

Cycle d'évolution du tapis végétal et du relief du sol dans la haute montagne

Pierre Chouard

Citer ce document / Cite this document :

Chouard Pierre. Cycle d'évolution du tapis végétal et du relief du sol dans la haute montagne. In: Annales de Géographie, t. 43, n°245, 1934. pp. 449-477;

doi : <https://doi.org/10.3406/geo.1934.10669>

https://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1934_num_43_245_10669

Fichier pdf généré le 24/02/2020

ANNALES
DE
GÉOGRAPHIE

CYCLES D'ÉVOLUTION DU TAPIS VÉGÉTAL
ET DU RELIEF DU SOL
DANS LA HAUTE MONTAGNE

(PL. XIII-XVI)

J'ai montré, dans plusieurs publications botaniques, que la couverture végétale et le relief du sol parcourent des cycles d'évolution où ils réagissent mutuellement. Ces cycles sont faits de phases progressives et régressives, ces dernières généralement méconnues. Je me propose de reprendre ici l'exposé de ces faits, avec des exemples précis et nouveaux, provenant des hautes montagnes pyrénéennes ou alpines.

I. — TOPOGRAPHIE LACUSTRE ET VÉGÉTATION AQUATIQUE

A. Comblement des lacs et « flaques de colmatage » des pelouses. —

1. Évolution progressive. — L'évolution normale des lacs de montagne, le plus souvent d'origine glaciaire, est d'aboutir au comblement [3, 4, 5]¹. Il intervient d'abord des facteurs physiques : *sédimentation inorganique* par les éboulis, graviers, sables et limons ; *abaissement du plan d'eau* par usure du seuil d'écoulement. Puis entrent en jeu les facteurs végétaux : le lac se garnit de plantes disposées en ceintures concentriques ; elles agissent par *sédimentation inorganique provoquée* (encombrement du lac et rétention supplémentaire des éléments fins), et par *sédimentation organique* (dépôts d'origine végétale). Au fur et à mesure du comblement, les ceintures progressent de la périphérie vers le centre. Au stade final, le lac est

1. Les numéros entre crochets renvoient à la Bibliographie placée à la fin de l'article, p. 476-477.

remplacé par un fond plus ou moins plat, couvert de pelouses ou de forêts (fig. 1).

2. Évolution régressive. — Elle consiste en la *reconstitution de nappes aquatiques parmi les pelouses*.

La cause initiale est un *colmatage* rendant le sol ou le sous-sol imperméable. L'argile colloïdale est un agent puissant de colmatage dans les massifs granitiques ; elle arrête le drainage à travers les sous-bassements morainiques. Les sols tourbeux se colmatent par tassement. Les matières humiques, noirâtres et de réaction acide, souvent entraînées par les eaux de ruissellement à travers les forêts, colmatent les sols où elles se déposent et font périr les herbes des pelouses.

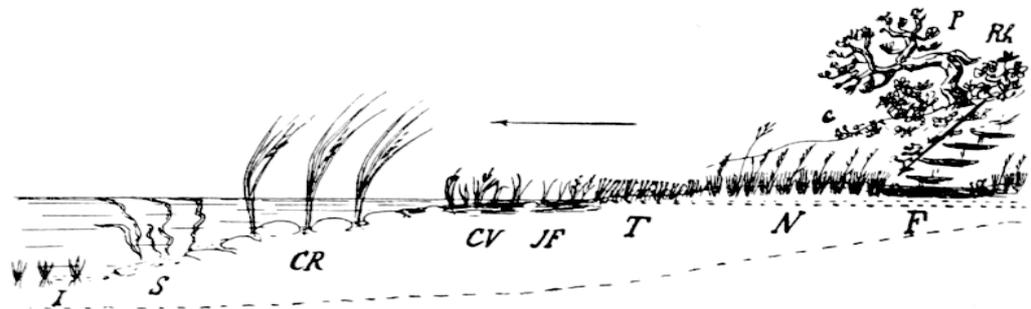


FIG. 1. — SCHÉMA DE LA SÉRIE PROGRESSIVE AU BORD D'UN LAC, D'APRÈS UNE COUPE DES LAQUETS D'ORÉDON.

I, *Isoetes* ; S, *Sparganium* ; CR, *Carex rostrata* ; CV, JF, *Carex vulgaris* et *Juncus filiformis* ; T, *Trichophoraie* ; N, *Nardaie* ; c, Rh, P, *Calluna*, *Rhododendron* et Pins ; F, flaques de colmatage par descente d'eaux noires venant de la forêt.

Le colmatage est suivi de *stagnation* de l'eau dans les moindres creux. Tantôt le poids des avalanches suffit à créer, sur une pelouse horizontale, de légers enfoncements. Tantôt, à la fonte des neiges, une divagation temporaire des eaux creuse le sol entre les touffes d'herbe. Le piétinement du bétail peut causer de petites dépressions.

L'herbe des pelouses meurt là où l'eau stagne. Les résidus d'herbe morte, macérés dans l'eau, intoxiquent les herbes voisines, et le phénomène s'étend à partir de la dépression initiale. D'abord la pelouse est remplacée par des herbes plus hygrophiles ; puis il ne reste qu'une vasière presque nue, où fermentent activement les débris végétaux et l'humus. La cuvette s'approfondit lentement par *fermentation*. Elle continue à s'agrandir par les bords : les touffes d'herbes, intoxiquées et sapées par en dessous, meurent et tombent une à une, laissant une petite berge abrupte (fig. 2).

Au stade final, la pelouse, installée sur une moraine ou un ancien fond lacustre, est percée de nombreuses flaques confluentes, garnies d'eau stagnante et de végétation lacustre. Il faut qu'elles évoluent à nouveau comme un lac, pour revenir au comblement [5, 17].

Exemples. — Dans le massif pyrénéen de Néouvieille, on assiste parfois, sur quelques mètres de distance, aux évolutions progressive et régressive.

Les petits lacs à fond plat, à berges en pente douce, donnent de bons exemples de séries progressives. Aux Laquets d'Orédon (2 079 m.) elles évoluent très lentement. Au lac Vert (2 300 m.), l'apport des graviers et la densité des herbes font prévoir un comblement total en peu de siècles.

Dans ces lacs, la série progressive est constituée par les peuplements suivants, appartenant au type *oligotrophe*, c'est-à-dire d'eaux faiblement minéralisées (fig. 1) :

1° Hydrophytes submergées (*Isoëtaie*), sous 60 cm. d'eau ou davantage, *Isoetes lacustris* dominant, parfois *I. Brochoni* ;

2° Hydrophytes flottantes (*Sparganiaie*), sous 30 à 70 cm. d'eau. *Sparganium affine* dominant, *Potamogeton*, *Ranunculus trichophyllus*, *Callitriche* ;

3° Hélophytes dressées (*Cariçaie*), sous 0 à 50 cm. d'eau. *Carex rostrata* (*C. ampullacea*) dominant, souvent densément ; *Eriophorum*, *Menyanthes* ;

4° Ceinture de petites hélophytes au ras de l'eau, seules capables de vivre dans la vase noire et mouillée descendue des prairies et forêts voisines (*Microcariçaie*) :

Carex vulgaris, *Juncus filiformis*, *Juncus alpinus* ;

5° Sur la vase humide, à peine au-dessus de l'eau, une pelouse en brosse courte (*Trichophoraie*) : *Scirpus* (*Trichophorum*) *cæspitosus* dominant, avec nombreuses associées. La *Trichophoraie* accumule une sorte de *tourbe* à *Carex* et à *Scirpus* capable d'exhausser modérément le sol ;

6° La *Prairie humide à Nard* (*Udo-nardetum*), avec *Nardus stricta* dominant, *Festuca rubra*, *Carex* divers, etc., s'étend à 5-15 cm. au-dessus de l'eau ; elle est aussi capable d'exhausser le sol par l'accumulation d'humus.

