

Exhumation de sols polygonaux et dégradation de la pelouse
d'altitude sur le Pla de Gorra Blanc (2.450 m). Massif du Puigmal -
Pyrénées méditerranéennes

Gérard Soutadé

Citer ce document / Cite this document :

Soutadé Gérard. Exhumation de sols polygonaux et dégradation de la pelouse d'altitude sur le Pla de Gorra Blanc (2.450 m). Massif du Puigmal - Pyrénées méditerranéennes. In: Bulletin de l'Association de géographes français, N°384, 47e année, décembre 1970. pp. 259-276;

doi : <https://doi.org/10.3406/bagf.1970.5972>

https://www.persee.fr/doc/bagf_0004-5322_1970_num_47_384_5972

Fichier pdf généré le 25/04/2018

Abstract

Summary.

Under the high altitude grass of « Gorra blanc » Pla, polygonal soils dating from the cold phases of the Quaternary period can be observed. This ancient configuration is revealed by the presence of apertures in the argillaceous central part and of traces of alpine clover on the bigstoned divisions. Tufts of plants and stragglng grass have superseded the dense, boreo-alpine grass implanted during the Atlantic Optimum. This degradation has allowed, deep down, the starting of movements of geliturbation. The risings of clay are revealed on the surface by the presence of argillaceous or humiferous apertures. Trifolium alpinum can only survive away from those elevatory apparatus. A complete transformation of the ancient polygonal structure corresponds to a more thorough stage of exhumation.

Résumé

Résumé.

Sous la pelouse d'altitude du Pla de Gorra blanc, on observe des sols polygonaux hérités des phases froides du Quaternaire. Ce figuré ancien est révélé par la présence d'ostioles dans la partie centrale argileuse et de traînées de trèfle alpin sur les cloisons à gros cailloux. Des plantes en coussinet et une pelouse ouverte ont succédé à une pelouse fermée à caractère boréo-alpin établie lors de l'Optimum atlantique. Cette dégradation a permis le déclenchement en profondeur de mouvements de géliturbation. Les montées d'argile se traduisent en surface par la présence d'ostioles argileux ou humifères. Trifolium alpinum ne peut se maintenir qu'à l'écart de ces appareils élévatoires. A un stade plus poussé de l'exhumation, correspond une modification totale de la structure polygonale ancienne.

Communication de M. G. SOUTADÉ

**Exhumation de sols polygonaux et dégradation de la pelouse
d'altitude sur Le Pla de Gorra blanc (2450 m).
Massif du Puigmal - Pyrénées méditerranéennes.**

RÉSUMÉ

Sous la pelouse d'altitude du Pla de Gorra blanc, on observe des sols polygonaux hérités des phases froides du Quaternaire. Ce figuré ancien est révélé par la présence d'ostioles dans la partie centrale argileuse et de traînées de trèfle alpin sur les cloisons à gros cailloux. Des plantes en coussinet et une pelouse ouverte ont succédé à une pelouse fermée à caractère boréo-alpin établie lors de l'Optimum atlantique. Cette dégradation a permis le déclenchement en profondeur de mouvements de géliturbation. Les montées d'argile se traduisent en surface par la présence d'ostioles argileux ou humifères. Trifolium alpinum ne peut se maintenir qu'à l'écart de ces appareils élévatoires. A un stade plus poussé de l'exhumation, correspond une modification totale de la structure polygonale ancienne.

SUMMARY

Under the high altitude grass of « Gorra blanc » Pla, polygonal soils dating from the cold phases of the Quaternary period can be observed. This ancient configuration is revealed by the presence of apertures in the argillaceous central part and of traces of alpine clover on the bigstoned divisions. Tufts of plants and straggling grass have superseded the dense, boreo-alpine grass implanted during the Atlantic Optimum. This degradation has allowed, deep down, the starting of movements of geliturbation. The risings of clay are revealed on the surface by the presence of argillaceous or humiferous apertures. Trifolium alpinum can only survive away from those elevatory apparatus. A complete transformation of the ancient polygonal structure corresponds to a more thorough stage of exhumation.

PLA DE GORRA BLANC
MODELÉ ET VÉGÉTATION

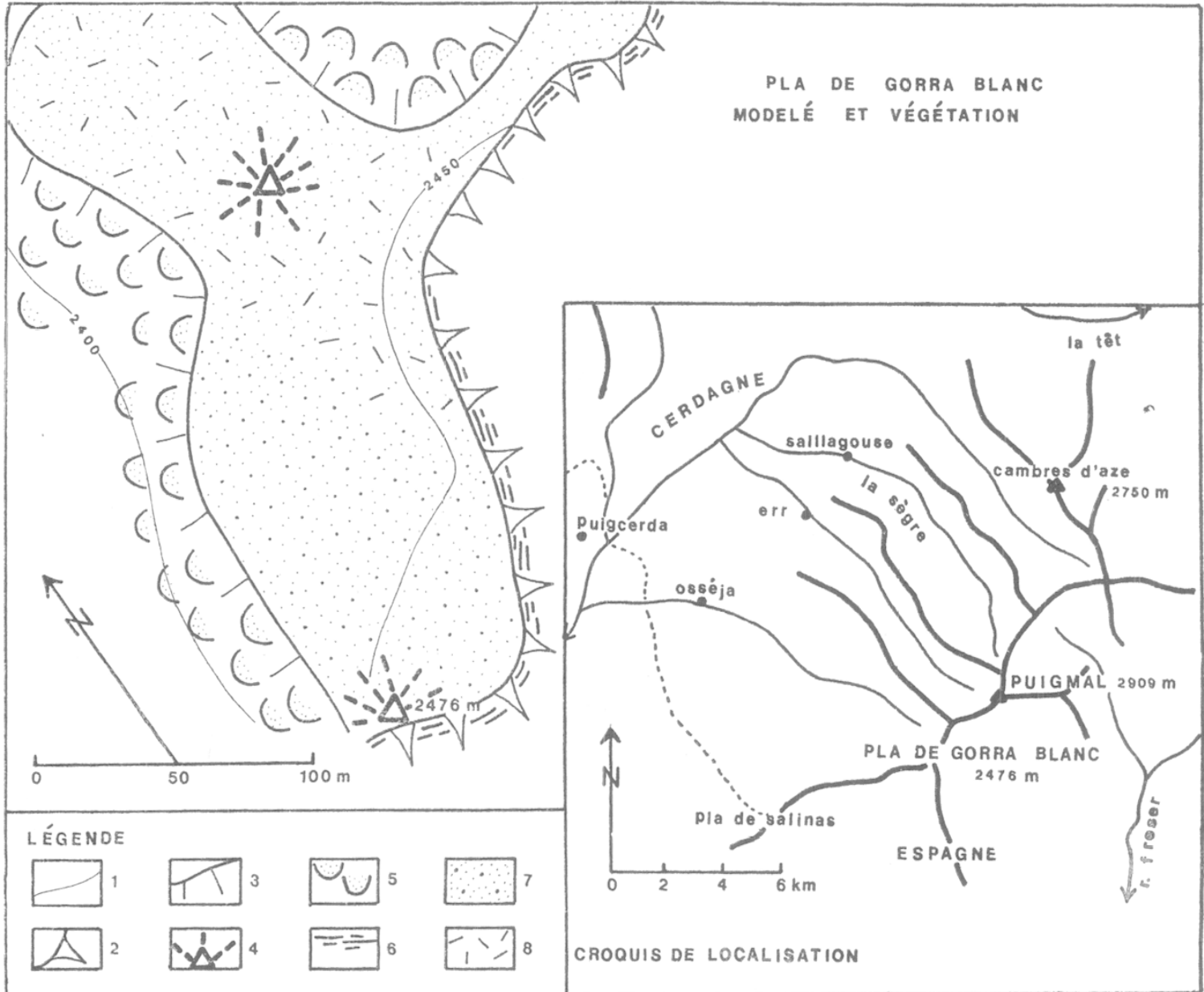


Fig. 1. Le pla de Gorra blanc. - Végétation et modelé.

