

A. PISSART * - J.L. SCHEPERS * - A. LAURANT **

ÉTUDE STATISTIQUE DES DÉPLACEMENTS DE CAILLOUX SUPERFICIELS DANS UN MILIEU PÉRIGLACIAIRE DE HAUTE MONTAGNE, LA HAUTE VALLÉE DU CHAMBEYRON (BASSES ALPES)

RÉSUMÉ

La vitesse de déplacement de plusieurs centaines de cailloux dans la haute vallée du Chambeyron a été mesurée pendant de nombreuses années. Différents facteurs intervenant dans la vitesse de déplacement des blocs ont été mesurés ou estimés, à savoir, la pente, l'enfoncement, la longueur des blocs, l'humidité au moment de l'observation, l'humidité potentielle, l'importance de la couverture végétale, la granulométrie.

Un traitement statistique par ordinateur a permis, d'une part, de rechercher l'importance de chaque facteur dans les déplacements observés et, d'autre part, de tenter une formulation mathématique rendant compte de ces déplacements.

A condition de considérer le logarithme du déplacement annuel moyen, les formules rendent généralement compte de 40 % des cas observés. Le taux d'explication s'élève cependant à 75 % pour 45 cailloux localisés sur des pentes de 7 à 12 %.

SUMMARY

The rates of movement of several hundred pebbles in the high valley of Chambeyron have been measured for a number of years. The different factors affecting the rate of movement of blocks have been measured or estimated, i.e. the slope, the depth to which the blocks are embedded, their length, the humidity at the time of observation, the potential humidity, the importance of the vegetation cover and the granulometry.

Statistical treatment by computer allows, on the one hand, the importance of each factor in the observed movements to be assessed, and on the other hand, these movements to be expressed in mathematical terms.

As an evaluation of the logarithm of mean annual movement, the formulas generally account for 40 % of the observed cases. The level of explanation however, rises to 75 % for 45 pebbles located on slopes of 7 to 12 %.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Bewegungsgeschwindigkeit von Geröllen wurde über mehrere Jahre im Chambeyrontal beobachtet. Unterschiedliche Faktoren, die die Bewegungsgeschwindigkeit der Gerölle beeinflussen, wurden gemessen bzw. geschätzt; es handelt sich um die Hangneigung, die Eintiefung, die Länge der Gerölle, die Feuchtigkeit im Beobachtungszeitraum, die potentielle Feuchtigkeit, die Vegetationsbedeckung und die Korngröße. Die Bedeutung jedes Faktors und eine mathematische Formel, die sich auf diese Bewegungen bezieht, wurden durch eine statistische Computeranalyse festgestellt. Wenn der Logarithmus betrachtet wird, dann trifft die Formel auf 40 % der Fälle zu. Der Prozentsatz erreicht 75 % für 45 Gerölle, die einer Hangneigung zwischen 7 % und 12 % entsprechen.

Nous remercions très vivement le Professeur F. MONFORT qui a eu la grande amabilité de suivre attentivement le présent travail. Il nous a indiqué les méthodes mathématiques adéquates et il a discuté longuement de la valeur statistique des résultats obtenus. Sans son aide, ce travail n'aurait pas pu être réalisé.

INTRODUCTION

En 1947, A. CAILLEUX a marqué à la couleur des cailloux sur des pentes et dans les sols polygonaux de la Haute Vallée du Chambeyron, entre 2700 et 3000 m d'altitude. Dans ce milieu périglaciaire, ces marques sont toujours visibles et les déplacements des cailloux ont été mesurés à plusieurs reprises. J. MICHAUD et A. CAILLEUX ont présenté en 1950 des données à ce sujet pour la période 1947-1949. L'un de nous (A. PISSART, 1964) a mesuré les déplacements survenus après 16 ans. Par la suite, des mesures non publiées ont été effectuées en 1968, 1972 et 1979. La comparaison des différentes données recueillies a montré que si le déplacement des cailloux n'est pas toujours le même chaque année et cela en relation avec les variations climatiques, les vitesses relatives de déplacement des différents cailloux se conservent d'années en année.

Lorsque l'un de nous (A. PISSART, 1964) a publié le résultat de mesures effectuées après 16 ans, il a présenté un graphique donnant le déplacement des différents éléments en fonction de la pente. Ce graphique montrait une dispersion considérable des mesures et établissait que la pente n'était qu'un facteur parmi beaucoup d'autres déterminant la vitesse de déplacement.

