

---

UN BEL EXEMPLE  
DE " SOL POLYGONAL "   
DANS LES ALPES FRANÇAISES

Par Maurice GIGNOUX

*(avec deux planches phot. hors texte).*

---

*Remarque préliminaire.* — J'ai déjà eu l'occasion de publier une photographie de sol polygonal dans nos Alpes <sup>1</sup>; j'en avais profité, non seulement pour donner une bibliographie de la question, mais aussi pour proposer une tentative d'explication de ces curieuses structures, en évoquant les expériences de TABER, dont il sera parlé plus loin. La même année, et sans connaître mes observations, Bruno CASTIGLIONI <sup>2</sup> décrivait lui aussi des phénomènes analogues dans les Alpes italiennes; puis, l'année suivante, ayant lu mon article, ce même glaciologiste <sup>3</sup> soulignait avec force l'intérêt de ce rapprochement et estimait en effet que les expériences de TABER pouvaient fournir une première base solide pour tenter d'expliquer les structures très variées des sols « polaires ». Depuis, d'autres auteurs ont traité de ces mêmes sujets; je me contenterai de renvoyer à une des études les plus complètes et les plus claires, celle de H. POSER <sup>4</sup>, dans laquelle on trouvera une bibliographie récente de 42 numéros.

Les lignes qui suivent ont pour but seulement de commenter, à l'usage des lecteurs non au courant de la question, la photographie reproduite ici (pl. I).

---

<sup>1</sup> M. GIGNOUX, Les sols polygonaux dans les Alpes et la genèse des sols polaires (*Ann. de Géogr.*, t. 40, 1931, pp. 610-619, 1 pl. fotogr.).

<sup>2</sup> B. CASTIGLIONI, Di alcune strutture del suolo di tipo artico osservate sulle Alpi (*Boll. del Comit. glaciologico ital.*, n. 11, 1931-IX).

<sup>3</sup> B. CASTIGLIONI, Esperienze sul sollevamento del suolo gelato e genesi dei « suoli poligonali » dei climi freddi (*Boll. della R. Soc. geogr. ital.*, Ser. VI, vol. 9, p. 663, 1932-X).

<sup>4</sup> H. POSER, Das Problem des Strukturbodens (*Geol. Rundschau*, Bd. 24, 1933).

En raison de l'analogie des conditions climatiques, on peut s'attendre à retrouver, dans les hautes régions de nos Alpes, des phénomènes analogues à ceux qui s'observent dans les régions polaires. L'exemple que nous nous proposons d'étudier ici se rapporte à la « structure des sols ».

Nous appellerons « *sol* » la couverture de terrains meubles recouvrant le « *rocher* ». Cette couverture peut être formée soit par des matériaux venus d'ailleurs et transportés, puis déposés par les vents, les cours d'eau, les glaciers : ce sont alors des sables de dunes, des alluvions (limons, sables ou graviers), ou enfin des moraines faites de boues plus ou moins argileuses contenant de gros blocs rocheux « erratiques ». Mais, dans le cas le plus général, le « *sol* » est simplement constitué par le produit de la décomposition sur place, ou presque sur place, du « *rocher* » sous-jacent; de tels sols formés *in situ* apparaîtront comme des « *terres* » meubles, contenant des « *débris* » de roche solide.

Considérons donc un sol appartenant à l'un quelconque de ces divers types; nous n'en retiendrons que deux caractères, qui leur sont en effet communs : d'abord leur nature « meuble », leur « *mobilité* », puis leur « *hétérogénéité* » ; nous les supposons contenir des débris de roche compacte, irrégulièrement distribués dans une terre suffisamment imprégnée d'eau pour qu'elle prenne une consistance pâteuse ou demi-fluide.

