



## Variations de longueur de cylindres de pierre de Caen (calcaire bathonien) sous l'effet de séchage et d'humidification

par

A. PISSART, Liège et J. P. LAUTRIDOU, Caen

avec 4 figures

**Zusammenfassung.** Einige Zylinder aus Kalk des Bathonien (Porosität ca. 30%) verändern unter dem Einfluß von Durchfeuchtung und Austrocknung ihre Länge bis zu  $5 \mu\text{m}/\text{cm}$ . Diese Längenänderungen sind proportional größer, wenn der Wassergehalt in der Probe gering ist. Fluktuationen der atmosphärischen Feuchte bedingen Variationen im Gewicht der Proben. Da die Länge der Proben anscheinend progressiv mit mehreren Zyklen der Austrocknung/Durchfeuchtung zunimmt, halten die Autoren dieses Phänomen für einen Prozeß der mechanischen Verwitterung.

**Summary.** Under the effect of wetting and drying, some cylinders of Bathonian limestone (of porosity of circa 30%) undergo changes in length which may exceed  $5 \mu\text{m}/\text{cm}$ . These changes in length are proportionally larger when the amount of water inside the sample is low. Fluctuations in atmospheric humidity cause variations in the weight of the sample. Since the length of the sample appears to increase progressively following several cycles of drying/wetting, the authors believe the phenomenon to be a process of mechanical weathering.

**Résumé.** Sous l'action d'humidification et de séchage, des cylindres de calcaire bathonien ayant une porosité proche de 30%, subissent des variations de longueur qui peuvent dépasser  $5 \mu\text{m}/\text{cm}$ . Ces variations sont proportionnellement les plus grandes quand la quantité d'eau contenue dans l'échantillon est faible. Les fluctuations d'humidité atmosphérique suffisent à provoquer des variations de poids mesurables. Comme les échantillons paraissent augmenter progressivement de longueur suite à plusieurs essais humidification/séchage, les auteurs voient dans ce phénomène un processus de désagrégation mécanique.

### *Introduction*

Les variations de longueur de cylindres de divers matériaux meubles humides (limon, argile, etc.) ont été enregistrées au cours d'expériences gel/dégel. Les courbes obtenues étaient complexes et d'interprétation difficile. Des essais identiques ont été réalisés avec des cylindres de calcaire bathonien prélevés à proximité de la ville de Caen. Il s'agit d'un

0044-2798/84/0049-0111 \$ 1.50

© 1984 Gebrüder Borntraeger, D-1000 Berlin · D-7000 Stuttgart

calcaire bioclastique, crayeux, très poreux (25 à 28%) avec des pores de taille moyenne (médiane du rayon des pores vers 0,3–0,4  $\mu\text{m}$ ; pas de pore au-dessus de 1  $\mu\text{m}$ ; 20% de pores très fins, inférieurs à 0,1  $\mu\text{m}$ ), une perméabilité notable inférieure à 1 millidarcy (perméabilité à l'eau) et une résistance à la compression de 300 à 400  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

Nous n'analyserons pas ici le détail des enregistrements obtenus sous l'action du gel. Nous nous limiterons à préciser qu'un cylindre de 99 mm de longueur, préalablement immergé dans l'eau, et ayant subi un gel l'amenant de 0°C à -6°C en 4 h ½, a subi, alors que la température restait constante pendant 20 h, un retrait de 0,06 mm. Nous avons supposé que ce retrait était dû à une migration d'eau non gelée contenue dans l'échantillon. Afin de vérifier le bien-fondé de cette hypothèse, nous avons entrepris des mesures pour connaître les variations de longueur que provoquaient dans des cylindres de pierre de Caen identiques de simples alternances de séchage et d'humidité, sans grande variation de température.

### *L'appareillage utilisé*

Le figure 1 donne une vue de l'appareillage utilisé. L'échantillon de calcaire est placé dans un cylindre métallique. Celui-ci supporte un mesureur de déplacement électronique collé à la surface supérieure du cylindre de calcaire. Des thermocouples mesurent la température de l'échantillon. L'hydratation a été réalisée en versant de l'eau distillée dans le cylindre métallique. Placé ensuite dans un cylindre ajouré, l'échantillon a été soumis à l'action d'un ventilateur et asséché. Au cours de cette opération, l'appareil a été disposé sur une balance de façon à mesurer la perte de poids, c'est-à-dire la perte d'humidité, en même temps que la variation de longueur de l'échantillon. Les variations de longueur ont été mesurées avec une précision de l'ordre de 2  $\mu\text{m}$ , les mesures de poids avec une précision de 0,1 g.

### *Les résultats*

#### *A. Hydratation*

L'échantillon immergé dans l'eau subit une dilatation d'abord rapide puis de plus en plus lente. La dilatation se poursuit encore une semaine après l'immersion dans l'eau, comme le montre la fig. 2.

