

TRAITEMENT PAR ANALYSE DES DONNEES
DE MESURES DE DEPLACEMENT EN MILIEU PERIGLACIAIRE D'ALTITUDE
(haute vallée du Chambeyron, Alpes de Haute-Provence, France)

C. MANTE*, A. PISSART**, J.C. OZOUF*, J.P. COUTARD*

R E S U M E

De 1947 à 1949, A. Cailleux et J. Michaud puis, de 1963 à 1979 A. Pissart ont mesuré les déplacements de plusieurs centaines de cailloux superficiels dans un milieu périglaciaire de haute montagne : la haute vallée du Chambeyron (Alpes de Haute-Provence).

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 et la granulométrie.

Des traitements par analyse des données (analyses factorielles des correspondances et classifications hiérarchiques ascendantes) ont permis de mettre en évidence :

- des environnements particuliers liés aux différents sites,
- la nature du déplacement mesuré, qui dépend aussi bien des caractéristiques individuelles (taille, forme) que collectives ("voisinage") de chaque caillou.

A la lumière de ces résultats, certaines conclusions d'ordre méthodologique nous ont amenés à aborder de façon différente l'équipement en cours de réalisation dans des sites voisins à une altitude de 3 100 m.

A B S T R A C T

A. Cailleux and J. Michaud from 1947 to 1949 and A. Pissart from 1963 to 1979 have measured the movements of several hundred superficial pebbles in a high mountain periglacial environment : the high valley of Chambeyron (Alpes de Haute-Provence). 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.

Data analysis treatments (correspondence analysis and hierarchical ascending classification) have permitted to put in evidence :

- particular environments strike up with different sites,
- that the moving of each pebble depends as well on individual character (size, shape) as on collective ones ("neighbourhood").

From these results certain methodological conclusions have brought us to look at the actually running equipment in a different way at a neighbouring site, 3 100 m of altitude.

* Centre de Géomorphologie du C.N.R.S., Rue des Tilleuls - 14000 CAEN (France)

**Laboratoire de Géomorphologie et de Géologie du Quaternaire, Université de Liège, 7, place du XX Août - 4000 LIEGE (Belgique)

AVERTISSEMENT

Cet article qui témoigne de notre volonté de quantification en géomorphologie présente un essai de traitement de mesures nombreuses et de longue durée effectuées par A. Pissart dans le Chambeyron de 1963 à 1979 dans le cadre de ses recherches sur les milieux périglaciaires. A. Pissart avait fait une première série de traitements dans son Centre de recherches à l'Université de Liège ; puis nous avons souhaité appliquer à Caen, à partir des mesures d'A. Pissart, des méthodes d'analyse des données qui s'étaient révélées efficaces pour l'interprétation d'autres recherches (expérimentales, mesures de températures...). De là est née la collaboration entre les deux laboratoires. Après une introduction d'A. Pissart qui résume les principaux résultats de l'étude faite à Liège avec J.L. Schepers et A. Laurant, l'article présente ceux de la deuxième démarche et insiste sur les règles indispensables à la bonne utilisation des données recueillies en études stationnelles.

J.P. LAUTRIDOU

INTRODUCTION

Des mesures des déplacements de cailloux superficiels dans un milieu périglaciaire de haute montagne ont été réalisées en 1979 dans la haute vallée du Chambeyron (Basses Alpes), à partir de marques réalisées en 1947 sur le terrain par J. Michaud et A. Cailleux (1950) et de marques inscrites par A. Pissart à partir de 1963. Les observations de terrain montrent immédiatement que la vitesse de transport est très mal corrélée avec la pente (A. Pissart, 1964) et que, indiscutablement, d'autres facteurs interviennent. C'est la raison pour laquelle les données recueillies ont été soumises à un traitement statistique (A. Pissart *et al.*, 1981) afin de voir si les déplacements observés ne pouvaient être expliqués par d'autres facteurs. Dans ce but, différents facteurs ont été mesurés ou estimés sur le terrain, à savoir, la taille des éléments dont le déplacement a été mesuré, leur enfoncement dans le sol, la valeur de la pente, la granulométrie, la couverture végétale et aussi l'humidité.

Les sites étudiés n'ont pas été choisis en fonction des études statistiques effectuées ici ; toutes les données dont nous disposons ont été considérées. La majorité provient des marques de J. Michaud et A. Cailleux et concerne des blocs disséminés sur des versants, mais aussi des coulées de blocailles et un éboulis. Les marques de A. Pissart prises en compte se rapportent à des sols striés. Il convient de signaler ici que l'éboulis considéré n'est pas un éboulis actif, évoluant par accumulation de débris roulant sur sa surface. Au contraire, cet éboulis est partiellement couvert de plantes herbacées attestant qu'il est très peu fonctionnel. "Ainsi, 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'éboulement, 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 enfermés dans le matériel fin progressent d'une manière beaucoup plus lente mais plus régulière" (A. Pissart *et al.*, 1981).

Les principales conclusions de ce traitement statistique réalisé par ordinateur, à l'aide d'un programme du "Département de Mathématique de l'Université de Californie à Los Angeles" (B.M.D.P., 1979) ont été les suivantes :

- Le pourcentage d'explication auquel on arrive reste assez faible quand on considère les 297 cailloux considérés (39,5 %),
- Le pourcentage d'explication est plus élevé si on considère le logarithme du déplacement annuel moyen au lieu de sa valeur arithmétique (39,5 % en logarithmique, 22 % en arithmétique),
- Le pourcentage d'explication peut atteindre des valeurs beaucoup plus élevées si on considère un groupe d'éléments dans un site bien déterminé (76,7 % pour 46 cailloux sur un versant de 7 à 12°),
- Les différents facteurs qui interviennent dans l'équation sont classés dans un ordre différent selon les groupes de cailloux considérés mais sont dans un ordre général décroissant d'importance pour l'ensemble des opérations obtenues : l'humidité, l'enfoncement, la granulométrie, la pente et la couverture végétale.

L'analyse statistique des mêmes données présentée ci-dessous a été entreprise tout à fait séparément de celle dont il vient d'être question, par un statisticien de formation (le premier auteur) en dialogue constant avec des géomorphologues du même laboratoire. Nous en présentons ci-dessous les résultats bien qu'ils s'écartent souvent de ceux que nous venons de rappeler.

Les calculs ont été réalisés ici pour 315 cailloux. En plus des données, ce qui avait été considéré dans l'étude ci-dessus, le présent travail statistique a pris en compte :

- 7 gros blocs situés sur une coulée de blocailles proche du refuge du Chambeyron et entraînés par une couverture herbeuse continue,
- 6 petits cailloux déposés au sommet de stries fines dans un sol strié et observés et dont le déplacement a été mesuré après 11 ans,
- 6 cailloux dont le déplacement dépassait de plus de 3 écarts-types la moyenne obtenue pour tous les cailloux.

I - INFLUENCE DE L'ENVIRONNEMENT

La répartition des cailloux entre divers sites est décrite dans le tableau 1. Chaque caillou est décrit par 8 variables.

Quatre variables quantitatives ont fait l'objet de mesures :

- 1) la longueur du caillou,
- 2) son enfoncement dans le sol, qui est seulement estimé pour les gros éléments,

3) son déplacement annuel moyen (DAM),

4) la pente mesurée à son emplacement.

Quatre variables qualitatives ont été estimées ; elles décrivent l'environnement du caillou. Ces variables, ainsi que leurs codages, sont répertoriées dans le tableau 2.

On a représenté sur la figure 1 les histogrammes de densité des 4 variables numériques. Il apparaît d'ores et déjà que si le déplacement annuel moyen (fig. 1-a) et la longueur (fig. 1-b) semblent avoir d'honnêtes distributions continues, il n'en est pas de même de l'enfoncement et surtout de la pente (respectivement fig. 1-c et 1-d) dont les histogrammes plurimodaux évoqueraient plutôt une distribution discrète.

Un premier essai (analyse des correspondances sur tableau de Burt ; J.P. et F. Benzecri et coll., 1980) mettait en évidence le fait que les liaisons les plus intenses faisaient intervenir les variables qualitatives (humidité actuelle et potentielle, granulométrie et végétation) ainsi que la pente et ce, au détriment des 3 autres variables (DAM, longueur, enfoncement), au comportement apparemment plus diffus. Il nous a donc semblé nécessaire, du moins dans un premier temps, de traiter séparément ces deux paquets de variables.

ETUDE DES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES

Rappelons qu'il s'agit de l'humidité potentielle (HPO), de l'humidité actuelle (HAC), de la granulométrie (GRA) de la végétation (VEG) et de la pente (PEN).

Cette dernière a été découpée en 4 classes de la manière suivante :

PEN 1 : 2 à 5.5°

PEN 2 : 5.6 à 11.5°

PEN 3 : 11.6 à 26°

PEN 4 : 26.1 à 40°

Ces caractères décrivent le terrain au voisinage de chaque caillou et peuvent prendre simultanément la même modalité pour un certain nombre de cailloux voisins. Il s'ensuit une certaine redondance des données, d'autant plus que les valeurs sont seulement estimées. Il nous a donc semblé opportun de classer les cailloux en fonction de la description ainsi obtenue de leur voisinage, ce qui aboutira à la création d'une nouvelle variable VOISINAGE remplaçant les précédentes.