Même sous nos climats tempérés, la « *mobilité* » des sols se manifeste. Si la pente du terrain est forte, ou le sol très fluide, on aura des éboulements, des coulées, des glissements de terrains. Sur une pente très faible, ou avec des sols non pâteux, ces mouvements deviendront insensibles; mais, à l'échelle des temps géologiques, ils n'en existeront pas moins : tout vide produit à l'intérieur d'un sol, par exemple par la pourriture d'une racine, par les galeries d'un animal fouisseur (taupe, ver de terre, etc.), par la circulation d'un filet d'eau souterraine, etc., sera nécessairement comblé plus ou moins vite par rapproche-

ment des parois de ce vide, c'est-à-dire par des mouvements se produisant dans la masse même du sol. Et la résultante générale de ces mouvements, causés par la gravité, sera nécessairement dirigée dans le sens de la pente. On a donné à ce phénomène le nom de « *solifluxion* » ou « écoulement des sols », s'il est relativement rapide, ou de « *reptation des sols* », si l'on veut en souligner davantage le caractère de lenteur ou de discontinuité.

Cette solifluxion, cette reptation des sols seront particulièrement intenses et rapides dans les régions à climat polaire, car, comme nous le verrons, les alternances de gel et de dégel les favorisent; mais répétons encore une fois qu'elles doivent se produire même sous nos climats<sup>5</sup>. Et notons surtout que ces mouvements, causés par la gravité, n'influent que très indirectement sur l'hétérogénéité primitive des sols; il n'y a ni triage, ni arrangement des débris rocheux que ces sols contiennent.

<sup>5</sup> L'étude de ces phénomènes de solifluxion a beaucoup progressé ces dernières années. En France, en particulier, les recherches de DANGEARD, de BIGOT, de l'abbé BREUIL, ont apporté beaucoup d'observations intéressantes. Citons en particulier l'article très richement illustré et très suggestif de H. BREUIL, De l'importance de la solifluxion dans l'étude des terrains quaternaires de la France et des pays voisins (*Revue de Géographie physique et de Géologie dynamique*, VII, fasc. 4, 1934).

Mais, dès qu'il s'agit de phénomènes se produisant sur des pentes et sous l'influence de la gravité, on peut se demander s'il est bien légitime d'y voir la preuve de phases climatiques « glaciaires » ou « polaires »; dans beaucoup de cas, il faut aussi tenir compte des effondrements produits par dissolution d'un socle rocheux calcaire (ex. : la « solifluxion *in situ* », illustrée par la fig. 1 de la pl. XVIII de l'article de BREUIL).

On n'aura la preuve formelle de l'action d'un climat glaciaire que dans le cas de dislocations se produisant en terrain complètement plat, en dehors de toute intervention de la gravité : cela semble bien être le cas pour les phénomènes observés dans les plaines de l'Allemagne du Nord et de la Hollande. Voir à ce sujet le récent article de C. H. EDELMAN, F. FLORSCHÜTZ et J. JESWIET, Ueber spätpleistozäne und frühholozäne kryoturbate Ablagerungen in den östlichen Niederlanden (*Verhandelingen van het Geologisch-Mijnbouwkundig Genootschap voor Nederland en Koloniën*; geologische Serie, XI, La Haye, 1936); dans cette étude, avec belles illustrations et riche bibliographie, les auteurs proposent le nom de « kryoturbate Ablagerungen », que l'on pourrait traduire par le terme de « cryodislocations ».

Au contraire, dans les régions polaires, on observe un tel *trriage* et un tel arrangement, et cela précisément dans des sols à surface horizontale, où l'intervention de la solifluxion ne peut être mise en cause. Dans ces « *sols polygonaux* » (s. l.), les débris rocheux, au lieu d'être irrégulièrement répartis dans toute la masse, viennent se concentrer suivant certaines zones ou certaines lignes, séparées par des régions où le sol, privé de pierres, apparaît uniquement argileux ou « terreux ».

Les modalités de détail de ce triage sont d'ailleurs très variées; en voici quelques-unes :

1° Parfois les débris rocheux, au lieu d'être irrégulièrement épars à la surface, ont « fui » en quelque sorte en dehors de certaines zones : ces dernières apparaissent alors comme des « massifs », analogues à ceux que ferait un jardinier pour y installer une plantation, en écartant les pierres pour ne laisser que la « bonne terre ». On peut donner à ce premier type le nom de « *sols à massifs de terre* », ces massifs ayant des contours plus ou moins régulièrement circulaires ou polygonaux, avec des diamètres de l'ordre de quelques décimètres ou d'un mètre. Ajoutons que ces massifs sont souvent un peu surélevés, comme boursoufflés ou gonflés, par rapport au terrain voisin.

