

## Végétation et modelés des hauts versants septentrionaux de la Sierra Nevada

Gérard Soutadé, André Baudière

---

**Citer ce document / Cite this document :**

Soutadé Gérard, Baudière André. Végétation et modelés des hauts versants septentrionaux de la Sierra Nevada. In: Annales de Géographie, t. 79, n°436, 1970. pp. 709-736;

doi : <https://doi.org/10.3406/geo.1970.15161>

[https://www.persee.fr/doc/geo\\_0003-4010\\_1970\\_num\\_79\\_436\\_15161](https://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1970_num_79_436_15161)

---

Fichier pdf généré le 30/03/2018

## Résumé

Grâce à une collaboration étroite entre géomorphologue et botaniste, trois types de formes ont été étudiées dans trois milieux différents. Dans les borreguils ou pelouses hygrophiles d'altitude existent des vasques étagées et des loupes humifères génétiquement liées. Dans ce cas, les processus biologiques remportent largement sur les processus mécaniques. Mais ce sont des formes relictues actuellement déplacées sous le climat général de la Sierra. Les pentes des lomas sont occupées par des traînées végétales à Genévriers et par des banquettes à rebord gazonné. Minéral et végétal contribuent tous deux à la morphogénèse. *Juniperus nana* ou *Festuca indigesta* renforcent linéairement les irrégularités originelles du versant et permettent la cryoplanation des marches intermédiaires. Ce sont toujours des modelés de croupes éventées et cryoturbées en saison froide. Tous les modelés observés marquent le triomphe des conditions écologiques stationnelles. Les nappes d'éboulis des surfaces culminantes sont par contre des formes héritées, actuellement stabilisées.

## Abstract

Vegetation and forms of the high northern slopes of the Sierra Nevada (southern Spain).

Thanks to a close collaboration between geomorphologist and botanist, three types of forms have been studied in three types of environments. In the borreguils or hygrophile high-altitude grass-land shallow basins rising in tiers and humus-containing sheets of fallen earth genetically linked, are to be found. In this case, the biological processes are far more important than the mechanical processes. But they are residual forms now out of place under the general climate of the Sierra. The slopes of the lomas are occupied by strips of juniper-trees and grass-bordered banks.

Both mineral and plants contribute to morphogenesis. *Juniperus nana* or *Festuca indigesta* give linear emphasis to the original irregularities of the slope and make the cryoplanation of intermediary banks possible. Those are always wind-swept slopes, subjected to frost action in the cold season.

All the forms which have been studied reveal how predominant the local ecological conditions are.

On the contrary the screes of the highest slopes are inherited forms now stabilised.

# Végétation et modelés des hauts versants septentrionaux de la Sierra Nevada

par **Gérard Soutadé**

Maître-assistant à l'Université de Toulouse II

et **André Baudière**

Maître-assistant au C.S.U. de Perpignan.  
Laboratoire de botanique méditerranéenne  
et pyrénéo-alpine.

« Les plantes peuvent ainsi devenir des indicateurs de morphogenèse tandis que la géomorphologie fournit un des éléments du milieu écologique. »

J. TRICART et A. CAILLEUX.

Planches XXIX-XXX

La Sierra Nevada est un des principaux maillons de la Cordillère Bétique. Elle est située sur le 37° de latitude Nord, donc sensiblement sur le même parallèle que celui d'Alger et de Tunis. Par ses altitudes élevées : Mulhacén (3 478 m), Veleta (3 392 m), c'est une haute montagne méditerranéenne.

Le massif andalou correspond à un vaste bombement anticlinal dont l'axe est orienté ouest-est et qui est constitué dans sa partie centrale essentiellement par des micaschistes<sup>1</sup>.

Le relief est formé par une série de lanières, les *lomas*, séparées par des ravins, les *barrancos* (fig. 1). La faible dissection explique la présence en alti-

1. Les ouvrages géographiques de base sont :

BIROT (P.), *La Méditerranée et le Moyen-Orient*, tome 1, Paris, P.U.F., 1964, 550 p.

MESSERLI (B.), *Beiträge zur Geomorphologie der Sierra Nevada Andalusien*, Zürich, Juris-Verlag, 1965. 178 p.

SERMET (J.), *L'Andalousie méditerranéenne*, Thèse Lettres, Toulouse, 1969, 17 vol.

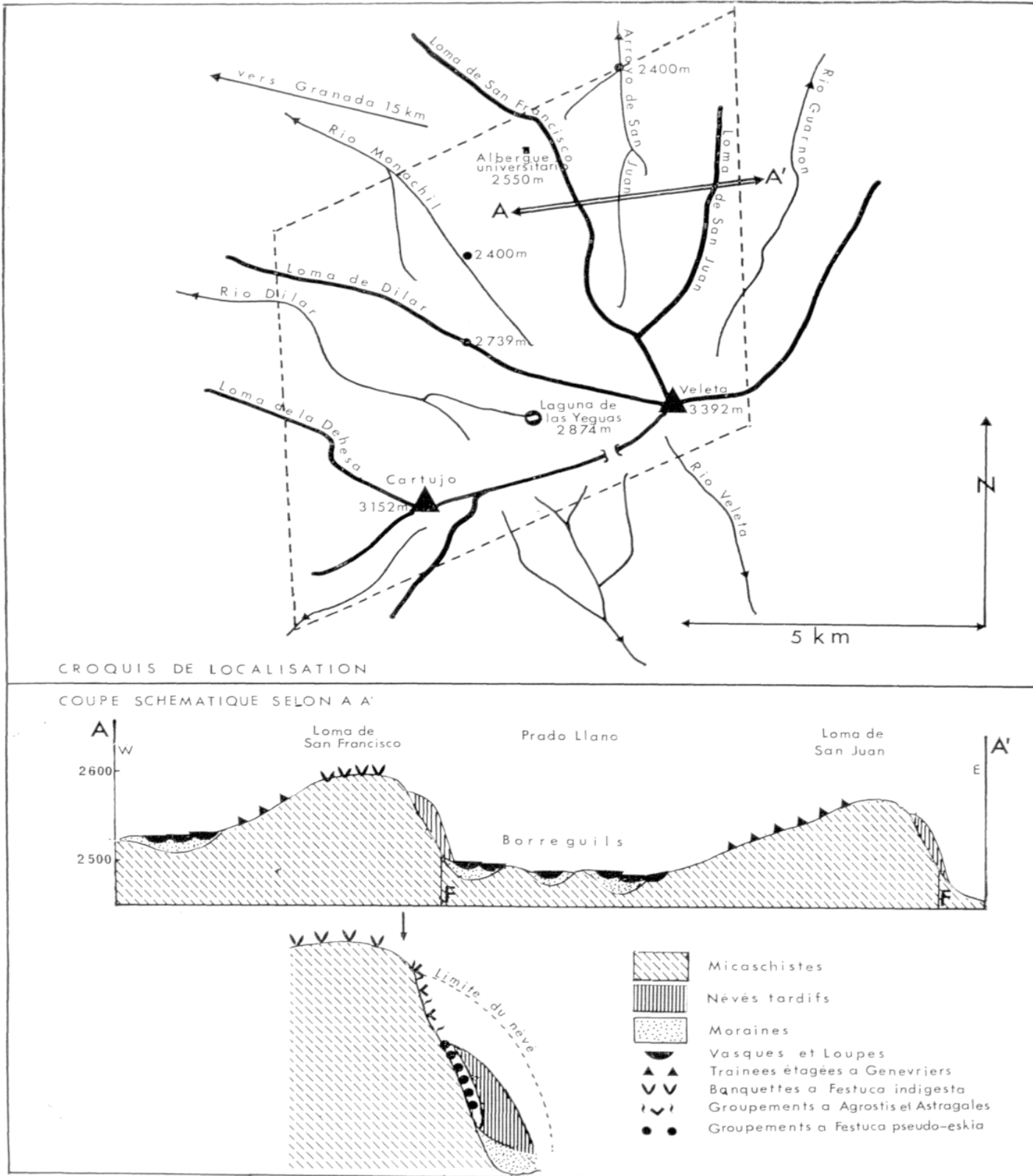


Fig. 1.

tude de hautes surfaces qui correspondent aux parties sommitales des *lomas* et l'évasement des vallons (pl. XXIX, A).

Sur le versant nord, l'orientation des vallées et la dissymétrie de leurs versants sont liées à la pente générale, à la fracturation et à l'exposition par rapport aux précipitations venues essentiellement de l'ouest.

A cette latitude, l'englacement fut limité. Il intéressa surtout le flanc septentrional du massif, mais les glaciers ne descendirent qu'exceptionnellement au-dessous de 2 000 m<sup>1</sup>. L'amont des *barrancos* est ainsi tapissé par des dépôts morainiques peu épais, enrobant la roche en place et repris par le ruissellement. Au pied des crêtes culminantes et toujours en exposition NNE, des moraines contemporaines de la dernière phase glaciaire évoquent par leur matériau grossier, aux dimensions métriques, d'anciens glaciers rocheux.

Sur cette haute montagne, les étés sont secs, les hivers froids et enneigés, tout particulièrement sur les hautes pentes du versant nord.

L'altitude élevée a permis le développement d'une flore orophytique qui se singularise par sa remarquable adaptation à supporter sans dommage les conditions très xériques de l'été méditerranéen<sup>2</sup>. Mais dans le fond des vallons règne en toute saison une humidité élevée. Elle explique dans ces stations privilégiées la présence d'une pelouse de caractère alpin : c'est le domaine des *borreguils*<sup>3</sup>.

La compréhension de certains modelés pose des problèmes que seule peut résoudre une collaboration étroite entre géomorphologue et botaniste<sup>4</sup>. Ce sont ces relations entre le minéral et le végétal que nous nous proposons d'étudier à l'intérieur du périmètre représenté sur le croquis de localisation. Trois types de formes ont été analysés :

1° les *vasques étagées* et les *loupes humifères* des *borreguils*, Dans ce cas, l'apport biologique est fondamental dans l'élaboration des modelés ;

2° les *trainées végétales étagées à Genévriers* et les *banquettes à rebord gazonné*. Minéral et végétal contribuent tous deux à la morphogénèse sur les pentes des *lomas* ;

1. DRESCH (J.), *De la Sierra Nevada au Grand Atlas, formes glaciaires et formes de nivation, mélanges de géographie et d'orientalisme*, offerts à E. F. Gautier, Tours, 1937, p. 194.

MESSERLI (B.), *ibid.*, p. 133-144.

2. QUEZEL (P.), « Contribution à l'étude phytosociologique et géobotanique de la Sierra Nevada », *Separata de Memorias da Sociedade Broteriana*, IX, 1953, 77 p.

Des travaux de phytogéographie sont actuellement menés par L. Serve du Laboratoire de botanique méditerranéenne et pyrénéo-alpine de Perpignan.

3. Un *borreguil* est un pré de vallée xérophytique dans le Sud de l'Espagne. L'origine du terme est *berrego*. La traduction andalouse est *nard*. Cf. PUIS FONT QUER, *Diccionario de botanica*, 1965, p. 146.