1. Courbe de niveau.
2. Versant à forte pente : $> 30^\circ$ et $< 45^\circ$.
3. Versant à faible pente : $> 5^\circ$ et $< 20^\circ$.
4. Tor et gélfraets.
5. Loupes à couverture végétale dégradée.
6. Banquettes.
7. Dégradation élémentaire de la pelouse orophile : stade à ostioles.
8. Dégradation avancée de la pelouse orophile : stade à micro-polygones et figuration végétale.

Le pla de Gorra blanc est situé à l'ouest du Puigmal, à 2° 5' de longitude Est et à 42° 22' de latitude Nord.

I. LE MILIEU BIOGÉOGRAPHIQUE (Figure 1)

C'est avec le Camp del Paronas (2.600 m), un des témoins les plus élevés des vieilles surfaces d'érosion qui tranchent les structures de la zone axiale pyrénéenne dans sa partie méditerranéenne. Gorra blanc et le pla de Salinas (2.200 m) forment les deux niveaux principaux du contrefort occidental du massif cerdan (1).

Sa superficie réduite à 3 ha s'explique par une vigoureuse dissection pré-quaternaire facilitée par l'altitude et la composition lithologique (2). Alternant avec des filons de quartz très diaclasés, des schistes noirs en plaquettes et des micaschistes gris offrent une faible résistance à l'action de l'érosion. Dans ces conditions, les quelques *tors* qui accidentent la surface du pla sont très surbaissés, moins de 10 m au-dessus du niveau général.

Deux types de dépôts superficiels recouvrent la roche en place :

– en profondeur, un manteau argileux dont l'épaisseur augmente avec l'éloignement de la crête frontière. Ce sont des argiles résiduelles héritées de paléoclimats tertiaires et fréquemment kaoliniques (3). Elles enrobent une masse importante de géliфраcfs de dimensions décimétriques, voire métriques, détachés des *tors* lors des grands froids quaternaires (4). Les multiples remaniements donnent à l'ensemble une structure en « nougat » ;

– un humus plus ou moins riche en produits cryoclastiques surmonte l'horizon précédent. Ses variations d'épaisseur sont très rapides. Son plancher peut s'abaisser, en moins de 1 m, de 0 à 50 cm. Mais toute variation se traduit en surface par une physionomie différente de la végétation.

La pelouse qui recouvre Gorra blanc fait partie de l'association décrite par J. Braun-Blanquet sous le nom de *Pumileto-Festucetum supinae* (5). Cependant, d'un endroit à l'autre, varient le nombre et la répartition des espèces et, avec elles, l'aspect du peuplement. Ces variations physiologiques sont ici fondamentales car elles permettent de différencier deux secteurs à la surface du pla.

Au SSW, la pelouse orophile présente dans son ensemble un taux de recouvrement supérieur à 60 %. Mais une observation plus minutieuse montre qu'elle est percée çà et là de multiples affleurements d'argile ou de gravier auxquels nous avons donné le nom d'ostioles.

Partout ailleurs, le minéral concurrence fortement le végétal. Au Centre et au Nord, le recouvrement s'abaisse à moins de 20 %. La pelouse

(1) P. BIROT.

(2) A. AUTRAN, G. GUITARD, E. RAGUIN.

(3) Analyses diffractométriques aux rayons X faites au laboratoire de sédimentologie du C.S.U. de Perpignan.

(4) G. VIERS.

(5) J. BRAUN-BLANQUET.

ne subsiste que ponctuellement ou linéairement tandis que se multiplient les arabesques végétales. Les dessins sont d'autant mieux soulignés qu'une des fétuques colonisatrices est *Festuca durissima*. Ses tiges plus hautes que celles de *Festuca supina*, sa couleur vert glauque en font une excellente indicatrice de la figuration végétale.

Le milieu biogéographique de Gorra blanc en particulier, et le Massif du Puigmal en général, par l'aspect discontinu de la végétation, la présence d'orophiles mésogéennes évoquent bien plus les montagnes méditerranéennes espagnoles que les massifs catalans proches et d'aspect moins xérophile : Carlit et Canigou (6).

II. DANS LA PELOUSE D'ALTITUDE, LES OSTIOLES ET LE TRÈFLE ALPIN
- TRIFOLIUM ALPINUM - SONT LES INDICATEURS SUPERFICIELS DE SOLS
POLYGONAUX FOSSILISÉS (Figure 2)

Les ostioles correspondent à des montées d'argile profonde

Nous avons donné le terme d'ostiole à ces petites ouvertures – sens étymologique – qui trouent la pelouse fermée et par lesquelles apparaît fréquemment l'argile sous-jacente. Elles se définissent par un certain nombre de caractères :

- une forme géométrique qui est généralement circulaire ou elliptique. La netteté des limites dépend de la densité du couvert végétal encadrant;
- un diamètre ou un grand axe qui varie, sur 45 ostioles étudiés, entre 0,20 m et 2 m;
- une répartition en individus isolés ou en groupes. Dans ce cas, les ostioles sont parfois jointifs. Lorsque la pente du pla dépasse 3 à 4°, ils se disposent linéairement et souvent de façon ganglionnaire.

Ils évoquent donc les ostioles de toundra; mais, ils en diffèrent par leur encadrement végétal et par l'absence, au dégel, de vomissements d'argile ou d'éruption de boue (7). Seul, un examen attentif de la pelouse et de la stratigraphie, permet de distinguer deux types d'ostioles génétiquement liés.