2° Ce premier type nous conduit à un deuxième : supposons en effet que les « massifs » du type précédent se rapprochent les uns des autres : les zones pierreuses qui les séparent se réduisent alors à d'étroites bandes séparant nos massifs qui, accolés, auront pris la forme de polygones juxtaposés, de manière à constituer une sorte de carrelage; les « carreaux » sont en terre et les « pierres » seront serrées les unes contre les autres pour dessiner les arêtes de ces carreaux. On a alors un « *sol polygonal* » *typique* (s. str.). Nous remarquerons en outre que si les débris rocheux, les « pierres », sont aplatis (ce qui se produit si la roche a une structure schisteuse, cas très fréquent), ces débris seront, contre les polygones, redressés sur leurs tran-

ches, comme si notre jardinier s'en était servi pour faire des « bordures » à ses « massifs ».

3° De là on peut passer à un cas extrême : si nos massifs sont de plus en plus pressés les uns contre les autres, leurs bordures de pierres se rétréciront de plus en plus; elles ne subsisteront plus qu'aux angles des polygones, où les pierres viendront se rassembler : on aura alors un « *sol à tas de pierres* », ces tas étant plus ou moins régulièrement répartis aux angles d'un réseau polygonal.

Comment expliquer un aussi curieux triage? Il n'a pu se produire qu'à la faveur de *mouvements affectant la masse même du sol*. Et comme nous avons supposé la surface du sol complètement horizontale, ces mouvements n'ont pu être que descendants ou ascendants; en d'autres termes, notre sol a dû « *bouillonner* ». Le phénomène du bouillonnement est en effet celui qui se produit dans un milieu fluide parcouru par des courants descendants ou ascendants. Le cas le plus simple est celui d'un liquide contenu dans une casserole dont on chauffe le fond : l'eau des couches inférieures, plus chaude et plus légère que celle des couches supérieures froides, tend à monter : les « *courants de convection* » ainsi produits s'agencent en une série de tourbillons.

L'allure de ces courants a été étudiée par le physicien français BÉNARD<sup>6</sup>, en mettant en suspension dans l'eau (ou tout autre fluide) des particules colorées très ténues. Il a vu alors ces particules se grouper en dessinant à la surface un réseau polygonal qui, en profondeur, se prolonge suivant les faces latérales d'un système de prismes polygonaux accolés.

Dans nos sols polygonaux, les débris rocheux jouent évidemment le même rôle que les particules colorées dans l'expérience

---

<sup>6</sup> H. BÉNARD, Les tourbillons cellulaires dans une nappe liquide propageant de la chaleur par convection en régime permanent (*Thèse Sciences, Paris, 1901, Gauthier-Villars*).

de BÉNARD; et l'analogie des structures obtenues dans les deux cas conduit à penser que ces structures s'expliquent de la même façon. Comme K. GRIPP<sup>7</sup> l'a souligné encore récemment avec beaucoup de force, il faut bien admettre que les sols polygonaux sont le siège de courants de convection plus ou moins lents ou intermittents, mais dont les actions prolongées s'ajoutent pour réaliser le triage naturel des débris rocheux. D'où l'expression de « *sols bouillonnants* » (Brodelsböden), adoptée par GRIPP et par beaucoup de géologues allemands, cela ne signifiant pas d'ailleurs nécessairement que le « bouillonnement » soit dû, comme dans l'expérience de BÉNARD, à des différences de température.

Une condition essentielle de la production de ces phénomènes, c'est que les couches superficielles restent le plus longtemps possible imprégnées d'eau liquide. Or, c'est précisément *surtout dans les régions polaires* que cette condition sera réalisée.

En effet, dans les pays tempérés, il existe en général une nappe d'eau souterraine à la base de la partie meuble (et par conséquent plus ou moins perméable) du sol, au contact du « sous-sol rocheux », généralement imperméable; une telle nappe sera assez profonde et surtout irrégulière, et les zones superficielles ne seront imbibées d'eau que pendant les pluies et se dessècheront rapidement; aussi, sous nos climats, les « sols à débris » ne sont-ils d'ordinaire ni humides, ni marécageux (sauf dans le fond de certaines dépressions).