4. La nécessité d'une étude globale des paysages a été soulignée à maintes reprises. Voir notamment :

— Le numéro 423 des *Annales de Géographie*, 1968, consacré à « Cinquante ans de géographie soviétique ». Articles de J. DRESCH, I. P. GUERASSIMOV et D. L. ARMAND, V. S. PREOBRAZENSKIJ A. D. ARMAND.

— BERTRAND (G.), « Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique », *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 1968, fasc. 3, p. 249-272.

— ROUGERIE (G.), *Géographie des paysages*, Paris, P.U.F., 1969, 126 p.

3° les *nappes d'éboulis* des surfaces culminantes. La végétation souligne seulement certains aspects du modelé mais elle ne participe que très secondairement à son élaboration.

## I. VASQUES ÉTAGÉES ET LOUPES HUMIFÈRES, GÉNÉTIQUEMENT LIÉES, ACCIDENTENT LES PELOUSES FERMÉES DES « BORREGUILS »

Les *borreguils* ou prairies d'altitude sont situés sur le versant nord de la Sierra Nevada entre 2 400 et 2 900 mètres (pl. XXIX, A et XXX, A). Le Nard y domine. Ils sont homologues des *Cervunales* du système central ibérique (Sierra de Gredoz et de Guadarrama). Ils forment des taches de verdure fortement individualisées dans un paysage d'ensemble où domine la couleur sombre de l'éboulis. Leur forme se calque sur les irrégularités du fond des vallons. Linéaires à l'amont, au niveau des croupes morainiques longitudinales, ils s'évasent largement vers 2 400-2 500 mètres. C'est d'ailleurs là que se situent les meilleurs pâturages de la Sierra, sur des superficies rarement supérieures à quelques dizaines d'hectares.

Leur pente générale, faible à l'aval (2 à 5°), peut atteindre à l'amont des valeurs de l'ordre de 15 à 20°.

La pelouse est parcourue çà et là par de fins ruisselets encaissés de quelques dizaines de centimètres dans le sol. Les contre-pentes favorisent l'existence de marécages ou *lagunas*. Le passage aux versants encadrants n'est que très rarement souligné par une rupture de pente. La coupure est, par contre, toujours très nette entre le tapis gazonné méso-hygrophile fermé et la végétation xérophile ponctuelle des versants.

Ce type de prairies n'est pas particulier à la Sierra Nevada ; on le retrouve à des altitudes différentes sur les parties élevées des montagnes du pourtour du bassin méditerranéen. Les phytogéographes ont adopté pour ces pelouses d'altitude en milieu humide le terme proposé par J. Briquet à propos des formations homologues de Corse : *pozzine*<sup>1</sup>. Plusieurs faciès, dont certains peuvent être tourbeux, ont été reconnus dans les *pozzines*. *Vasques étagées* et *loupes humifères* s'inscrivent dans les deux types de *pozzines* les plus couramment distingués : les *pozzines* de pente et les *pozzines* de bas-fond.

### A. Les vasques étagées (fig. 2, pl. XXIX, B et C)

Ce sont des cavités elliptiques de 5 à 20 centimètres de profondeur dont le grand axe est parallèle aux courbes de niveau. Leur largeur dépasse rarement 30 centimètres et leur longueur le mètre.

Les observations faites en amont de l'arroyo de San Juan et à proximité

1. « Les localités alpines où la tourbière est trouée de mares profondes sont désignées par les habitants sous le nom de *pozzi* (puits) ; nous avons tiré de ce dernier terme le mot *pozzine* par contraction : *pozz* (*i* formation alpine). Mais il va sans dire que les *pozzines* se trouvent aussi en l'absence de *pozzi*. » Cf. BRIQUET (J.), *Prodr. Fl. Corse*, I, p. 25.

de la laguna de las Yeguas permettent de penser qu'à pente identique leurs dimensions individuelles sont proportionnelles à la surface qu'elles recouvrent dans leur ensemble ainsi qu'à la superficie des névés qui les prolongent en amont.

Ce sont des formes discontinues dont l'ensemble évoque un versant à micro-terrasses d'irrigation. La pente est toujours faible (5 à 10°) et les systèmes de vasques occupent des surfaces comprises entre 50 et 500 mètres carrés.

L'alimentation hydrique estivale provient essentiellement de la fonte des névés situés en amont. L'eau ruisselle fréquemment de façon aréolaire d'une vasque à l'autre et remplit les cavités. Les talus sont colonisés par un cortège d'hémicryptophytes hygromésophiles. Mais, comme le montre la figure 2, *la localisation des espèces est étroitement liée au niveau de l'eau*. Le Nard (*Nardus stricta*), plus mésophile, n'apparaît que très ponctuellement, toujours sur la partie la plus élevée de la bordure végétale et est alors l'indice certain d'un écoulement latéral. Ceci est en accord avec les exigences hydriques de l'espèce qui assure un recouvrement toujours supérieur à 50 p. 100 sur les surfaces voisines humides mais exondées. *Festuca rivularis*, au contraire, est toujours abondamment représentée, constituant souvent la toile de fond du tapis végétal que parsèment en outre *Ranunculus pyrenaicus* subsp. *alismoides*, *Carex flava* subsp. *oederivar nevadensis*, *Carex intricata*, *Veronica repens* Var. *nevadensis*, *Cerastium cerastoides*.

Ce type de modelé est largement tributaire de l'apport organique. Les espèces colonisatrices sont de fortes productrices d'humus et leur rôle édificateur est de ce fait particulièrement important, surtout dans un milieu où le froid et la saturation en eau (créant des conditions d'anaérobiose) s'opposent à une évolution rapide de la matière organique.

Les éclats rocheux sont l'exception. Cependant les observations montrent une sédimentation de silicates dans le fond des vasques. Cette pellicule minérale provient du lavage exercé sous le névé par les eaux de fusion au détriement des dépôts de pente.

Ces caractères descriptifs permettent de préciser la délimitation des aires recouvertes par les vasques sur le versant nord :

a) Elles jalonnent la limite inférieure des névés qui subsistent tardivement en été. Elles s'inscrivent donc, à l'amont des *borreguils*, dans une tranche d'altitude comprise entre 2 750 et 2 900 mètres.

b) Elles n'existent pas là où affleurent les roches moutonnées : en effet, une alimentation en éléments très fins est toujours assurée. Par contre les versants tapissés de matériau colloïdal sont leurs supports préférentiels.

Les processus qui concourent à leur développement sont actuels et certainement saisonniers. Ils s'exercent alternativement dans le sens vertical et dans le sens horizontal.

Au cœur de l'été, la morphogenèse est limitée à un épaissement de la forme par suite du développement de la végétation. Les vasques, emplies d'eau, sont pratiquement immunisées contre l'action des agents subaériens.

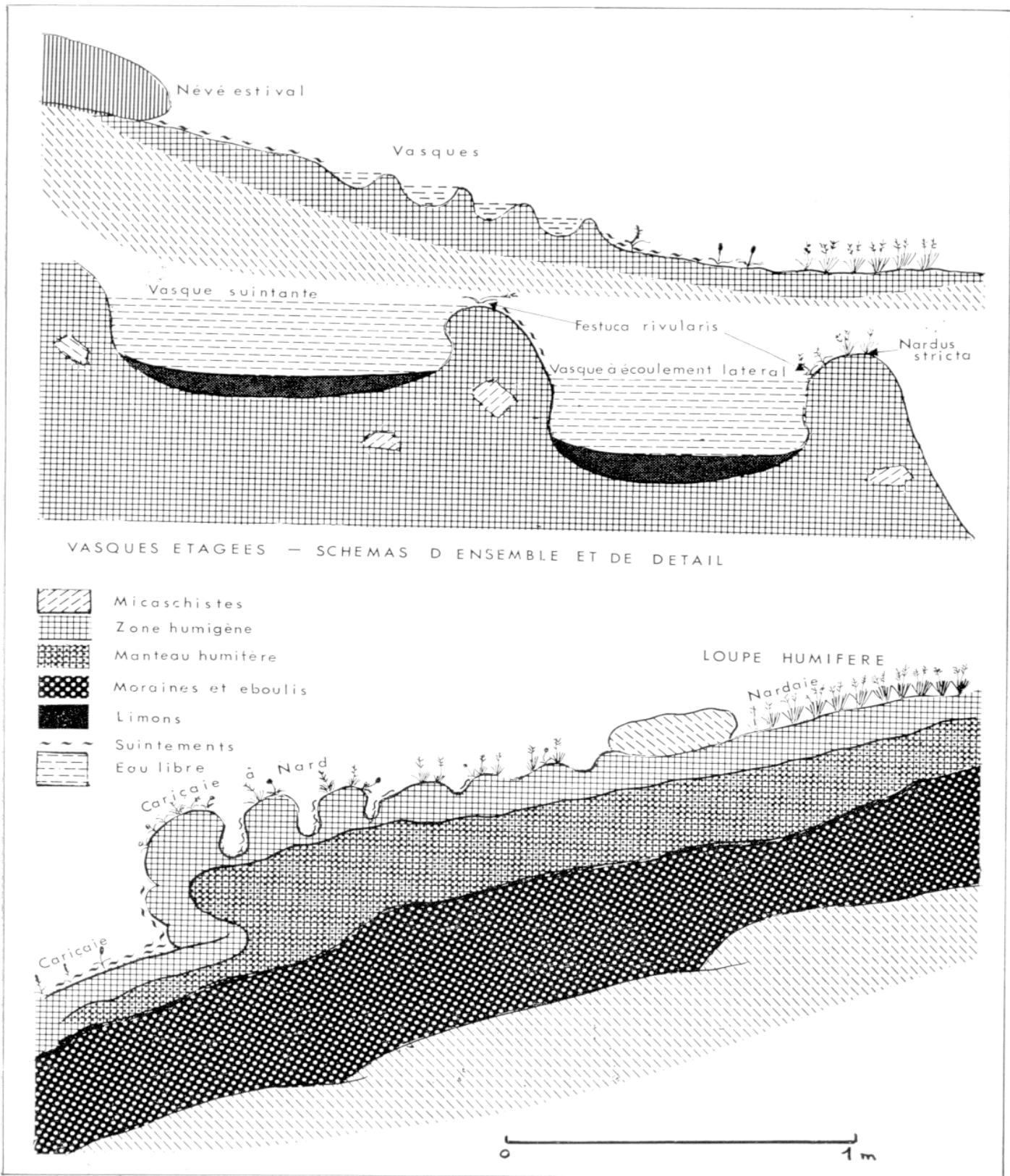


Fig. 2.



Le gel, certes, peut parfois se manifester la nuit, mais il n'est que très accidentellement capable de mobiliser en surface une couche de glace susceptible d'engendrer des efforts de tension latéraux importants. Le fond de la cavité se colmate par apport argileux et limoneux alors qu'en bordure le talus s'enrichit par apport humifère.

L'extension latérale de la vasque ne peut se faire que durant la période où les creux ne sont ni pleins d'eau ni pleins de neige, c'est-à-dire à la fin de l'été. C'est à ce moment, en effet, que le ruissellement est le plus faible et le gel nocturne le plus actif. L'eau stagne dans le fond des cavités et gèle sur toute son épaisseur. Les parois sont alors soumises presque quotidiennement à des poussées latérales, à un niveau mal protégé par les rhizosphères. Ce processus permet ainsi, soit un simple rafraîchissement, soit une extension de la vasque. Il permet également de comprendre la forme lenticulaire des creux.