Les ostioles humifères

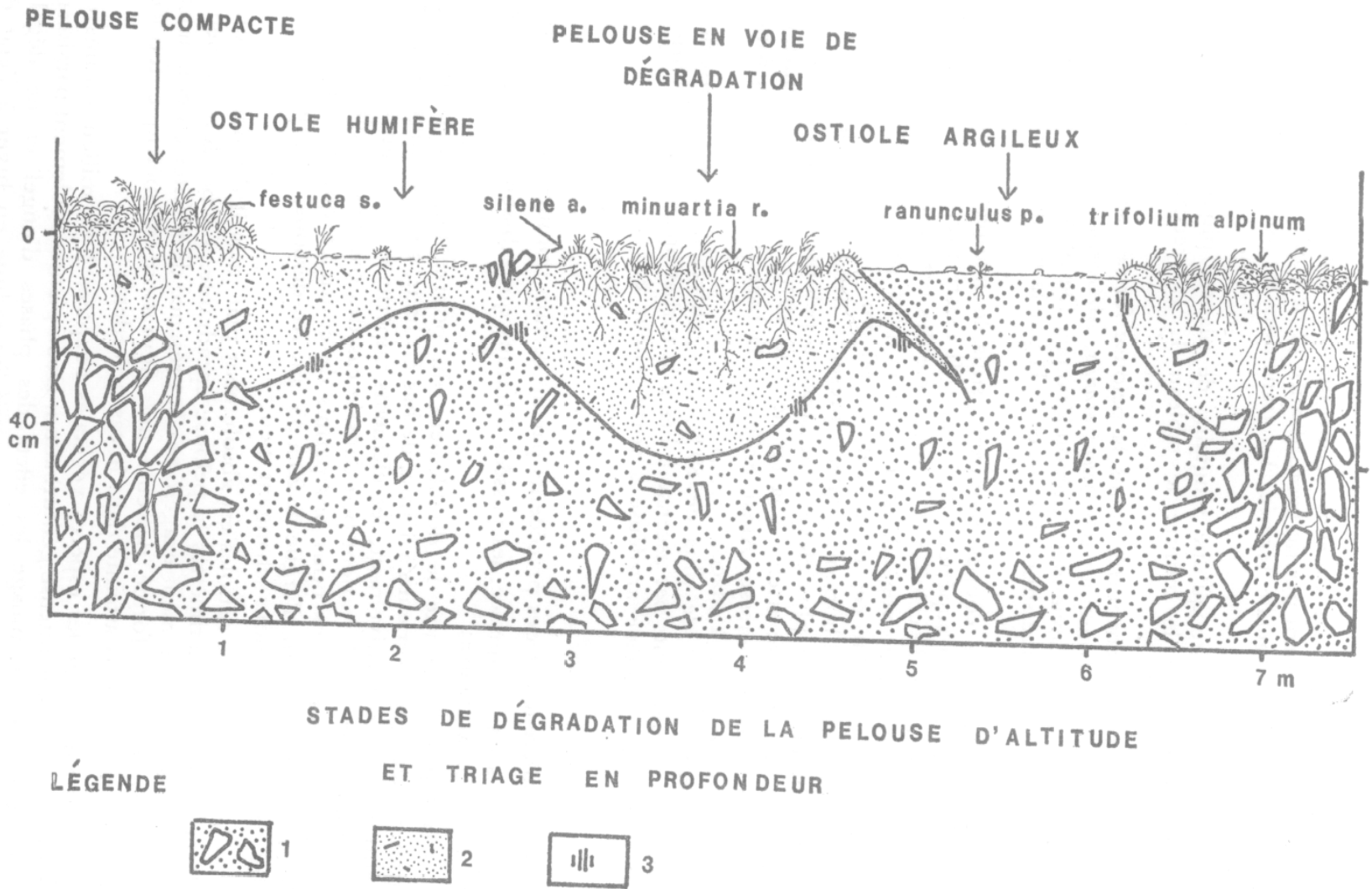
En surface affleure du gravier riche en humus et en menus gélifracts. La richesse humifère donne à la surface de ces ostioles une couleur grise caractéristique. Le matériau caillouteux témoigne d'un amenuisement par cryoclastie. Plus de 50 % des éclats de surface sont anguleux, inférieurs à 1 cm et disposés à plat. Cependant, une fois sur trois, on observe des cailloux dressés et disposés fréquemment en nids de pierres.

Deux raisons expliquent la difficulté éprouvée pour individualiser ce type de « plaies » :

(6) H. GAUSSEN, A. BAUDIÈRE, L. SERVE, G. SOUTADÉ.

(7) L.E. HAMELIN, J. TRICART, A. CAILLEUX.

Fig. 2. Stades élémentaires de dégradation de la pelouse d'altitude et triage profond.
 1. Argile et cailloux.
 2. Humus et gravier.
 3. Traces de gley.



– on constate d'abord qu'elles n'ont presque jamais un aspect de pustule. Elles ne forment pas de protubérance et ne sont pas circonscrites par une collerette végétale fermée. La transition est insensible avec la pelouse compacte;

– on observe ensuite qu'une vingtaine de plantes piquètent toujours le gravier ainsi que le montre le tableau 1. Le recouvrement peut atteindre 25 à 30 %.

Plusieurs espèces rencontrées dans la pelouse fermée se retrouvent ici mais les plantes en coussinet tels *Silene acaulis*, *Minuartia recurva* adaptées aux milieux éventés, deviennent prépondérantes. De plus, des possibilités de mouvance édaphique sont attestées çà et là par la présence de *Galeopsis pyrenaica*.

En profondeur, les coupes montrent, sous le manteau d'humus, un relèvement du niveau supérieur de l'argile. Il existe toujours un rapport entre la profondeur de celui-ci et la superficie des ostioles. Plus la surface à faible recouvrement végétal est réduite et plus profonde est l'argile, la relation de causalité cessant au-delà de 60 cm.

Sous ces ostioles, l'horizon argileux présente deux faits majeurs :

– une humectation plus élevée que sous la pelouse fermée. L'état de saturation était encore atteint à la fin de l'été 1970, caractérisé pourtant par son extrême sécheresse. Ainsi, en hiver, la base de ces ostioles fonctionne comme piège à glace;

– un redressement de plus de 80 % des gélifracts. Cette disposition atteste les mouvements per ascensum liés à la turbation gélivale, favorisée par la masse colloïdale argileuse à forte teneur en eau.

Les ostioles argileux

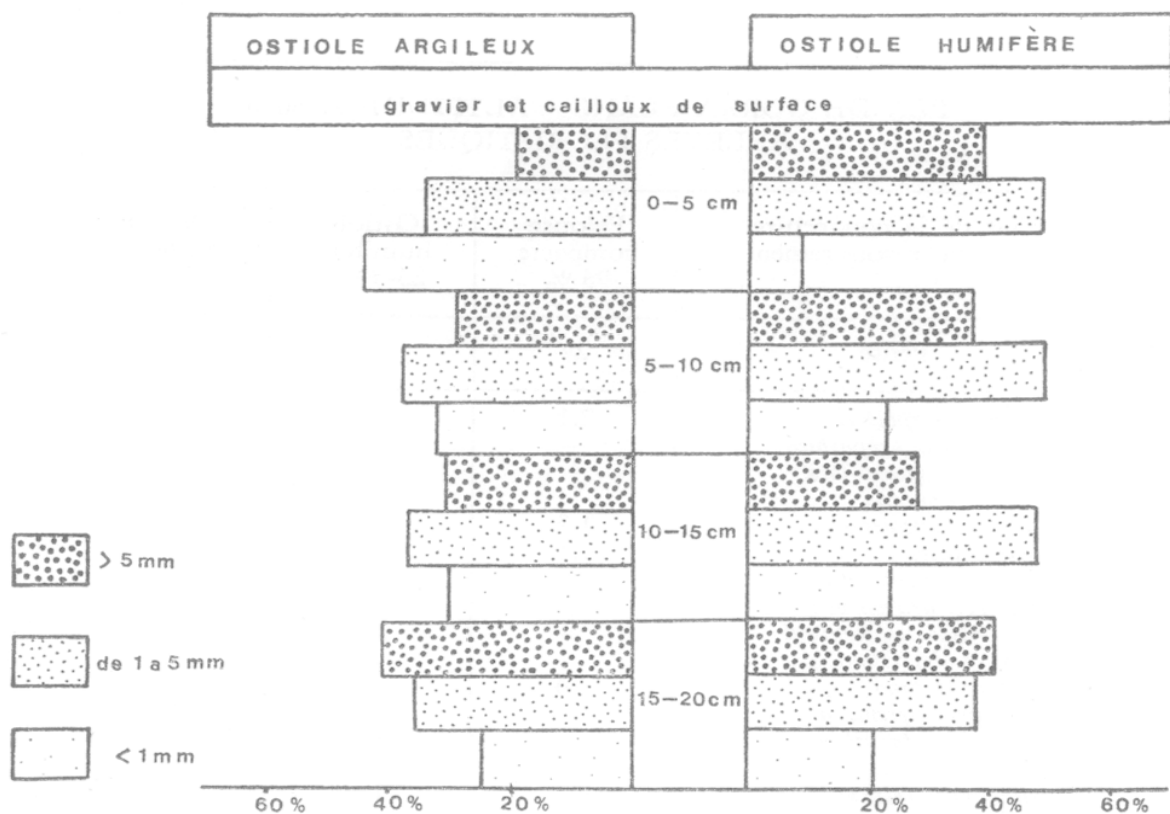
Ils se différencient des précédents par un certain nombre de caractères :