* Laboratoire de Géomorphologie et de Géologie du Quaternaire - Université de Liège.

** Bibliothèque générale - Université de Liège.

D'autres facteurs avaient été reconnus, dont notamment la taille des cailloux et leur enfoncement dans le sol.

Nous nous sommes demandés s'il était possible de mieux comprendre les facteurs contrôlant les vitesses de déplacement en considérant statistiquement à la fois le déplacement annuel moyen de chaque caillou et l'expression chiffrée de différents facteurs susceptibles d'intervenir, à savoir, la pente du sol, la taille des cailloux, leur enfoncement dans le sol, la granulométrie du matériau sous-jacent, l'humidité du sol et la couverture végétale. C'est le résultat de cette étude statistique que nous présentons ici. Toutes les données disponibles dans la Haute Vallée du Chambeyron n'ont toutefois pas été introduites dans ce programme car, lors de notre passage en 1979 quand nous avons noté les caractères de chaque caillou, plusieurs marques étaient sous la neige et n'ont pu, de ce fait, être observées.

I – LES DONNÉES CONSIDÉRÉES

Le tableau 1 rassemble des indications sur les éléments qui ont été pris en compte dans cette recherche. Il montre que 297 cailloux ont été considérés, provenant de 8 sites différents, correspondant à des pentes variant de 2 à 34°. La vitesse de déplacement moyenne est calculée pour 183 cailloux sur une période de 32 années. Il s'agit de marques réalisées par A. CAILLEUX en 1947. Pour 74 autres, la durée d'observation est de 16 ans : ce sont des marques que nous avons inscrites en 1963, ou des cailloux peints depuis une date indéterminée et dont nous avons mesuré la position en 1963 (1). Enfin, pour 41 cailloux, la durée d'observation n'a pas dépassé 2 ans. Ces données correspondent à de petits cailloux à la surface de sols striés, où la vitesse de déplacement est toujours considérable (A. PISSART, 1964). Les déplacements annuels moyens observés varient entre 16 cm pour des blocs ayant roulé sur l'éboulis, jusqu'à un déplacement nul pour de très gros blocs de plus de 3 m de longueur, profondément enfoncés dans le sol.

Les éléments suivants ont été mis directement en relation avec la valeur du déplacement annuel moyen :

- la pente, mesurée en degrés, à l'emplacement de chaque caillou ;
- la longueur du caillou, mesurée en cm ou estimée lorsqu'il s'agissait d'un gros bloc enfoncé dans le sol ;
- l'enfoncement du caillou dans le sol, mesuré en cm ; cette valeur est estimée lorsqu'il s'agit d'un gros bloc qui ne pouvait être soulevé ;
- la granulométrie estimée sur le terrain, à proximité immédiate du bloc considéré. La valeur 0 a été accordée à un matériau fin, sans élément dépassant 1 mm ; les valeurs 1, 2, 3, 4 et 5 respectivement à un matériel fin comprenant des cailloux ne dépassant pas 1, 5, 10, 20 et 100 cm ; les valeurs 6 et 7 étaient attribuées quand on ne percevait pas à proximité du bloc, du matériel fin inférieur respectivement à 1 mm et à 1 cm ;
- l'humidité actuelle, estimée sur le terrain en humidité forte moyenne, faible et nulle (2) et représentée par les valeurs 0 à 3 ;
- l'humidité potentielle, estimée sur le terrain d'après la morphologie et classée en 3 valeurs : forte, moyenne et faible. Ce facteur permet de rendre compte de la forte humidité qui existe notamment à l'aval des névés et plaques de neige persistant tard dans l'année ;
- la végétation. En attribuant conventionnellement une valeur 0 à un sol sans végétation, et une valeur 4 à une couverture herbeuse continue.

Nous sommes parfaitement conscients de l'imprécision des chiffres que nous avons utilisés pour caractériser les 4 derniers facteurs. Il est évident que la granulométrie aurait dû être mesurée d'une manière précise et qu'un indice combinant les caractères texturaux susceptibles d'intervenir, dont principalement le pourcentage de silt, aurait dû être utilisé. L'humidité au moment où les observations ont été réalisées aurait également dû être mesurée avec précision. Bien entendu, cette valeur n'aurait pas nécessairement été représentative car l'humidité peut varier considérablement au cours de l'année, et notamment au moment de la fusion de la neige, en relation, comme nous l'avons déjà dit, avec la distribution inégale de celle-ci.