Cette morphogenèse rappelle par certains aspects celle des *buttes gazonnées* des surfaces humides et relativement planes des alpages<sup>1</sup>. Une part importante d'hypothèse demeure en ce qui concerne l'explication du point de départ de l'évolution. A partir d'irrégularités originelles, cailloux ou, plus vraisemblablement, touffes de végétation, les différents stades de développement demandent encore à être précisés. Nous nous y attacherons au cours des années à venir.

Les conditions nécessaires à l'édification nous paraissent être :

a) Un ruissellement suffisamment important pendant la période de végétation pour interdire la colonisation par la nardaie, mais suffisamment *étalé en nappe* pour permettre le développement de végétaux hygrophiles sans provoquer leur déchaussement. L'intensité du courant doit donc être faible.

b) Un apport limité en matériau fin pour ne pas déterminer l'ensevelissement pur et simple de la végétation qui constitue l'obstacle initial. Il est indispensable, pour que la forme puisse prendre naissance, que le végétal ait le temps de coloniser la barrière qu'il contribue à édifier en arrêtant les particules amenées par le ruissellement.

On peut alors penser, le processus une fois engagé, qu'il se continuera par autocatalyse. On trouve donc associés dans la morphogenèse les trois éléments du trinôme dynamique : le matériel de base : les éléments fins ; l'agent moteur : le ruissellement ou le gel ; l'obstacle : le végétal<sup>2</sup>.

## B. Les loupes humifères (fig. 2, pl. XXIX, D)

Elles ont une dizaine de mètres de longueur et sont toujours allongées dans le sens de la pente. Des mesures effectuées sur plusieurs d'entre elles

1. TRICART (J.) et GAILLEUX (A.), *Le Modelé des régions périglaciaires*, Paris, S.E.D.E.S., 1967, p. 214 à 221 et orientation bibliographique.

2. Le terme de trinôme dynamique a été utilisé pour la première fois par G. Kühnholtz-Lordat dans son étude sur la végétation des dunes du golfe du Lion. Les trois éléments étaient alors : le sable, le vent, le végétal. KÜHNHOLTZ-LORDAT (G.), *Essai de géographie botanique sur les dunes du golfe du Lion*, Thèse, Fac. Sc. Paris, Paris, P.U.F., 1923, 307 p.

montrent que le rapport largeur/longueur varie de 1 à 3. Elles sont toujours très aplaties et leur pente longitudinale est comprise entre 3 et 6°.

Elles se terminent à l'aval par un petit talus de 20 à 80 centimètres de hauteur. Leur rebord devient de moins en moins net vers l'amont et finit par se confondre avec la surface gazonnée encadrante.

Des bourrelets très irréguliers, plus ou moins serrés, de quelques décimètres d'épaisseur en général, accidentent leur surface, surtout près du front.

La végétation qui les recouvre diffère de celle qui constitue le tapis végétal environnant. Les plantes hygrophiles de la Sierra (*Carex intricata*, *Vaccinium uliginosum* var. *nanum*, *Parnassia palustris*, *Pinguicula leptoceras*, *Ranunculus acetosellifolius*, *Plantago thalackeri*, *Gentiana nevadensis*) laissent progressivement la place à la Nardaie mésophile (*Nardus stricta*, *Lotus glareosus*, *Leontodon microcephalus*, *Gentiana alpina*).

L'originalité du matériau composant ces loupes réside dans la faible part prise par les dépôts de versant. L'humus mélangé de silicate en constitue toute l'épaisseur et les éléments rocheux sont rares. Le piolet s'enfonce sans rencontrer de résistance.

La loupe humifère apparaît ainsi comme un type particulier de *loupe de solifluxion entravée*<sup>1</sup>. La forme elle-même, la présence de cailloux en transit sont autant de preuves de l'action actuelle de ce mouvement de masse.

Les liens avec les versants en *vasques étagées* sont non moins remarquables et plusieurs faits prouvent cette parenté :

a) Dans les deux cas, le modelé est étroitement lié à l'humidité et à une alimentation en éléments fins. *La vasque est largement aquatique tandis que la loupe est, dans sa totalité, une forme humide, mais subaérienne.*

b) Sur un même versant, la première passe latéralement ou longitudinalement à la seconde. Mais *le passage de l'une à l'autre est toujours rapide.* Il se fait sur des pozzines de pente et sur des distances rarement supérieures à la centaine de mètres.

*Si les vasques marquent en amont la limite des « borreguils », les loupes humifères jalonnent, à l'aval, le rebord des surfaces sub-horizontales de ceux-ci.* Ce sont donc des modelés de bas de versant, mais de versant couvert.

De nombreuses espèces végétales identiques se retrouvent sur l'un comme sur l'autre. Mais leurs degrés de dominance varient avec la forme du biotope et leur localisation sur celui-ci. Les conditions écologiques ne sont pas les mêmes sur le front des coulées et dans la partie centrale de celles-ci.

C'est ainsi que *Nardus stricta* colonise ponctuellement le rebord exondé des vasques, alors qu'il recouvre largement la surface amont des loupes. Mais, entre les bourrelets, il est remplacé par des plantes plus hygrophiles comme *Carex intricata* et *Plantago thalackeri*. Ce dernier traduit d'ailleurs lorsqu'il est dominant, une tendance à l'« assèchement » du milieu, assurant

1. TRICART (J.) et CAILLEUX (A.), *op. cit.*, p. 232 à 235.

WALTER (H.), *Die vegetation der Erde in öko-physiologischer Betrachtung*. Band II : die gemässigten und arktischen Zonen, Iena, G. Fischer, 1968, p. 568-569.

ainsi la transition entre la Cariçaie perhumide à *Carex intricata* et la Nardaie méso-hygrophile de la partie amont des loupes.

Le passage des vasques à la loupe s'accompagne d'une modification morphologique du versant et correspond au franchissement de deux seuils<sup>1</sup>. Le premier réside en l'apparition de bombements à la surface du plan incliné sur lequel se trouvent les vasques alors que le second se trouve franchi lorsque les bourrelets qui accidentent les loupes sont réunis entre eux et forment alors une pelouse fermée. Des modifications d'humidité sont évidemment au point de départ de cette évolution.

Les vasques étagées laissent la place aux loupes humifères lorsque les névés et les sourcins ne sont plus capables de fournir, au cœur de l'été, une humectation et un ruissellement aréolaire suffisants. Trois changements fondamentaux se produisent alors :

a) Le versant n'est plus humecté que linéairement.

b) Les vasques se comblent. *Plantago thalackeri* d'abord, *Nardus stricta* ensuite, colonisent les anciens creux aquatiques. L'épaississement humifère intéresse désormais toute l'étendue de la vasque.

c) Un mouvement de masse se déclenche. Sur des pentes comprises entre 5 et 8°, il est lié à la puissance de la couche humifère et à son taux d'humidité. Nous avons pu constater, à partir de plusieurs cas précis, qu'il y avait loupe lorsque le manteau humifère sous-jacent, situé entre les dépôts de versant et les rhizosphères, formait une couche lubrifiante ayant au moins 15 à 30 centimètres d'épaisseur. Sa teneur en eau était supérieure à 80 p. 100.

Mais le mouvement est lent. La forme paraît résulter d'un épaississement d'humus *in situ* plutôt que d'un large transfert de matériau vers l'aval. Cela est en parfait accord avec l'absence à l'amont de toute cicatrice d'arrachement. *Les processus biologiques l'emportent donc largement sur les processus mécaniques.* Les bourrelets du front des loupes en sont d'ailleurs un témoignage certain : ce ne sont pas des bourrelets provoqués par le cisaillement de la masse, mais les rebords comprimés d'anciennes vasques incomplètement comblées. Comme le montre la figure 2, les nombreux suintements qui se produisent à l'aval des loupes ne permettent pas le développement d'une Nardaie continue et partant d'un tapis gazonné uniforme. C'est donc à ce niveau que la parenté de milieu avec les vasques étagées est la plus évidente.

La biostasie et l'épaississement correspondant des versants ne sont cependant valables que dans ces bas-fonds. Une élévation de quelques mètres seulement sur les pentes des *lomas* entraîne de profondes modifications de la physionomie de la végétation : le tapis végétal devient alors discontinu.

1. BRUNET (R.), *Les Phénomènes de discontinuité en géographie*, Mémoires et documents, 1967, nouvelle série, vol. 7, Paris, éd. du C.N.R.S., 1968, 117 p. « Les seuils d'irréversibilité », p. 25. « La rupture marque souvent un changement qualitatif », p. 30. Dans le cas étudié, *la modification de quantité d'eau entraîne une mutation qualitative*, c'est-à-dire le passage de la vasque à la loupe.

## II. TRAINÉES ÉTAGÉES DE GENÉVRIERS ET BANQUETTES A REBORD GAZONNÉ COLONISENT LES VERSANTS DES « LOMAS »

### A. Les trainées étagées de Genévriers (fig. 3, pl. XXX, A)

*Le trinôme dynamique : gradins caillouteux couverts par Juniperus nana, surfaces planes faiblement végétalisées et cryoturbation.*

L'ensemble se présente en bandes parallèles discontinues, étagées, disposées dans le sens de la pente, sur des versants inclinés à 25-30°. La largeur des marches varie de 1 à 2,50 mètres. Elles présentent en surface un matériau fin abondant, mais aussi de nombreux éclats micaschisteux décimétriques. Le recouvrement végétal est toujours inférieur à 20-25 p. 100. *Festuca indigesta*, espèce dominante, est accompagnée par *Dianthus brachyanthus*, *Thymus serpylloides*, *Arenaria aggregata* subsp. *armerina* var. *frigida*. *Jurinea humilis*, *Euphorbia nevadensis*, *Erysimum bocconeii*, *Senecio boissieri*, *Poa ligulata*, *Sedum amplexicaule*...<sup>1</sup>

La hauteur du gradin est généralement inférieure au mètre. Il est formé par de la blocaille où dominent les éléments grossiers, souvent métriques. C'est le lieu de prédilection de *Juniperus nana*.

La matrice fine est toujours moins abondante que sur la surface plane, mais son taux d'humus, directement lié à la production du Genévrier, est, au contraire, nettement plus élevé. C'est ainsi que des dosages portant sur le carbone organique des couches superficielles du sol montrent des taux de :

- 0,50 p. 100 à 1,50 p. 100 sur les marches,
- 5,73 à 14,62 p. 100 sur les contre-marches, sous le Genévrier.

#### *Le rôle majeur de l'exposition*

Les trainées sont toujours orientées W.-E., donc parallèlement au vent dominant. Les pentes qu'elles recouvrent sont soumises à de fortes variations thermiques nyctémérales. Très tôt exposées aux rayons du soleil, elles ne sont atteintes que très tardivement par l'ombre. En été, la température au sol est particulièrement élevée pendant les heures chaudes de la journée. A 2 550 mètres, sur la *loma* de San Juan, elle atteignait 42 °C le 14 juillet 1969 à 13 heures. Au sommet du versant, 20 mètres plus haut, sur une pente de 8°, la température au sol n'était plus que de 33 °C. Les observations faites en juillet 1968 ont montré que durant la journée le taux d'humidité relative s'abaissait à moins de 30 p. 100. Dans ces conditions, on est donc en droit de penser que les baisses de température nocturne consécutives au fort rayonnement sont très sensibles.