– rares sont, en surface, les passées d'humus qui salissent la teinte ocre de la plage argileuse;

– la figure 3 montre le doublement du pourcentage de la fraction granulométrique inférieure à 1 mm, de bas en haut, sur les vingt premiers centimètres. Corrélativement, les éléments supérieurs à 5 mm diminuent de moitié alors qu'ils varient peu dans le cas des ostioles humifères. Nos premières observations nous ont permis de constater que ce triage était limité à une épaisseur d'argile de 20 à 35 cm. Au-dessous, les pourcentages des différentes fractions changent peu;

– le niveau de ces ostioles est absolument plat mais il domine toujours d'une dizaine de centimètres la pelouse encadrante. La bordure argileuse a son dessin fréquemment exagéré par la présence de plantes en coussinet. Ainsi, ce type de forme présente une figuration géométrique fermée, d'une netteté jamais atteinte dans le cas précédent;

– très rares sont les espèces végétales adaptées à ce milieu soumis en saison froide à une intense géliturbation. Deux plantes seulement paraissent supporter sans dommage les effets des phases d'engel et de dégel : *Galeopsis pyrenaica* et *Ranunculus parnassifolius* réduite en hiver à l'état de bulbe (Tableau 1 et Figure 2).



POURCENTAGES RESPECTIFS DES FRACTIONS GRANULOMÉTRIQUES SUR 20 CM DE PROFONDEUR

Fig. 3.

Dans la pelouse compacte, Trifolium alpinum affectionne un biotope particulier : les cloisons d'anciens sols polygonaux.

Le trèfle alpin est un des composants du *Pumileto Festucetum supinae*. Sa présence isolée peut être révélée au hasard de la traversée de Gorra blanc, mais, dans ce cas, la plante est généralement chétive. Par contre, quand il forme un peuplement dense et vigoureux, sa localisation conduit à deux observations.

1. Il est disposé selon des axes préférentiels, de quelques mètres, discontinus et qui forment entre eux des angles ouverts (Figure 4).

2. En profondeur, on observe de haut en bas 3 horizons traversés jusqu'à 50-60 cm par les longues racines de la légumineuse (Figure 2 et Tableau 2) :

Tableau 1

PLA DE GORRA BLANC – ALTITUDE 2.450 m
RELEVÉS FLORISTIQUES

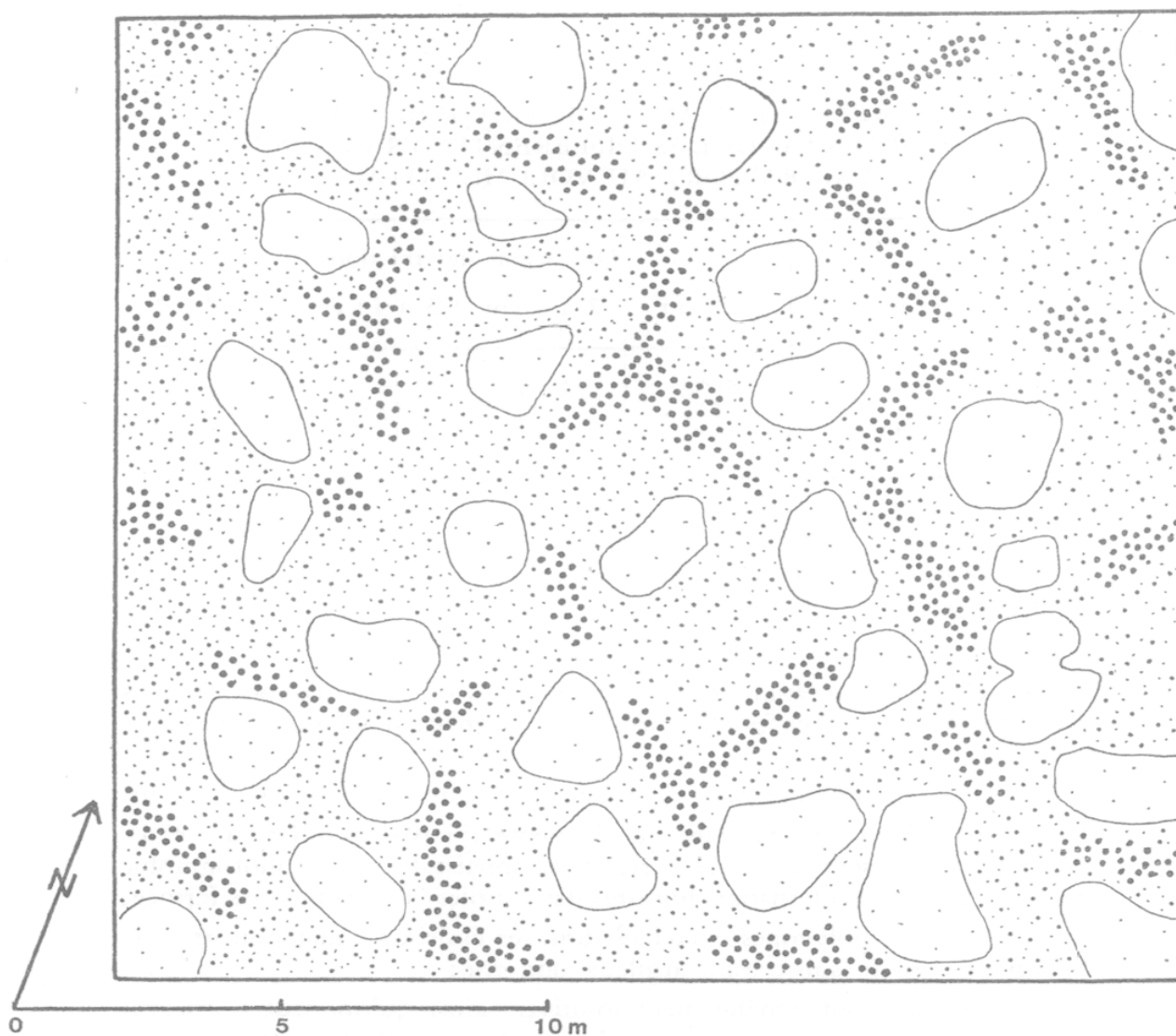
Etat de la couverture et % de recouvrement	Pelouse compacte 95 %	Ostiole humifère 25-30 %	Ostiole argileux 5 %
Pente	2°	2°	2°
<i>Agrostis rupestris</i>	2.1	+	
<i>Antennaria carpathica</i>	+		
<i>Arenaria grandiflora</i>	+	+	
<i>Avena montana</i>		+	
<i>Carex ericetorum</i>	1.2		
<i>Carex fusca</i>	1.1		
<i>Carex ornithopoda</i>	+		
<i>Erigeron aragonensis</i>	+		
<i>Euphrasia willkommii</i>	+	1.1	
<i>Festuca durissima</i>		+	
<i>Festuca supina</i>	4.4	1.1	
<i>Galeopsis pyrenaica</i>		+	1.1
<i>Hieracium pumilum</i>	+	1.1	
<i>Jasione humilis</i>	+	+	
<i>Minuartia recurva</i>	+	1.1	+
<i>Pedicularis pyrenaica</i>	+	+	
<i>Phyteuma hemisphaericum</i>	1.3	+	
<i>Plantago monosperma</i>		+	
<i>Poa violacea</i>	1.1	1.1	
<i>Ranunculus luizeti</i>	+		
<i>Ranunculus parnassifolius</i>			2.1
<i>Ranunculus pyrenaicus</i>	+		
<i>Saxifraga moschata</i>		+	
<i>Silene acaulis</i>	+	+	
<i>Thymus nervosus</i>	1.1	+	
<i>Trifolium alpinum</i>	3.3		