Au delà s'étendent des *Pelouses sèches*, ou la *Lande alpine*, ou la *Forêt de Pins*.

Les cas d'évolution régressive s'observent nettement au Marcadau (près Cauterets, 1 800 m.), dans le massif du Carlit, et surtout dans ce même massif de Néouvieille. Au pourtour des Laquets, ou des lacs du vallon d'Estibère,

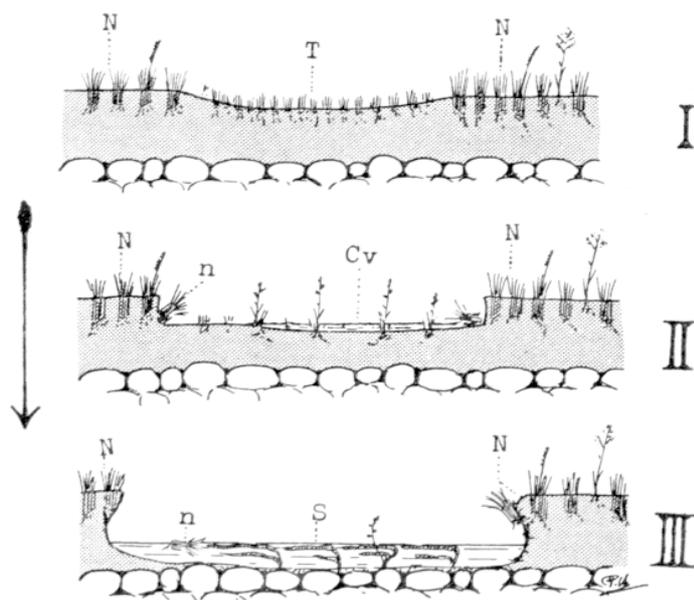


FIG. 2. — TROIS ÉTAPES DE L'ÉVOLUTION RÉGRESSIVE DES PELOUSES PAR COLMATAGE.

N, Nard ; n, touffes de Nard mortes et effondrées ; T, Trichophoraie ; Cv, vasière à *Carex vulgaris* ; S, flaque permanente à *Sparganium*.

la stagnation des eaux humifères descendues des forêts voisines crée de fréquentes flaques de colmatage dans les pelouses (fig. 1).

Les plus grandes et les plus variées sont au bas du vallon de l'Estaragne (1 900 m.), sur un replat morainique colmaté. On observe tous les stades, depuis le retour de la prairie sèche à l'*Udo-nardetum*, jusqu'à de grandes flaques de plusieurs ares, profondes de 20 à 60 cm., garnies de *Sparganiaie*. Les peuplements végétaux se succèdent dans l'ordre inverse des ceintures lacustres (fig. 2).

Le vallon médian d'Estibère présente, à 2 300 m., un fond lacustre comblé de graviers, exhaussé par 10 à 50 cm. de tourbe à *Carex* et à *Nard*, dans laquelle les divagations vernaies du torrent préparent de petits creux qu'agrandissent ensuite la stagnation et les fermentations. Il y a une ressemblance marquée avec une partie de l'évolution des Pozzines de Corse [14, 16].

B. Lacs tourbeux. — 1. Évolution progressive. — Elle consiste dans le comblement du lac par l'intervention des tourbières à Sphaignes progressant à leur surface comme un voile flottant qui s'épaissit peu à peu [7 à 9, 11 à 13, 15 à 19].

a) *Conditions de vie des tourbières lacustres à Sphaignes.* — Les Sphaignes sont des mousses aquatiques qui croissent en brins serrés, formant des coussins épais et spongieux. Leurs bases mortes se transforment en tourbe, tandis qu'elles continuent à s'accroître par la surface.

La vie des Sphaignes est réglée par leurs *besoins en eau* : elles doivent être constamment imbibées, mais non submergées. Parfois les pluies fréquentes suffisent à les alimenter. Mais le plus souvent il leur faut se procurer l'eau des sources ou des lacs ; elle diffuse à travers la masse spongieuse, tant en hauteur que latéralement, de sorte que les Sphaignes peuvent s'écarter assez loin de leur point d'eau et s'élever jusqu'à 50-70 cm. au-dessus de son niveau (tourbières supra-aquatiques). L'eau doit être dépourvue de calcaire, très faiblement minéralisée, neutre ou acide. L'acidification est achevée dans la masse des coussinets. Certaines espèces ont des exigences très étroites (sphaignes *sténoioniques*) ; d'autres ont une amplitude écologique plus large (sph. *euryioniques*) et sont capables de vivre même immergées dans l'eau neutre ; mais les premières seules sont édifiatrices de hauts coussinets.

Pour qu'un lac se garnisse de Sphaignes, il faut que son niveau soit constant, ses eaux tranquilles et sans calcaire, et que la tourbière possède deux *dispositifs auxiliaires* indispensables à sa progression : 1° il faut qu'un *bourrelet protecteur* sépare les Sphaignes de l'eau du lac, juste au ras de l'eau ; il est souvent formé d'autres mousses, et il sert à faire la transition entre l'eau du lac, généralement alcaline, et le milieu tourbeux acide ; 2° il faut qu'un *lacis de rhizomes flotteurs* habite la tourbière, car les Sphaignes pressées sont un peu plus denses



A. — COL DES GLIÈRES (HAUTE-SAVOIE).
Tourbière ombrogénique évoluée recouvrant les pentes.



B. — LAC BORIS (HAUTES-PYRÉNÉES).
Envahissement et régression ultérieure de la tourbière.



C. — ÉTANG DEL RACOU (PYRÉNÉES-ORIENTALES).
Détail d'évolution de la tourbière lacustre.



D. — LAC INFÉRIEUR D'ESTIBÈRE (HAUTES-PYRÉNÉES).
Tourbe morte, en porte-à-faux (*l*), vue par transparence.

Cliches P. Chouard.

que l'eau ; seules les souches légères des plantes vasculaires, riches en tissu aérifère, peuvent assurer la flottaison (fig. 3).

b) *Série progressive des tourbières lacustres.* — Du centre à la périphérie d'un lac tourbeux, on rencontre les peuplements suivants qui se remplacent peu à peu (fig. 3) :

1° Au large, les associations de plantes à bases immergées : hydrophytes submergées, hydrophytes à feuilles flottantes ;

2° Une ceinture d'hélophytes à rhizomes : *Carex rostrata*, *Menyanthes*, installées sur le fond vaseux, devant la tourbière, et aussi dans la

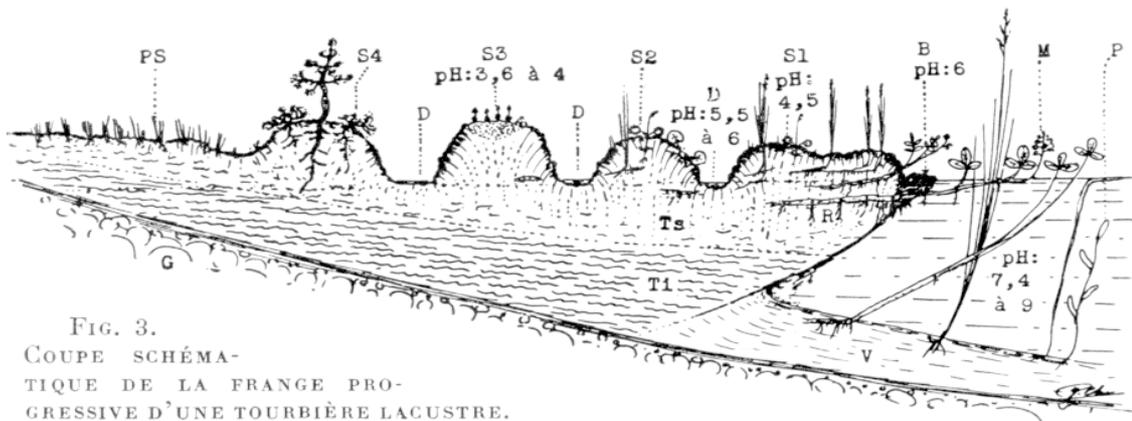


FIG. 3.
COUPE SCHÉMA-
TIQUE DE LA FRANGE PRO-
GRESSIVE D'UNE TOURBIÈRE LACUSTRE.