1. *Festuca indigesta* : il s'agit en fait d'une sous-variété endémique de la Sierra Nevada de la sous-espèce collective *F. ovina* subsp. *indigesta* dont le statut est le suivant : *Festuca ovina* L. subsp. *indigesta* Boiss. var. *indigesta* subvar. A fin de simplification nous conserverons seulement dans le texte le binôme de *Festuca indigesta* qui, compte tenu de ce qui précède, ne saurait désormais souffrir de confusion.

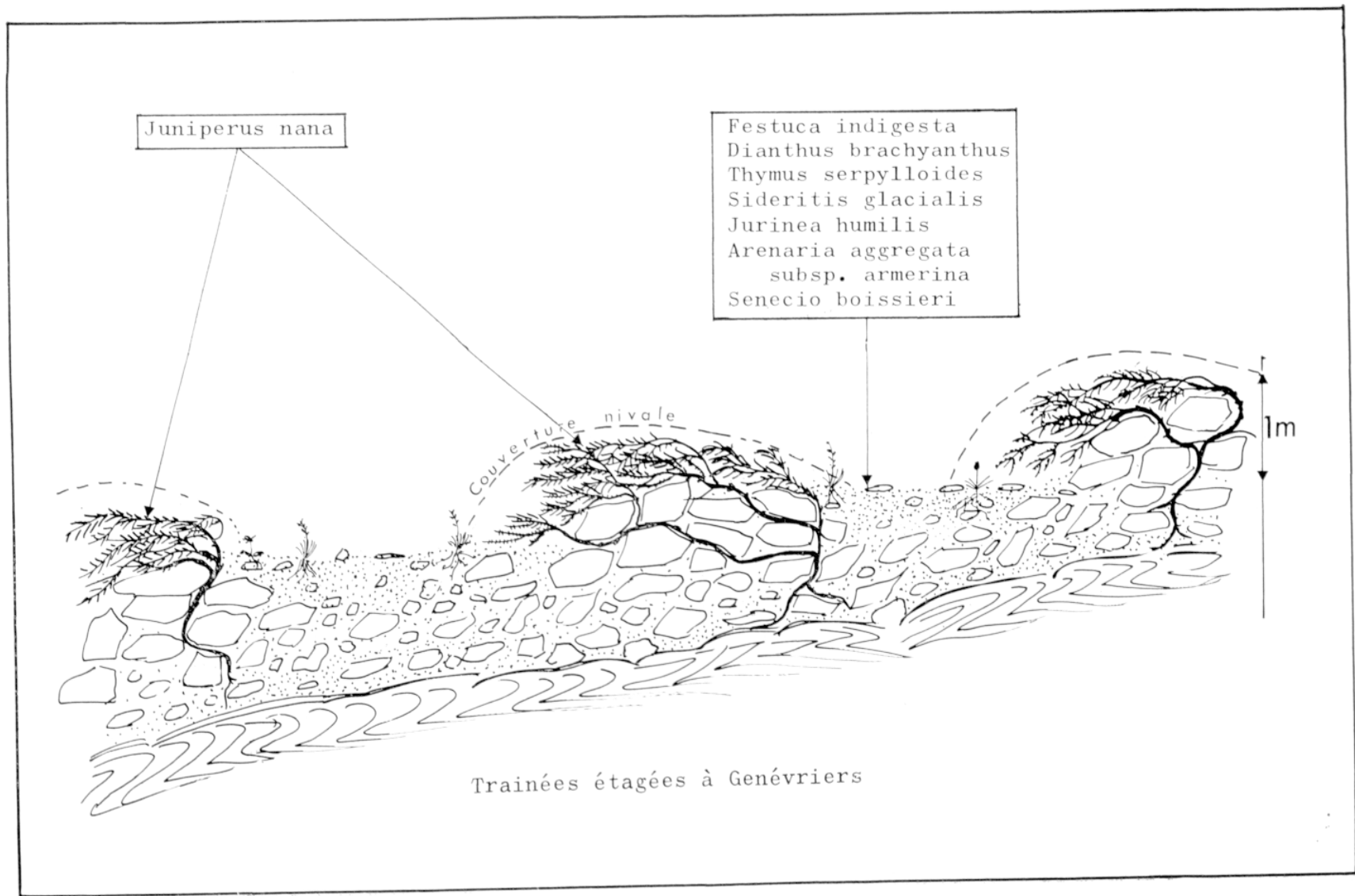


Fig. 3.

Durant l'hiver, en outre, le gel est très rigoureux sur ces versants débarrassés par le vent de la couche protectrice de neige. A la station météorologique de l'Albergue universitario on a enregistré à 13 reprises, entre le 15 octobre 1959 et le 17 avril 1960, des températures inférieures à  $-10^{\circ}\text{C}$ <sup>1</sup>.

Sur ces pentes ventées, le Genévrier n'a pas à redouter d'importantes accumulations neigeuses. Il disparaît cependant sur les versants sous le vent où se forment des congères épaisses. Sensible à la violence éolienne, il est obligé de ruser avec le micro-relief qui lui assure en outre un léger manteau nival. Ceci explique sa localisation sur les gradins caillouteux, à l'écart des surfaces planes.

Ainsi, « *Juniperus nana* » renforce linéairement les irrégularités originelles du versant et permet la cryoplanation des marches intermédiaires.

Les multiples coulées de blocaille qui constituent ces versants, bien que très aplaties en raison même de la nature de leur matériau, sont toutefois largement responsables des irrégularités originelles en partie conformes à la pente.

L'exploitation linéaire par le Genévrier a de ce fait été facilitée. La cryoturbation s'exerce là où la couverture d'éboulis est mal protégée contre l'action du gel. Celui-ci profite de plus du feuilletage des débris et du maintien de l'humidité en surface grâce à l'abondance de limon et d'argile. La gélifluxion et le ruissellement provoquent donc un déplacement de matériau fin vers l'aval, facilité par la pente et une végétation très clairsemée. Étagement et parallélisme ne cessent ainsi de s'accroître par un phénomène d'auto-catalyse. L'enrichissement de menus graviers en surface s'explique par l'action réduite, mais sélective, du ruissellement et par le vannage éolien<sup>2</sup>.

*La forme disparaît au niveau des croupes.* Le Genévrier abandonne sa disposition linéaire pour devenir d'abord ponctuel et disparaître assez rapidement. Les conditions écologiques changent effectivement très rapidement avec l'altitude. L'insolation diurne est plus réduite et les pentes s'adoucisent ou passent à des reliefs plus tourmentés (tors accompagnés de gélifractes et niches de nivation). *Juniperus nana* ne peut survivre dans un milieu désormais trop sévère pour lui.

Les traînées végétales qu'il caractérisait sont alors fréquemment relayées, lorsque les conditions s'y prêtent, par un *modelé en banquettes*.

## B. Les banquettes à rebord gazonné (fig. 4, pl. XXX, B)

Ce type de modelé s'inscrit toujours sur des surfaces faiblement inclinées : les valeurs limites observées sont  $3^{\circ}$  et  $12^{\circ}$ . Ces banquettes sont étagées et limitées à l'aval par un talus herbeux à *Festuca indigesta* de 10 à 40 centimètres de hauteur. Le rebord est tantôt rigoureusement linéaire, tantôt arqué. Il peut être perpendiculaire ou très légèrement oblique par rapport

1. MESSERLI (B.), *op. cit.*, p. 49.

2. HAMELIN (L. E.) et COOK (F. A.), *Le Périglaciaire par l'image*, Québec, Les Presses de l'Université Laval, 1967, 237 p. Les auteurs ont réuni (p. 156-159) plusieurs planches commentées qui illustrent magnifiquement le phénomène de la traînée végétale.

Illustration non autorisée à la diffusion

**Pl. XXIX. A.** Hauts versants septentrionaux de la Sierra Nevada et crête Veleta (3 392 m), Cartujo (3 152 m). Faible dissection des surfaces sommitales et dissymétrie des versants. Au premier plan, matorral dégradé envahi par *Festuca indigesta* et *Festuca paniculata*.

Illustration non autorisée à la diffusion

**B.** Laguna de las Yeguas. Nivé en fusion et vasques étagées. Photo prise le 14 juillet 1969. Entre les mares, pelouse compacte à *Festuca rivularis* et à Nard.

(Clichés G. Soutadé.)

Illustration non autorisée à la diffusion

**C.** Vasques étagées. Détail de la photo précédente. Le manche du piochon mesure 35 cm de long.

Illustration non autorisée à la diffusion

**D.** Bordure de *borreguil* en amont du rio Monachil (2 300 m). Au premier plan, suintements à *Carex intricata* et loupe humifère à Nard. Sur le versant de gauche, limite supérieure de *Juniperus nana* et amorce de traînées étagées.

Illustration non autorisée à la diffusion

**Pl. XXX. A.** *Borreguil* du Prado llano. Arroyo de San Juan (2 500 m). Passage de milieux hygrophiles à des milieux xérophiles plus clairs. Organisation en traînées étagées de *Juniperus nana*.

**B.** Banquettes à rebord gazonné à *Festuca indigesta*. Loma du Penon de Dilar (alt. 2 600 m, exposition Nord).

(Clichés G. Soutache)

Illustration non autorisée à la diffusion

Illustration non autorisée à la diffusion

**C.** Bandes longitudinales alternées sur le versant sommital Veleta-Cartujo. « Pelouse » culminante à *Festuca clementei* et *Arenaria aggregata* subs. *imbricata* colonisant les parties limoneuses et argileuses.