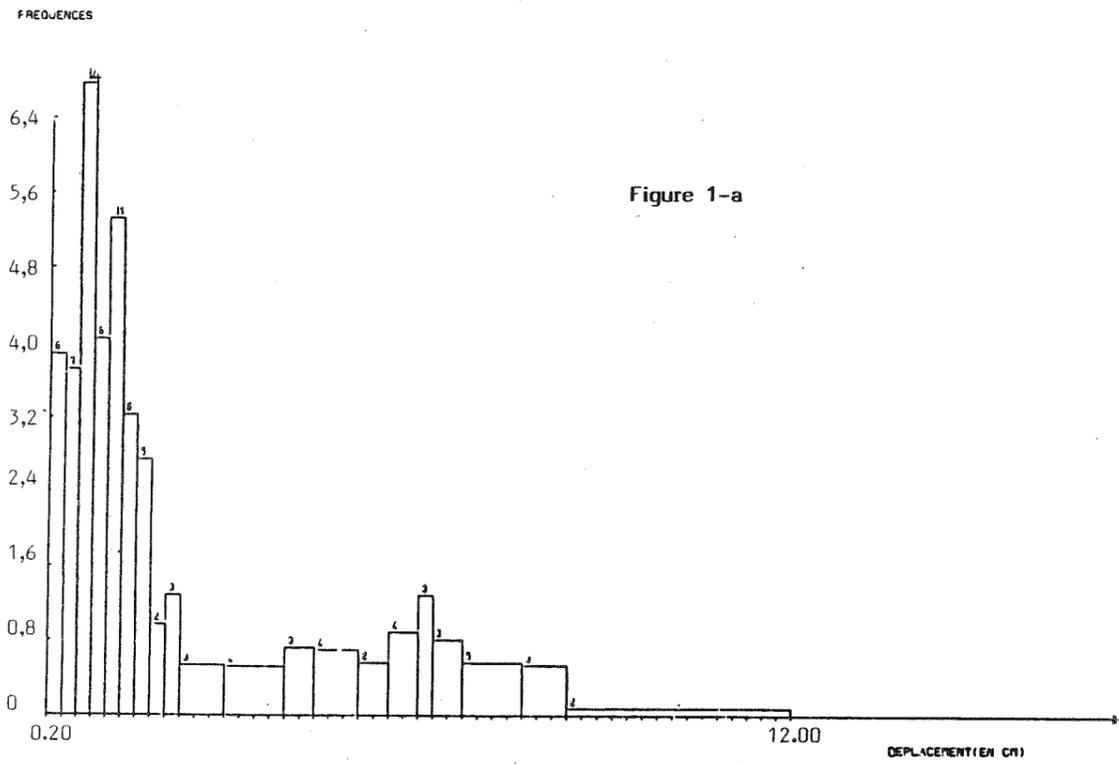
SITE	N° DES CAILLOUX	NOMBRE	TYPE DE SITE
S 1	1 à 108	108	Eboulis
S 2	601 à 623	23	Coulée de versant
S 3	3000 à 3008	9	Coulée de versant
S 4	231 à 238	8	Coulée de blocailles
S 5	401 à 448	48	Coulée de thalweg
S 6	4301 à 4324	24	Sol strié
S 7	4201 à 4217	17	Sol strié
S 8	301 à 365	65	Coulée de thalweg
S 9	201 à 207	7	Coulée de blocailles
S 10	1280 à 1285	6	Sol strié

Tableau 1

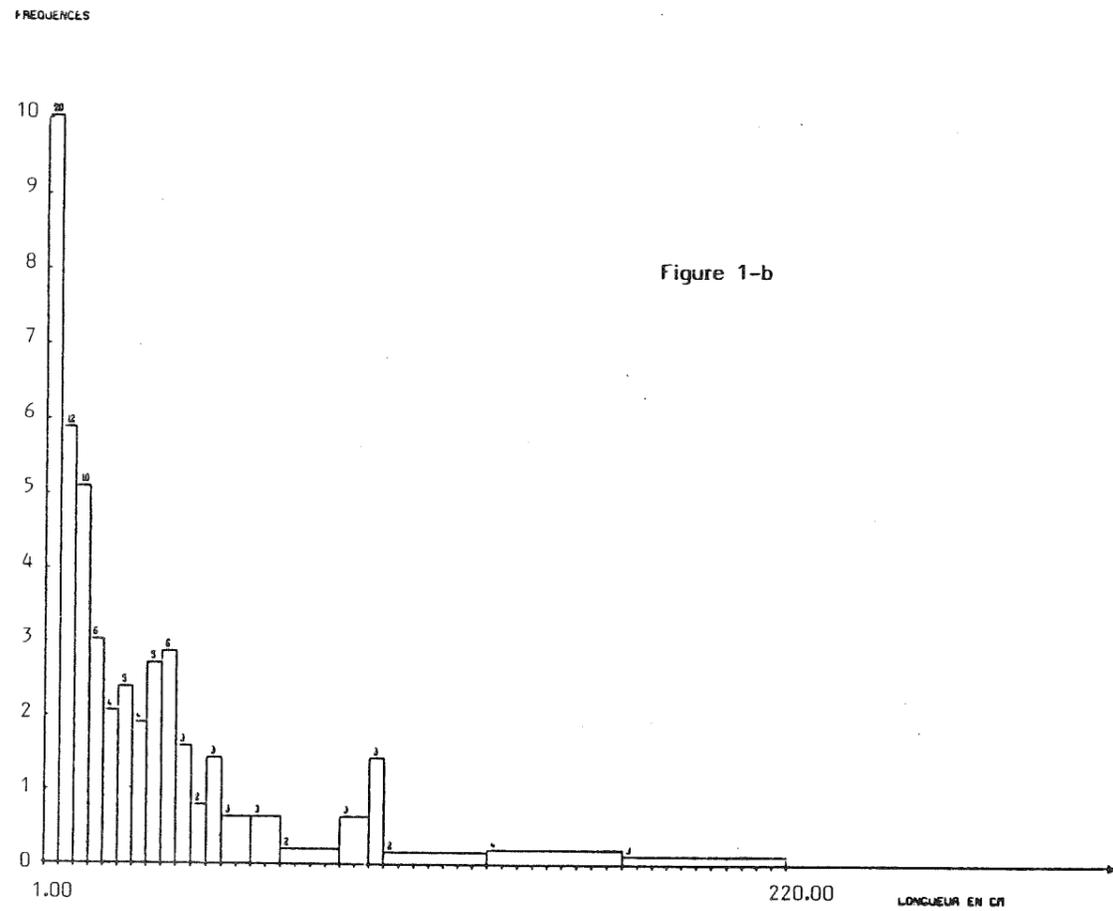
Il convient de noter que les sites pris en compte sont très divers et que leurs effectifs sont très déséquilibrés.

Dans la mesure où il s'agit de mettre l'accent sur des ressemblances entre environnements, et où la présence d'une ou plusieurs modalités rares n'est pas nécessairement très significative, nous avons utilisé l'indice de JACCARD (Chandon et Pinson, 1981) pour coder les ressemblances.

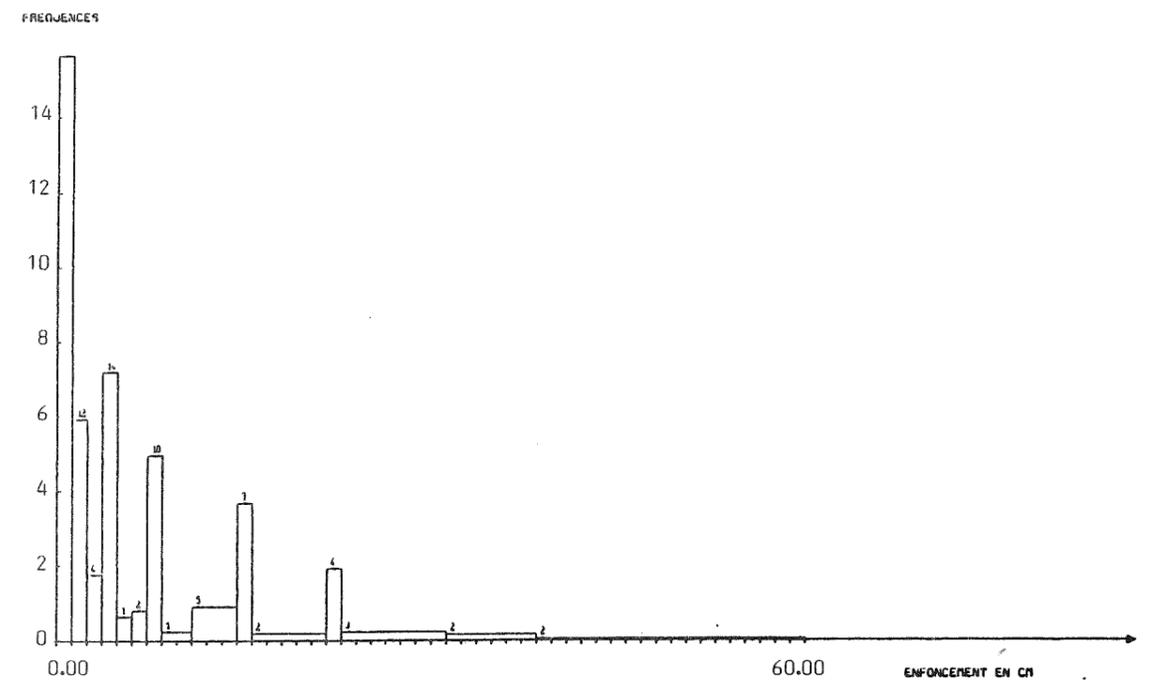
REPARTITION DU D.A.M. - 20CLASSES



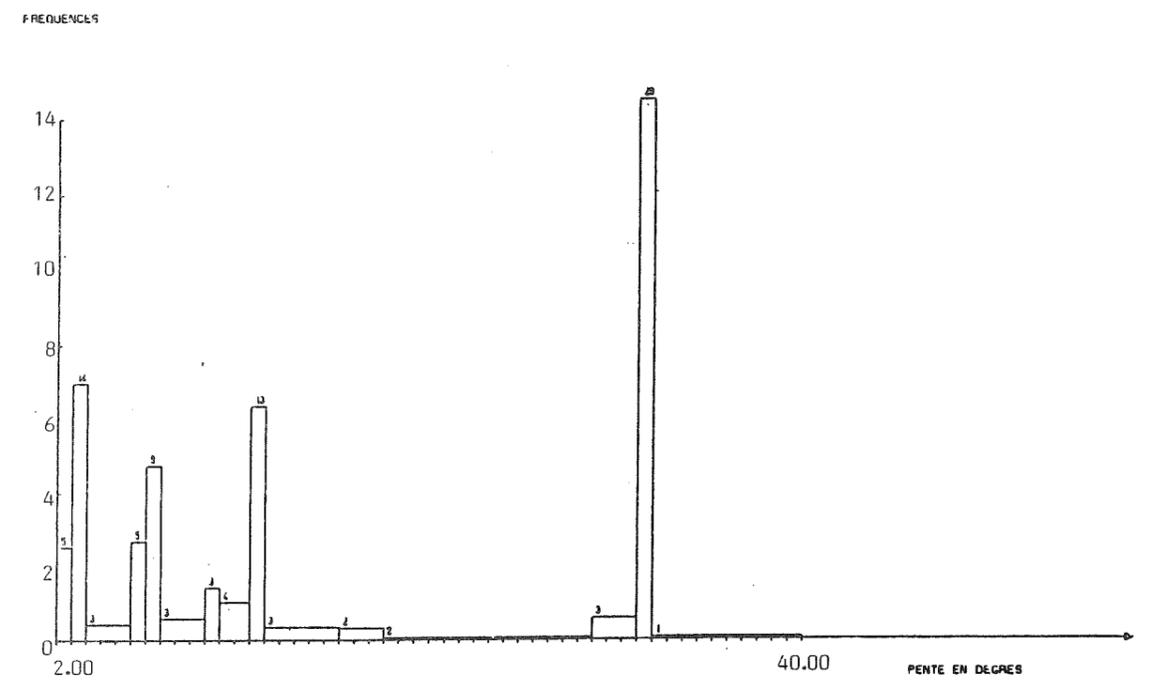
REPARTITION DE LA LONGUEUR (EN CM)



REPARTITION DE L'ENFONCEMENT (CM)



REPARTITION DE LA PENTE (DEGRES)



CARACTERE	CODE	MODALITES DE CARACTERE
VEGETATION abréviation VEG	0	sol sans végétation
	1	couverture à l'amont
	2	sur les côtés
	3	à l'aval
	4	couverture herbeuse continue
GRANULOMETRIE GRA	0	matériau fin sans éléments dépassant 1 mm (n'existe pas)
	1	matériau fin + cailloux < 1 cm
	2	matériau fin + cailloux < 5 cm
	3	matériau fin + cailloux < 10 cm
	4	matériau fin + cailloux < 20 cm
	5	matériau fin + cailloux < 100 cm
	6	pas de matériau fin < 1 mm
7	pas de matériau fin < 1 cm	
HUMIDITE ACTUELLE HAC	0	maximum
	1	marquée
	2	peu humide
	3	sec
HUMIDITE POTENTIELLE HPO	0	maximum
	1	marquée
	2	peu humide
	3	sec

Tableau 2

La distance entre deux cailloux C1 et C2 est donc égale à :

$$D(C1, C2) = 1 - N(C1, C2) / [2 \times Q - N(C1, C2)]$$

N(C1, C2) est le nombre de cooccurrences entre C1 et C2, c'est-à-dire le nombre de modalités qu'ils ont en commun.