– d’abord sur 15 à 20 cm d’épaisseur, de l’humus riche en matière minérale fine et de couleur gris foncé;

– ensuite de 20 à 40 cm, un horizon de cailloux anguleux, redressés, aux dimensions décimétriques et en structure openwork. La fraction fine en effet est toujours inférieure à 5 % du volume total;

– enfin, à partir de 40-45 cm, ce même type de cailloux s’enracine dans l’argile profonde tout en gardant une position redressée. On constate donc, à ce niveau, dans l’argile en structure en nougat des variations latérales dans la dimension des composants caillouteux. Mais, ainsi qu’on le voit sur la figure 2, ce triage disparaît au-delà de 70 à 80 cm.

C’est cette double constatation, triage en profondeur et dessins de surface, qui nous a permis de reconstituer sous la pelouse actuelle une figuration polygonale.



**PALÉOPOLYGONES RÉVÉLÉS PAR LES OSTIOLES
ARGILEUX ET LES TRAÎNÉES DE TRÈFLE ALPIN**

LÉGENDE



Fig. 4. Paléopolygones révélés par les ostioles argileux et les traînées de trèfle alpin.

1. Pelouse orophile (*Pumileto-Festucetum supinae*).
2. Axes formés par les traînées de trèfle.
3. Ostioles argileux.

COUPE SOUS UNE PLAQUE DE *TRIFOLIUM ALPINUM*
POURCENTAGES DES DIFFÉRENTES FRACTIONS
PAR RAPPORT AU VOLUME TOTAL

Profondeur	Dimension des fractions			
	< 2 cm	2 à 5 cm	5 à 10 cm	< 10 cm
0 à 20 cm	81 %	10 %	8 %	1 %
20 à 40 cm	4 %	5 %	13 %	78 %
au-dessous de 40 cm	15 %	8 %	13 %	64 %

Une classe particulière de paléopolygones intermédiaire entre les mésopolygones et les macropolygones de toundra (8).

Les relevés cartographiques de surface et les multiples coupes rendues possibles par les tranchées effectuées nous permettent d'émettre plusieurs certitudes :

- le diamètre de ces sols polygonaux est compris entre 5 et 10 m;
- ils sont bien dessinés tant que la pente du pla est inférieure à 4°. Au-delà, ils passent à des sols striés reconnaissables sur photographie aérienne grâce aux alternances linéaires des ostioles et de la pelouse fermée;
- ce sont des polygones enracinés dont les cloisons à matériau grossier pénètrent dans le substratum argileux non trié;
- les mailles sont généralement jointives, ainsi qu'on peut l'observer sur la figure 4, grâce aux traînées de *Trifolium alpinum*. Mais ce champ s'ouvre au-delà de 60 à 70 m de la crête et passe aux sols striés.

Deux idées se dégagent des observations précédentes :

1. Il existe un rapport étroit entre la figuration cachée et l'aspect de la pelouse. Les ostioles apparaissent au centre des polygones, là où existent de vastes lentilles d'argile à menus cailloux. Les linéaments formés par le trèfle sont directement guidés par les bordures géométriques de ces mêmes dessins.

2. Les états décrits témoignent de relation de cause à effet entre la structure profonde et le figuré de surface. Mais le remaniement de la partie centrale des paléopolygones est-il la cause ou la conséquence de la dégradation de la pelouse?

(8) J. TRICAT, A. CAILLEUX.
Photographie aérienne. Mission Saillagouse-Prats de Mollo (1962) 2250/2350 n° 72.

III. LA PHASE ÉLÉMENTAIRE DE LA DÉGRADATION DE LA COUVERTURE VÉGÉTALE SE MARQUE PAR LA FORMATION D'OSTIOLES

Une pelouse fermée recouvre largement le pla de Gorra blanc lors de l'Optimum climatique atlantique. Des preuves locales et régionales étayent cette affirmation.

1. Les transects, de la pelouse fermée aux ostioles argileux

Dans le lot des plantes, le comportement de *Festuca supina* est des plus évocateurs. La fétuque croît de façon normale au sein de la pelouse compacte et ses racines pénètrent jusqu'à une quinzaine de centimètres dans le sol. Son coefficient de sociabilité élevé montre une coexistence parfaite avec ses compagnes telles *Carex ornithopoda*, *Erigeron aragonensis*, *Jasione humilis*... Sur les ostioles humifères elle a perdu par contre la plupart des espèces accompagnatrices et elle forme des touffes isolées. Son appareil racinaire est moins volumineux et moins profond : 5 à 10 cm seulement. Un déchaussement est parfois observé à la base de ses tiges. Il est rare enfin que la plante soit présente sur les ostioles argileux. Dans ce cas, le déchaussement est très prononcé et une simple poussée du pied suffit à la déraciner. *Festuca supina* n'est visiblement pas adaptée à ce biotope nouveau pour elle. Elle est là à l'état de relicte et sa durée de survie est très courte.

2. La couverture humifère en l'absence de pelouse

Sur cette surface plane ou très faiblement déclive, ce fait peut être considéré comme un témoignage irréfutable. Il exclut l'hypothèse d'un apport latéral de produits humiques. Pour expliquer l'existence d'un horizon d'humus qui dépasse parfois 15 cm d'épaisseur, force est bien de supposer la présence antérieure d'une pelouse à partir de laquelle s'est édifié cet horizon. Ce ne sont pas les quelques chaméphytes isolées qui peuvent aujourd'hui produire des taux de carbone aussi élevés. Ainsi sous *Minuartia recurva*, le taux de carbone organique serait inférieur à 1,5 % (analyses faites par A. Baudière).