Illustration non autorisée à la diffusion

**D.** Cercles de pierres à centre gazonné. Arroyo de San Juan (2 400 m).



BANQUETTES A FESTUCA INDIGESTA

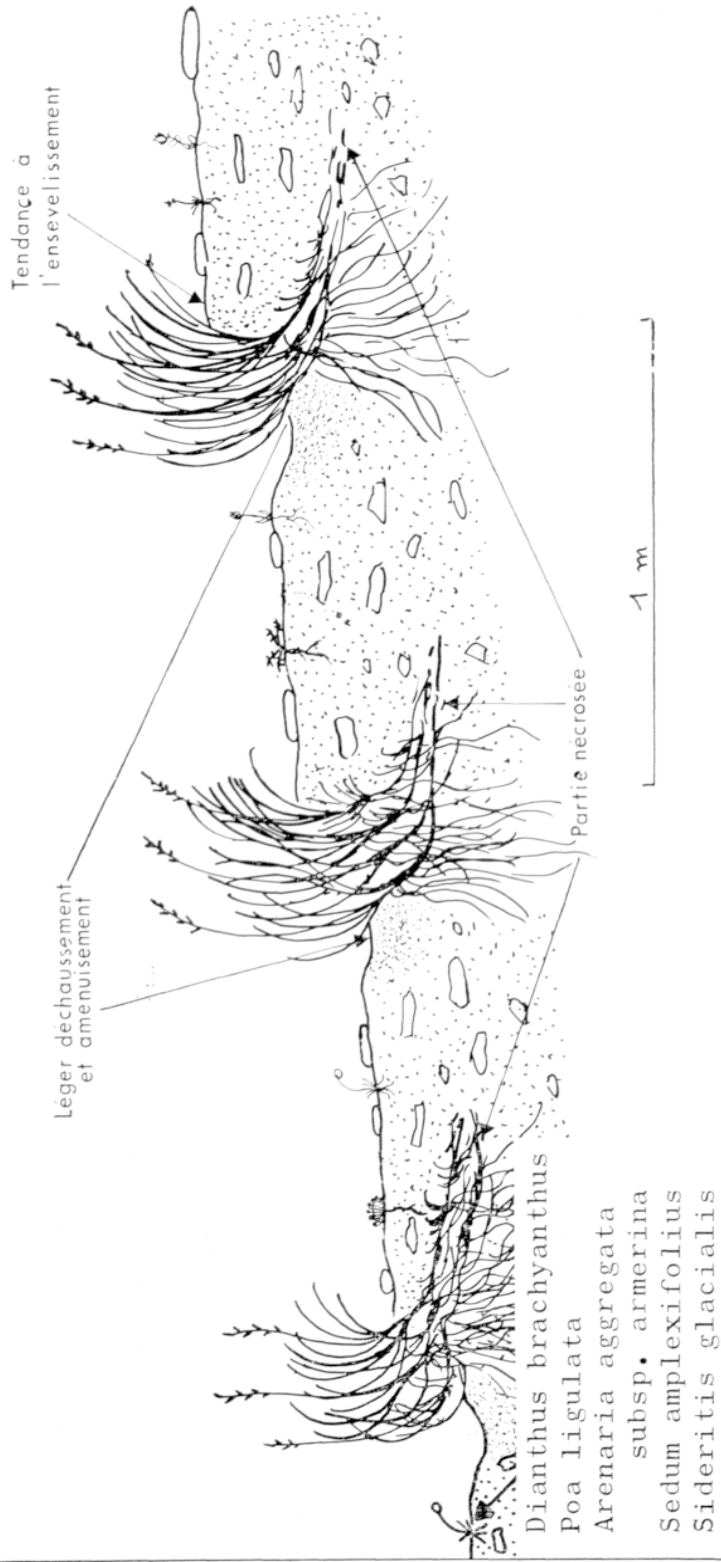


Fig. 4.

à la pente du versant. La largeur des banquettes est variable : de 15-20 centimètres à 1-2 mètres. Elles sont continues sur des distances de 0,5-1 mètre à 4-5 mètres<sup>1</sup>.

Si *Festuca indigesta*, par son organisation locale en touffes serrées, linéaires ou curvilignes, donne à la forme son originalité, elle n'est pas pour autant la seule espèce peuplante, ainsi que le montrent le tableau I et la figure 4.

TABLÉAU I

**Relevés floristiques effectués sur la Loma de San Francisco en amont de l'auberge universitaire<sup>1</sup>**

Liste des espèces	Versant à banquettes	Absence de banquettes
	Alt. 2 760 m Exposition NW, pente 10° Éboulis schisteux	Alt. 2 780 m Exposition W, pente 20° Éboulis schisteux
<i>Festuca indigesta</i> .....	3.3°	2.1
<i>Poa ligulata</i> .....	1.1°	+
<i>Anthyllus aggregata</i> subsp. <i>armerina</i>	1.1°	
<i>Dianthus brachyotus</i> .....	1.1°	
<i>Thymus serpylloides</i> .....	2.1°	2.1
<i>Pulsatillum purpureum</i> .....	+	+
<i>Sedum amplexicaule</i> .....	1.3°	+
<i>Jasione nevadensis</i> .....	+	+
<i>Galum pyrenaicum</i> .....	+	+
<i>Agrostis nevadensis</i> .....	(+)	+
<i>Juniperus nana</i> .....	(+)	+
<i>Hernaria frigida</i> .....	+	+
<i>Trisetaria glauca</i> .....	+	1.1
<i>Euphorbia nevadensis</i> .....	+	+
<i>Arenaria aggregata</i> subsp. <i>imbricata</i>	+	2.1
<i>Senecio boursieri</i> .....	(+)	1.1
<i>Draba hispanica</i> .....	(+)	1.1
<i>Sideritis glauca</i> .....	(+)	+

1. Relevés effectués sur 25 m<sup>2</sup>, selon la technique de l'école phytosociologique zurichomontpellieraine.

Si, d'autre part, par la physionomie originale qu'elle imprime au peuplement végétal, elle doit être considérée comme espèce caractéristique du groupement, au sens phytosociologique du terme, il n'en reste pas moins vrai qu'elle est loin d'en être une espèce exclusive. *Festuca indigesta* existe en effet dans un grand nombre d'associations végétales de la Sierra Nevada. Mais, là où elle apparaît liée à ce modelé, elle est d'une part toujours dominante, d'autre part *elle présente toujours un fort coefficient de sociabilité*.

Ces banquettes sont comprises dans une tranche d'altitude allant de 2 500 à 2 800 mètres. Ce niveau correspond sensiblement à la partie sommitale des *lomas*. L'encadrement phytogéographique se fait, à l'aval par la lande

1. Le terme de banquette à rebord gazonné nous a semblé préférable à celui de sol en guirlande souvent employé. Il illustre bien, en effet, les caractères physionomiques de la forme en mettant l'accent non sur le sol mais sur ce qui frappe le regard : l'étagement et la localisation linéaire de la végétation.

à *Genista lobelii* var. *baetica*, *Juniperus nana* et *Juniperus sabina*, à l'amont par des groupements steppiques oro-méditerranéens.

Dans les deux cas la disparition du modelé est liée à la disparition de la Fétuque. Vers l'aval la prédominance des sous-arbrisseaux xéromorphes assure un couvert continu ; la Graminée s'étiole et ne peut acquérir un peu d'extension que lorsque des brèches interviennent dans la couverture dominante. Vers l'amont, les conditions climatiques deviennent trop sévères ; le relais est alors assuré par une autre Fétuque (*Festuca clementei*), non sociale, ce qui ne permet plus l'organisation en banquettes.

*Un modelé de croupes couvertes de menus débris, éventées et cryoturbées en saison froide*

A altitude et exposition égales, les banquettes disparaissent des parties de versants tapissés de débris grossiers (cf. tableau II).

TABLEAU II

Loma de San Francisco Altitude 2 500 m, exposition : N, pente 6 à 7° Micaschistes (Prélèvements sur 1 m <sup>2</sup> de versant)		Loma de Dilar Altitude 2 540 m, exposition : N, pente 5° Micaschistes (Prélèvements sur 1 m <sup>2</sup> de versant)	
Absence de banquettes à <i>Festuca indigesta</i> Simple piquetage du versant		Banquettes à <i>Festuca indigesta</i>	
Dimensions des débris de surface et pourcentages correspondants	I. 10 à 15 cm de longueur du grand axe Sur 2 à 5 cm d'épaisseur = 50 p. 100 du volume	<i>id.</i>	= 20 p. 100
	II. 4 à 8 cm sur 1,5 à 3 cm = 20 p. 100 du volume	<i>id.</i>	= 20 p. 100
	III. Menus graviers, argiles et limons = 30 p. 100 du volume	<i>id.</i>	= 60 p. 100

En outre, à pente et à morphométrie de matériau identiques, ce sont les versants orientés parallèlement au vent d'Ouest (vent dominant) qui présentent les plus belles formes. Dans ce cas les Fétuques sont perpendiculaires à la pente et allongées dans l'axe du vent.

Sur les surfaces abritées, aux abords des combes à neige, *Festuca indigesta* cède la place aux touffes d'*Agrostis nevadensis* et aux coussinets d'*Arenaria aggregata* subsp. *imbricata* var. *granatensis*. Ceux-ci sont alors relayés sur l'emplacement des névés tardifs par les groupements à *Festuca pseudo-eskia* (fig. 1).

Dans le domaine morphologique ainsi circonscrit, les dessins ne sont jamais identiques.

*La forme de la banquette est la résultante des forces mises en jeu par le trinôme dynamique*

A pente et à exposition semblables, la genèse est fonction : de la grosseur des éléments minéraux : *le matériau mobile* ; de l'action de la cryoturbation : *la force édifiatrice* ; du comportement de la Fétuque : *l'obstacle vivant*.

Plus le minéral est fin, plus large est la banquette. L'histogramme de la figure 5 en fournit la démonstration. Les données sont les suivantes :

Deux banquettes, B1 et B2, situées à 2 760 m, ont été analysées sur la Loma de San Francisco, sur un versant présentant une exposition NNW et une pente de 6°.

B1 : longueur 2 m, largeur 0,80 m ; contre-marche amont rectiligne de 11 cm de hauteur ; contre-marche aval rectiligne de 14 cm de hauteur.

B2 : longueur 2 m, largeur 0,40 m ; contre-marche amont rectiligne de 10 cm de hauteur ; contre-marche aval rectiligne de 20 cm de hauteur.

Sur chaque banquette deux prélèvements ont été effectués dans la partie centrale, le premier en surface sur 3 cm d'épaisseur, le second à partir de 5 cm de profondeur et sur une épaisseur égale aussi à 3 cm.

B1, la banquette la plus large, est celle où la fraction minérale inférieure à 5 mm est la plus élevée. Elle représente en effet 85,9 p. 100 du poids du prélèvement en surface et 87,8 p. 100 en profondeur. B2 dont la largeur est deux fois moindre est caractérisée par un pourcentage beaucoup plus faible de cette fraction : 39,6 p. 100 en surface et 71,5 p. 100 en profondeur.

La tranche des éléments de dimensions supérieures à 5 mm représente par contre dans les mêmes prélèvements 60,4 p. 100 et 28,5 p. 100 en B2 alors que les pourcentages correspondant aux prélèvements homologues sont 14,1 et 12,2 en B1.

Ces observations, qui complètent et corroborent celles du tableau II, montrent que la largeur paraît dépendre surtout de la quantité de matériau fin de surface. A cet égard, le rapport B1/B2 est de 2,16 en surface (rapport des largeurs : 2) et seulement de 1,22 en profondeur. Des observations complémentaires doivent néanmoins être faites avant d'ériger en loi les corrélations semblant exister entre les rapports des largeurs et ceux des teneurs en matériau fin.

Le taux d'humidité dans le sol est d'autant plus élevé que la fraction fine est plus importante. Par voie de conséquence, la géliturbation est plus active. La gélifluxion, liée à la pesanteur, et, secondairement, le ruissellement entraînent vers l'aval le matériau géliturbé. Le lavage superficiel et l'entraînement éolien sont ici aussi responsables de l'enrichissement en surface en éléments grossiers.

La Fétuque réagit alors à deux forces qui s'exercent sur elle : à l'amont le matériau cryoturbé tend à l'ensevelir ; à l'aval le déchaussement partiel des racines provoque un soutirage.