II – LES TRAITEMENTS STATISTIQUES

Les données chiffrées pour les 297 cailloux considérés ont été traitées par ordinateur à l'aide d'un programme du «Département de Biomathématique de l'Université de California» à Los Angeles (1979).

Ce programme «BMDP 2R» permet d'estimer, étape par étape, les paramètres d'une équation de régression multiple, ainsi que d'autres éléments statistiques tels que moyenne, écart-type, asymétrie, aplatissement, coefficient de corrélation et résidu.

Six cailloux ont été écartés de ce traitement statistique parce que leur déplacement annuel moyen dépassait de plus de 3 écarts-types la moyenne obtenue pour tous les cailloux. Il s'agissait de valeurs exceptionnelles dues sans doute à des phénomènes accidentels. S'ils avaient été conservés, les résultats n'auraient pas été très différents de ce que nous avons obtenu et qui est présenté ci-dessous.

Les 297 cailloux ont tout d'abord été traités ensemble en prenant le déplacement annuel moyen exprimé en cm comme variable dépendante ; ensuite, nous avons traité de la même manière les données, mais en considérant le \log_{10} du déplacement annuel moyen, au lieu de la valeur arithmétique exprimée en cm (3). Comme les valeurs de corrélation obtenues de la

(1) Il est possible que ces marques de couleur bleue aient été placées par MICHAUD en 1949.

(2) Ce dernier cas se présentant lorsqu'il n'existait aucune matrice entre les cailloux.

(3) Pour pouvoir effectuer cette transformation logarithmique, nous avons accordé conventionnellement aux valeurs nulles de déplacement annuel moyen, une valeur de 0,05 cm

sorte ont été meilleures, ces données montrent qu'il est préférable de considérer dans une étude statistique des valeurs logarithmiques de déplacement au lieu des valeurs arithmétiques.

Par la suite, comme nous le verrons plus loin, nous avons traité séparément, avec le même programme BMDP 2R, les éléments situés sur des pentes supérieures à 27°, ceux répartis sur des pentes inclinées de 27 à 40°, et enfin ceux observés sur des pentes inférieures à 40°.

III – LES RÉSULTATS

1) Toutes les données

Les tableaux 2 et 3 présentent les principaux résultats obtenus en utilisant ce programme BMDP 2R. Nous avons tout d'abord considéré ensemble les 297 cailloux pour lesquels nous possédons des données (tableau 2). La comparaison des coefficients de corrélation existant entre le déplacement annuel moyen et les différents facteurs susceptibles d'intervenir montre, comme nous l'avons déjà dit, une supériorité évidente pour les données logarithmiques. L'équation de régression obtenue explique d'ailleurs 39,5 % du déplacement annuel moyen lorsque l'on en considère le logarithme et seulement 22 % lorsque l'on prend en compte les valeurs arithmétiques, et ceci pour un niveau de signification de 0,01. Comme la même différence en faveur des données logarithmiques est apparue pour tous les programmes soumis, nous pensons, comme le défendait N. CAINE en 1968, que dans des traitements statistiques c'est le logarithme du déplacement annuel moyen qu'il convient de considérer. En conséquence, nous nous limiterons, dans le texte ci-dessous, à commenter les résultats du traitement de ces données.

Les coefficients de corrélation entre le logarithme (tableau 2) du déplacement annuel moyen et les différents facteurs sont, dans un ordre décroissant, l'humidité potentielle puis, avec des valeurs fort semblables, la pente, l'enfoncement, la longueur, l'humidité actuelle ; enfin, viennent la granulométrie et la végétation. Il convient de faire remarquer tout d'abord que des liens étroits unissent certains facteurs considérés. Ainsi, dans ce programme, comme le montre le tableau 4, différents facteurs sont très fortement unis les uns aux autres : longueur et enfoncement (0,75), humidité actuelle et humidité potentielle (0,73), pente et humidité actuelle, granulométrie et végétation (0,67). Il est, de ce fait, normal que l'équation de régression obtenue pour rendre compte du déplacement annuel moyen ne considère qu'un seul de ces facteurs.