3. Les traces de gley

On observe en effet fréquemment au contact de l'humus et de l'argile de multiples passées gris verdâtre et de petites concrétions de couleur rouille. Mais il n'existe jamais un horizon continu et des traces de marmorisation peuvent être élevées à des niveaux très différents ainsi que le montre la figure 2. Ce fait indique des déformations postérieures à la réalisation du gley. Trois conditions étaient donc réalisées lorsque s'est élaboré ce profil :

- la stabilité morphogénique rendait possible la pédogenèse;
- l'humidité était suffisante pour entretenir l'alimentation d'une nappe phréatique à très faible oscillation et à très lente circulation;
- la teneur en matière organique était telle qu'elle pouvait exercer l'action réductrice nécessaire. Une couverture végétale et un horizon humifère surmontaient donc l'horizon minéral et fournissaient la matière organique indispensable.

4. Les recherches phytogéographiques et palynologiques menées depuis plusieurs années dans les Pyrénées méditerranéennes

Faisant suite aux travaux de J. Braun-Blanquet et d'H. Gaussen, ceux d'A. Baudière et de L. Serve montrent notamment que les pelouses

d'altitude du Puigmal sont composées d'espèces boréo-alpines et méso-géennes. Les premières représentent le lot le plus important des plantes de la pelouse fermée. Mais nous avons vu qu'au niveau du pla elles ne formaient pas une association climacique. Leur pénétration dans ce milieu doit donc avoir coïncidé avec une phase climatique qui a permis leur épanouissement. La saison estivale était sans doute plus humide qu'aujourd'hui mais, surtout, les conditions hivernales devaient être très différentes. Une couverture nivale assez épaisse et des températures moins rigoureuses limitaient considérablement l'action du gel sur la pelouse. Or, dans de telles conditions stationnelles, l'épaisseur du tapis nival dépendait moins de la quantité de neige tombée que de la vigueur de la déflation éolienne. *Force est donc de supposer que les vents exerçaient une action de déneigement plus faible que de nos jours.* Dans ces conditions les minima thermiques au sol étaient moins prononcés.

De telles saisons paraissent avoir existé lors de l'Optimum climatique atlantique ainsi que le révèlent les analyses polliniques réalisées par G. Jalut (9).

En Haut-Vallespir et Haute-Cerdagne, 5.500 BC a été marqué par une poussée d'*Abiès* et une remontée altitudinale de *Pinus uncinata*, preuves d'un radoucissement climatique et d'une augmentation de la pluviosité. La stratigraphie des mouillères d'altitude où ont été effectués les relevés permet également d'individualiser cette phase. Elle fut marquée par une sédimentation tourbeuse isolée entre un Boréal dont les dépôts attestent une cryoclastie sèche et un Subatlantique dont les graviers roulés et les argiles sont les témoins d'une phase de glyptogénèse. Cette période se serait achevée vers 1.700-1.500 BC. Ce changement, relativement récent, expliquerait le maintien de lambeaux de pelouse compacte à de hautes altitudes. De tels témoins sont fréquents sur la chaîne frontière, des montagnes d'Andorre au Canigou et notamment aux sources du Tech (10).

*La dégradation du tapis végétal fut liée au déneigement des croupes soumises désormais à la déflation. Mieux adaptées, les plantes en coussinet prirent le relais de la pelouse fermée à *Festuca supina*.*

Dès la fin de l'Optimum climatique, le vent apparut comme un des facteurs limitants essentiels de la végétation. Aujourd'hui encore le pla de Gorra blanc est un des secteurs très éventés du Massif. Les premiers résultats partiels transmis toutes les 4 heures par radio depuis la « Station basse » du Puigmal (2.200 m) sont à ce titre là très évocateurs (Tableau 3).

Ces chiffres appellent 3 remarques :

1° ils sont donnés par une station située sur le versant de la vallée d'Err, donc relativement abritée. On peut ainsi penser que les valeurs auraient été plus élevées à 2.500 m vu qu'il n'existe aux abords du pla aucun relief protecteur;

2° une fois sur deux la force 5 a été dépassée;

3° les vents dominants sont ceux de NW (tramontane) et de SE (marin). Ils se relayent dans le temps et dans l'espace pour balayer l'ensemble du plateau.

(9) G. JALUT, M. VAN CAMPO.

(10) G. SOUTADÉ.

Tableau 3

FORCE ET DIRECTION DU VENT « STATION BASSE » DU PUIGMAL - ALTITUDE 2.200 m HAUTE-VALLÉE D'ERR													
	Nombre de relevés	FORCE DU VENT			Nombre de relevés	DIRECTION DU VENT							
		Nombre de fois où la force (Beaufort) fut :				Nombre de fois où ont été enregistrées les directions							
		> à 5	de 5 à 8	> à 8		NW	W	SW	S	SE	E	NE	N
Avril 1969	120	18	58	44	120	52	10	0	1	39	17	1	0
Mai 1969	88	43	38	7	82	26	7	0	10	34	3	2	0
Juin 1969	59	20	34	5	58	34	9	0	0	12	2	1	0

Ce renforcement de l'action éolienne s'est traduit par l'extension d'espèces écologiquement adaptées aux crêtes éventées telles *Silene acaulis*, *Minuartia recurva*, *Saxifraga moschata*. Ces chaméphytes ont le port en coussinet. Elles offrent donc au vent une surface évaporatoire réduite et résistent bien à l'action aérienne du gel. Leurs racines pivotantes leur permettent de puiser l'eau nécessaire à leur nutrition et de supporter sans grand dommage les effets du déchaussement éolien. Seule une intense géliturbation a raison de leur appareil racinaire. Aussi disparaissent-elles des ostioles argileux pour y être relayées par des géophytes à bulbe, telle *Ranunculus parnassifolius*.

Introduites dans la pelouse fermée, elles servent rapidement de biotope aux composants du *Pumileto* car elles offrent une protection efficace contre le vent. Cette coexistence est cependant de courte durée par suite du faible coefficient de sociabilité de ces espèces. Les touffes se nécrosent. Le sol est alors soumis aux agents météoriques. Les « parasites » qui ne sont plus protégés sont soumis au déchaussement et condamnés à disparaître. Ces nécroses marquent la phase incipiente des ostioles. Des effets cumulatifs et des interactions végétal-minéral ne vont plus cesser de s'exagérer.

Tout autour des surfaces « dévégétalisées » s'élargit le front de dégradation.

Grâce à ces écorchures, le vent renforce son action limitante et sélective au sein même de la pelouse. En bordure des ostioles le nombre d'espèces caractéristiques du *Pumileto-Festucetum supinae* diminue, tandis que se renforce la part de celles inféodées aux lieux éventés. En même temps se modifie la physionomie du peuplement : à l'aspect compact succède l'aspect ponctué.

Les études entreprises devraient nous permettre de mesurer dès 1971 la progression des ostioles au détriment de la pelouse. Nous pouvons cependant dès maintenant constater que la vitesse de substitution varie d'un point à un autre car plusieurs facteurs entrent en jeu.