Le pied de la bordure gazonnée est en effet une partie extrêmement fragile. La concentration plus forte de l'humidité y permet une gélivation plus active et un amenuisement linéaire plus rapide des débris que sur tout le

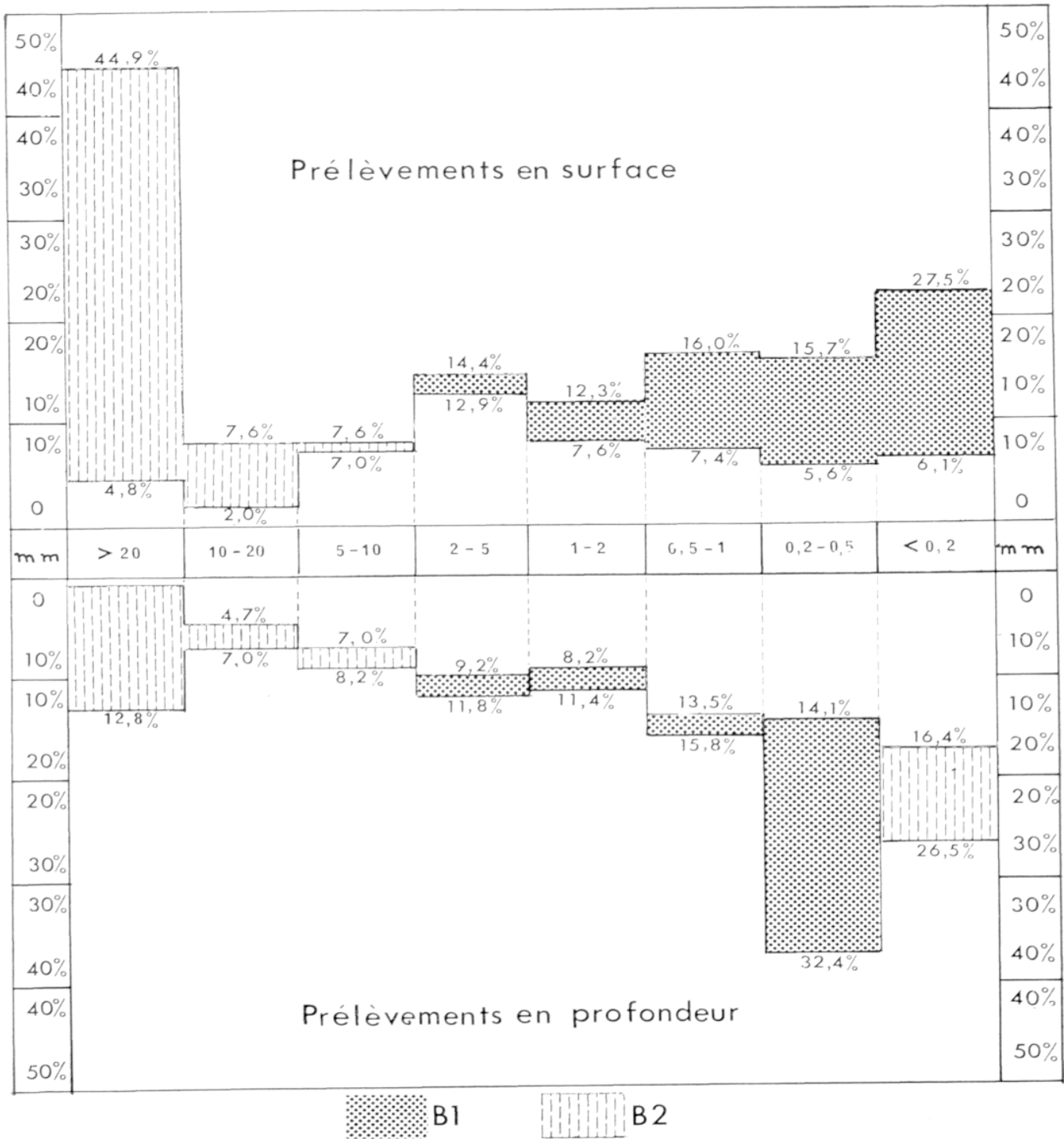


Fig. 5.

Banquettes à rebord gazonné : histogramme granulométrique. Loma de San Francisco, altitude 2 760 m.

Dans chaque bande verticale la partie laissée en blanc correspond aux pourcentages communs aux deux prélèvements.

restant de la banquette. Les éléments rendus pulvérulents sont ensuite facilement entraînés par le vent, surtout lorsque l'orientation est favorable.

*Festuca indigesta* réagit à la conjonction de ces deux forces par une migration vers l'aval. Le dessin rectiligne ou arqué de la contre-marche en est la résultante. Lorsque les forces s'exercent de façon uniforme sur la totalité de la bordure gazonnée, il paraît logique de penser que la banquette doit prendre un aspect linéaire. Lorsqu'au contraire leur résultante montre des variations ponctuelles, la bordure gazonnée est festonnée.

#### *Deux seuils critiques marquent les limites de la morphogénèse*

a) Si la pente dépasse une valeur limite (8° dans l'exemple étudié), la poussée venue de l'amont entraîne un déplacement de matériau supérieur au potentiel de réaction de la plante. Celle-ci est alors ensevelie et l'obstacle qu'elle représentait étant aboli, l'organisation en banquettes n'est désormais plus possible.

b) Le seuil de l'éboulement, lié à un déchaussement intense, n'est, par contre, atteint que très exceptionnellement dans ce type de groupement. Il n'est visible que sur les marges ; deux raisons l'expliquent :

1° L'entraînement du matériau fin situé à la base de la Fétuque est limité. L'action déchaussante du vent ne succède pas, saisonnièrement, à un ruissellement actif comme c'est par exemple le cas sur les hautes surfaces des montagnes méditerranéennes plus humides tel le Pla Guillem dans les Pyrénées orientales françaises<sup>1</sup> ;

2° *Festuca indigesta* est pratiquement indéracinable par les agents atmosphériques locaux. Les parties souterraines, racinaires ou résultant d'un ensevelissement partiel de l'appareil végétatif aérien avec production de racines adventives au niveau des innovations, forment de longues touffes qui assurent un ancrage parfait à la banquette (fig. 4).

Dans ces conditions, les quelques cas observés sont toujours très isolés.

Ce type de modelé est, sur le versant septentrional de la Sierra Nevada, la forme la plus élevée de corrélation étroite entre le minéral et le végétal. Il n'est cependant pas particulier à ce massif. On le retrouve toutes les fois que des graminées sociales constituent un obstacle au déplacement *per descensum* de matériau peu grossier. Comprimées vers l'aval, ensevelies par l'amont, les touffes ne peuvent se développer que latéralement. *Festuca supina*, *Festuca eskia*, *Festuca scoparia* dans les Pyrénées, *Festuca déserti* sur les Atlas sont capables de donner des formes en banquettes. Toutes ne sont pas homologues. On observe en effet dans chaque cas les trois éléments du trinôme dynamique : le matériau inerte, la force édifiatrice, l'obstacle végétal ; mais les éléments de ce triptyque présentent souvent, d'un point

1. SOUTADÉ (G.), *Formes de « figuration » de la bordure orientale du Pla Guillem (Pyrénées orientales)*, Pau, Actes du 94<sup>e</sup> congrès national des sociétés savantes, 1969.

Sur moins de 200 m, le long d'un même versant on observe le passage d'amont en aval des banquettes à rebord gazonné à de grands ravins d'érosion fonctionnels appelés *chalades*.

à l'autre, de grandes variations. Il en résulte une convergence de formes qui sont souvent génétiquement différentes.

### III. DE GRANDS VERSANTS SOMMITAUX DRAPÉS DE BLOCAILLE

A partir de 2 900-3 000 mètres, sur les surfaces culminantes qui prolongent les *lomas* jusqu'aux altitudes les plus élevées (Veleta 3 392 m, Cartujo 3 152 m) ou qui limitent les hauts vallons, plusieurs éléments nouveaux apparaissent dans le paysage.

Le modelé est réduit à des nappes ou à des coulées de blocaille. Les éclats de micaschistes deviennent plus volumineux et les dalles dépassent fréquemment la dimension du mètre.

Les xérophytes épineux cèdent la place à des groupements orophytiques alti-montains riches en endémiques, étroitement assujettis aux conditions édaphiques. Les lambeaux de pelouses se localisent sur les affleurements limoneux et argileux des coulées (pl. XXX, C) (tableau III).

#### A. La nappe de blocaille

Malgré l'apparence d'une surface régulière, la nappe de blocaille présente une complexité révélée par les profils.

*Longitudinalement*, elle est tendue. La coupe montre une très légère convexité au niveau des crêtes et présente vers l'aval une concavité très ouverte. L'allure en berceau évasé caractérise ainsi la plupart des hauts vallons, tel l'amont du rio Lanjaron. C'est dans la partie médiane du versant que la valeur de la pente est la plus élevée. Elle y atteint 15 à 20°. En fait, le profil est formé par une série de lignes discontinues, décamétriques et très légèrement concaves, toujours terminées par des ressauts de 0,50 à 1,50 mètre de hauteur.

*Transversalement*, on observe souvent une succession de bandes de matériau grossier, sans matrice, de 1,50 à 4 mètres de large, et de traînées de 0,80 à 2 mètres, riches en colloïdes, colonisées par des chaméphytes et hémicryptophytes, et très légèrement surélevées par rapport aux précédentes.

Les premières sont toujours plus larges que les secondes. Leurs rapports dimensionnels varient de 1,4 à 3,3.

Ces traînées sont discontinues et ne dépassent pas 10 à 15 mètres de long. Elles disparaissent latéralement, à l'aval des versants et en profondeur. Leur disparition latérale coïncide avec l'apparition de surfaces de plusieurs centaines de mètres carrés couvertes d'éboulis sans matrice : *les champs de pierres*.

Les bandes alternées n'existent plus au-delà de l'inflexion qui marque le début de la concavité. Ce changement coïncide, au bas des pentes, avec la présence de formes de « figuration », tels les *cercles de pierres*. Mais les plantes sont alors exclues des plages à éléments fins où les tensions dues au gel ont raison de leur appareil racinaire.

TABLEAU III

Surface culminante près du Veleta

Altitude 3 290 m ; exposition : NW. Micaschistes. Surface des relevés : 3 à 10 m<sup>2</sup>

Disposition schématique des éléments minéraux						
Degré de recouvrement de la végétation	— 5 p. 100	40 p. 100	— 1 p. 100	40 p. 100	— 1 p. 100	20 p. 100
Composition floristique						
<i>Ptilotrichum purpureum</i> .....	+		+	+		1.1
<i>Viola crassiuscula</i> .....	+		+		+	
<i>Linaria glacialis</i> .....	+					
<i>Festuca clementei</i> .....		2.1		2.2		1.2
<i>Jasione amethystina</i> .....		2.1		2.2		1.1
<i>Erigeron frigidus</i> .....		+		+		+
<i>Gentiana alpina</i> .....		1.3		1.3		+
<i>Arenaria aggregata</i> subsp. <i>imbricata</i> ....		2.1		2.1		2.1
<i>Luzula spicata</i> .....		+		+		
<i>Plantago thalackeri</i> .....		+				
<i>Galium pyrenaicum</i> .....						+
<i>Saxifraga nevadensis</i> .....						+



Cette disposition striée ne se trouve qu'en surface. Au-delà de 0,30 à 0,50 m de profondeur le milieu devient homogène.

Dans les intervalles à gros blocs, plus de 80 p. 100 des dalles sont redressées sur la tranche. Cette proportion tombe à 10 p. 100 sur les bandes riches en colloïdes. Les cailloux sont alors le plus souvent disposés à plat, leur grand axe étant soit conforme, soit légèrement relevé par rapport à la pente topographique. Sur les micro-replats qui accidentent ces versants, le pourcentage des éléments relevant est supérieur à 50 p. 100. C'est la preuve évidente de l'action de la solifluxion.