#### *B. Séchage*

La figure 3 rassemble deux courbes montrant les variations concomitantes de poids et de longueur d'un échantillon au cours d'une période de séchage de 4 jours ½. La courbe de variation de poids se compose de 3 sections à peu près rectilignes et de moins en moins inclinées indiquant que la vitesse d'évaporation de l'eau a diminué nettement 2 fois au cours de l'expérience. Les modifications de vitesse de l'évaporation se sont produites pour des valeurs de 33% et de 3,4% de la quantité d'eau totale qui a été absorbée. Par comparaison avec la courbe de porosité, ces valeurs correspondent à des pores de diamètre de 0,025  $\mu\text{m}$  et de 0,25  $\mu\text{m}$ . Ces valeurs ne sont toutefois déterminées avec précision que pour autant que l'échantillon ait été entièrement saturé au début de l'expérience et que les pores

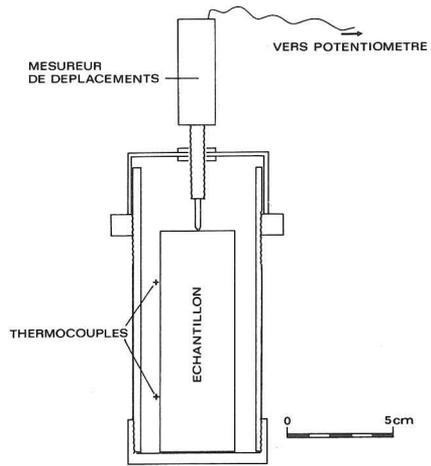


Fig. 1. Schéma de l'appareillage utilisé.

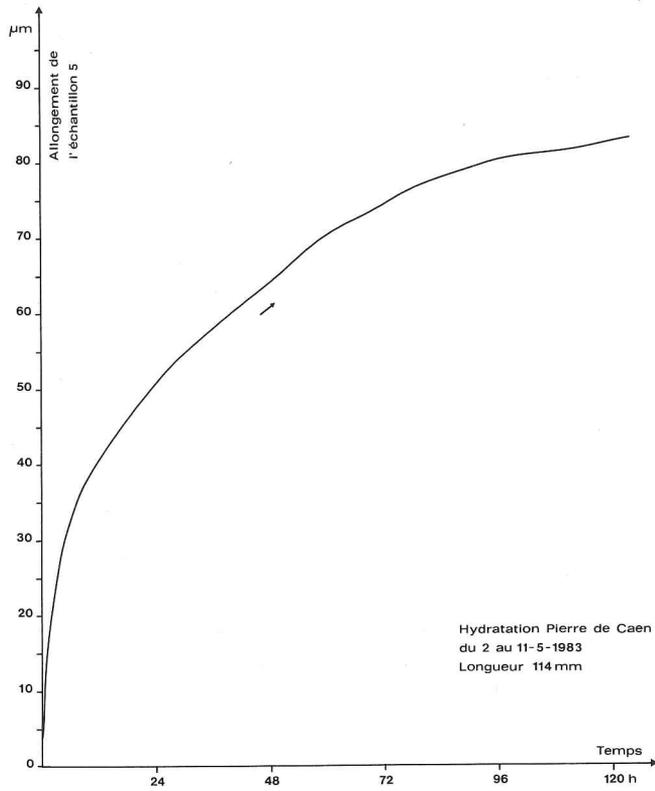


Fig. 2. Variation de longueur d'un cylindre de pierre de Caen au cours de son immersion dans l'eau pendant une période de 5 jours.

aient été abandonnés dans l'ordre de leur taille décroissante. Précisons toutefois que la courbe de porosité ne paraît pas justifier les différents paliers apparus dans les courbes d'évaporation.

Au cours du même essai, la variation de longueur de l'échantillon a été beaucoup plus progressive, sans ruptures semblables à celles qui avaient été observées lors des pesées. Les points d'observation sont dispersés de part et d'autre de la courbe, en relation avec la précision des mesures et les facteurs extérieurs de variation de température et d'humidité de l'air. Cette dispersion des mesures ne met pas en cause l'allure générale de la courbe qui, par rapport à celle des poids, est moins inclinée au début de l'assèchement et est plus inclinée à la fin de celui-ci.

Les relations entre la perte de poids et la diminution de longueur de l'échantillon sont beaucoup mieux perçues si on examine la fig. 4: la variation de longueur par unité de poids est d'autant plus considérable que la quantité d'eau contenue dans l'échantillon est réduite. Autrement dit, quand l'échantillon est presque sec, une très faible variation d'humidité entraîne une variation de longueur relativement considérable. Ainsi, pour une teneur en eau de 0,01 à 0,02 g/cm<sup>3</sup>, l'accroissement de longueur est de 0,6 μm/cm alors que pour une égale variation de 0,01 g/cm<sup>3</sup> à la teneur de 0,2 g/cm<sup>3</sup>, la variation de longueur est de 0,05 μm soit 12 fois moindre.