1. La direction des vents dominants. L'effet de sappe s'exerce selon des lignes préférentielles orientées NW-SE, qui correspondent aux directions opposées des deux vents dominants. On comprend ainsi le parallélisme fréquent des ostioles que n'explique pas toujours la structure profonde. Les vents obliques voire orthogonaux par rapport à l'axe NW-SE fournissent l'explication des tracés angulaires.

2. L'état de recouvrement de la pelouse. Tout secteur qui présente une densité de recouvrement insuffisante est vulnérable. Par contre, les grosses touffes de *Carex* et surtout les plaques de *Trifolium alpinum* au système racinaire puissant, sont autant d'obstacles contre lesquels vient buter le front de dégradation.

3. L'action sélective du troupeau. Des centaines d'ovins parcourent encore en été ces pâturages d'altitude. Mais leur nombre fut plus élevé au siècle dernier (11). Or la valeur pastorale du *Pumileto* est médiocre car la proportion des bonnes plantes fourragères est faible, exception faite du trèfle. Aux abords des ostioles, la dent du mouton a eu raison

(11) J. BALOUET-TAURIGNAC.

de cette légumineuse. La plante est en effet vulnérable car placée à la limite de ses possibilités écologiques. Sa régénération est difficile. La croissance de ses racines est entravée par la cryoclastie et laurbation gélivale. Elle ne peut donc plus assurer dans de bonnes conditions les prélèvements en eau nécessaires pour compenser ses pertes par transpiration dues à son système évaporatoire très développé. Le pâturage a donc accéléré la migration du trèfle sur les cloisons des anciens polygones. Véritables îlots-refuges où la plante est à l'abri de l'action interne du gel, tant que ce stade de dégradation de la pelouse n'est pas dépassé.

Les déchirures du tapis végétal commandent la géliturbation. Les mouvements perascensum de l'argile accentuent la fragilité des rhizosphères.

Tant que l'argile sous-jacente fut protégée contre la pénétration du gel par le triple manteau nival, végétal et humifère, laurbation gélivale fut très atténuée voire nulle en profondeur. Mais la substitution de la pelouse ouverte à la pelouse fermée entraîne plusieurs conséquences :

- un amenuisement de l'horizon d'humus dû au vannage et au ruissellement. L'enrichissement superficiel en menus graviers en découle;
- une pénétration facilitée du gel. Nous avons relevé des traces de cryoclastie à 50 cm de profondeur, sous des ostioles humifères, mais nous n'en avons pas observé à plus de 15 cm sous la pelouse compacte;
- une percolation rapide de l'eau, donc un enrichissement hydrique de l'argile profonde.

Les mouvements dus au gel et au dégel trouvent en profondeur le milieu particulièrement favorable pour s'épanouir : une matrice fine gorgée d'eau. La ségrégation de la glace s'accompagne d'une montée progressive de l'argile. *Ainsi, les ostioles fonctionnent comme de véritables appareils élévatoires.* La forme même du toit de l'argile sous les ostioles humifères, la disposition redressée des cailloux traduisent bien un tel mouvement. L'amenuisement progressif de la fraction grossière de bas en haut atteste la lenteur du déplacement vertical et l'intensité du remaniement cryoclastique. Il arrive parfois que l'on constate, au voisinage de la surface, une inversion stratigraphique et le chevauchement de l'humus par l'argile, selon des lignes radiales (Figure 2). L'explication doit faire intervenir deux phénomènes qui se succèdent dans le temps : la rétraction de la matière lors de l'engel et le chevauchement au moment du dégel.

- A cette altitude la sévérité du gel et la rapidité des phases de refroidissement nous permettent d'affirmer qu'il se produit lors des engels des

« Station haute » du Puigmal - Altitude 2.880 m - Avril 1969		
Nombre de cycles gel-dégel	Nombre de cycles durant lesquels les minima ont dépassé -9°	Nombre de fois où durant les phases d'engel, en moins de 8 h, l'amplitude thermique a été supérieure à 8°
10	4	3

fentes de gélicontraction. Des preuves visuelles et le tableau ci-dessus corroborent cette affirmation.

– Au moment du dégel et selon sa nature, la masse argileuse est plus ou moins gorgée d'eau. Presque toujours, grâce au pourcentage élevé de la fraction fine, la limite de liquidité est très vite dépassée. Mais rarement l'état physique de l'argile est identique de part et d'autre des fissures créées lors de l'engel. Il existe ainsi, séparées par des lignes de discontinuité, des lentilles à l'état de dégel et d'autres encore gelées. Le glissement des premières est guidé par les fentes de gélicontraction. Ces fentes sont aussi des axes de percolation utilisés par les colloïdes humiques de surface. Elles fonctionnent ainsi en piège à humus et le processus, une fois engagé, se continue par autocatalyse.

Les montées d'argile concourent, avec la déflation éolienne et le ruissellement, à ébranler la solidité de la rhizosphère et à déchausser progressivement les plantes.

Mais à partir de quel moment se déclenche en profondeur la géliturbation? Dans des conditions lithologiques et hydriques identiques, il est possible de fixer deux limites :

1. Le recouvrement végétal doit être inférieur, en saison froide, à 70 %.
2. Le niveau supérieur de l'argile ne doit pas s'abaisser au-dessous de 60 cm.

Des modifications stationnelles font évidemment varier ces seuils. Dans certains cas la dégradation végétale peut être plus prononcée.

IV. L'EXHUMATION PARFAITE DES PALÉOPOLYGONES N'EST JAMAIS RÉALISÉE

A un stade de dégradation plus avancé du *Pumileto* ne correspond pas une meilleure mise à jour de la figuration profonde. Le cycle ne se ferme pas. Après un décapage complet de l'ancienne pelouse on ne revient jamais au point de départ. C'est-à-dire qu'il n'existe nulle part en surface de lignes circulaires ou parallélogrammiques de gros cailloux séparées par des plages argileuses de 5 à 10 m de diamètre.

On doit au contraire constater que le franchissement d'un degré dans la dégradation, donc le passage du stade des ostioles isolés au stade des ostioles jointifs, se traduit par un bouleversement radical de la structure ancienne.

Le centre des anciens sols polygonaux n'est plus occupé par une seule masse colloïdale à menue blocaille mais par toute une série d'andanes ou de colonnes argileuses disposées apparemment dans la plus grande fantaisie, isolées par des fentes bourrées d'humus jusqu'à 50 à 60 cm de profondeur. Les cloisons ont perdu leur individualité. Elles sont déformées, pénétrées par des passées argileuses et les gélifracts sont amenuisés par cryoclastie.

Des champs de micro-polygones remplacent la pelouse là où le matériau de surface présente l'hétérométrie nécessaire au triage : 60 % de cailloux de 1 à 2 cm, fines égales au moins à 10 % du volume global.

Ces sols polygonaux ont 10 à 15 cm de diamètre et sont de « type

flottant » (12). Dans cette nouvelle génération le triage se fait superficiellement. La turbation gélivale fait glisser les cailloux autour des taches de matériau fin.