L'ordre d'entrée des facteurs dans l'équation de régression est le suivant (tableau 2) : l'humidité potentielle, l'enfoncement, la granulométrie et la pente. Il est, à première vue, encourageant d'arriver ainsi à une formule qui rend compte de presque 40 % du logarithme des déplacements annuels moyens des cailloux, alors que deux facteurs (l'humidité et la granulométrie) ont été seulement estimés sur le terrain.

Mais l'examen des signes affectant d'une part les coefficients de corrélation et d'autre part les facteurs introduits dans l'équation de régression nous a ménagé une surprise. Les signes positifs affectant les facteurs d'humidité et de granulométrie signifient, en effet, que le déplacement des cailloux est d'autant plus considérable que le sol est sec et que la granulométrie du matériel superficiel est grossière ; ces deux affirmations sont cependant contraires aux observations qu'il est fréquent de faire sur un versant d'égale inclinaison où l'on observe localement des déplacements plus considérables aux endroits humides composés d'éléments fins.

En ce qui concerne l'humidité, celle-ci est, comme nous l'avons montré précédemment, en relation étroite avec la pente (0,68 et 0,83 étant respectivement les coefficients de corrélation pente-humidité actuelle et pente-humidité potentielle). Afin de mettre en évidence dans l'équation de régression un facteur exprimant l'interaction pente-humidité, nous avons introduit deux nouvelles variables explicatives. Ces variables sont :

- le produit de la pente par l'humidité actuelle ;
- le produit de la pente par l'humidité potentielle.

De cette transformation, il résulte une amélioration appréciable. En effet, l'équation de régression comporte cinq variables au lieu de quatre (tableau 3) et elle explique 41,7 % du déplacement annuel moyen, soit une amélioration de 2,2 % par rapport au résultat précédent (comparer le tableau 2 avec le tableau 3).

Ce résultat apporte la confirmation que le signe inverse du coefficient de corrélation obtenu pour la relation déplacement annuel-humidité résulte de l'influence prépondérante de la pente. Elle semble vérifier l'affirmation que les processus de solifluxion diminuent d'intensité lorsque la pente s'accroît, résultats obtenus précédemment par l'étude de phénomènes périglaciaires fossiles (J. ALEXANDRE, 1958) et actuels (A. PISSART, 1966, 1967).

Dans le programme que nous venons de discuter, nous avons mis ensemble des observations réalisées sur un éboulement et d'autres sur des pentes aussi faibles que 20° ; nous avons ainsi rassemblé des pierres déplacées par des processus différents alors qu'elles auraient dû être considérées séparément. Afin de réaliser une séparation logique des différents éléments considérés, nous avons soumis nos données à une analyse discriminatoire (programme BMDP 7M, 1979) en choisissant la pente pour distinguer les différents groupes. Cette analyse réalisée en distinguant 7 classes de pente, limitées par les valeurs 3, 4, 5, 8, 13 et 27°, a montré qu'il convenait de rassembler les données en 3 groupes qui se distinguaient bien les uns des autres, et qui étaient limités par les valeurs de 40° et 27°. C'est sur la base de cette analyse que les programmes donnés ci-dessous ont été réalisés.

Les analyses discriminatoires effectuées en considérant les autres facteurs n'ont pas donné de résultats satisfaisants sauf celle qui a pris en compte la valeur de l'enfoncement. Cette analyse montre que le comportement des éléments est différent pour les cailloux enfoncés de moins de 10 cm, de 10 à 50 cm et de plus de 50 cm, résultat tout à fait normal, la vitesse de déplacement diminuant très rapidement avec la profondeur.

2) L'éboulis

En considérant séparément les cailloux marqués sur des pentes supérieures à 27°, nous avons traité à part toutes les données relatives à l'éboulis situé à proximité du refuge du Chambeyron et sur lequel A. CAILLEUX avait inscrit des marques en 1947. Ces cailloux sont à une altitude voisine de 2700 m soit, en général, une centaine de mètres en-dessous de l'altitude des autres observations considérées ici. Précisons encore que cet éboulis est localement couvert de plantes herbacées attestant qu'il n'est que partiellement fonctionnel.

Sur cet éboulis, les valeurs de l'humidité actuelle et potentielle ne varient guère d'un endroit à l'autre, de telle sorte qu'elles n'ont pas été prises en compte par le programme BMDP 2R.