P, Potamots ; M, *Menyanthes*, *Carex rostrata*, *Comarum* ; B, bourrelet protecteur ; R, Rhizomes flotteurs ; S₁, Sphagnaie bombée jeune ; S₂, butte de Sphaignes, *Drosera*, etc. ; S₃, butte plus élevée, à sommet desséché, avec fourmilière et *Polytrichs* ; S₄, butte recouverte d'Éricacées ligneuses et de Pins ; D, dépressions mouillées entre les buttes de Sphaignes ; S₁ à S₄ et D constituent le complexe de croissance ; PS, prairie tourbeuse ; Ts, tourbe jeune, spongieuse ; T₁, tourbe tassée, imperméable ; V, vase fluide ; G, fond de gravier. — Le pH des principales parties est marqué sur la figure.

tourbière même, d'où elles s'avancent, flottant sur l'eau, avec *Comarum palustre* ;

3° Le *bourrelet protecteur*, formé d'*Hypnum fluitans*, *H. stellatum*, autres mousses diverses et Sphaignes euryioniques ;

4° La *Sphagnaie bombée*. C'est un feutrage de coussins serrés, dépassant l'eau de 20 à 30 cm. Il est formé par les Sphaignes sténioioniques (*Sphagnum acutifolium*, *cymbifolium*, *subsecundum*, *tenellum*, *medium*, etc.), par des survivants de la Cariçaie de bordure, par d'autres plantes à souches légères (*Carex canescens*, *C. stellulata*, etc.), et par de petites associées (*Drosera rotundifolia*, *Viola palustris*, etc.) ;

5° En arrière se trouve le *complexe de croissance* (*Regenerations-complex* [20]) ou *tourbière motteuse* [8] (cf. S₁-S₄, fig. 3), formé de *buttes* et de *creux* : buttes élevées, faites de Sphaignes mortes au sommet, où s'installent des mousses xérophiles, des sous-arbrisseaux nains (*Calluna*, *Erica tetralix*, *Empetrum*, *Andromeda*, *Oxycoccus*) et des *Pinus*

uncinata rabougris. — buttes moins hautes, formées seulement de Sphaignes actives (comme plus haut § 4^o), — dépressions où l'eau se rassemble, habitées par un lacin de mousses hydrophiles, d'algues, de *Potamogeton polygonifolius*, *Carex limosa*, *Scheuchzeria*, *Utricularia*, *Rhynchospora*, *Drosera intermedia*. Cette dernière flore, riche en Auvergne, dans les Vosges et le Jura, est beaucoup plus pauvre dans les hautes montagnes.

On passe, en arrière, à la prairie tourbeuse, ou plus souvent à la lande tourbeuse, puis à la forêt.

c) *Consolidation des tourbes lacustres*. — La tourbe récente est jaunâtre, spongieuse, perméable. La vieille tourbe est noirâtre, tassée

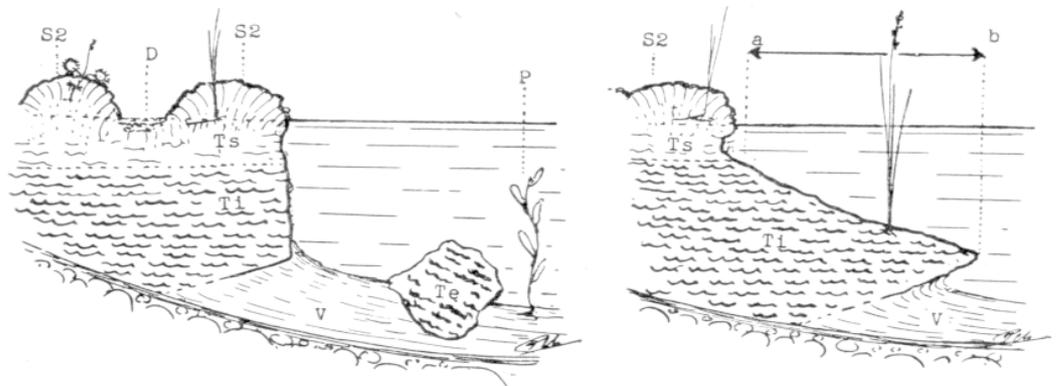


FIG. 4. — COUPES SCHÉMATIQUES DE LA FORME DES BORDS D'UNE TOURBIÈRE LACUSTRE EN RÉGRESSION A LA MARGE INTERNE.

A gauche, bord abrupt, avec bloc de tourbe effondré, Te. — A droite, bord de vieille tourbe se profilant sous l'eau ; la tourbière a certainement régressé d'au moins la distance $b \rightarrow a$. — Mêmes abréviations que pour la fig. 3.

et compacte, imperméable. Au bord du lac, la tourbière s'installe d'abord sur les supports au ras de l'eau, puis s'étale sur l'eau. Bientôt, sur les hauts-fonds voisins, le voile flottant de Sphaignes ne tarde pas à entrer en contact, par sa base, avec le sol. Mais là où le lac devient plus profond, la frange tourbeuse reste longtemps flottante. La face inférieure de la tourbière flottante est protégée, près du bord, par le lacin des racines et des rhizomes flotteurs. Plus profondément, elle se délite au contact de l'eau, et se raccorde avec une pente de vase molle qu'elle a formée et qui masque le fond rocheux. Plus en arrière, l'accumulation de tourbe est assez épaisse pour rejoindre le fond ; la tourbière est consolidée, et, par-dessus, la croissance tourbeuse est limitée par la hauteur d'ascension capillaire de l'eau dans les Sphaignes (fig. 3 ; pl. XIII, B et C).

2. Évolution régressive — a) *Régression à la marge interne*. — C'est l'érosion par le lac. Il peut démolir la tourbière et regagner du terrain perdu. Ce phénomène se produit quand les vagues brisent le

bourrelet protecteur et mouillent les Sphaignes d'eau alcaline. Les mottes de Sphaignes meurent, tombent dans le lac ou s'y délitent. Le bord de la tourbière affecte un contour concave (golfe d'érosion), une tranche verticale, ou une pente oblique de tourbe nue et submergée, témoignage de l'ancienne extension tourbeuse (fig. 4) [13].

Les variations brusques de niveau du lac produisent le même effet (par submersion ou dessèchement) et détachent parfois des promontoires tourbeux en îles flottantes [12].

Ces phénomènes interdisent l'existence de tourbières dans les grands lacs à eaux agitées, sauf dans les anses calmes, ou derrière d'épais rideaux de grandes hélophytes.