Sur ces surfaces, les plantes caractéristiques de la pelouse à *Festuca supina* sont assez rares. Par contre deux types d'espèces colonisent ces espaces :

– là où sévit en saison froide l'action du gel, poussent, remarquablement adaptées à ce milieu, *Viola diversifolia* et *Ranunculus parnassifolius*;

– les secteurs plus caillouteux, moins humides sont recherchés par deux oroméditerranéennes, *Avena montana* et *Festuca durissima* associées aux plantes en coussinet. La présence de ces xérophytes traduit un état d'équilibre précaire. Un déclenchement de la mobilité du sol sous l'action du gel est à tout moment possible. De tels efforts se traduisent sur ces plantes par des dessins originaux : collerettes, arabesques... Mais ces formes ne sont plus guidées par une structure polygonale profonde.

Ce sont généralement des variations dans la composition lithologique et dans l'alimentation en eau du sol qui expliquent l'évolution plus poussée de la dégradation. Ainsi, là où ne poussent que *Viola* et *Ranunculus*, les fines plaquettes de schistes noirs sont abondantes et le drainage latéral est très mal assuré. Des mesures d'intensité du vent montreraient aussi certainement sur ces espaces un renforcement de la déflation.

CONCLUSION

Nulle part ailleurs, sur les plas des Pyrénées méditerranéennes, au-dessus de 2.200 m, les traces d'exhumation de paléopolygones ne sont aussi nettes qu'à Gorra blanc. Cela est dû à des raisons d'ordre bioclimatique anciennes et actuelles.

C'est sur les plas du Puigmal que les sols recouvrant ces figurations anciennes sont les moins épais. Ainsi au Pla Guilhem (2.300 m) l'argile n'apparaît sous l'humus qu'à 70-80 cm de profondeur. Les conséquences pédologiques de l'Optimum climatique ont donc été assez différentes.

Cela tient d'abord à l'altitude plus élevée des plas du Massif méridional de la Cerdagne.

La sécheresse relative est, nous le pensons, une raison plus valable. Même lors de la phase Atlantique, le Puigmal devait être le Massif catalan français le moins humide. Toutes proportions gardées, tel il apparaît aujourd'hui.

Dans ces conditions, le manteau humifère n'a pas été suffisamment épais pour atténuer les effets de la dégradation de la pelouse et retarder l'exhumation des paléopolygones.

Mais une telle évolution dépend du type local de morphogenèse. A Gorra blanc la cryomorphogenèse l'emporte sur la glyptogenèse. A 2.300 m, les pentes qui limitent le pla, dénudées sous l'action du gel, sont très faiblement affectées par le ravinement. Or, à altitude égale, la bordure du pla Guilhem est échancrée par de grandes ravines nommées chalades (13). Dans les deux cas la résistance lithologique est aussi faible.

(12) J. TRICART, A. CAILLEUX.

(13) G. SOUTADÉ.

Sur les plas sommitaux du Puigmal, la dégradation de la pelouse orophile assure une grande efficacité à la cryomorphogenèse : ostioles, sols polygonaux flottants... Mais cette efficacité est loin d'atteindre ce qu'elle a pu représenter lors des périodes froides du Quaternaire, au moment de la formation des paléopolygones.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) BIROT P., 1937 - Recherches sur la morphologie des Pyrénées franco-espagnoles. Thèse Lettres Paris, 318 pages.
- (2) AUTRAN A., GUITARD G. et RAGUIN E., 1967 - Carte géologique de la partie orientale des Pyrénées hercyniennes au 1/200.000 B.R.G.M.
- (4) VIERS G., 1961 - Le glacier du Massif du Carlit (Pyrénées-Orientales). R.G.P.S-O., Toulouse, pp. 5-33.
 VIERS G., 1966 - La glaciation quaternaire dans le Massif du Canigou (Pyrénées-Orientales, France). *Pirineos*, 81-82, pp. 87 à 94 Jaca (Espana).
 VIERS G., 1968 - La carte du relief glaciaire des Pyrénées. Feuille de Mont-Louis au 1/50.000 (Pyrénées-Orientales) (2 planches hors-texte) R.G.P.S-O., Toulouse, pp. 429-434.
- (5) BRAUN-BLANQUET J., 1948 - La végétation alpine des Pyrénées-Orientales. Monog. estacion est. pyr. y inst. edafologia, ecologia y fisiologia vegetal. Barcelona, 306 pages, Barcelona.
- (6) GAUSSEN H., 1926 - Végétation de la moitié orientale des Pyrénées. Thèse Sciences. Paris, 560 pages, 31 planches, 2 cartes en couleur hors-texte.
 BAUDIÈRE A., SERVE L. et SOUTADÉ G., 1970 - Livret-guide. Société Botanique de France, 98^e session extraordinaire, II, Font-Romeu, 4-13 juillet, 138 pages.
- (7) HAMELIN L.E. et COOK F.A., 1967 - Le périglaciaire par l'image. Les Presses de l'Université Laval, Québec, p. 150 et orientation bibliographique.
 TRICART J. et CAILLEUX A., 1967 - Le modelé des régions périglaciaires S.E.D.E.S., pp. 159, 215 et orientation bibliographique.
- (8) TRICART J. et CAILLEUX A. Ouvrage cité pp. 177 à 190 et orientation bibliographique.
- (9) VAN CAMPOM. et JALUT G., 1969 - Analyse pollinique de sédiments des Pyrénées-Orientales : Lac de Balcère (1.764 m). Pollen et Spores vol. XI, n° 1, pp. 117 à 126.
 JALUT G., 1969 - La végétation dans les Vosges, le Jura, les Alpes septentrionales et les Pyrénées pendant le Tardiglaciaire et le Postglaciaire. Paris, VIII^e Congrès international de l'I.N.Q.U.A.
 JALUT G., 1970 - Données nouvelles concernant l'évolution de la végétation dans le bassin de l'Aude, au cours du Tardiglaciaire et du Postglaciaire. C.R.Ac.Sc. Paris, t. 270, 22 juin 1970, série D, pp. 3037 à 3039.
 JALUT G., 1970 - Caractères généraux de l'évolution de la végétation et du climat pendant le Postglaciaire, dans les vallées de la Têt et du Tech. C.R.Ac.Sc. Paris, t. 271, 21 décembre 1970, série D, pp. 2277-2278.
- (10) SOUTADÉ G., 1970 - Les banquettes gazonnées des sources du Tech (Pyrénées-Orientales). Communication faite à la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse le 22 janvier. B.S.H.N.T., t. 106, fasc. I et II et à paraître dans *Zeitschrift für Geomorphologie*.
- (11) BALOUET-TAURIGNAC J., 1957 - L'élevage en Roussillon au XVIII^e siècle, D.E.S., Toulouse et C.E.R.C.A. 1959, n° 4.
- (12) TRICART J. et CAILLEUX A. Ouvrage cité, p. 177.
- (13) SOUTADÉ G., 1969 - Formes de figuration de la bordure orientale du pla Guillem (Pyrénées-Orientales). Actes du 94^e Congrès national des Sociétés savantes, Pau, pp. 17 à 25.
 SOUTADÉ G., 1969 - Un milieu sub-alpin de glyptogenèse : les ravins de Comall Escur, versant Sud du Massif du Canigou (Pyrénées-Orientales). R.G.P.S-O., t. 40, fasc. 4, pp. 353-370.