Q est le nombre de variables (ici Q = 5)

N(C1, C2) ne peut prendre que les valeurs : 0, 1, ..., 5 et la distance aussi. Le programme (DISLOG) fournit des statistiques pour cette distance, d'où le tableau :

NOMBRE DE COOCCURRENCES	FREQUENCE (%)
5	8,9
4	6,1
3	20,2
2	21,9
1	23,1
0	19,8

Une fois choisie la distance, vient le tour de l'indice d'agrégation. Nous avons choisi le critère de la distance moyenne, qui privilégie la ressemblance globale entre classes agrégées ; par contre, il ne préserve pas particulièrement leur homogénéité. L'histogramme des indices de niveau montre que seuls les 41 noeuds supérieurs de la hiérarchie ont un indice d'agrégation non nul. Cela signifie que l'ensemble des données se subdivise en 42 "paquets" homogènes. 228 éléments (plus de 72 % de l'effectif) se répartissent dans seulement 8 de ces classes, et les deux principales en contiennent près de 35 %. Les 8 principaux groupes, que nous allons maintenant étudier, sont généralement très liés à un petit nombre de sites.

PREMIER GROUPE : le plus massif (56 cailloux) ; il ne contient que des éléments provenant de l'éboulis, qui ont pour la plupart un numéro ≥ 40 . Le profil commun à tous ces éléments est : "pas de végétation, pas de matériau fin < 1 cm, humidité actuelle : sec, humidité potentielle : sec, pente entre 26 et 40°" (en fait, la pente est de 32°). Sur les 108 cailloux de l'éboulis, nous n'en avons guère qu'une quinzaine au voisinage desquels la pente ne soit pas de 32°.

DEUXIEME GROUPE : 28 autres cailloux provenant du même site se retrouvent dans une classe de profil : "végétation à l'aval, matériau fin + cailloux < 100 cm, humidité actuelle : sec, humidité potentielle : sec, pente de 26 à 40°". Un autre groupe de 11 cailloux de l'éboulis s'agrègera à celui-ci, dont il ne diffère que par la position de la végétation située à l'amont au lieu d'être à l'aval du bloc.

TROISIEME GROUPE : 53 parmi les 65 cailloux décrivant le site 8 (coulée de thalweg) ont le profil : "pas de végétation, pas de matériau fin < 1 cm, humidité potentielle maximale, humidité actuelle maximale, pente de 2-3 ou 4°".

QUATRIEME GROUPE : le site 6 (sol strié, 24 cailloux) est inclus dans un groupe de 27 cailloux de profil : "pas de végétation, pas de matériau fin < 1 cm, humidité actuelle : sec, humidité potentielle : faible, pente de 12°".

CINQUIEME GROUPE : les sites 7 et 10 (sols striés) sont inclus dans un groupe de 24 éléments, dont le profil ne diffère du précédent que par la valeur de la pente, respectivement de 6 et 7° pour les sites 7 et 10.

Le site 5 (coulée de thalweg) se retrouve dans 3 groupes dont les profils-types sont les suivants :

SIXIEME GROUPE : 18 éléments ont pour profil : "végétation sur les côtés, matériau fin + cailloux < 20 cm, humidité actuelle marquée, humidité potentielle maximale, pente de 7°".

SEPTIEME GROUPE : 11 autres cailloux, mélangés à 6 des 8 éléments du site 4 (coulée de blocailles) ont pour profil : "pas de végétation, pas de matériau fin < 1 cm, humidité actuelle : sec, humidité potentielle : maximale, pente de 12° pour le site 5 et de 16° pour le site 4".

HUITIEME GROUPE : 11 cailloux sont du type suivant : "pas de végétation, pas de matériau fin < 1 mm, humidité actuelle : sec, humidité potentielle : maximale, pente de 11°".

On a représenté sur la figure 2-a la hiérarchie bâtie sur ces 42 classes. Sur cet arbre figurent, codées de 01 à 13, les classes d'une partition plus grossière des données. En regard du numéro de chaque classe, on rappelle quels sont les sites qui lui sont associés.

CONCLUSION PARTIELLE :

Comme l'on pouvait le craindre, le déséquilibre de l'échantillonnage d'un site à l'autre se répercute sur les "voisinages", ce qui implique l'existence d'un "effet de site" dans toute analyse globale que l'on pourra entreprendre. Dans leur article, A. Pissart, J.L. Schepers et A. Laurant ont constaté que "le déplacement des cailloux est d'autant plus considérable que le sol est sec et que la granulométrie du matériel superficiel est grossière". L'analyse du tableau 5 montre qu'en fait plus de 96 % des 133 déplacements de plus de 1.6 cm/an ont lieu soit sur l'éboulis, soit dans un "voisinage" identique à celui des sols striés. Ce sont effectivement des milieux secs où la granulométrie est la plus grossière. Si l'on se reporte à la figure 1-a représentant l'histogramme des déplacements, il est clair que cette courbe présente deux parties bien distinctes. Dans la zone des petits déplacements, la densité varie rapidement, alors que pour des déplacements plus importants, elle devient relativement plate. Or la valeur de 1.6 cm/an marque la coupure entre ces deux parties.

Le mélange de populations provenant de différents sites semble donc ici se traduire en mélange de lois distinctes pour les déplacements.

Plus généralement, l'existence d'un "effet de site" diminue fortement l'intérêt des variables environnementales. En effet, si, à partir de ces variables l'on peut mettre en évidence de grands ensembles, le contraste à l'intérieur de chacun est très faible. Rappelons par exemple que, grosso modo, l'éboulis est réparti en 2 classes, la coulée de thalweg (S 8) en une classe, et que chacun des sols striés se trouve également dans une classe.

Dans l'hypothèse où il existe une dynamique générale provoquant les déplacements, on pourra dégager les facteurs efficaces. Par contre, si à chaque site correspond une dynamique propre, il y a lieu d'être pessimiste. Par exemple l'éboulis étant réparti entre 2 classes, tout ce que l'on pourrait faire serait de comparer les moyennes ; on pourrait alors tester l'influence simultanée d'une variation de la granulométrie et de la végétation, mais on ne pourra pas séparer ces 2 facteurs.

II - ETUDE DES RELATIONS ENTRE L'ENVIRONNEMENT ET LES AUTRES PARAMETRES

Afin d'éliminer l'effet de la redondance entre variables environnementales, nous avons créé une nouvelle variable à 13 modalités (le "Voisinage") en nous basant sur la classification hiérarchique dont nous avons entamé la description dans le paragraphe précédent. Le choix des éléments de cette partition résulte d'un compromis entre deux impératifs : d'une part, que les classes soient assez homogènes ; d'autre part, qu'elles aient un effectif si possible raisonnable (pour ce motif, le caillou 619 qui ne s'intègre que très