L'enfoncement, la longueur, la végétation, la granulométrie et la pente sont dans l'ordre les facteurs présentant des coefficients de corrélation décroissant avec le logarithme du déplacement annuel moyen (tableau 2). L'équation de régression obtenue explique au seuil de signification de 1 %, 41 % du logarithme du déplacement annuel moyen. Trois facteurs ont été successivement pris en compte par l'ordinateur pour arriver à cette équation, à savoir, l'enfoncement, la couverture végétale et la pente (tableau 2).

Ce pourcentage d'explication nous paraît très élevé si l'on tient compte du fait que les processus responsables des déplacements des cailloux sont divers : d'une part des cailloux peuvent rouler sur l'éboulis (ce processus, assez rare pour les cailloux marqués qui sont généralement à mi-hauteur de l'éboulis, a été observé pour 3 cailloux qui s'écartent de plus de 3 écarts-types de la moyenne des déplacements) ; d'autre part, des amas de pierrailles se déplacent, parfois en masse donnant localement à l'ensemble des petits cailloux marqués une allure lobée reconnaissable. Enfin, d'autres éléments enfoncés dans le matériel fin progressent d'une manière beaucoup plus lente mais plus régulière.

3) Les cailloux marqués sur des pentes venant de 4 à 27°

Coulées de blocailles de thalweg, coulées de versant, sols striés..., le contenu de cette classe est fort disparate. Au sein de cet ensemble, l'humidité du sol joue incontestablement le plus grand rôle. Les observations de terrain la font directement apparaître. L'enfoncement des blocs joue ici aussi un rôle important, de même que la granulométrie. La valeur de la pente exerce une influence plus faible. Le nombre de cas expliqué par l'équation de régression atteint 36 % en considérant les données logarithmiques (tableau 2) mais ce pourcentage d'explication est obtenu en prenant en compte un seul facteur, à savoir l'humidité potentielle.

Dans l'espoir d'arriver à de meilleures corrélations, et des équations rendant mieux compte des observations réalisées, des groupes plus restreints ont été considérés. Pour les 41 cailloux des sols striés compris entre 5 et 11° (sites 6 et 7), l'équation explique 31 % du déplacement annuel moyen en considérant successivement l'enfoncement puis la pente ; pour les 32 cailloux de coulées de versants (sites 2 et 3) répartis entre 5 et 28°, les valeurs d'humidité ne variaient pas sensiblement en raison du fait que les observations avaient été réalisées sous la pluie, aussi le pourcentage d'explication atteint 25 %, en tenant compte seulement de l'enfoncement ; les 45 cailloux de la coulée de thalweg (et des versants proches) du site 5 arrivent par contre à un pourcentage d'explication de 76,7 % (tableau 3) en tenant compte de l'humidité actuelle, de la végétation et de l'enfoncement. Soulignons que, ici, l'humidité intervient dans le sens que nous attendions, c'est-à-dire que le déplacement est, contrairement à ce que nous avons trouvé ailleurs, d'autant plus important que l'humidité est considérable.

4) Les cailloux marqués sur des pentes inférieures à 4°

Il s'agit simplement ici du site n° 8 qui comprend 60 des 65 cailloux étalés dans un fond plat très humide en pente faible. Ces cailloux sont disposés à plat et contigus dans un thalweg très humide où s'écoule presque toute l'année un filet d'eau. Le traitement statistique ne donne aucun résultat satisfaisant. Nous pensons que cela est dû au fait que les cailloux s'appuient les uns sur les autres et ne se déplacent pas librement.

CONCLUSION

Cette étude statistique classe les différents facteurs que l'observateur attentif décèle sur le terrain. L'enfoncement des cailloux est, sur toutes les pentes, un facteur extrêmement important limitant la vitesse de déplacement des cailloux. Pour les pentes faibles, l'humidité du sol est, dans ce milieu péfiglaciale, le facteur principal. Ce rôle a été souligné par de nombreux auteurs et récemment encore par A.L. WASHBURN (1979). Il nous a donc paru tout à fait normal de constater que l'étude statistique en soulignait toute l'importance. Pour la coulée de thalweg 5, pour laquelle la pente varie relativement peu (7 à 12°), les influences de l'humidité et du pourcentage de matières fines jouent un rôle plus marqué que celui de la valeur de la pente. Par contre, lorsque l'on considère toutes les données, et donc des pentes très diverses, les influences de la pente et celle de l'humidité ne peuvent pas être dissociées. Ainsi, qu'il avait été trouvé par des études antérieures (ALEXANDRE, 1958 ; PISSART, 1966, 1967), la vitesse de déplacement sur les pentes fortes est limitée par un assèchement plus rapide du sol.