## B. La part de la congélifluxion et du ruissellement

Tous les auteurs dont les études ont porté sur la haute montagne méditerranéenne ont décrit et expliqué ces types de versants réglés, drapés d'éboulis où les affleurements de roche en place sont l'exception<sup>1</sup>. On retrouve, sur la Sierra Nevada, associées dans la morphogenèse, la gélivation et la solifluxion.

Le délitage par le gel y fut facilité par la nature schisteuse de la roche, une altération préquaternaire et une humectation lors des périodes de fusion du tapis nival. La conséquence en était une grande production d'argiles et de limons qui assuraient le plein épanouissement de la gélifluxion.

Les irrégularités constatées sur ces pentes correspondent aux rebords de multiples coulées. Leur pente et la nature du matériau expliquent leur aplatissement, leur large coalescence et cet aspect d'ensemble de nappe blocailleuse uniforme affectée sans doute par un glissement lent et régulier.

La disparition linéaire de la matrice fine doit être attribuée ici aussi à une ou plusieurs phases de ruissellement postérieures à leur mise en place. Nous savons seulement, d'après les travaux récents de B. Messerli, que cette couverture serait en partie contemporaine du tardi-glaciaire<sup>2</sup>.

Si ce lavage intéresse seulement le sommet des versants et sur une faible profondeur, ceci nous permet par contre d'affirmer que l'action du ruissellement fut limitée. La grosseur des débris, sans doute la rareté des abats d'eau, une fusion nivale largement marquée par la sublimation, ont très rapidement limité vers l'aval la compétence du ruissellement.

Le relèvement des blocs sur leur tranche est, pour une part, lié à leur disposition originelle sur des coulées légèrement bombées. La géliturbation a dû renforcer latéralement cette position. Les dalles glissaient d'autant plus facilement de part et d'autre que le lavage intermédiaire entraînait une perte de substance et favorisait le tassement.

1. Voir notamment les travaux consacrés aux montagnes d'Afrique du Nord de G. BEAUDET, G. COUVREUR, J. DRESCH, F. JOLY, J. LE COZ, R. LHÉNAFF, G. MAURER, R. RAYNAL ; et ceux d'E. de VAUMAS sur les montagnes de la bordure orientale de la Méditerranée.

2. MESSERLI (B.), *op. cit.*, *Das Spätglazial*, p. 138-139.

MAURER (G.), *Les Montagnes du Rif central. Étude géomorphologique*. Thèse lettres, Paris, 1968, 499 p. Dans cette chaîne très proche de la Sierra Nevada (moins de 300 km, à 2° environ de latitude plus méridionale), l'auteur a distingué à partir du Würm trois épisodes froids qu'il place au Würm I (éoglaciale), au Würm II et III (néoglaciale) et au Rharbien.

Ces processus évoquent ceux couramment décrits dans la genèse des coulées de blocaille<sup>1</sup>. Mais cette forme s'apparente aussi aux *champs de pierres* auxquels elle passe, nous l'avons vu, latéralement. Comme la plupart de ceux-ci, c'est une forme héritée. La preuve nous en est fournie par l'analyse du relevé de végétation ci-joint (*cf.* tableau III).

### C. Des coulées actuellement stabilisées

L'analyse de ce tableau suggère plusieurs remarques :

a) *La pauvreté floristique ne fait que traduire l'extrême rigueur des facteurs écologiques.* Cependant, le nombre d'espèces varie selon le biotope et la composition floristique des groupements est fondamentalement différente.

b) *Les traînées d'éboulis fins sont les plus riches floristiquement* et le degré de recouvrement de la végétation peut y atteindre 40 p. 100.

c) *La présence de cette « pelouse » pourrait permettre à elle seule de conclure à la fixité actuelle du substrat.* En effet toutes les espèces qui la constituent sont des plantes qui exigent, pour se développer, un milieu stabilisé.

Cependant, *Viola crassiuscula*, *Ptilotrichum purpureum*, *Linaria glacialis* (toutes trois endémiques), inciteraient à penser que les traînées à gros éboulis sont encore fonctionnelles, car ces plantes sont adaptées à la vie en milieu mouvant. Mais ces végétaux sont également capables de se développer à travers la rocaille pour venir s'épanouir en pleine lumière. On conçoit donc qu'ils soient, localement, les seuls aptes à germer dans la terre fine sous-jacente et à traverser les 30 à 50 cm d'épaisseur de blocaille qui les séparent de la lumière.

Le lavage saisonnier que subissent ces nappes notamment au moment de la fusion nivale n'entraîne qu'une très faible fraction d'éléments fins et ne modifie donc en rien la stabilité de ces éboulis.

Quand elles ne sont pas protégées par la neige, ces pentes ne sont touchées que secondairement par la cryoturbation. Le manteau de débris est aujourd'hui un percolateur trop grossier et sa pente est trop forte pour permettre une humectation suffisante. Il en est tout autrement sur les surfaces peu déclives où le gel et le ruissellement expliquent les figurations géométriques.

## IV. SIGNIFICATION BIOGÉOGRAPHIQUE DES FORMES ÉTUDIÉES

Les remarques qui suivent nous ont été inspirées à partir de nos recherches en Sierra Nevada et dans les Pyrénées orientales.

### A. Les modelés observés sont liés à des climax stationnels

En haute montagne, les conditions écologiques *stationnelles* sont prépondérantes<sup>2</sup>. Le caractère essentiel du climax général (macroclimat) de la

1. TRICART (J.) et GAILLEUX (A.), *op. cit.*, p. 244-247 et indications bibliographiques.

2. L'importance des facteurs stationnels en altitude est soulignée avec vigueur dans les deux traités suivants : BIROT (P.), *Les Formations végétales du globe*, Paris, S.E.D.E.S., 1965, chapitre VII, p. 321-348 ; WALTER (H.), *op. cit.*, *Die alpine Vegetation*, p. 550-578.

Sierra Nevada est son excessive sécheresse estivale. Mais, dans le fond des vallons, l'humidité et la fraîcheur autorisent le développement d'une flore et permettent l'édification de sols et de modelés rappelant ceux des pelouses alpines alors que l'environnement est celui des hautes montagnes de l'Afrique du Nord. On peut appliquer sans restriction à la Sierra Nevada cette remarque de P. Quézel concernant le Grand-Atlas : « La distinction entre climax climatique et climax édaphique est d'ailleurs certainement un des caractères essentiels de la végétation altimontaine méditerranéenne »<sup>1</sup>.

Une différenciation des formes faite uniquement en fonction de l'altitude se heurterait donc à de solides objections. Sur la courbe de niveau 2 700 m, on passe latéralement des vasques et loupes des *borreguils* aux banquettes à *Festuca indigesta*. Au même niveau, sur les hautes surfaces du massif du Puigmal (Pyrénées catalanes), la pelouse fermée de caractère alpin se juxtapose aux surfaces à sols striés et à banquettes à *Festuca supina*. La convergence physionomique de certains milieux est remarquable. Il y a été fait allusion précédemment. Seul l'environnement diffère.

Mais, à des altitudes moindres, la diversité des paysages fait place à une certaine uniformité. C'est ainsi que, sur le versant nord de la Sierra Nevada, au-dessous de 2 400-2 300 m, règne le mattoral à *Genista lobelii* subsp. *baetica*, griffé par de multiples ravins. Le rôle de l'exposition et du relief est moins tyrannique. Dans les Pyrénées orientales, vers 2 000-2 200 m (Cerdagne) et vers 1 700-1 800 m (Haut-Vallespir), les facteurs stationnels sont moins impérieux au-dessous de la limite naturelle de la forêt. De grands versants à couvert arborescent, peu affectés par la morphogenèse, uniformisent alors le paysage.

Cette prépondérance du climax stationnel, directement lié au méso- ou au microclimat, sur le climax climatique, relevant du macroclimat, s'explique par un équilibre naturel précaire qui n'est que rarement réalisé sur de grandes surfaces. En d'autres termes, *il n'existe pas en haute montagne une association végétale climacique, mais un grand nombre de groupements spécialisés inféodés aux facteurs méso- ou microclimatiques*. A des altitudes plus basses, certaines espèces sociales à grande amplitude écologique, susceptibles d'acquérir une grande extension, parviennent en quelque sorte à tamponner, par le couvert qu'elles apportent, les modifications microclimatiques introduites par les accidents topographiques. Sur la Sierra, le meilleur exemple est offert par le peuplement à Genêts et Génévriers (*Genisteto-Juniperetum*). Sur le versant nord, les facteurs anthropozoogènes, exacerbés par la proximité de la ville de Grenade (surpâturage, construction de stations de sports d'hiver, nécessité de trouver sur place le bois de chauffage), ont déterminé une évolution régressive du mattoral.

Le couvert buissonnant étant aboli, de grandes surfaces ont été livrées aux rigueurs climatiques. Là où les facteurs stationnels étaient favorables, les banquettes à *Festuca indigesta* ont fait leur apparition. Écologiquement,

1. QUÉZEL (P.), *Peuplement végétal des hautes montagnes de l'Afrique du Nord*, Thèse, Fac. Sc. Montpellier, Paris, Lechevalier, 1957, p. 329.

elles n'ont pas la même valeur que celles qui se forment sur la partie supérieure des *lomas*. Morphologiquement, elles en diffèrent par une organisation moins parfaite en gradins car le recouvrement végétal sur les marches peut atteindre des valeurs de 40 à 60 p. 100. Alors que les plus élevées en altitude représentent de véritables formations climaciques, celles-là sont des formations de dégradation du matorral. Les unes sont destinées à se succéder identiquement à elles-mêmes, les autres seront susceptibles, à plus ou moins longue échéance et dans le contexte climatique actuel, d'évoluer progressivement vers le *Genisteto-Juniperetum* originel.

Ainsi, à partir du moment où les facteurs stationnels prennent le pas sur ceux qui régissent le climat régional, il n'est pas étonnant de retrouver sur des montagnes aussi dissemblables que la Sierra Nevada et les Pyrénées orientales, à des altitudes identiques ou différentes, ou sur un même massif à des altitudes très différentes lorsque le milieu se trouve perturbé par l'influence humaine, des formes présentant des liens de parenté aussi évidents.

A 2 400-2 500 m, sur la Serra Demori<sup>1</sup>, à 2 500-2 800 m sur le versant nord de la montagne bétique, les banquettes sont, dans les deux cas, colonisées par des espèces vicariantes, comme le montrent les listes comparatives ci-dessous :

Sierra Nevada	Serra Demori
<i>Festuca indigesta</i>	<i>Festuca supina</i>
<i>Agrostis nevadensis</i>	<i>Agrostis rupestris</i>
<i>Anthyllis webbiana</i>	<i>Anthyllis dilenii</i>
<i>Jasione amethystina</i>	<i>Jasione humilis</i>
<i>Thymus serpylloides</i>	<i>Thymus nercosus</i>
1. <i>Arenaria capitata</i> subsp. <i>aggregata</i> var. <i>granatensis</i>	2. <i>Silene acaulis</i>
4. <i>Arenaria aggregata</i> subsp. <i>armerina</i> var. <i>frigida</i>	3. <i>Minuartia sedoides</i>
	5. <i>Minuartia recurva</i> subsp. <i>recurva</i>

(1, 2 et 3 étant des Caryophyllacées à port en coussinet très dense ayant le même aspect morphologique et le même rôle sociologique ; 4 et 5 étant encore deux Caryophyllacées en coussinet mais à port moins compact.)