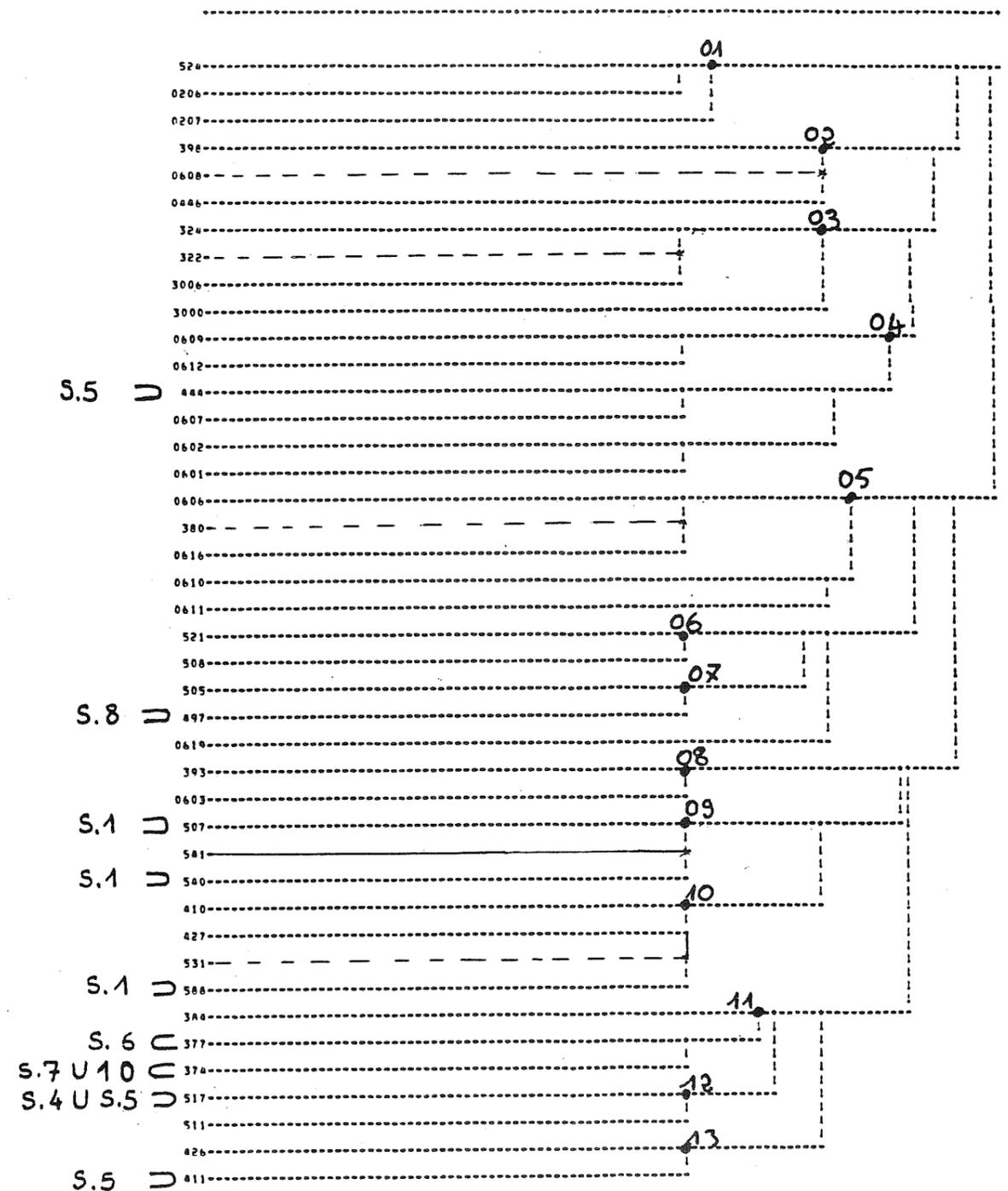


Figure 2 a : Représentation du sous-arbre à 42 classes

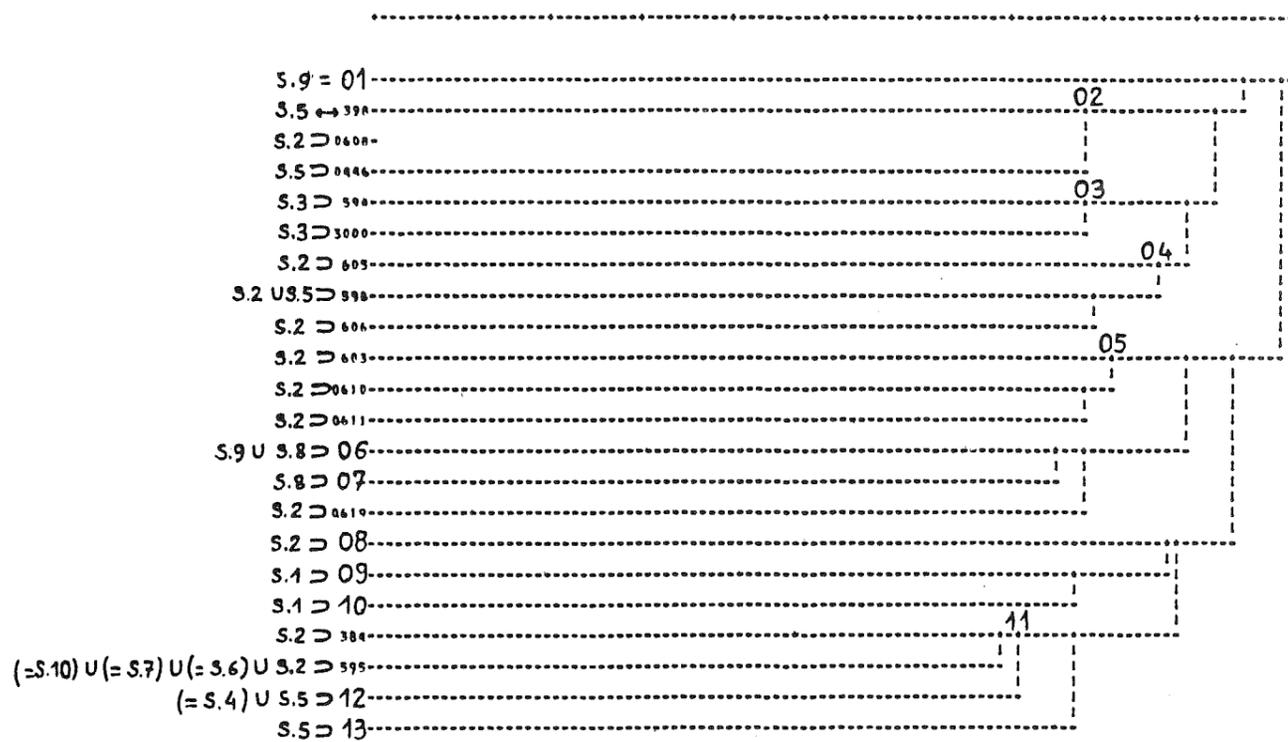


Figure 2 b : Représentation du sous-arbre à 22 classes

tard à la classe 06U07 a été exclu des analyses ultérieures). Néanmoins, certaines classes auront des effectifs très faibles.

Nous allons maintenant décrire plus précisément cette partition. Le sous-arbre correspondant figure en 2-b, et l'on trouvera dans le tableau 3 une description des classes en termes d'histogrammes pour les 5 variables prises en compte. On aboutit enfin à la description en clair (les pourcentages désignent des fréquences) :

VOISINAGE 01 = S9 : 5 éléments

- Végétation : couverture herbeuse continue
- Granulométrie : matériau fin + cailloux < 100 cm (80 %)
- Humidité actuelle : peu humide (80 %)
- Humidité potentielle : marquée
- Pente : de 5.6 à 11.5°

VOISINAGE 02 : 4 éléments

- {448, 447, 446} ⊂ S5
- + {608} ⊂ S2
- Végétation à l'amont
- Granulométrie : matériau fin + cailloux < 20 cm (75 %)
- Humidité actuelle : marquée (75 %)
- Humidité potentielle : peu humide
- Pente : entre 5.6 et 26°

VOISINAGE 03 = S3 : 9 éléments

- Végétation sur les côtés (89 %)
- Granulométrie : matériau fin + cailloux < 100 cm
- Humidité actuelle : peu humide
- Humidité potentielle : maximale
- Pente : variable. Le mode (55 %) donne entre 11.6 et 26°

VOISINAGE 04 : 23 éléments

- {401 à 418} ⊂ S5
- {601, 602, 607, 609, 612} ⊂ S2
- Végétation : sur les côtés (87 %)
- Granulométrie : matériau fin + cailloux < 20 cm (96 %)
- Humidité actuelle : marquée (96 %)
- Humidité potentielle : maximale (91 %)
- Pente entre 5.6 et 11.5° (91 %)

VOISINAGE 05 : 6 éléments

- {606, 610, 611, 616, 617, 618} ⊂ S2
- Végétation à l'aval (83 %)
- Granulométrie : variable de 1 à 4. Le mode (50 %) correspond à : fin + cailloux < 20 cm
- Humidité actuelle : maximale
- Humidité potentielle : maximale
- Pente : 66 % de 5.6 à 11.5°
33 % de 11.6 à 26°

VOISINAGE 06 : 12 éléments

- {301 à 304, 307 à 312} ⊂ S8
- + {204, 205} ⊂ S9
- Végétation : couverture herbeuse continue (83 %)
- Granulométrie : matériau fin + cailloux < 100 cm

- Humidité actuelle : maximale
- Humidité potentielle : maximale
- Pente : 2 à 5.5°

VOISINAGE 07 : 55 éléments
 {305, 306, 313 à 365} C S8
 S8 C V06 + V07

- Pas de végétation (96 %)
- Granulométrie : pas de matériel fin < 1 cm
- Humidité actuelle : maximale
- Humidité potentielle : maximale
- Pente de 2 à 5.5°

VOISINAGE 08 : 3 éléments
 {603, 604, 605} C S2

- Végétation : à l'amont (66 %) ou pas du tout
- Granulométrie : matériau fin + cailloux < 10 cm
- Humidité actuelle : sec
- Humidité potentielle : sec
- Pente : 5.6 à 11.5°

VOISINAGE 09 : 43 éléments

- {1 à 5, 7 à 11, 13, 15 à 17, 19, 23 à 27, 31 à 33, 35, 37 à 42, 92 à 101, 106 à 108} C S1 (éboulis)
- Végétation : soit à l'amont (26 %), soit à l'aval (65 %), soit continue (5 %)
 - Granulométrie : matériau fin + cailloux < 100 cm
 - Humidité actuelle : sec
 - Humidité potentielle : sec
 - Pente de 26 à 40°

VOISINAGE 10 : 65 éléments

- {6, 12, 14, 18, 20 à 22, 28 à 30, 34, 36, 43 à 91, 102 à 105} C S1
- Pas de végétation (89 %)
 - Pas de matériau fin < 1 cm (97 %)
 - Humidité actuelle : sec
 - Humidité potentielle : sec
 - Pente de 26 à 40°
- V09 U V10 = S1

VOISINAGE 11 : 54 éléments

- S10 U S6 U S7 + {613 à 615, 620 à 623} C S2
- Pas de végétation
 - Pas de matériau fin < 1 cm (94 %)
 - Humidité actuelle : sec
 - Humidité potentielle : peu humide
 - Pente de 5.6 à 26°

VOISINAGE 12 : 19 éléments

- S4 U {424 à 433, 435} C S5
- Pas de végétation
 - Granulométrie : pas de matériau fin < 1 cm (89 %)
 - Humidité actuelle : sec
 - Humidité potentielle : maximale
 - Pente : entre 11.5 et 26°

VOISINAGE 13 : 16 éléments

- {419 à 423, 434, 436 à 445} C S5
- Pas de végétation
 - Granulométrie : pas de matériau fin < 1 mm (69 %)
pas de matériau fin < 1 cm (31 %)
 - Humidité actuelle : sec
 - Humidité potentielle : maximale
 - Pente de 5.6 à 11.5°

Nous allons maintenant visualiser les relations entre toutes les variables par une analyse factorielle des correspondances effectuée sur le tableau de contingence les croisant deux à deux (tableau de Burt).

Pour effectuer une telle analyse, il est préférable que toutes les variables soient qualitatives. Nous avons donc découpé en classes les variables numériques (cf. tabl. 4). Pour ce qui est des variables qualitatives, les modalités prises sont codées de 1 à N, dans le même ordre que dans le tableau 2 :

Végétation : VEG1..... VEG5
 Granulométrie : GRA1..... GRA7
 Humidité actuelle : HAC1.....HAC4
 Humidité potentielle : HP01....HP04

Dans une telle analyse, on distingue deux types de variables : les actives et les supplémentaires. Ici, les variables actives sont : le déplacement, la longueur, l'enfoncement et le voisinage. Les autres variables sont en supplémentaires, c'est-à-dire qu'elles n'interviennent pas dans l'analyse, mais que l'on se contente de les représenter.

Le premier plan factoriel est représenté sur la figure 3. Les caractères soulignés sur la figure 3-a sont ceux qui ont notablement contribué à la formation d'au moins un des deux premiers axes. Sur la figure 3-b sont représentés les cailloux.