Bien entendu, aucune étude de ce type n'arrivera à rendre compte parfaitement de toutes les valeurs de déplacement observées. Toutefois, cet essai est encourageant. Réalisé à partir de mesures couvrant une longue période, les vitesses de déplacement annuel sont certainement connues avec une bonne précision. Par contre, les valeurs de l'humidité, de la granulométrie et de la végétation ont été seulement estimées. Il nous paraît probable que les résultats pourraient être considérablement améliorés en mesurant plus exactement ces facteurs. Nous nous efforcerons de réaliser cette étude dans un proche avenir.

Les résultats obtenus sont d'autant meilleurs que la période d'observation est longue et que les cailloux sont situés sur un même versant ou sur des pentes proches les unes des autres (éboulis, site 5). Une longue période d'observation tend à minimiser les effets de conditions météorologiques exceptionnelles et l'erreur relative de mesure du déplacement.

Cette méthode d'études des déplacements du sol nous semble susceptible de conduire à une meilleure connaissance des processus responsables des mouvements superficiels et permettre une comparaison objective des vitesses de déplacement

mesurées sous différents climats.

BIBLIOGRAPHIE

- ALEXANDRE J.**, (1958a) : Le modelé quaternaire de l'Ardenne Centrale. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 81, M213-331.
- BMDP** (1979) : BMDP Statistical Software. *Department of Biomathematics. University of California*, Los Angeles.
- CAINE N.** (1968) : The log-norma distribution and rates of soil movement : an example. *Rev. Geomorphol. dyn.* n1, 1-7.
- MICHAUD J. et CAILLEUX A.** (1950) : Vitesses des mouvements du sol au Chambeyron (Basses Alpes) *C.R. Ac. Sc.*, t 230, 314-315.
- PISSART A.** (1964) : Vitesses des mouvements du sol au Chambeyron (Basses Alpes) *Biuletyn Peryglacjalny*, 14, 303-309.
- PISSART A.** (1966) : Étude de quelques pentes de l'île Prince Patrick. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 89.
- PISSART A.** (1967) : Quelques résultats de l'étude des versants de l'île Prince Patrick. Symposium international de Géomorphologie Liège-Louvain, 8-16 juin 1966.
- PISSART A.** (1977) : Apparition et évolution des sols structuraux périglaciaires de haute montagne. Expériences de terrain au Chambeyron (Alpes, France). *Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen. Mathematisch-Physikalische Klasse, Dritte Folge*, n 31, 142-156.
- WASHBURN A.L.** (1979) : *Geocryology. A study of periglacial processes and environments.* Edward Arnold Ltd, 25 Hill Street, London, 406 p.

Site	Pente	Nombre de cailloux	Description	Taille des cailloux		Vitesse moyenne annuelle maxim.	Durée d'observations
				Minimum	Maximum		
1	27 à 34°	107	Eboulis	3 cm	350 cm	16 cm/an	32 ans
2	8 à 24°	23	Coulée de versant	30 cm	175 cm	2 cm/an	32 ans
3	5 à 28°	9	Coulée de versant	70 cm	200 cm	6 cm/an	16 ans
4	16°	8	Coulée de blocailles	24 cm	90 cm	0,5 cm/an	32 ans
5	7 à 12°	45	Coulée de thalweg	3 cm	180 cm	1 cm/an	32 ans
6	11,5°	24	Sol strié	1 cm	4 cm	13 cm/an	2 ans
7	5 à 6°	17	Sol strié	2 cm	5 cm	10 cm/an	2 ans
8	2 à 4°	65	Coulée de thalweg	5 cm	220 cm	1 cm/an	16 ans
TOTAL	2 à 34°	297		1 cm	350 cm	0,5 à 16 cm	