On observe ici et là les mêmes facteurs écologiques : des croupes aux pentes douces taillées dans des schistes fournissant beaucoup de matériau fin, ainsi qu'une orientation dans le sens du vent dominant, ce qui s'oppose au maintien de la couverture nivale. Compte tenu des comportements identiques des Fétuques, on retrouve les mêmes éléments du trinôme dynamique. Il n'y a donc pas lieu de s'étonner si les formes résultantes sont semblables.

## B. La stabilité climacique est mieux assurée sur les « lomas » que dans les « borreguils »

*Les traînées étagées à Juniperus nana et les banquettes à Festuca indigesta sont des formes stables.*

Ces deux milieux ne subissent pas une évolution dynamique rapide. Les conditions locales actuelles qui régissent la morphogenèse sont, en effet, remarquablement constantes dans le temps. Elles se renouvellent inexorable-

1. Capcir (Pyrénées orientales). Crête séparant la vallée de la Lladure de la vallée de Galbe.

ment chaque année, identiques à elles-mêmes. On a vu au contraire, dans le cas des ravins d'érosion du Haut-Vallespir, que la dissection des pentes était violente mais épisodique<sup>1</sup>.

La rhexistasie est superficielle. Le brassage des éléments minéraux est très limité. Le tableau IV montre que la teneur en carbone baisse très rapidement en profondeur. Elle est au contraire constante dans le cas des pentes décapées à *Agrostis nevadensis* et *Astragalus sempervirens* subsp. *nevadensis* var. *nevadensis* ou à *Festuca pseudo-eskia*<sup>2</sup>. C'est, sur ces fortes pentes, la preuve irréfutable d'un brassage important et d'un lessivage très réduit.

TABLEAU IV

## Teneur en carbone organique entre les touffes de végétation

Pentes à éboulis très mobiles Groupement à <i>Agrostis nevadensis</i> Loma de San Francisco		Pentes à banquettes Groupements à <i>Festuca indigesta</i> Loma de San Francisco			
Alt. 2 690 m Pente 30-35° Exposition : ENE		Alt. 2 700 m Pente 30-35° Exposition : ENE	Alt. 2 760 m Pente 6 à 8° Exposition : N		
			B 1	B 2	B 3
Profondeur	0-5 cm : 1,33 p. 1 000	1,08 p. 1 000	23,1 p. 1 000	16 p. 1 000	18,8 p. 1 000
	5-10 cm : 1,25 p. 1 000	0,91 p. 1 000	12,6 p. 1 000	13,4 p. 1 000	12,6 p. 1 000
	10-15 cm : 1,26 p. 1 000	0,91 p. 1 000	note 3		
	15-20 cm : 1,19 p. 1 000				

*Un exemple de contraction de milieu en biostasie : le cas des « borreguils »*<sup>4</sup>.

Le facteur écologique essentiel est ici l'humidité. Mais ses variations sont importantes aussi bien dans l'espace que dans le temps. La neige en est la

1. SOUTADÉ (G.), « Un milieu sub-alpin de glyptogenèse : les ravins de Comall Escur, versant sud du massif du Canigou (Pyrénées orientales) », *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, tome 40, 1969, fasc. 4, p. 353-370. De 1941 à 1969 « la glyptogenèse a opéré avec vigueur cinq fois seulement lors des phases torrentielles agressives de 1942, 1949, octobre 1959, novembre 1962 et octobre 1965 ».

2. Cf. BAUDIÈRE (A.) et KUPFER (P.), « Sur les peuplements d'astragales épineux de la partie orientale de la chaîne pyrénéenne », *Bulletin de la Société neuchâteloise des sciences naturelles*, tome 91, 1968, p. 81-82.

3. Nous n'avons pas dans ce cas assuré de prélèvements, car, ainsi que le montre la figure 4, nous aurions très rapidement obtenu une remontée spectaculaire du taux de carbone par suite de la présence en profondeur de la partie nécrosée des Fétuques.

4. Les notions de biostasie et de rhexistasie ainsi que les modalités de passage d'une phase à l'autre sont très clairement exposées dans l'ouvrage de G. VIERS, à la suite des travaux d'Ehrhart : VIERS (G.), *Éléments de géomorphologie*, Paris, Nathan, 1967, p. 52-56.

principale source<sup>1</sup>. De novembre à mai elle représente plus de 50 p. 100 des précipitations mensuelles, et plus de 85 p. 100 de décembre à mars. Mais, à altitude égale, la quantité tombée varie en fonction de l'exposition des vallons. La cuvette de la laguna de las Yeguas, largement ouverte aux vents d'Ouest vecteurs de précipitations, est, à 2 900 m, la plus enneigée. Le total annuel des précipitations est de 1 513,7 mm. Les *borreguils* y ont leur extension maximale, soit 20 p. 100 de la superficie du bassin-versant ; tandis qu'à l'est (arroyo de San Juan) et au sud (rio Veleta), les pourcentages ne sont respectivement que de 10 et 5 p. 100. Les surfaces occupées deviennent également plus linéaires.

TABLEAU V

## Rio Monachil

Amont de la station de ski de Sol y Nieve. Cuvette en voie d'assèchement  
Altitude : 2 660 m. Exposition : SE

		Développement	Disparition
FOND DE CUVETTE	Flore	Plantes mésophiles : <i>Agrostis navadensis</i> <i>Plantago subulata var-granatensis</i>	Plantes hygrophiles et hyperhygro- philes : <i>Nardus stricta</i> <i>Carex intricata</i> <i>Leontodon rivularis</i> <i>Festuca microcephalus</i> <i>Ranunculus acetosellifolius</i>
	Modelé	Pelouse écorchée, sur fond de cuvette plane et recouvrant des sédiments renfermant plus de 80 p. 100 de colloïdes minéraux et de menus graviers.	Pelouse fermée sur sol très humifère de type alcalin, accidentée par des marécages ou par quelques loupes très aplaties.
BORDURE	Flore	Plantes xérophiles : <i>Thymus serpylloides</i> <i>Reseda complicata</i> <i>Carduus carlinoides</i>	Plantes hygrophiles et hyperhygro- philes : <i>Nardus stricta</i> <i>Carex intricata</i> <i>Festuca rivularis</i>
	Modelé	Éboulis à surface peu déclive (10 à 15°) formés de matériau hétérométrique et colonisés ponctuellement.	Vasques étagées et loupes humifères

Or, malgré quelques récurrences humides historiques, les conditions nivales n'ont cessé de se détériorer depuis la dernière glaciation. Les fonds de ces hauts vallons portent les traces de cette péjoration climatique observée aussi sur les montagnes africaines voisines. L'assèchement et la remontée concomitante de l'action géomorphologique du gel ont laissé des stigmates

1. MESSERLI (B.), *op. cit.*, p. 35, fig. 8.

évocateurs. Les modalités de l'assèchement doivent être précisées pour nous permettre d'apprécier l'évolution phytogéomorphologique des *borreguils*.

Si l'humidité est liée à des sourcins, leur tarissement entraîne un assèchement définitif. Dans la plupart des cas, cependant, il coïncide avec une fusion très précoce des névés estivaux.

Les modifications floristiques et morphologiques sont très vite perceptibles ainsi que le révèle le tableau V.

Nombreux sont les fonds de *pozzines* qui offrent de tels exemples d'assèchement. Ainsi, les *borreguils*, comme les *agdals* du Haut-Atlas, sont des milieux relictés « actuellement déplacés sous le climat général de la Sierra »<sup>1</sup>.

C'est sur ces surfaces planes aujourd'hui asséchées que l'on trouve des cercles de pierres dont la partie centrale est entièrement colonisée par la pelouse (pl. XXX, D). Deux remarques s'imposent :

a) Nous avons la preuve qu'actuellement, au niveau où ces formes ont été observées, soit à 2 400-2 450 m et dans les conditions écologiques présentes, l'action géomorphologique du gel est incapable de réaliser ce type de modelé. Il faut franchir le seuil des « pelouses » culminantes pour trouver aujourd'hui un tel type de morphogenèse active, toujours limité aux espaces plats (sources du rio Lanjaron — épaulement du Mulhacen 3 100-3 400 m).

b) Cette constatation révèle également nos insuffisances présentes pour dresser un tableau chronologique des étapes du peuplement végétal et des modelés associés depuis la dernière phase glaciaire. La présence de cercles de pierres fossiles dans un *borreguil* asséché, d'une « pelouse » sur coulée de blocaille au niveau du Veleta, nous conduit à penser qu'il faudra sans doute compléter ou rectifier certains schémas évolutifs.

*VÉGÉTATION ET MODELÉS DES VERSANTS SEPTENTRIONAUX DE LA SIERRA NEVADA (ESPAGNE DU SUD). — Résumé. — Grâce à une collaboration étroite entre géomorphologue et botaniste, trois types de formes ont été étudiées dans trois milieux différents. Dans les borreguils ou pelouses hygrophiles d'altitude existent des vasques étagées et des loupes humifères génétiquement liées. Dans ce cas, les processus biologiques l'emportent largement sur les processus mécaniques. Mais ce sont des formes relictés actuellement déplacées sous le climat général de la Sierra. Les pentes des lomas sont occupées par des traînées végétales à Genévriers et par des banquettes à rebord gazonné. Minéral et végétal contribuent tous deux à la morphogenèse. Juniperus nana ou Festuca indigesta renforcent linéairement les irrégularités originelles du versant et permettent la cryoplanation des marches intermédiaires. Ce sont toujours des modelés de croupes éventées et cryoturbées en saison froide. Tous les modelés observés marquent le triomphe des conditions écologiques stationnelles. Les nappes d'éboulis des surfaces culminantes sont par contre des formes héritées, actuellement stabilisées.*

*VEGETATION AND FORMS OF THE HIGH NORTHERN SLOPES OF THE SIERRA NEVADA (SOUTHERN SPAIN). — Abstract. — Thanks to a close collaboration between geomorphologist and botanist, three types of forms have been studied in three types of environments.*

1. QUÉZEL (P.), art. cit. sur la Sierra Nevada, p. 57, et thèse citée.

*In the borreguils or hygrophile high-altitude grass-land shallow basins rising in tiers and humus-containing sheets of fallen earth genetically linked, are to be found. In this case, the biological processes are far more important than the mechanical processes. But they are residual forms now out of place under the general climate of the Sierra. The slopes of the lomas are occupied by strips of juniper-trees and grass-bordered banks.*

*Both mineral and plants contribute to morphogenesis. Juniperus nana or Festuca indigesta give linear emphasis to the original irregularities of the slope and make the cryoplanation of intermediary banks possible. Those are always wind-swept slopes, subjected to frost action in the cold season.*

*All the forms which have been studied reveal how predominant the local ecological conditions are.*

*On the contrary the screes of the highest slopes are inherited forms now stabilised.*