Les deux nuages ont une forme parabolique caractéristique de ce que l'on appelle l'effet Guttman. Cela signifie qu'il existe une variable sous-jacente qui explique une partie importante de l'écart des cailloux au "caillou moyen". En l'occurrence, il s'agit du premier facteur, qui explique plus de 19 % de l'inertie du nuage. Le second facteur est approximativement un polynôme du premier, et tous deux expliquent 32 % de l'inertie. Il est clair sur la figure 3-a que la variable cachée est un effet de taille (liaison entre longueur et enfoncement) associé au DAM et à certains voisinages. On trouve donc ici l'ébauche du facteur général de déplacement que nous évoquons à la fin du § 2.

Nous sommes maintenant en mesure de préciser les conditions environnementales de certains déplacements.

- Un déplacement de plus de 4.3 cm/an (DAM7, DAM8) est associé à :
- des cailloux de taille <= 5.4 cm (LON1)
 - un enfoncement <= 1.6 cm (ENF1)
 - deux voisinages : V011 (contenant les trois sols striés) et V010 correspondant aux zones sans végétation de l'éboulis

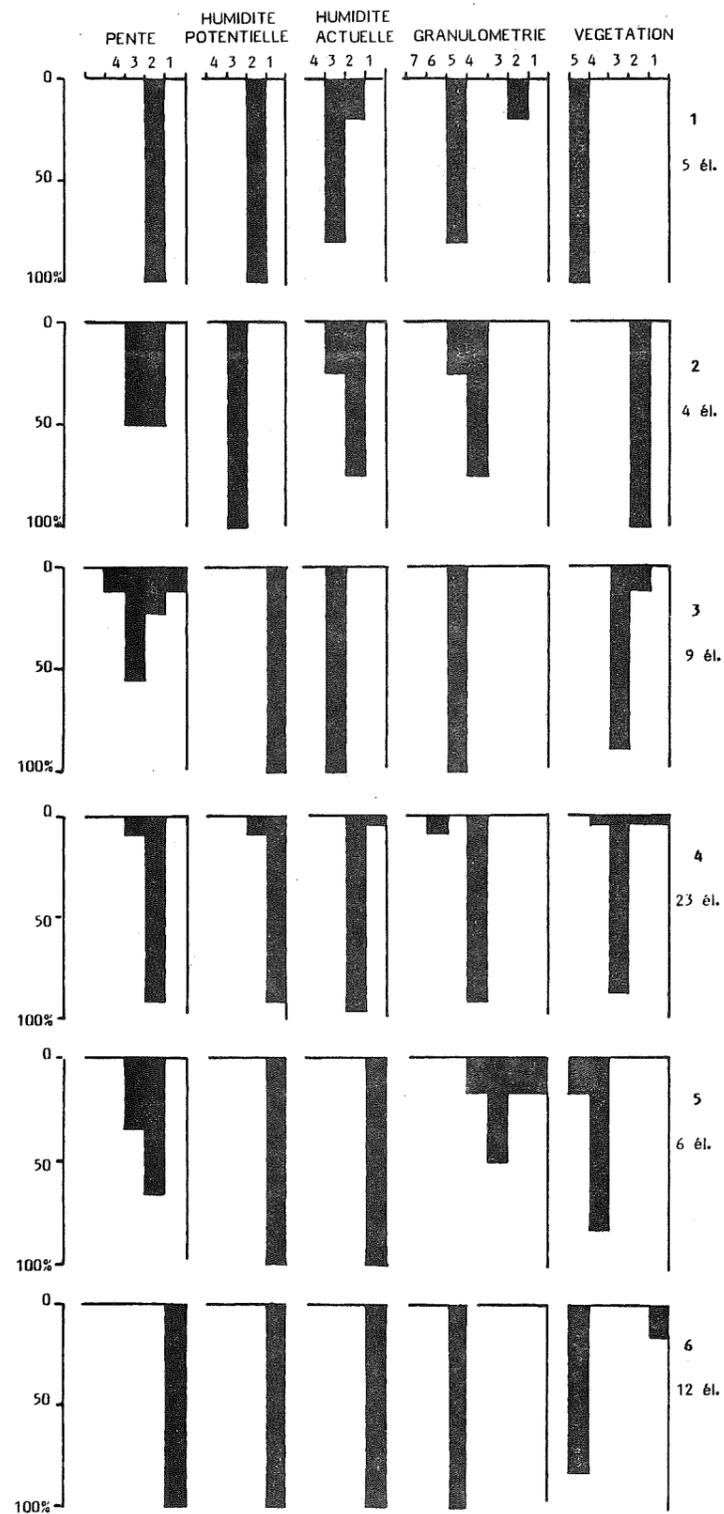


Tableau 3

Description des voisinages; chacun est qualifié par les 5 histogrammes des variables environnementales.

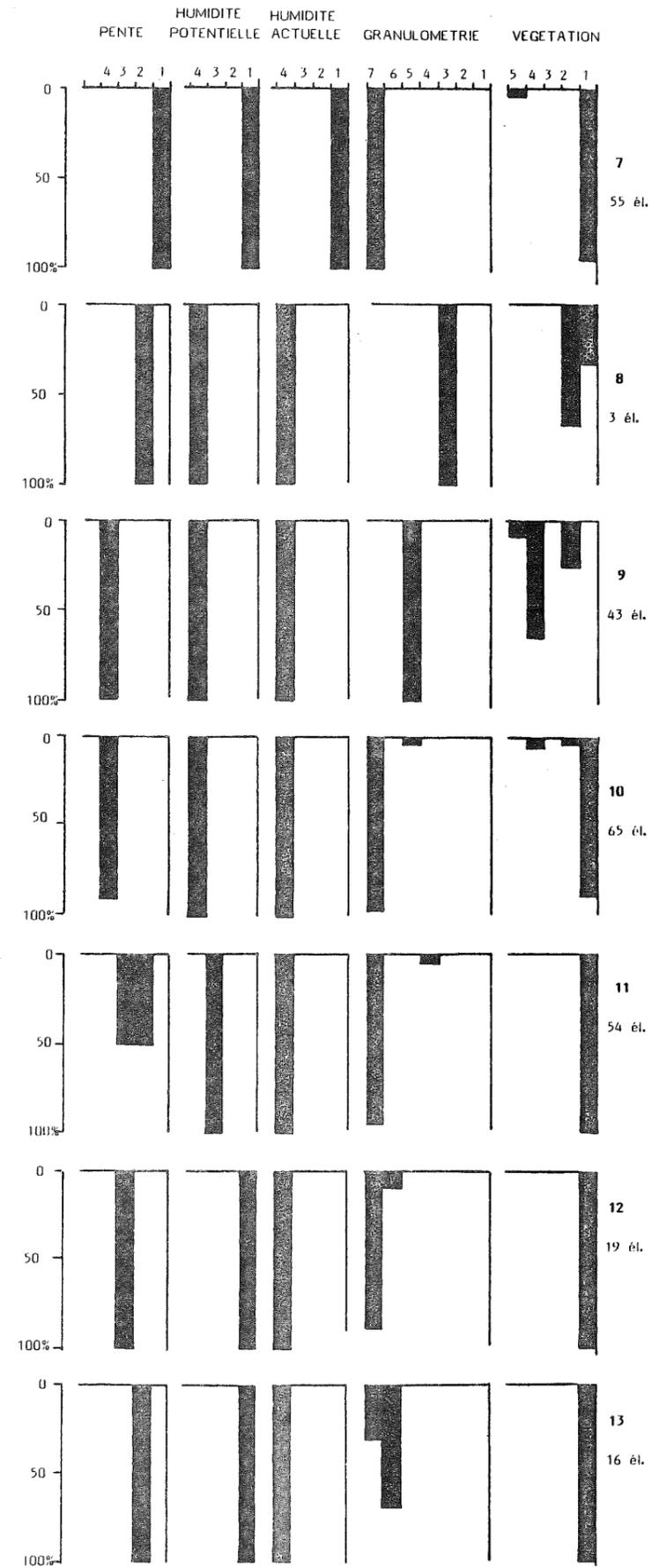


Tableau 3 (suite et fin)

VARIABLE	BORNES	CODE
DEPLACEMENT ANNUEL MOYEN	-0.2* à 0.3 cm/an	DAM1
	0.4 à 0.5 cm/an	DAM2
	0.6 à 0.8 cm/an	DAM3
	0.9 à 1 cm/an	DAM4
	1.1 à 1.5 cm/an	DAM5
	1.6 à 4.2 cm/an	DAM6
	4.3 à 6.6 cm/an	DAM7
	6.7 à 20 cm/an	DAM8
PENTE	2 à 5.5°	PEN1
	5.6 à 11.5°	PEN2
	11.6 à 26°	PEN3
	26.1 à 40°	PEN4
LONGUEUR	1 à 5.4 cm	LON1
	5.5 à 9.8 cm	LON2
	9.9 à 14.1 cm	LON3
	14.2 à 22.9 cm	LON4
	23 à 31.7 cm	LON5
	31.8 à 40.4 cm	LON6
	40.5 à 88.6 cm	LON7
	88.7 à 400 cm	LON8
ENFONCEMENT	0 à 1.6 cm	ENF1
	1.7 à 4.8 cm	ENF2
	4.9 à 6.4 cm	ENF3
	6.5 à 11.2 cm	ENF4
	11.3 à 20.8 cm	ENF5
	20.8 à 200 cm	ENF6

* Les valeurs négatives sont dues à des imprécisions de mesure ; l'explication réside dans le fait que d'une année sur l'autre la corde n'a pas été placée toujours exactement au même endroit

Tableau 4

Un déplacement entre 0.9 et 1.5 cm/an (DAM4, DAM5) est associé à :

- une taille de 14.2 à 31.7 cm (LON4, LON5)
- un enfoncement de 1.7 à 6.4 cm (ENF3, ENF4)
- un voisinage V07 qui contient 55 des 65 éléments de la coulée de thalweg S8

Les déplacements de moins de 0.3 cm/an (DAM1, DAM2) sont liés à :

- une taille ≥ 40.5 cm (LON7, LON8)
- un enfoncement ≥ 11.3 cm (ENF5, ENF6)
- trois voisinages :
 - VO 3 = S3 (coulée de versant)
 - VO12 = S4 (coulée de blocailles) + une partie de S5 (coulée de thalweg)
 - VO 9 = la partie végétalisée de l'éboulis

Si facteur général de déplacement il y a, il sera donc inversement proportionnel à la taille.

Remarquons cependant que cette belle harmonie est visiblement troublée par la pente, qui influe brutalement sur le DAM (proximité entre PEN4 et DAM6 et entre PEN1 et DAM5) [fig. 3-a]. De plus, seuls certains des voisinages sont bien représentés dans le premier plan : V07, V011 et V012.

D'autres (V013, V04, V09, V010) sont mieux décrits dans le plan (3, 4) dont nous allons maintenant parler.

