trois ans, nous avons également cherché à comprendre l'influence de l'orientation des escarpements dans les processus de gélivation.

Zusammenfassung

Die Felswände bei Château-Cugny bilden einen besonders günstigen Ort zur Erforschung der Steinschläge. Dies durch die Tatsache, dass dort der Kalk sehr stark den Frostwirkungen ausgesetzt ist. In der Tat beträgt der Rückzug der Felswände gegenwärtig 1 mm im Jahr.

Aufgrund der ab 1973 gemachten Beobachtungen und ständige Messungen seit 1981 versuchen wir die klimatischen Faktoren in den Griff zu bekommen, die das gegenwärtige Verhalten dieser Felswände bestimmen. Die eingesetzten Geräte (ständige Messung der Felstemperatur, Niederschlagsmessung, Windmesser und «Fallen für Frostsplitter») erlauben, einerseits die Anzahl der Gefrieren-Auftauen-Zyklen an der Oberfläche und in verschiedenen Tiefen und andererseits den jährlichen Rhythmus der Steinschläge festzulegen.

Die Masse, die seit 1985 genommen wurden, haben darauf gezielt, die wichtige Rolle des Windes in der Frostaktion hervorzuheben. Seit drei Jahren haben wir versucht, den Einfluss der Steilhangsorientation über diese Frostaktion zu verstehen.

Summary

“Château-Cugny” rock cliff constitutes a particularly well exposed site which is favourable to rockfalls study since limestone is very sensitive to frost action. The average rock faces retreat is superior to 1 mm/year.

Starting on with observations made since 1973 and thanks to constant measurements (since 1981), we are trying to define the climatic factors which are responsible for the present evolution of rock faces.

The instrument which was used (constant measurement of rock temperature, rain and wind recorders and rocktraps) enables to establish on one hand the number of froze-thaw cycles at the surface and at various depths in the rock face, and on the other hand the annual frequency of rockfalls.

The measurements which were made since 1985 aimed at pointing out the role played by the wind in frost action.

For 3 years we have been trying to understand the influence of the rock face orientation on froze processes.

BIBLIOGRAPHIE

- COUTARD, J.-P. et GUILLEMET, G. — (1982). Mesures de températures dans une paroi calcaire en domaine tempéré océanique. 15 pp. *Centre Géom. du CNRS, Caen*.
- FRANCOU, B. — (1982). Chutes de pierres et éboulisation dans les parois de l'étage périglaciaire. *Rev. Geogr. Alpine* LXX (3): 279-300, 7 fig.
- LAUTRIDOU, J.-P. — (1972). Bilan des recherches de gélifraction expérimentale effectuées au Centre de Géomorphologie. *Bull. Centre Géom.* 13: 63-73, 2 fig.
- PANCZA, A. — (1979). Contribution à l'étude des formations périglaciaires dans le Jura. 187 pp., 50 fig., 27 tabl. *Thèse, Univ. Neuchâtel*.
- (1985). Le Château-Cugny, un escarpement particulièrement gélif du Jura. *Geogr. Helv.* 3: 67-73, 9 fig.
- (1988). Contemporary frost action on different oriented rock walls: an example from the swiss Jura mountains. *Fifth International Conference on Permafrost, Proceedings*, volume 1: 830-833, 3 fig., 1 tabl.
- POSER, H. — (1954). Die Periglazial-Erscheinungen in der Umgebung der Gletscher des Zemmgrundes. *Göttinger Geogr. Abh.* 15: II.
- RAPP, A. — (1960). Recent developments of mountain slopes in Kärkewagge and surroundings, Northern Scandinavia. *Geogr. Ann. Univ. Uppsala* 42: 71-200.
- RAPP, A. et RUDBERG, S. — (1960). Recent periglacial phenomena in Sweden. *Biul Perigl.* 8: 143-154.
- THORN, C. E. — (1979). Bedrock freeze-thaw weathering regime in an alpine environment, Colorado Front Range. *Earth surf. Processes* 4: 211-228.

Adresse de l'auteur :

Université de Neuchâtel, Institut de géographie, Espace Louis-Agassiz 1, CH-2000 Neuchâtel, Suisse.