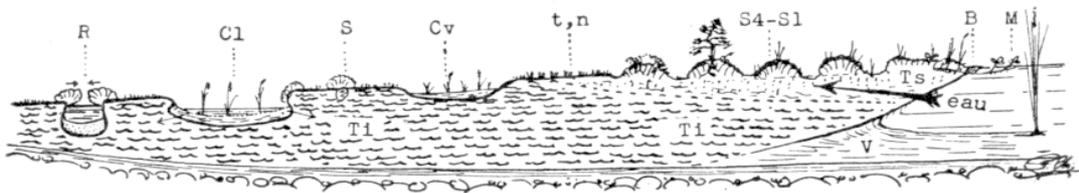


FIG. 5. — COUPE SCHÉMATIQUE D'UNE LARGE TOURBIÈRE LACUSTRE, AVEC RÉGRESSION EN SURFACE.

S₄-S₁, *complexe de croissance*, reposant sur la tourbe spongieuse, alimenté par l'eau du lac. En arrière, à gauche, le *complexe de stagnation* et ses formes de régression, sur vieille tourbe, et mal alimenté en eau. t, n, Trichophoraie ou Nardaie; S, butte de Sphaigne, à l'occasion d'un rocher éboulé; Cv, Cl, flaques de stagnation, vasière à *Carex vulgaris*, ou à *C. limosa*; R, ruisseau érosif, avec bords recouvrants par l'action d'une galerie de Sphaignes. — Mêmes abréviations que pour la fig. 3.

b) *Régression à la surface*. — Quand le voile tourbeux s'est largement étendu sur le lac, les parties anciennes sont exposées à une certaine régression. Elles sont, soit trop élevées au-dessus du niveau de l'eau, soit trop éloignées de la nappe d'eau libre, pour que leur irrigation reste suffisante (du moins quand les pluies n'y pourvoient pas). Les Sphaignes de la tourbière motteuse meurent, et la surface est exposée à des alternatives de sécheresse et de stagnation d'eau sur le soubassement imperméable de tourbe. C'est le *complexe de stagnation* (*Stillstandcomplex* [20]), formé par une Nardaie humide ou une Trichophoraie sur la tourbe en saillie, et par des vasières à *Carex vulgaris* ou à *Carex limosa* sur la tourbe déprimée. La fermentation de la tourbe inondée approfondit peu à peu ces vasières et les transforme en larges flaques (fig. 5 et pl. XIII, B).

Les ruisseaux allant au lac provoquent aussi des phénomènes d'érosion, permanente ou temporaire. Généralement ils circulent dans un profond chenal, creusé dans la tourbe, à demi recouvert par une galerie progressive de mousses hypnacées et de Sphaignes.

c) *Régression en profondeur* : reconstitution de nappes lacustres par

effondrement. — Ces faits, souvent méconnus, affectent grandement le cycle évolutif des lacs. — Les pentes voisines déversent des sources. A leur arrivée à la marge externe de la tourbière, les eaux se partagent : les unes serpentent à la surface de la tourbière ; les autres s'enfoncent *sous la tourbe*, dans le lit de graviers du fond du lac primitif. Ces eaux sont mises en charge sous la tourbe comme un nappe artésienne. Séparées souvent de la base de la tourbe par une couche de limon argileux, elles ne ressortent qu'au centre du lac encore libre de tourbe. Mais, là où elles entrent en contact avec la tourbe, elles déclenchent des phénomènes de *fermentation en profondeur*. En effet, ces

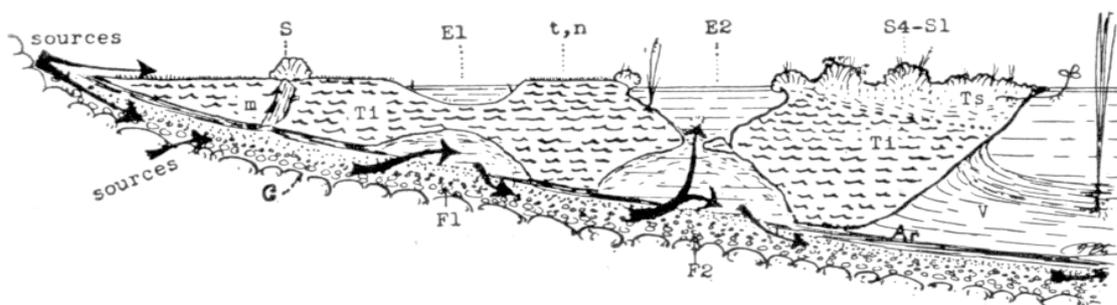


FIG. 6. — COUPE SCHÉMATIQUE D'UNE TOURBIÈRE LACUSTRE AVEC RÉGRESSION EN PROFONDEUR.

Les eaux suivent le trajet des flèches : F₁, zone de fermentation en profondeur, peu avancée, avec affaissement corrélatif en surface, E₁ ; F₂ et E₂, fermentation plus avancée, trou d'effondrement en sablier (= entonnoir cratériforme) avec dégagement d'eau et de gaz. — Ar, couche d'argile ou de limon ; G, couche de graviers perméables. S et m, butte de Sphaignes installée à l'occasion d'une lente remontée d'eau le long d'un tronc mort enfoui. — Mêmes abréviations que pour les fig. 5 et 3.

eaux récemment enfouies sont assez oxygénées, relativement tièdes (en été), alcalines (par attaque des feldspaths) ; et d'autre part les ferments bactériens restent vivants dans la tourbe durant des centaines de siècles [6, 10]. A la suite de ces fermentations aérobies ou semi-aérobies, la tourbe se transforme en gaz et en boue fluide. Le poids de la couche sus-jacente, de la neige en hiver, aide à chasser la tourbe liquéfiée avec l'eau s'écoulant par en dessous. Bientôt, la surface s'affaisse ; l'eau y stagne, et la fermentation en surface agrandit et approfondit la dépression. Par-dessus et par-dessous, les deux creusements de la tourbe vont au-devant l'un de l'autre, jusqu'à se rejoindre en un *grand trou plein d'eau, profond, en forme de sablier (trou d'effondrement, entonnoir cratériforme [15])*. Au centre du trou, encombré de vase fluide, jaillissent l'eau de profondeur et les gaz de la fermentation. Le trou s'agrandit indéfiniment, formant un petit lac, jusqu'à ce que s'établisse autour de lui une ceinture tourbeuse, progressive et flottante (fig. 6, pl. XIII, D, B et C).

Cette évolution demande de nombreux siècles. A son terme, après plusieurs alternatives de comblement tourbeux et de retour à l'état lacustre par fermentation de la tourbe, le comblement définitif (sauf flaques superficielles de colmatage) se produit par le dépôt des matériaux infermentescibles qui persistent comme résidus [15, 17].

Exemples. — La nature a réalisé un ensemble complet et démonstratif de tous ces phénomènes au lac inférieur d'Estibère (2 210 m.) (Hautes-Pyrénées) ; des sondages nombreux ont permis de vérifier les faits en profondeur [15]. Le débit gazeux, l'observation de repères depuis sept ans montrent que les fermentations profondes dissolvent, en moyenne, 10 à 100 dm³ de vieille tourbe par an et par trou. L'origine du phénomène remonte donc à plusieurs dizaines de siècles pour les trous de 100 m³.

Le lac Boris (2 350 m.), dans la vallée voisine de Port-Bielh, montre un lac comblé aux deux tiers par un voile progressif de tourbe, régressée par stagnation en arrière, et percée d'un seul énorme trou d'effondrement qui a reconstitué une nouvelle nappe d'eau libre presque aussi grande que ce qui reste actuellement du lac originel [17] (voir pl. XIII, B).

L'étang del Racou (2 200 m.), dans le massif du Carlit, a été entièrement comblé ; la seule nappe centrale qu'il présente est due à la régression par attaque en profondeur [19] (voir pl. XIII, C). On observe des faits comparables dans les lacs tourbeux d'Auvergne (Bourdouze [18]), des Alpes (lac Luitel [22]), etc.