Ce qui est tout d'abord mis en évidence (fig. 4), c'est l'étroite association entre le caractère DAM6 (déplacement de 1.6 à 4.2 cm/an) et l'éboulis : 37 parmi les 47 cailloux de cette classe de déplacement proviennent de ce site (cf. tableau 5). L'examen des positions respectives des caractères importants montre qu'ici la tendance générale est opposée à celle du 1er plan : il est en effet grossièrement proportionnel à la taille du caillou. On remarque avec intérêt que la partition de l'éboulis en deux paraît correspondre à l'existence de dynamiques différentes : V010, associé dans le plan (3, 4) à LON2 et DAM6 a un comportement qui n'est pas contradictoire avec sa place dans le 1er plan. Par contre les éléments de V09 (partie végétalisée de l'éboulis) obéiront plutôt à la dynamique inverse associée au plan (3, 4).

AXE HORIZONTAL (1)--AXE VERTICALE (2)--TITRE: DONNEES CHAMBEYRON TABLEAU DE HURT AVEC VOISINAGES

NOMBRE DE POINTS : 59

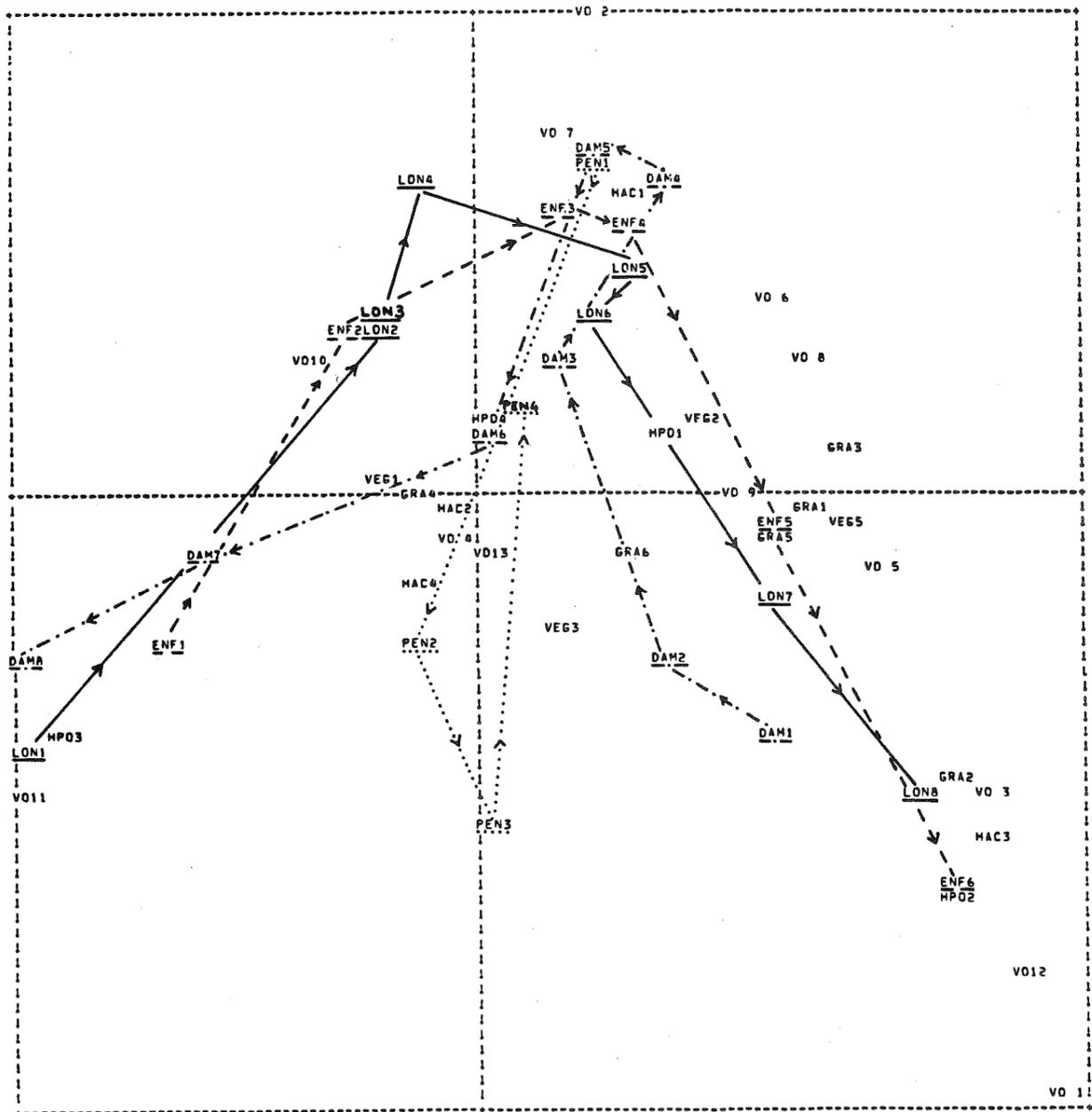


Figure 3-a : Premier plan factoriel : représentation des variables.