Sur cette fig. 4, on retrouve évidemment les deux ruptures de pente qui ont été observées précédemment sur la fig. 3. Comme nous l'avons déjà mentionné, nous ne comprenons pas la raison justifiant ces ruptures de pente. Nous sommes tout autant incapables d'expliquer maintenant la raison pour laquelle le début de la courbe est plus inclinée pour des teneurs supérieures à 0,25 g/cm<sup>3</sup>. Peut-être est-ce en relation avec la libération d'air emprisonné dans l'échantillon au moment de son humidification?

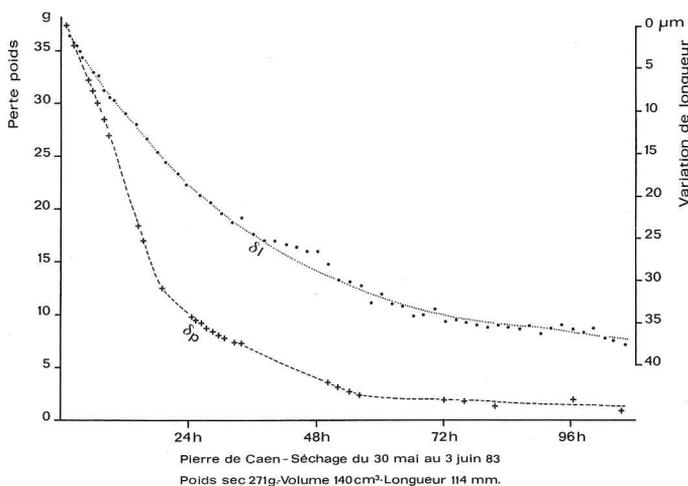


Fig. 3. Variation de poids et de longueur au cours de l'assèchement d'un cylindre de pierre de Caen préalablement immergé dans l'eau pendant plusieurs jours. Le séchage a été réalisé en plaçant le cylindre devant un ventilateur dans le laboratoire.

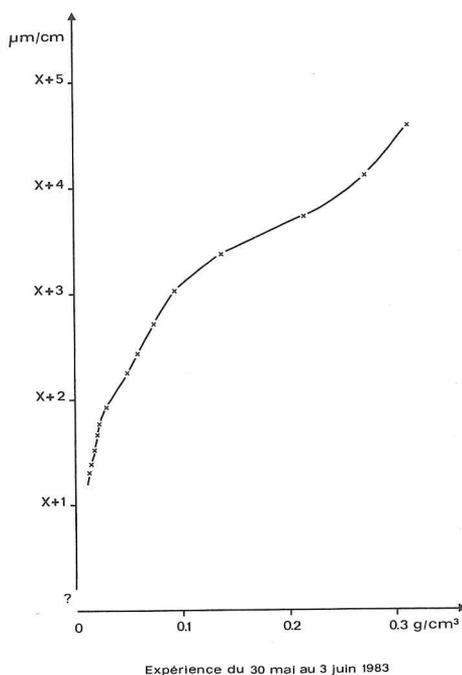


Fig. 4. Variation de longueur d'un cylindre de pierre de Caen en fonction de la perte d'humidité au cours d'une période d'assèchement de 4 jours présentée sur la fig. 3.

Etant donné que l'on ne peut placer à l'étuve à une température supérieure à 100 °C la balance et le transducer déplacement, nous n'avons pu prolonger notre courbe jusqu'à l'assèchement complet de l'échantillon. Nous n'avons donc pu déterminer exactement où se trouve l'extrémité de la courbe. Cette incertitude est traduite par l'usage d'une valeur indéterminée X près de l'ordonnée de ce graphique 4. Lors de nos premiers essais, nous avons considéré comme zéro la valeur du début de l'expérience, c'est-à-dire celle mesurée au moment de l'humidification de l'échantillon qui, à ce moment, sortait de l'étuve. Nous considérons que, après un cycle humidification/séchage, l'échantillon retrouvait la longueur qu'il avait au début de l'expérience. Cette hypothèse nous obligeait alors à considérer que la perte du dernier 0,01 g/cm<sup>3</sup> entraînait un raccourcissement de l'échantillon qui, dans certains cas, atteindrait 6 μm/cm. Comme une telle variation de longueur nous paraît très improbable, nous préférons, en attendant une confirmation expérimentale, croire que l'échantillon s'est allongé suite au cycle d'humidification/séchage<sup>1</sup>. Un allongement semblable, mais plus important, est observé également lorsque des échantillons du même calcaire ont subi un cycle gel/dégel.