Pour l'étude des successions progressives, les points de choix se trouvent dans les lacs d'Auvergne (Chambédaze, Bourdouze, les Esclauzes, ...[11, 12], d'Aubrac, du Jura (Bellefontaine, Les Mortes...), des Vosges (Lispach). Les phénomènes de régression à la marge interne sont très nets dans les lacs de l'Aubrac [13]. Le balancement du niveau a détaché des îles flottantes en Auvergne, aux lacs des Esclauzes et de Laspialade [12].

C. Tourbières de recouvrement, enregistrement de leur histoire. — On distingue plusieurs sortes de tourbières d'après la manière dont elles sont alimentées en eau : 1^o *tourbières topogéniques*, liées à une alimentation née de la configuration du sol, source, ruisseau, lac ; elles ne peuvent s'écarter beaucoup de leur point d'origine ; — 2^o *tourbières ombrogéniques* (de ομβρος = pluie), alimentées suffisamment par les eaux météoriques ; elles caractérisent les climats à pluviosité forte et fréquente ; leur croissance en hauteur n'est limitée que par le changement du climat ; toujours formées de Sphaignes, elles ont une forme caractéristique en grande lentille bombée ; — 3^o *tourbières soligéniques*, exagération des précédentes ; elles s'étendent sur les pentes, où elles bénéficient à la fois de l'eau de pluie et de l'eau de ruissellement [20].

Certaines tourbières topogéniques peuvent exercer des actions limitées de recouvrement, et, à ce titre, agir sur le modelé. Ce sont les *tourbières de pentes*.

1. Tourbières de pentes, acides, à Sphaignes. — Elles s'installent au-dessous des petites sources dont l'eau s'étale et ruisselle sur les pentes [8, 18]. Chaque roche, chaque caillou, rassemble l'eau à sa face aval. C'est au pied de ce « rocher-source » [15] que s'installe un coussin de Sphaignes, avec ses associées. Bien alimenté en eau par la base, il arrive souvent à recouvrir le rocher, et à rejoindre le peuplement de lande sèche qui s'est installé à la face amont (fig. 7). Les mottes voisines de Sphaignes peuvent confluer. La pente est alors revêtue d'un manteau mamelonné de tourbe. Au stade final, la pente garnie de sources conserve un placage discontinu de tourbe.

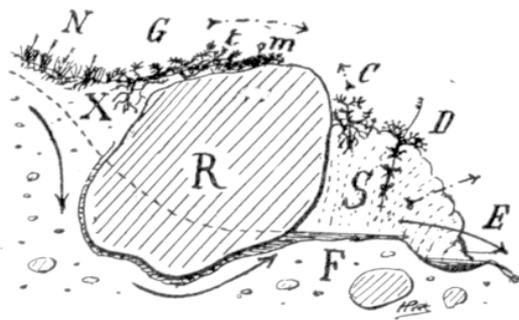


FIG. 7. — COUPE SCHÉMATIQUE D'UN « ROCHER-SOURCE », ÉLÉMENT CONSTITUTIF DES TOURBIÈRES DE PENTES À SPHAIGNES.

L'eau suit les flèches et s'accumule à l'aval du rocher, formant une flaque (F), où s'installe un coussin ascendant de Sphaignes (S), tandis que l'amont du rocher, milieu xérophile (X), est peuplé par la pelouse ou la lande.

sans pouvoir s'élever. Néanmoins, elles peuvent édifier de la tourbe lorsqu'elles s'installent au-devant d'une source, formant barrage, divisant l'eau en filets qui mouillent sans submerger. Devant certaines

2. Tourbières de pentes, alcalines, à Hypnacées. — Ces mousses vivent au ras de l'eau,

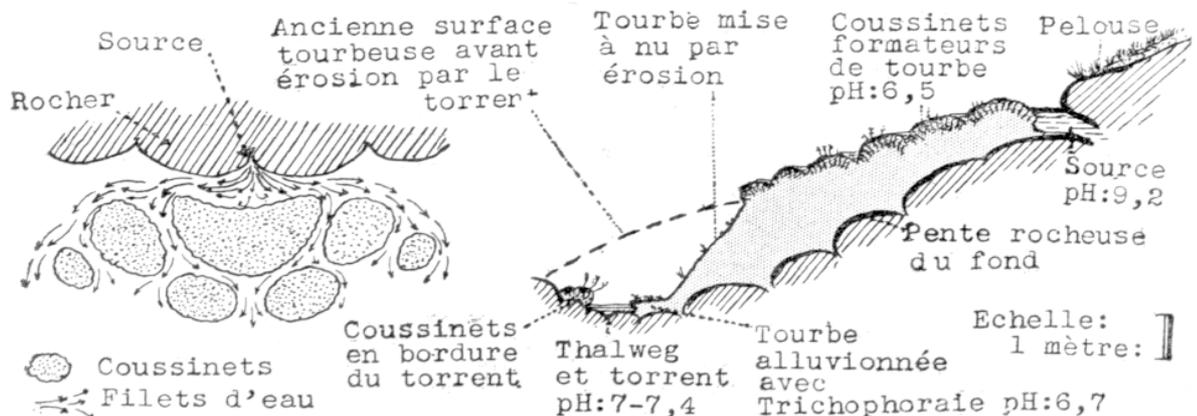


FIG. 8. — CROQUIS D'UNE TOURBIÈRE DE PENTE, ALCALINE, SANS CALCAIRE.
A gauche, vue en plan ; à droite, en coupe.

sources très alcalines (potasse des feldspaths), elles peuvent former un placage discontinu de tourbe, épais de plusieurs mètres [21] (fig. 8).

Exemples. — En Auvergne sur les pentes Sud du Puy Ferrand et du Cézalier, dans les Pyrénées au plateau du Lienz, près de Barèges, sont les meilleurs exemples des tourbières acides de pentes [8, 18 ; 15].

En pays de hautes montagnes calcaires, la tourbe est rare : placages de tourbe et de tuf auprès du Lautaret (Hautes-Alpes), vallon tourbeux au col Bayard près de Gap [22], taches tourbeuses devant les très rares sources des plateaux du Haut-Aragon (Pardina).

Le meilleur exemple de tourbe d'eau alcaline en pays granitique est dans le massif pyrénéen de Néouvielle, au vallon oriental d'Estibère (2 300 m.) : le long d'une moraine ruisselante sont des placages de 2 m. de tourbe, obstruant le thalweg, de sorte que le torrent s'y creuse de profondes tranchées [21].

3. Tourbières de recouvrement, ombrogéniques et soligéniques. — Seules elles sont capables de vastes effets de recouvrement (*Terrainbedeckendemoore*) [20]. Fréquentes en Écosse, en Bohême,

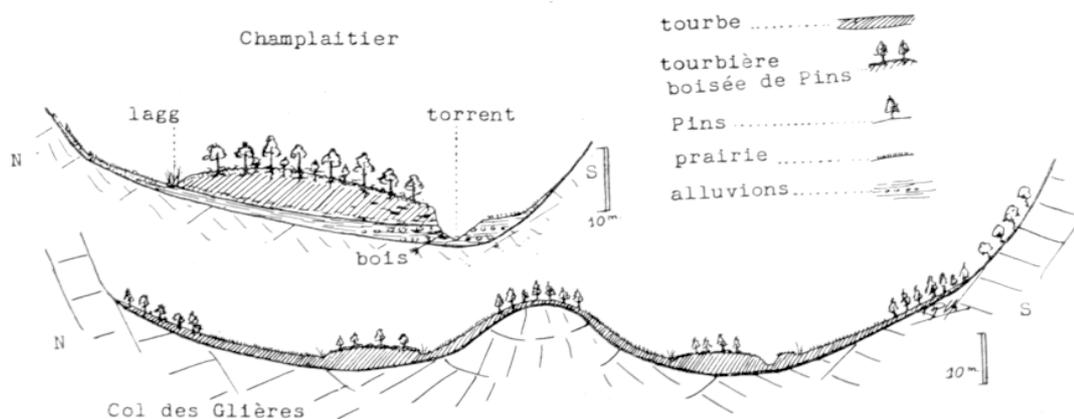


FIG. 9. — COUPES SIMPLIFIÉES DE GRANDES TOURBIÈRES DE RECOUVREMENT DE LA SAVOIE.