Au contraire, dans les régions polaires, où la température moyenne annuelle est inférieure à 0°, on sait qu'à partir d'une faible profondeur (1 à 2 m.), limite des variations saisonnières, le sous-sol reste éternellement gelé : ce substratum congelé, et par conséquent imperméable, constitue la « *tjåle* » (mot popu-

---

<sup>7</sup> K. GRIPP, Beiträge zur Geologie von Spitzbergen (*Abh. d. Naturwiss. Vereins zu Hamburg*, XXI, 1927), et Glaziologische und geologische Ergebnisse der Hamburgischen Spitzbergen-Expedition 1927 (*ibid.*, XXII, 1929).

laire scandinave introduit dans le langage scientifique par HÖGBOM). L'eau imprégnant en été tout le sol superficiel au-dessus de la tjàle ne peut s'écouler en profondeur; et ainsi s'expliquent les paysages marécageux caractéristiques de la « toundra ». On comprend ainsi pourquoi c'est surtout dans les régions polaires que des sols polygonaux peuvent prendre naissance sur de vastes étendues, et non plus seulement dans le fond de petites dépressions.

Mais nous n'avons encore aucune explication bien claire du *mécanisme* qui a pu donner naissance à des courants de convection dans les sols. Signalons seulement à ce sujet les *deux hypothèses* suivantes :

1° K. GRIPP, reprenant une idée déjà émise par Low, continue à s'inspirer de l'expérience de BÉNARD; en effet, il invoque les *différences de température*, et par conséquent de densité, de l'eau imprégnant les sols argileux; il remarque que l'eau à 4° est plus lourde que l'eau à 0°; donc, au moment du dégel, quand l'eau des couches inférieures, au contact de la tjàle, reste encore à 0°, celle des couches supérieures, atteignant 4°, donne lieu à une inversion des densités, comme dans l'expérience de BÉNARD, et peut provoquer des courants de convection.

Mais, comme l'ont fait remarquer SALOMON<sup>8</sup>, puis CASTIGLIONI, il est difficile d'admettre que le « moteur » de ces courants, suffisants pour déplacer des débris rocheux atteignant un ou plusieurs décimètres de diamètre, puisse être dû uniquement à la différence de densité de l'eau à 4° ( $d = 1$ ) et à 0° ( $d = 0,999867$ ); il semble que les variations locales de densité dues à la teneur en boues doivent masquer celles dues à la température. Ainsi l'explication donnée par GRIPP paraît bien insuffisante<sup>9</sup>.

<sup>8</sup> W. SALOMON, Arktische Bodenformen in den Alpen (*Sitzungsber. d. Heidelberger Akad. d. Wiss., Math.-Naturwiss. Klasse*, Jahrg. 1929, 5. Abt.).

<sup>9</sup> Récemment, GRIPP a institué de nouvelles expériences en faveur de sa théorie, et il a repris la discussion avec POSER; voir K. GRIPP et W. G. SIMON, Nochmals zum Problem des Brodelbodens (*Centralbl. f. Min., etc.*, Jahrg. 1934, Abt. B, n° 6, p. 283).

2° J'ai proposé, dès 1931, d'évoquer à ce propos les *expériences* faites par le géologue américain Stephen TABER<sup>10</sup> pour élucider le problème du « gonflement des routes » en hiver dans les pays froids. S. TABER a étudié le *mode de congélation de cylindres d'argile imbibée d'eau*, maintenus dans un frigidaire. On constate qu'il y a « ségrégation » de la glace, qui se sépare de l'argile : lorsqu'un premier cristal de glace commence à se former, il attire à lui l'eau encore liquide qui imprègne l'argile à son voisinage ; le cristal grossit, et finalement devient le point de départ de la formation d'un véritable filon ou lentille de glace pure, tandis que la masse argileuse se déshydrate presque complètement.