Signalons encore qu'au terme de la période de séchage, lorsque les échantillons étudiés arrivent à l'équilibre avec l'humidité ambiante, des variations de poids sont enregistrées en concordance avec la fluctuation de l'humidité atmosphérique telle qu'elle est observée par un thermohydrographe.

1 Allongement confirmé par la suite (note ajoutée sur l'épreuve en juillet 1984).

*Conclusions*

L'existence d'une dilatation de certaines roches calcaires, suite à leur humidification, avait déjà été signalée précédemment par HUDEC & SITAR (1975). Ces auteurs supposaient que ce processus pouvait entraîner la désagrégation de roches hautement absorbantes. En établissant que la variation de longueur des roches est relativement importante pour de faibles variations d'humidité et en montrant que des variations de poids se produisent rapidement en relation avec la variation d'humidité atmosphérique, les observations rapportées ici apportent de nouveaux arguments pour admettre une désintégration contrôlée par les fluctuations d'humidité de l'air ambiant (et l'action de la rosée).

D'autre part, nos observations nous permettent maintenant d'interpréter comme résultant du déplacement d'eau non gelée la diminution de longueur d'un échantillon de calcaire maintenu gelé pendant une longue période, phénomène dont nous avons parlé dans l'introduction de la présente note.

*Remerciements*

Nous remercions vivement M. MICHEL ERPICUM, assistant au Service de Géographie physique de l'Université de Liège, qui a installé et réglé dans notre laboratoire un thermohydrographe.

**Bibliographie**

HUDEC, P. P. & N. SITAR (1975): Effect of water sorption on carbonate rock expansivity. *Can. Geotech. J.* 12: 179-186.

Adresses des auteurs: A. PISSART, Laboratoire de Géomorphologie et de Géol. du Quaternaire, Univ. de Liège, Place du 20-Août, 7, B-4000 Liège (Belgique).

J. P. LAUTRIDOU, Centre de Géomorphologie du C.N.R.S., Univ. de Caen, Rue du Tilleul, F-14000 Caen (France).

## The influence of slope angle on infiltration rate and Hortonian overland flow volume

by

J. POESEN, Leuven

with 8 figures and 4 tables

**Zusammenfassung.** In der Literatur gibt es keine bestimmte Relation zwischen Hangneigung und Infiltration und Oberflächenabfluß (HORTON runoff). Es wurden Laborexperimente mit Hilfe eines simulierten Niederschlags durchgeführt, um diese Relation aufzustellen und die betreffenden Mechanismen zu analysieren. Die Abflußkoeffizienten (R.C.) für eine 2° flache Sedimentoberfläche waren im Mittel 15,5% höher als die R.C.-Werte für eine 15° Sedimentfläche. Durchsickerungsbeträge zeigten eine andere Relation mit dem Hang: Der mittlere Durchsickerungskoeffizient (P.C.) für einen 2°-Hang war 7,4% geringer als der mittlere P.C.-Wert für einen 15°-Hang. Diese Ergebnisse zeigen eine positive Relation zwischen Hang und Infiltrationsrate, insbesondere für Sedimente mit einem Wassergehalt gleich oder höher als die Feldkapazität. Diese positive Relation konnte erklärt werden durch unterschiedliche Bodeneigenschaften der Oberfläche in den Rillen und dazwischen, die vor allen Dingen durch die stärkere Erosion der steileren Hänge bedingt ist. Damit ist die Intensität der Oberflächenversiegelung invers proportional zur Neigung. Wenn, beim Regen, die beschriebenen Mechanismen nicht wirken, wird die Infiltrationsrate nicht von der Neigung beeinflusst. Daraus ergibt sich eine Modellvorstellung in Hinsicht auf den Einfluß der Neigung auf Infiltrations- und Abflußmenge für unterschiedliche Bodenoberflächen.

**Summary.** From literature no definite relation can be found between slope angle and infiltration - and HORTON runoff volume. Laboratory experiments with the aid of simulated rainfall have been performed to analyse such relation and to establish the relevant mechanisms. Runoff coefficients (R.C.) for a 2° flat sediment surface were in the mean 15.5% higher than the R.C.-values for a 15° sediment surface. Percolation volumes showed another relation with slope: the mean percolation coefficient (P.C.) for a 2° slope was 7.4% lower than the mean P.C.-value for a 15° slope. These results indicated a positive relation between slope and infiltration rate, especially for sediments with a water content equal to or higher than field capacity. This positive relation could be explained by different top soil properties in inter-rill and rill areas, mainly induced by the increased erosion on the steeper slopes. Hence, surface sealing intensity is inversely proportional to slope. If the described mechanisms do not operate, slope will not affect infiltration rate. This led to a conceptual model with respect to the influence of slope on infiltration- and runoff volume for different soil surfaces.

0044-2798/84/0049-0117 \$ 3.75

© 1984 Gebrüder Borntraeger, D-1000 Berlin · D-7000 Stuttgart