En haut, tourbière ombrogénique de Champlaitier ; hauteurs exagérées quatre fois. — En bas, tourbières ombrogéniques et manteaux de tourbe soligénique du col des Glières ; hauteurs exagérées six fois.

elles sont assez rares dans les montagnes françaises. C'est en Savoie que la grande pluviosité leur a permis de se développer [22]. Leur fonctionnement, cependant, est arrêté ou ralenti maintenant. L'examen de leurs coupes permet de retracer une partie de leur histoire, liée à celle du climat. Il est certain qu'elles ont succédé, bien après le retrait glaciaire, à une période relativement tiède et pas trop pluvieuse. Leur développement a été corrélatif d'une époque de grande pluviosité. Leur arrêt marque une légère diminution de la pluviosité, assez récente, mais certainement antérieure à 600 à 700 ans.

Exemples. — A Champlaitier (Alpes d'Annecy, 1 350 m.) s'étend sur quelques hectares une lentille ombrogénique de tourbe de 4 à 5 m. d'épaisseur. Le torrent l'érode d'un côté et montre, sous la tourbe, un soubassement d'alluvions argileuses et caillouteuses avec bois et noisettes. Donc le climat était déjà assez chaud pour permettre le boisement, mais pas assez pluvieux pour l'installation de la tourbière. La surface actuelle est formée de Sphaignes densément peuplées de lande et de Pins [22] (fig. 9).

Au col des Glières (1 420 m.), dans le voisinage, la vaste dépression est entièrement recouverte, sur ses mamelons et la base de ses versants, d'un manteau continu de tourbe soligénique, épais de 2 à 6 m. Sur les pentes, le sondage seul révèle la tourbe, masquée sous des prairies ou des bois de Pins. Dans les dépressions, il y a encore des Sphaignes actives, mais peuplées de lande et de Pins à crochets [22] (fig. 9 et pl. XIII, A). De même à Somand (1 400 m.), au Nord de Taninges, une vaste dépression est occupée par une tourbière active densément peuplée de Pins. Or nulle part on ne trouve de bois ni de souches de Pins fossilisés dans ces tourbes, pas même à la surface. Il s'ensuit donc que la pluviosité du climat a diminué récemment, au point d'arrêter la croissance de la tourbe sur les pentes, et de permettre le boisement des bas-fonds tourbeux. Les plus anciens Pins, âgés de 600 à 700 ans, sont probablement les premiers qui se soient installés là, et ils datent l'ancienneté minima de ce dernier changement climatique [22, 27].

II. — PENTES MEUBLES ET VÉGÉTATION FORESTIÈRE

La majeure partie des versants des hautes vallées de montagne est recouverte d'éboulis ou de placages glaciaires, c'est-à-dire de matériaux meubles. Il importe de savoir comment se fait l'installation de la couverture végétale, et notamment de la forêt, protectrice du modelé, ainsi que sa régression.

A. Évolution progressive : colonisation des pentes meubles. — L'orientation, l'altitude, les dimensions et la nature chimique des matériaux meubles règlent le mode de colonisation [23, 24]. Pour simplifier, j'envisagerai seulement ce qui se passe dans le massif granitique de Néouvieille, au-dessus de 1 800 m. [1, 27, 28].

1. Éboulis de gros blocs à la soulane. — Les blocs dépassent 20 cm. de côté, sur pente exposée au soleil. Il faut distinguer, biologiquement, plusieurs niveaux dans ce milieu complexe (voir fig. 10) [26, 28] :

Niveau n° 1 (*superficiel nu*) : surface des blocs exposée au soleil ; sec, sauf pluie ; grande amplitude des variations thermiques (souvent 50° en 24 heures).

Niveau n° 1 *bis* (*superficiel terreux*) : légers creux, un peu abrités, où s'amassent les débris de gravier et de sable.

Niveau n° 2 (*subcaverneux*) : entre les blocs, creux profonds ne recevant que de la lumière diffuse ; état hygrométrique plus élevé ; température plus fraîche, moins variable.

Niveau n° 3 (*caverneux profond*) : en profondeur ; obscurité totale, humidité élevée, souvent nappe d'eau circulante ; température fraîche et constante.

Le peuplement se fait en plusieurs temps :

1° A l'origine, *phase totalement abiotique* ;

2° *Phase des cryptogames* : en 1, lichens saxatiles incrustants ; en 2, mousses et hépatiques, souvent en coussinets ; en 3, rien, ou algues ou champignons ;

3° *Phase des végétaux herbacés* : en 2 poussent d'énormes touffes de Fougères, plus tard des Framboisiers ; en 1 bis poussent des Graminées (Fétuques, *Calamagrostis arundinacea*, ...). Le niveau 3 est occupé par les racines ;

4° *Phase des végétaux sous-frutescents (lande)*. C'est l'heure du pionnier fondamental, le Raisin d'Ours (*Arbutus Uva-Ursi*). Il prend pied en 1 bis, rarement en 2. Il s'étale sur les rochers, recouvre le

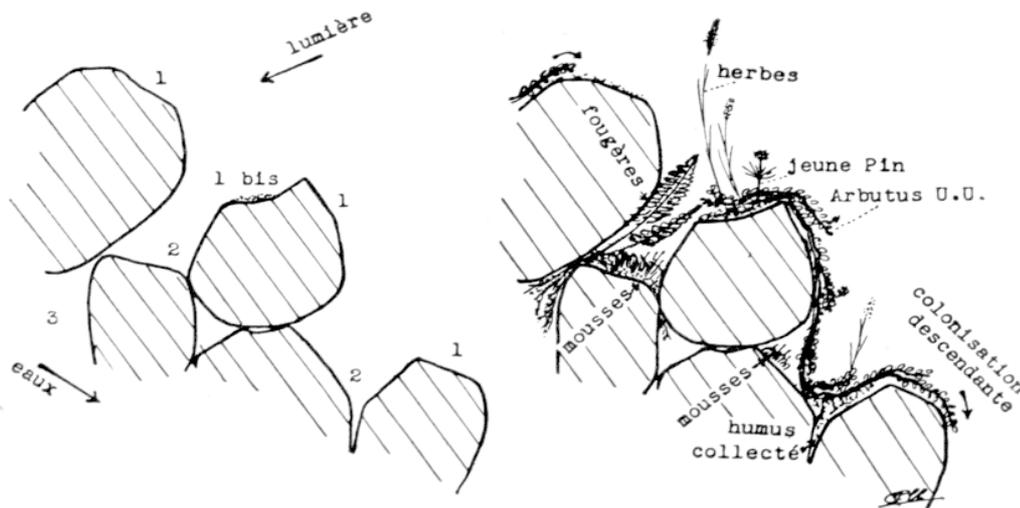


FIG. 10. — COUPE, A PEINE SIMPLIFIÉE, DANS UN ÉBOULIS DE GROS BLOCS, A LA SOULANE.