Les modalités importantes sont soulignées

AXE HORIZONTAL (1)--AXE VERTICALE (2)--TITRE: DONNEES CHAMBEYRON TABLEAU DE HURT AVEC VOISINAGES

NOMBRE DE POINTS : 314

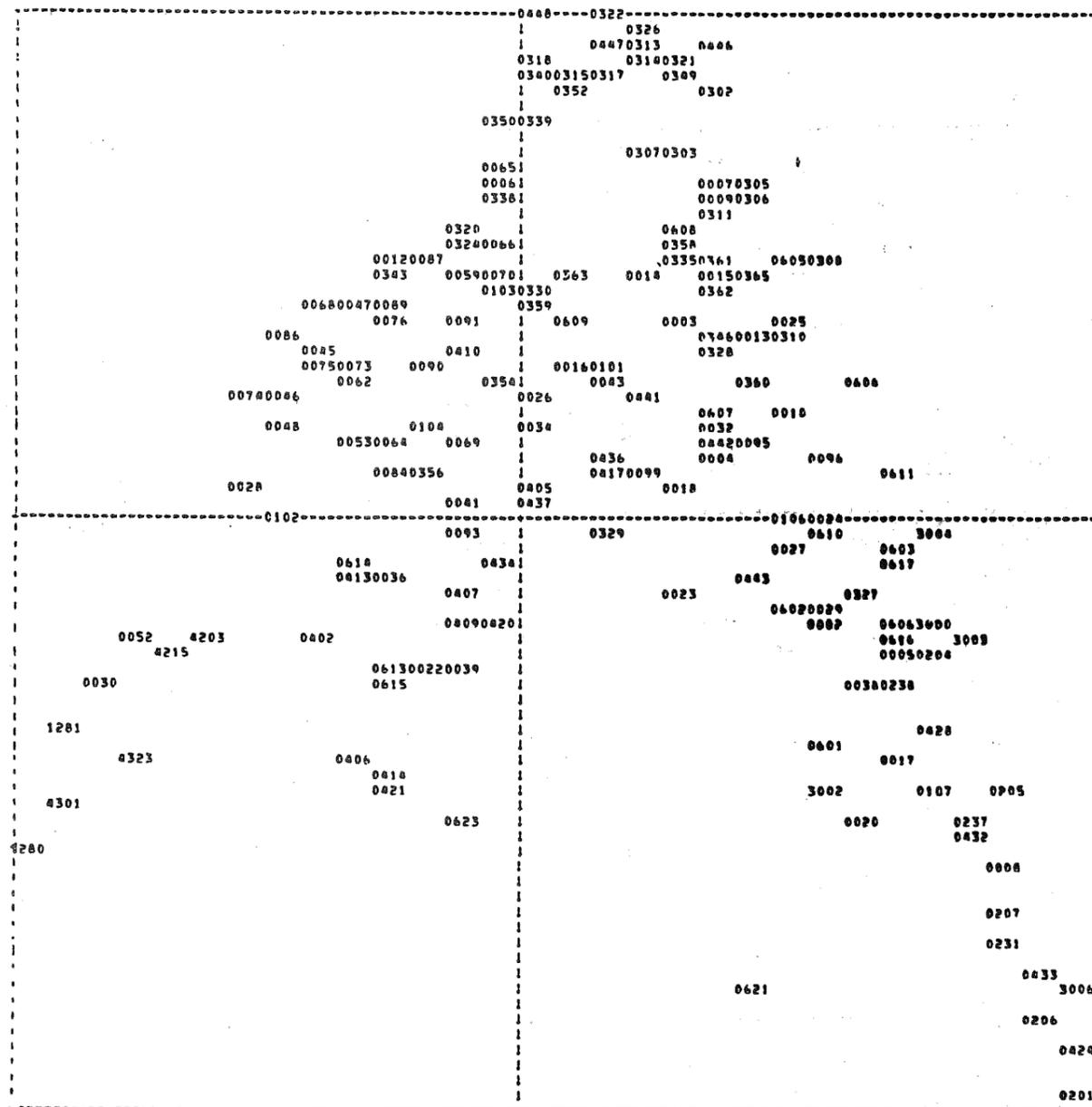


Figure 3-b : Premier plan factoriel : représentation des cailloux

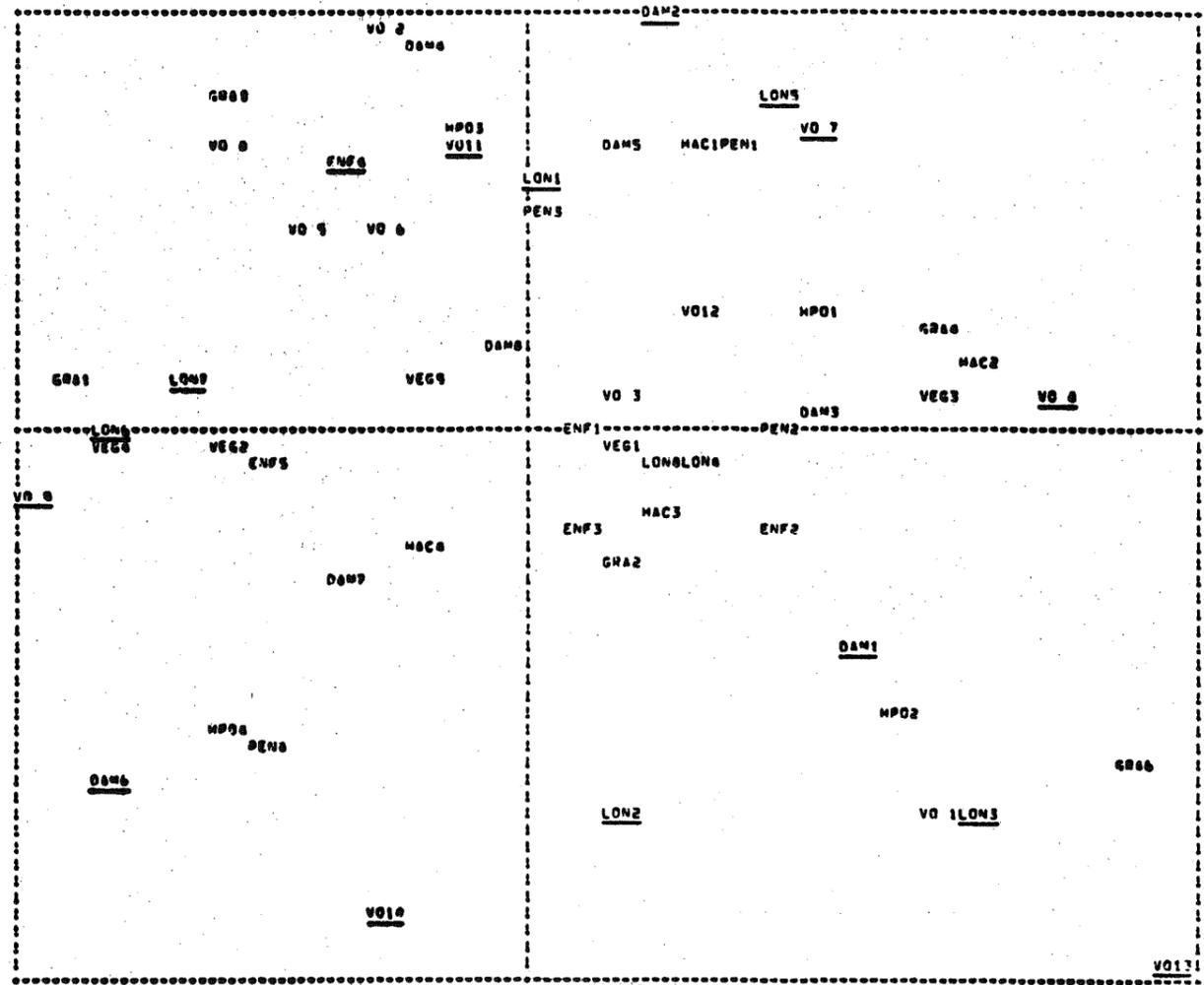


Figure 4 : Plan factoriel 3-4, représentation des variables.

Les modalités importantes sont soulignées

	VO 1	VO 2	VO 3	VO 4	VO 5	VO 6	VO 7	VO 8	VO 9	VO 10	VO 11	VO 12	VO 13
DAM 1	5	0	4	5	2	2	4	0	8	1	2	11	16
DAM 2	0	0	0	5	1	0	7	0	3	0	0	8	0
DAM 3	0	0	0	10	1	5	13	1	2	2	3	0	0
DAM 4	0	1	2	1	1	0	9	0	1	1	0	0	0
DAM 5	0	2	0	1	0	0	21	2	5	3	1	0	0
DAM 6	0	1	2	1	1	0	1	0	17	20	6	0	0
DAM 7	0	0	1	0	1	0	0	0	6	23	18	0	0
DAM 8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	15	22	0	0
PEN 1	0	0	1	0	0	12	55	0	0	0	0	0	0
PEN 2	5	2	2	21	4	0	0	3	0	0	27	0	16
PEN 3	0	2	5	2	2	0	0	0	0	0	27	19	0
PEN 4	0	0	1	0	0	0	0	0	43	65	0	0	0
LON 1	0	0	0	6	0	0	3	0	0	4	47	0	3
LON 2	0	0	0	4	0	2	8	0	1	19	0	0	3
LON 3	0	0	0	5	0	0	9	0	0	13	0	0	5
LON 4	0	1	0	1	0	2	12	0	0	14	0	0	2
LON 5	0	1	0	3	0	0	11	0	6	1	1	0	2
LON 6	1	1	0	0	0	4	6	0	11	7	2	1	1
LON 7	1	1	1	0	2	1	4	2	19	4	3	7	0
LON 8	3	0	8	4	4	3	2	1	6	3	1	9	0
ENF 1	0	0	0	14	0	0	6	0	4	23	43	0	8
ENF 2	0	2	0	4	0	0	16	0	2	13	9	0	2
ENF 3	0	1	0	1	1	2	14	1	8	12	1	0	4
ENF 4	0	1	1	1	3	4	13	0	10	8	0	0	1
ENF 5	0	0	4	2	2	4	3	2	7	7	0	6	1
ENF 6	5	0	4	1	0	2	3	0	11	2	1	13	0

Tableau 5

CONCLUSION PARTIELLE :

Si l'on tient compte de la qualité de représentation des voisinages, il apparaît que le type de déplacement mis en évidence dans le premier plan (d'autant plus important que les cailloux sont petits) est caractéristique de plusieurs types de sites. En effet, coulées de thalweg (VO7 S8, et une dizaine d'éléments de S5 appartiennent à VO12), coulées de blocailles (S4 VO12), et sols striés (S6 et S7 VO11) y sont globalement bien représentés, ainsi que dans une moindre mesure l'éboulis. Le fait que ce premier facteur s'interprète naturellement en fonction de l'inertie de chaque caillou montre sa validité. Une structure moins cohérente pourrait être suspecte, car basée sur un pur "effet de site". En effet, pour la plupart des voisinages importants (VO4, VO7, VO9, VO10, VO11, VO12) la répartition des cailloux en fonction de la taille ou du DAM dans chaque classe est loin d'être uniforme, et présente généralement un mode assez accusé (cf. tableau 5).

Dans l'hypothèse vraisemblable où chacun de ces sites serait caractérisé par un déplacement en masse, à une vitesse donnée, le calibrage des cailloux dans chacune pourrait à la limite induire une relation sans aucune réalité physique entre la taille modale et la vitesse de croisière de ce groupe ! Par contre, s'il se révèle que la relation mise en évidence dans le premier plan n'est pas un pur "effet de site", on pourra y voir une traduction de l'inertie de chaque caillou.

Une question analogue se pose lorsqu'il s'agit d'interpréter le plan (3, 4). Constaté des déplacements proportionnels à la taille n'est guère étonnant en soi : c'est ce que l'on peut attendre dans des dépôts où l'éboulisation n'est pas négligeable. Cependant, une seule partie de l'éboulis semble vraiment associée à ce phénomène : la partie végétalisée (VO9). Par contre, l'ensemble de ce site semble caractérisé par une fréquence importante des déplacements de 1.6 à 4.2 cm/an et ce, quelle que soit la taille du caillou.

L'existence d'une telle vitesse de groupe ne semble concevable que si cet éboulis est assisté. Mais alors, comment se fait-il que dans la zone où elle est prédominante (VO9) on ait un nombre assez important de déplacements à peu près nuls (cf. tableau 5) ? Comme on pouvait s'y attendre, cela semble dû à l'inertie des sus-dits cailloux, dont la taille est importante.

III - APPROXIMATION DU DEPLACEMENT ANNUEL MOYEN

On a dégagé dans le paragraphe précédent trois paramètres (longueur, enfoncement, pente) susceptibles de gouverner le déplacement annuel moyen des cailloux. Ces paramètres agiraient -et interagiraient- à deux échelles différentes :

- à l'échelle du voisinage, voire du site, nous aurions une vitesse de groupe due à divers processus géomorphologiques,
- à l'échelle individuelle, nous constatons soit une nette inertie du caillou, soit le comportement opposé.

Malheureusement, en l'absence d'informations plus précises sur les hypothétiques vitesses de groupe, nous n'avons pu suivre plus loin cette piste.

Suivant N. Caine (1968), A. Pissart, J.L. Schepers et A. Laurant (1981) ont préféré ajuster le logarithme du DAM plutôt que le DAM lui-même. Cette transformation ne semble pas indispensable dans notre optique pour deux raisons :

- elle accorde plus d'importance aux très petits déplacements ; quant aux déplacements nuls, il faut carrément les écarter ou leur attribuer une valeur arbitraire,
- elle prend tout son intérêt lorsque, le phénomène suivant *grosso modo* une loi log-normale, on souhaite tester telle ou telle hypothèse le concernant. Ici, il ne s'agit que d'ajustement, et il n'est nullement immédiat qu'une fonction exponentielle de l'approximation de Log (DAM) soit un meilleur ajustement de DAM que celui que l'on peut obtenir directement.

Les résultats obtenus pour les deux régressions sont les suivants :

Régression "logarithmique" :

On a sélectionné les 270 cailloux tels que : DAM > 0.3 cm/an. Le coefficient de corrélation multiple est égal à 0.54, ce qui est peu. Notons "dam" l'approximation de DAM obtenue, et soit E = DAM-dam l'erreur faite.

Nous constatons que E a pour moyenne 1.1 cm/an et pour écart-type 3.25 cm/an.

Régression linéaire usuelle sur 314 cailloux :

Le coefficient de corrélation multiple a une valeur encore plus faible que précédemment : 0.4016.

Cependant, les statistiques de l'erreur commise sur les mêmes 270 cailloux nous donnent une moyenne de 0.263 cm/an, et un écart-type de 3.22 cm/an.

On voit que, dans les deux cas, les fluctuations de l'erreur sont importantes, et du même ordre. Cependant, l'erreur moyenne est environ 4 fois moindre dans le 2ème cas (ajusté qui plus est à 314 cailloux, et non 270).

Ceci dit, ces modèles ne sont ni l'un ni l'autre satisfaisants : les coefficients de corrélation sont faibles, et l'erreur sur le déplacement se révèle proportionnelle à celui-ci (ou à son logarithme).

On peut remédier à la médiocrité des résultats en enrichissant le modèle, par exemple en effectuant une régression polynomiale, ce que nous avons fait.

Nous aurons maintenant 15 variables explicatives au lieu de 3, que nous noterons :

- P1 (PEN)P5 (PEN)
- P1 (LON)P5 (LON)
- P1 (ENF)P5 (ENF)

Pk indique ici le polynôme de Laguerre de degré k.

Les premiers résultats furent assez décevants : le coefficient de corrélation multiple atteignait péniblement une valeur de l'ordre de 0.6, et l'erreur était toujours proportionnelle au DAM. Cela dénotait l'inadéquation du modèle, et ne plaidait pas pour l'existence d'un facteur général de déplacement.

Afin d'y voir plus clair, nous avons soumis au même traitement les cailloux qui devraient être le plus étroitement associés au dit facteur, c'est-à-dire les mieux représentés dans le 1er plan de l'A.F.C. Il s'agit de :

S9, S4, {301, ..., 327} ⊂ S8, {414, ..., 435} ⊂ S5, S10, S6, S3, {4201, ..., 4213} ⊂ S7

Les résultats montrent que les trois sols striés ne peuvent être ajustés par le même polynôme que d'autres sites. Il y a donc au moins deux ajustements envisageables pour le DAM : un pour les déplacements importants (sols striés), et un pour les petits déplacements (coulées de thalweg).