TABLEAU 1 : Caractéristiques des lignes de cailloux étudiées

	Pente	Longueur	Enfonc.	Végétat.	Granulo.	Hum.act.	Hum. pot.	HPA (1)	HPB (2)
Pente	1.00								
Longueur	0.10	1.00							
Enfoncement	0.12	0.75	1.00						
Végétation	0.15	0.31	0.18	1.00					
Granulométrie	- 0.02	- 0.32	- 0.11	- 0.67	1.00				
Humidité actuelle	0.68	- 0.02	0.05	- 0.13	0.14	1.00			
Humidité potentielle	0.83	- 0.11	- 0.08	0.03	0.08	0.73	1.00		
HPA(1)	0.98	0.04	0.09	0.08	0.09	0.76	0.87	1.00	
HPB(2)	0.95	- 0.03	0.01	0.13	0.06	0.61	0.92	0.96	1.00

(1) HPA = (Pente) X (Hum. Act)

(2) HPB = (pente) X (Hum. Pot)

TABLEAU 4 : Matrice de corrélation

Les Tableaux 2 et 3 figurent à la page suivante.

Classes de pentes	Nombre de cailloux	Mode de présent. du DAM (1)	Coefficients de corrélation entre le DAM (1) et..								Ordre d'entrée des variables dans l'équation de régression et % expliqués								Coefficients de l'équation de régression (3)				
			Hum. act.	Hum. pot.	Longueur	Enfoncement	Granulométrie	Végétation	Pente	1		2		3		4							
										Nom	%	Nom	%	Nom	%	Nom	%	1	2	3	4	TI (4)	
Totalité	297	Arith.	0.41	0.34	-0.17	-0.10	0.29	-0.25	0.26	Hum.act.	17	22	-	-	-	1,1	0,7	-	-	-	-3,5		
		Logar.	0.30	0.52	-0.31	-0.17	0.26	-0.17	0.32	Hum.pot.	26	34	Granulo	38	Pente	0,3	-0,01	0,1	-0,01	-0,6			
>270	105	Arith.	(2)	(2)	-0.33	-0.34	0.35	-0.47	0.25	Véget.	22	27	-	-	-	-0,80	-0,03	-	-	5			
		Logar.	(2)	(2)	-0.49	-0.53	0.40	-0.45	0.25	Enfonc.	27	39	Pente	41	-	-0,01	-0,12	-0,12	0,11	-2,8			
270 à 40	132	Arith.	0.37	0.33	-0.17	0.00	0.40	-0.33	0.17	Granulo	15	20	-	-	-	1,0	1,1	1,2	-	-	-5,8		
		Logar.	0.24	0.60	-0.29	-0.27	0.26	-0.20	0.02	Hum.pot.	36	-	-	-	-	0,43	-	-	-	-	-0,4		
>40	60	Arith.	(2)	(2)	Corrélation inférieure à 0,15								Tolérance insuffisante pour calculer l'équation										
		Logar.	(2)	(2)																			

TABLEAU 2 : Résultats de l'étude au moyen du programme BMDP 2R

Classes de pentes	Nombre de cailloux	Mode de présent. du DAM (1)	Coefficient de corrélation entre le DAM (1) et												Ordre d'entrée des variables dans l'équation de régression et % expliqués					Coefficients de l'équation de régression (3)							
			Humidité actuelle	Humidité potentielle	Longueur	Enfoncement	Granulométrie	Végétation	Pente	HPA (5)	HPB (6)	1		2		3		4		5							
													Nom	%	Nom	%	Nom	%	Nom	%	Nom	%	1	2	3	4	5
Totalité	297	Logar.	0.30	0.52	-0.31	-0.31	0.26	-0.17	0.32	0.35	0.40	Hum.pot.	26,7	Enfonc.	34,3	Granul.	36,1	HPA	40	Hum.act.	41,7	0,47	-0,007	0,109	-0,006	-0,099	-0,72
		Logar.	-0.83	-	-0.43	-0.50	-0.79	0.79	-0.52	-0.81	-	Hum.act.	68,7	Véget.	73,7	Enfonc.	76,7	-	-	-	-	-	-0,79	-0,50	-0,005	-	-
7 à 120	46																										

TABLEAU 3 : Résultats de l'étude au moyen du programme BMDP 2 R en faisant intervenir les produits pente x humidité

- (1) DAM : Déplacement Annuel Moyen
(2) La variance de ce facteur est trop faible pour le faire intervenir
(3) Les coefficients de l'équation de régression sont repris dans l'ordre d'entrée des variables
(4) TI : Terme indépendant de l'équation de régression
(5) HPA : Pente x humidité actuelle
(6) HPB : pente x humidité potentielle