A gauche, l'éboulis nu, avec les numéros désignant les divers niveaux biologiques. A droite, l'éboulis en cours de peuplement par le Raisin d'ours (*Arbutus Uva-Ursi*). Remarquer les racines qui plongent dans le milieu n° 3.

niveau 1, retombe plus bas (colonisation descendante, fig. 10), progressant à raison de 3 à 10 cm. par an. Dans chaque creux ses rameaux se replient, recueillent les feuilles mortes sur leur lacis, poussent de vigoureuses racines dans ce terreau, et repartent de plus belle. L'éboulis finit par être recouvert d'un manteau d'*Arbutus*, parsemé de plantes associées et de reliques des niveaux 1 bis et 2. Il accumule un terreau épais sous lequel l'éboulis est enseveli ;

5° *Phase forestière*. Le Pin (*P. silvestre* jusqu'à 2 200 m. ; *P. à crochets* jusqu'à 2 600 m.) réussit parfois à pousser d'emblée dans une pente garnie d'humus. Mais il ne se développe bien qu'en s'installant dans la lande à Raisin d'Ours, où il donne une magnifique forêt clairsemée. A son ombre, l'Airelle Myrtille remplace en partie l'*Arbutus* (pl. XIV, A).

2. Éboulis de gros blocs à l'ombrée. — On y reconnaît les mêmes niveaux, mais ils sont plus rapprochés de la surface. Les phases

de peuplement se succèdent dans le même ordre, mais les espèces sont souvent différentes [26, 27, 28].

A la phase 2, les mousses sont beaucoup plus luxuriantes, et développent beaucoup d'humus.

A la phase 3, les Fougères s'installent aux niveaux 2 et 1 bis, les Saxifrages et Joubarbes en 1 bis et 1.

A la phase 4, le grand pionnier est le *Rhododendron*, germant en 1 bis et 2. A son ombre le tapis muscinal gagne la surface des rochers, d'autres *Rhododendrons* y germent, et la lande à *Rhododendrons*

devient continue. Son principal caractère est d'être pourvue d'une strate muscinal très épaisse, fabricante de beaucoup d'humus, ennoyant complètement l'éboulis.

A la phase 5, au lieu de la forêt de Pins sylvestres, c'est la forêt de Pins à crochets et de Bouleaux, avec sous-bois de *Rhododendrons* et strates de mousses.

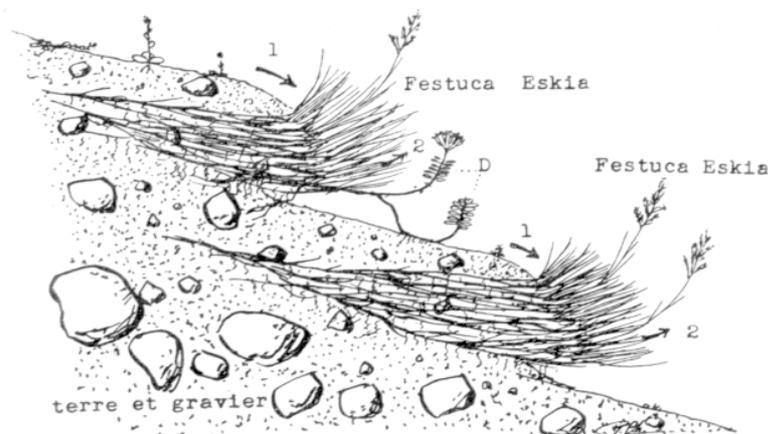


FIG. 11. — COUPE DANS UNE PENTE MEUBLE D'ÉLÉMENTS FINS, RETENUE PAR UNE PELOUSE EN ESCALIER A *Festuca Eskia*.

La pente n'est pas exagérée sur la figure. Les flèches désignent : 1, sens d'écoulement du gravier ; 2, sens de croissance de la Fétuque. Si le sol ne croule pas trop vite, *Daphne Cneorum* (D) peut prendre pied, et, avec les autres Chaméphytes, transformer la pelouse en lande alpine.

Au-dessus de 2 500-2 600 m., faute des pionniers sous-frutescents, les éboulis de gros blocs ne se peuplent que de mousses et de quelques fougères, et restent à l'état de « chaos » ou de « raillères ».

3. Éboulis d'éléments fins. — Il n'y a plus qu'un seul niveau d'installation, la surface de l'éboulis, équivalent au niveau 1 bis des éboulis à gros blocs. Ici le substratum est toujours mobile, entraînable par le ruissellement, tant qu'il n'est pas recouvert complètement par les plantes. Le rôle de pionnier est pris par des plantes à longues souches ramifiées, fixatrices du sous-sol. D'autres espèces jouent le rôle d'agents de tapissage [23, 24, 25].

Parmi les pionniers à rhizomes, l'Oseille *Rumex scutatus* est le plus actif, dans toutes les situations, au-dessus de 2 000 m., avec *Silene inflata* et d'autres associées. Plus haut, *Crepis pygmaea*, *Galium cometerrhizon*, etc., jouent le même rôle [17, 28].

Les pionniers de recouvrement varient selon l'altitude et l'exposition : steppe à *Calamagrostis argentea* aux expositions chaudes sous 1 600 m., steppe en escalier à *Festuca scoparia* plus haut, pelouses à *Festuca rubra* et *Agrostis* entre 1 700 et 2 400 m., *Carex curvula* et ses associées au-dessus, etc.

Entre 2 200 et 2 700 m., sur les pentes les plus exposées aux glissements de neige, un pionnier remarquable est le Gispet (*Festuca Eskia*), qui assure à lui seul la fixation du sous-sol, la couverture partielle, et la retenue du sol mouvant par ses barrages de touffes drues. S'allongeant sous le flux du sol, il résiste à l'ensevelissement (fig. 11).

Dans une dernière phase, les végétaux ligneux, devancés par la rapide croissance des herbes sur ces sols fins, s'implantent plus ou moins aisément dans le tapis herbacé : lande alpine à Rhododendrons, à Airelles, à Genévriers, à *Daphne Cneorum*, selon l'altitude ou l'exposition, suivie d'un boisement par les Pins. Cependant, les couloirs très humides, et les pentes trop raides où *Festuca Eskia* seul tient pied, ne réussissent pas à être boisés.

B. Évolution régressive : dégradation des forêts et pelouses. — Il y a deux stades principaux de régression, tous deux *provoqués par l'active dépaissance des troupeaux*, à travers les forêts [1, 27, 28].

Le bétail brise les branches au ras du sol, écrase ou broute les semis naturels de régénération, dévore les jeunes pousses. Il tasse le sol qui devient moins perméable. Le sol, moins couvert, plus éclairé, subit davantage d'oxydations et s'appauvrit en humus. La hache et le feu des bergers complètent brutalement cette œuvre destructrice de la forêt ou de la lande.

Ainsi modifié, le sol devient propice aux herbes : *Festuca rubra*, *Agrostis*, *Nardus*, qui forment, dans les clairières toujours agrandies, des tapis de gazon.

Ces vastes étendues de pelouses pastorales, entre 1 500 et 2 500 m..., ne sont pas le résultat de l'évolution progressive naturelle, mais de l'évolution régressive due au pâturage lui-même.

La lande alpine se présente, tantôt comme le stade final de l'évolution progressive naturelle au-dessus des limites forestières, tantôt comme une forme de demi-dégradation de la forêt, tantôt comme un stade de retour à la forêt après abandon total ou partiel du pâturage. Son interprétation est toujours délicate [25, 27, 28] (pl. XIV, B).