Si on suppose (ce que TABER a pu réaliser expérimentalement) que la base du cylindre d'argile baigne dans une nappe d'eau (ou plutôt de sable imbibé d'eau constamment liquide, en dehors du frigidaire), on constate que la partie supérieure du cylindre argileux, qui se congèle, attire à elle l'eau liquide de la base, laquelle vient « nourrir » les filons ou lentilles de glace pure. Il y a eu *appel de matière*, donc *dilatation* (ce qui explique le « gonflement des routes », se produisant en hiver dans les zones à sous-sol humide). Et cette dilatation se produit même sous de très fortes pressions, atteignant 17 kgs par cm<sup>2</sup>. Les *courants ascendants* qui prennent naissance ainsi constituent un moteur suffisamment puissant pour expliquer le bouillonnement des sols polaires.

Cette tentative d'explication est assurément encore un peu vague et imparfaite, comme l'a bien fait remarquer CASTIGLIONI. Elle demanderait surtout à être appuyée sur des observations relatives à la structure profonde des sols polygonaux. Renvoyant à l'article de POSER pour une discussion plus approfondie, nous

---

<sup>10</sup> S. TABER, Frost heaving (*Journ. of Geol.*, 37, 1929). The mechanics of frost heaving (*id.*, 38, 1930). Freezing and thawing of soils as factors in the destruction of road pavements (*Public Roads*, U. S. Department of Agriculture, II, n° 6, 1930).

croions qu'il y a là une idée à retenir et d'où sortira sans doute une explication rationnelle des diverses particularités des sols polaires (filons ou lentilles de glace pure, « colonnes » ou « piliers » de glace, etc.).

Remarquons enfin que tout ce que nous venons de dire s'applique aux sols rigoureusement horizontaux. Si la surface est inclinée et que la solifluxion produite par la gravité vienne s'ajouter aux courants de convection internes, on aura alors des types de sols mixtes. Ainsi la solifluxion, s'exerçant sur un « sol polygonal typique », donnera lieu à un allongement des polygones suivant les lignes de plus grande pente, et cela nous conduira ainsi aux « sols striés », dans lesquels nous verrons s'allonger, suivant la pente, des bandes alternativement pierrees et terreuses. De tels sols sont en effet très fréquents dans les régions polaires et plus encore, relativement, dans les hautes montagnes de nos latitudes.

#### *Les sols polygonaux dans les Alpes.*

Les observations de sols polygonaux dans les Alpes sont, contrairement à ce que semble croire POSER, beaucoup plus rares que dans les régions polaires : il faut tenir compte en effet de ce que les Alpes ont été parcourues par des observateurs naturalistes bien plus nombreux que les pays polaires. Cette rareté tient à diverses causes.

D'abord, s'il existe vraiment une tjaie dans les hautes régions des Alpes, celle-ci ne pourra se rencontrer qu'au-dessus de la limite des neiges perpétuelles; or, là, les parties libres de neiges permanentes sont formées soit par du rocher à nu, soit par des éboulis en pente raide et généralement très épais. Les structures des sols polaires n'auront chance de se développer que sur les plateaux doucement ondulés, tout près de la limite des neiges, au-dessus de la zone des prairies alpines et au-dessous des névés permanents; cela restreint singulièrement les possibilités.

Le plus souvent, d'ailleurs, on ne pourra observer que des *sols striés*, lesquels ne sont pas en effet très rares. Mais les observations de véritables sols polygonaux typiques sont très peu fréquentes. SALOMON, puis CASTIGLIONI, ont récemment fait une révision générale de nos connaissances à ce sujet, et j'ai moi-même eu l'occasion <sup>11</sup> de rappeler quelques observations d'alpinistes non publiées.

Dans les Alpes françaises, A. ALLIX a décrit, mais sans photographies, des sols polygonaux typiques sur les plateaux du glacier du Mont de Lans (massif du Pelvoux). J'ai publié des photographies prises sur mes indications par M. E. RAGUIN dans le massif de la Vanoise.

Mais la photographie reproduite ici (pl. I) constitue probablement le plus bel exemple qui ait jamais été publié de sols polygonaux dans toutes les Alpes occidentales <sup>12</sup>.