On étendra ce raisonnement à l'échelle du fichier complet en considérant qu'il est constitué de 3 parties correspondant à deux types de déplacement : plutôt lent (type 1), plutôt rapide (type 2) et à un résidu. Pour déterminer ces sous-ensembles, on construit d'abord une suite de partitions de la façon suivante :

- partition de niveau 0 : c'est le résultat de la dernière régression : type 1 = coulées de thalweg ; type 2 = sols striés
- étant donné la partition de niveau i, on calcule les paramètres de régression respectifs des sous-fichiers de type 1 et de type 2. Ensuite on détermine la partition de niveau i + 1 en affectant chaque caillou à celui des deux modèles de niveau i qui explique le mieux son déplacement, sous réserve que l'erreur d'ajustement soit inférieure au double de l'écart-type résiduel du dit modèle. Sinon, on l'aiguille vers le résidu
- on arrête la procédure lorsque l'on obtient un résultat "satisfaisant". Pour ce, les critères suivants nous ont paru pertinents :
 - maximisation du coefficient de corrélation multiple
 - minimisation de l'effectif du résidu
 - stabilité des coefficients de régression : chaque coefficient obtenu à l'étape i + 1 se trouve-t-il dans l'intervalle de confiance du coefficient de niveau i, et réciproquement ?
 - minimisation des écarts-types résiduels

Les résultats obtenus respectivement pour les déplacements de type 1 et 2 sont recensés dans les tableaux 6 et 7. Une flèche entre deux niveaux indique la stabilité des coefficients de régression (au niveau 0.95).

Il est clair au vu de ces tableaux que le déplacement de type 2 revêt un caractère beaucoup plus général que celui de type 1, nonobstant la stabilité des coefficients et des effectifs. Par contre, le déplacement de type 1 ne semble ajusté de manière stable qu'à l'étape 5. Cependant, à partir du niveau 2, c'est toujours la même variable qui est sélectionnée par le programme (régression stepwise) : P4 (PEN). De plus, le coefficient relatif à cette variable est assez stable : il est équivalent entre les niveaux 2 et 3, ainsi qu'entre 4 et 5. Par contre le terme constant de l'équation dérive jusqu'à l'étape 5.

L'étape 4 est optimale en ce qui concerne les déplacements de type 1, mais environ 40 % des cailloux appartiennent au résidu. Pour la quasi-totalité de ceux-ci, le déplacement de type 1 est le meilleur estimateur.

NIVEAU	COEFFICIENT DE CORRELATION MULTIPLE	ECART-TYPE RESIDUEL	EFFECTIF
0	0,8813	0,02253	64
1	0,82796	0,016703	100
2	0,94285	0,013974	107
3	0,95369	0,012	94
4	0,9692	0,009026	79
5	0,98546	0,000044	56
6	0,9906	0,005534	52

Tableau 6 : Déplacements de type 1

NIVEAU	COEFFICIENT DE CORRELATION MULTIPLE	ECART-TYPE RESIDUEL	EFFECTIF
0	0,5640	0,377874	51
1	0,65847	0,23045	151
2	0,607654	0,17617	106
3	0,758824	0,13953	102
4	0,8377256	0,1236	106
5	0,72827	0,15175	108
6	0,54187	0,13405	92

Tableau 7 : Déplacements de type 2

Les deux équations sont de la forme :

$$DAP1 = C1 + A (1, 4). P4 (PEN)$$

$$DAP2 = C2 + A (2, 1). P1 (PEN) + A (2,5). P5 (PEN) + B (2,1). P1 (LON)$$

(DAP désigne un déplacement approché)

Le déplacement de type 1, dans la mesure où il ne dépend que de la pente, sera pratiquement constant sur chaque site.

Pour ce qui est du déplacement de type 2, la longueur introduit une composante individuelle importante : cette variable est la première à entrer dans la régression ascendante, et le coefficient de corrélation en ne prenant qu'elle en compte atteint la valeur de 0.52. La taille intervient avec un signe négatif, ce qui est en accord avec le 1er facteur de l'A.F.C. : le déplacement lui est inversement proportionnel.

Il sera enfin intéressant de voir d'où proviennent les cailloux affectés à chacun des types de déplacement.

DEPLACEMENT DE TYPE 2 :

Sur les 106 éléments bien ajustés par ce modèle, 62 proviennent de l'éboulis, dont 43 du voisinage 10. Les éléments de la partie non végétalisée semblent donc ici en surnombre. Le reste des cailloux provient des sols striés : 20 éléments sur 24 pour S6, et 9 éléments sur 17 pour S7. Le DAM moyen pour ce groupe est de l'ordre de 4.9 cm/an.

DEPLACEMENT DE TYPE 1 :

Nous avons ici seulement 9 éléments provenant de l'éboulis. D'autres sites sont plus étroitement associés à ce type de déplacement :

- les coulées de thalweg (30 cailloux de S5 et 22 de S8)
- la coulée de blocailles (S4)
- la coulée de blocailles S9 (5 éléments sur 7)

Ce seraient donc des sites où le déplacement dépend essentiellement de la pente. Le DAM est dans ce groupe bien moins important : il est de l'ordre de 0.3 cm/an.

CONCLUSION GENERALE

Au terme de cette étude, nous aboutissons à des résultats de deux ordres : géomorphologiques d'une part, méthodologiques d'autre part.

Il est apparu très vite qu'une étude fine du rôle de chaque paramètre retenu ne pouvait être entreprise car le traitement statistique met en évidence des environnements particuliers liés aux différents sites. On peut classer 72 % de l'effectif total des cailloux marqués en 8 groupes homogènes mais deux d'entre eux sont spécifiques de l'éboulis, un de la coulée de thalweg S8, et deux des sols striés. Le comportement de chaque pierre en fonction des paramètres pente, humidité, etc... est donc "caché" par un comportement de groupe. Le comportement de groupe pourrait être soit un déplacement en masse de l'ensemble, soit un déplacement identique dans des conditions analogues. La définition d'une variable Voisinage concrétise cette manière de voir.

Néanmoins nous retrouvons certaines conclusions d'A. Pissart *et al.* (1981) qui avaient déjà senti ce problème puisqu'ils avaient montré que les coefficients de corrélation étaient meilleurs quand on considère séparément différents sites géomorphologiques. Enfoncement et taille des blocs vont de pair et le déplacement annuel moyen leur est inversement proportionnel, mais notre analyse permet de préciser que ce résultat est essentiellement valable pour les sites soumis à la gélifluxion : coulées de versant, de blocailles, de thalweg, et une partie des pierres de l'éboulis. Le traitement réalisé montre aussi qu'il faut distinguer ce qui touche les zones dénudées de l'éboulis et celles qui sont plus ou moins végétalisées.

Comme A. Pissart *et al.*, 1981, nous constatons qu'une partie des déplacements importants s'associe à un milieu sec et à une granulométrie grossière. Pour une part, cela ne surprend pas car dans cette classe se regroupent de nombreux éléments de l'éboulis. Mais on note aussi de forts déplacements pour les sols striés qui sont également codés comme un milieu sec pauvre en matériau fin, ce qui pose problème et nécessiterait un contrôle sur les sites étudiés. Si l'on précise l'évolution de l'éboulis, on constate que dans la zone végétalisée les plus gros blocs restent sur place, mais que pour les autres le DAM le plus fréquent est de l'ordre de 1.6 à 4.2 cm/an, ceci pour une taille modale de 40.5 à 88.5 cm ; dans la zone dénudée, il est de 4.3 à 6.6 cm/an pour une taille modale de 5.5 à 9.8 cm. La différence entre les déplacements moyens dans les deux zones n'est donc pas proportionnelle à la différence entre les tailles modales.

L'éboulis tend à avoir un comportement global qui est plus accentué dans les parties végétalisées ; la végétation restreint la liberté de mouvement de chaque caillou sans pour autant freiner un déplacement d'ensemble.

A la lumière de ces résultats, certaines conclusions d'ordre méthodologique s'imposent :

Tout d'abord, on peut souligner le manque de précision des mesures des variables environnementales, ce qui diminue considérablement leur intérêt individuel (on ne peut guère, à cause de cela, définir que des milieux). Au niveau de l'échantillonnage, nous pouvons formuler 3 remarques :

- il serait nécessaire que les effectifs prélevés en différents sites soient mieux équilibrés tout en ayant une taille suffisante,

- les durées et intervalles d'observation devraient être identiques pour tous les sites compte tenu de l'irrégularité interannuelle des déplacements,
- il faudrait également procéder à une répartition spatiale de l'échantillon de manière à avoir un panorama exhaustif de chaque site, et aussi disposer de plusieurs sites de même nature.

Un problème de rapport entre comportement collectif et comportement individuel des blocs est également apparu. Pour régler cette question, il faudrait disposer de mesures de déplacement non seulement en surface mais aussi sur une certaine épaisseur du sédiment. L'écart entre ces deux mesures permettrait de dégager le comportement individuel de chaque caillou, indépendamment du mouvement de son substrat.

Ce travail met bien en lumière les difficultés auxquelles sont confrontés les géomorphologues lorsqu'ils veulent passer du qualitatif au quantitatif. Cette dernière approche est la seule qui puisse permettre de hiérarchiser l'importance des paramètres qui interviennent dans les mécanismes de déplacement mais elle nécessite beaucoup de précautions et de rigueur dans la collecte des données.

Depuis 1985, nous procédons à l'équipement de nouveaux sites en profitant des enseignements fournis par cette étude et par celle entreprise dans le même contexte par l'équipe Aix-Caen* .

B I B L I O G R A P H I E

BENZECRI J.P., BENZECCI F. et coll., 1980 - *Pratique de l'analyse des données*. Tome 1. Dunod édit., 424 p.

CHANDON J.L. et PINSON S., 1981 - *Analyse typologique. Théories et applications*. Masson édit., 254 p.

PISSART A., SCHEPERS J.L. et LAURANT A., 1981 - Etude statistique des déplacements de cailloux superficiels dans un milieu périglaciaire de haute montagne, la haute vallée du Chambeyron (Basses Alpes). *Recherches géographiques à Strasbourg*, n° 16-17, p. 137-142

Nous avons utilisé les programmes de l'ADDAD (REGCAZ, DISLOG et ANCORR) implantés au CIRCE.

Les tracés BENSON ont été faits au Centre de Calcul de l'Université de Caen.

* J.P. Coutard, B. Francou, P. Gabert, J.P. Lautridou, J.C. Ozouf (géomorphologues) ; M. Cllet (palynologue) ; B. Lanoë (pédologue micromorphologue)