Cette photographie a été prise par moi, en compagnie de M. L. MORER, en septembre 1933, c'est-à-dire pendant une période d'enneigement minimum. On se trouve dans la haute vallée de l'Ubaye, affluent de rive gauche de la Durance; là, entre le versant S. des Aiguilles de Chambeyron et le Brec de Chambeyron, s'étend un large fond de vallée, encombré de moraines qui lui donnent une topographie très irrégulière, avec nombreuses petites dépressions fermées, occupées ou non par de petits lacs, d'étendue fort variable suivant la saison. Les premières pentes montagneuses dominant la vallée sont formées par des calcschistes marmoréens et satinés du Crétacé supé-

<sup>11</sup> M. GIGNOUX, Un sujet d'observations scientifiques pour les alpinistes : la structure des sols dits « polaires » (*Congrès international d'Alpinisme à Chamonix en 1932. Rapports et travaux du Congrès, publiés par le Club Alpin Français, Paris, 1933*).

<sup>12</sup> Dans les Alpes orientales, de bonnes photog. ont été récemment publiées par MOHAUPT; voir les fig. 37 et 38 de la Thèse de W. MOHAUPT, *Beobachtungen und Kammeisbildungen aus dem Stubai und dem Grödener Tal (Inaugural-Dissertation, Hamburg, 1932)*.

rieur, dits « marbres en plaquettes »<sup>13</sup>, se clivant en éclats aplatis éminemment propres à mettre en évidence le « dressage » caractéristique des sols polygonaux. Mais le sous-sol profond de la vallée doit comporter des gypses du Trias, donnant en surface des effondrements qui contribuent à augmenter le caractère chaotique de la topographie. Le col frontière (France-Italie) auquel aboutit notre vallon s'appelle d'ailleurs « Col de la Gippiera », car sur le versant italien, plus raide et moins enneigé, les affleurements gypseux sont suffisamment nets pour avoir été remarqués par les gens du pays.

La photographie est prise tout près, et un peu au S., du petit Lac des Neuf-Couleurs, à l'altitude de 2850 m. environ. Il y a là une petite dépression, dans le fond de laquelle la neige ne disparaît que pendant une brève période d'automne; cette dépression est alors très humide, parsemée de flaques d'eau, comme on le voit sur la photographie. Le sous-sol doit livrer passage, pendant la fonte des neiges, à un écoulement souterrain assez important, dont on entend la rumeur en se penchant vers la terre.

La zone photographiée ici montre avec une grande netteté le réseau polygonal, séparant les cellules terreuses, les débris rocheux étant rassemblés suivant les arêtes des polygones; on remarquera que, le long de ces arêtes, ces débris sont redressés sur leurs tranches, même les plus gros. Ajoutons qu'au voisinage, cette région, que nous n'avons pu que parcourir rapidement, montrait toutes les variétés habituelles des sols polaires, en particulier des sols striés; il y aurait là un champ d'études très intéressant, d'accès facile grâce au Refuge du Chambeyron du Club Alpin Français (section de Barcelonnette).

---

<sup>13</sup> Voir la feuille Larche de la Carte géologique au 1/80.000. On trouvera une description générale de la région dans M. GIGNOUX, L. MORET et D. SCHNEEGANS, Observations géologiques dans le bassin de la haute Durance (*Travaux Lab. Géol. Univ. Grenoble*, 18, 1934).

En terminant, ajoutons que ces véritables sols polygonaux, de type polaire, ne doivent pas être confondus avec les « *sols polygonaux de dessication* », très fréquents dans toutes les régions où une couche superficielle argileuse est soumise à des alternatives de pluies et de sécheresses, ce qui est le cas dans les régions désertiques, où l'absence de végétation facilite les observations.

Il arrive parfois que les graviers et les pierres, chassés par le vent, viennent s'incruster dans les fentes de dessication, simulant ainsi les vrais sols polygonaux polaires. C'est ce que montre la photographie reproduite ici (pl. II); elle m'a été aimablement communiquée par M. L. DUBERTRET et a été prise, dans le désert syrien, dans la Khabra Seiss (100 km. E.S.E. de Damas), à 1 m. 20 du sol, par le lieutenant méhariste DELSENNY. On voit que la distinction est facile entre ces deux types de sols, qui n'ont évidemment rien de commun.

---