La pelouse pâturée, stade de demi-régression, met le modelé en danger. En effet, les eaux pénètrent moins facilement dans ces sols tassés que dans l'humus forestier ; elles ruissellent davantage, érodent le sol entre chaque touffe d'herbe. Il suffit d'un trou de taupe, d'une légère surcharge pastorale, pour qu'apparaissent des écorchures. Dès que le déchaussement de quelques touffes d'herbe a

déterminé un talus d'érosion en pente raide, toute la montagne est menacée (fig. 12, et pl. XIV, C et D). Aucune plante ne peut coloniser un sol meuble en telle pente ; il est donc entraîné ; les touffes voisines sont sapées et s'éboulent à leur tour ; l'écorchure s'agrandit indéfiniment par érosion remontante. Si le substratum est fait d'éléments fins, toute la pente peut être érodée sur une grande épaisseur ; s'il est constitué de gros blocs, tout le sol végétal qui le recouvrait peut être entraîné. C'est alors la régression complète, qui devra être suivie d'une nouvelle colonisation complète, soit du sous-sol ainsi

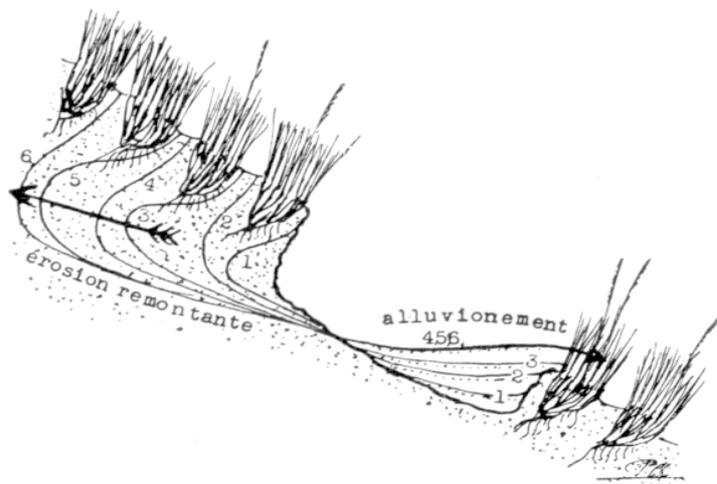


FIG. 12. — SCHEMA DE LA MANIERE DONT LE DÉCHAUSSEMENT DE QUELQUES TOUFFES D'HERBES PEUT PROVOQUER L'ÉROSION INDÉFINIE D'UNE PENTE.

1-6, stades successifs, déchaussement des touffes en amont.

d'équilibre, ne la font pas régresser. Quand on observe une régression évidente et active, c'est qu'il y a eu, à son origine, changement dans le climat, ou, plus souvent, introduction du bétail.

Exemples. — Autour d'Orédon (Hautes-Pyrénées) s'observent facilement tous les stades progressifs et régressifs indiqués ici, des éboulis à la forêt, et de la forêt continue à la forêt-clairière, à la pelouse, à l'érosion (pl. XIV, A, B, C et D).

Le peuplement des pentes de gros blocs est très difficile et très lent. Aussi, malgré le temps écoulé depuis le retrait des glaces, certaines pentes n'ont-elles pas encore achevé leur colonisation. C'est ce qui permet d'en décrire tous les stades.

Au contraire, tous les éboulis à éléments fins sont peuplés depuis longtemps dans l'étage forestier et pastoral. On ne peut assister à la colonisation actuelle que des éboulis nouveaux, dus aux déblais de mines ou à l'érosion consécutive à la surcharge pastorale.

C. Données historiques tirées du peuplement des pentes meubles. — Connaissant les conditions de peuplement et d'équilibre du tapis

remis à nu, soit des matériaux fins rassemblés plus bas.

Divers facteurs naturels peuvent entraver l'évolution progressive, et l'arrêter à l'un de ses stades : le vent dans les cols, le long enneigement sous les hautes crêtes suivi de glissement, les avalanches. Mais, tant que le climat ne change pas, ces facteurs, s'ils arrêtent l'évolution progressive à tel stade

ÉVOLUTION DES FORÊTS ET PATURAGES SUR PENTES MEUBLES.



A. — INSTALLATION DE LA FORÊT DE PINS SUR ÉBOULIS, A LA SOULANE.

Stade avancé. — Orédon (Hautes-Pyrénées).



B. — RELIQUES DE FORÊT DE PINS SUR PELOUSE PATURÉE.

L'Oule (Hautes-Pyrénées)



C. — STADE INITIAL D'ÉROSION, APRÈS EXCÈS DE PATURAGE.

Déchaussement des vieux pins, reliques de la forêt. — L'Oule (Hautes-Pyrénées).



D. — STADE AVANCÉ D'ÉROSION, APRÈS EXCÈS DE PATURAGE.

Ancienne forêt transformée en pelouse. — Col d'Estoudou (Hautes-Pyrénées).

végétal sur les pentes meubles, tout état différant de l'équilibre normal requiert une explication spéciale, et fournit souvent un témoignage sur l'ancienneté du facteur spécial qui l'a provoqué.

La présence de vieux Pins isolés au milieu des pâturages permet de faire remonter au XII^e ou XIII^e siècle l'époque de l'introduction du bétail dans la haute montagne pyrénéenne. L'érosion dans une pelouse sur moraine permet d'arriver à la même conclusion [27]. La persistance même de cette moraine, extrêmement ancienne, et antérieure aux derniers stades glaciaires, sinon à la dernière glaciation, permet d'affirmer la persistance de lambeaux de tapis végétal (*nunataks*) formés sans doute de landes alpines, même au milieu des maxima glaciaires.

Exemples. — Ils sont encore pris au voisinage immédiat d'Orédon (Hautes-Pyrénées).

La pente orientale du lac de l'Oule (1 800 à 2 100 m.) est formée d'un vaste placage morainique d'assez gros blocs. Elle est couverte d'une pelouse pâturée, à Nard et Fétuques. Il y pousse quelques très gros Pins, dispersés, tous âgés de plus de 600 à 800 ans en général (pl. XIV, B). Il n'y a aucun sous-bois, aucun jeune arbre ; tous les semis sont broutés. Or ces vieux Pins n'ont pu appartenir qu'à une forêt ; ils en sont les reliques. Le pâturage a dégradé la forêt, l'a transformée en pelouse. Les plus jeunes des arbres restants marquent l'époque depuis laquelle la forêt ne se régénère plus. Donc l'introduction du bétail dans ces hautes régions date du XII^e ou XIII^e siècle. C'est le moment du développement économique des vallées ; les archives communales commencent seulement alors à mentionner des pâturages élevés. Il est donc vraisemblable qu'auparavant on ne menait pas les bêtes si haut.

Au col d'Estoudou (2 250 m.) se trouve une moraine isolée, à cheval au bas de la petite crête méridionale du mont Pelat. Les glaciers, après l'avoir formée, ont surcreusé leurs lits de 400 et 450 m., abandonnant entre temps de vastes moraines frontales plus basses, empruntant ensuite de nouveaux cours. Si cette moraine n'est pas anté-wurmienne, elle est au moins antérieure à d'importants stades glaciaires post-wurmiens. Elle est partiellement boisée de vieux Pins, et couverte de pelouses pour le reste. Une écorchure la ronge, au milieu des pelouses (pl. XIV, D). Son examen depuis onze ans permet d'évaluer à cinq à sept siècles son origine, c'est-à-dire encore au début probable de l'occupation pastorale.

Si, de nos jours, cette moraine s'érode quand elle n'est vêtue que de pelouses, il fallait qu'elle soit plus solidement protégée durant les stades glaciaires pour persister encore. Il fallait donc que, même pendant les stades glaciaires, elle fût couverte au moins de lande alpine subsistant sur cet éperon isolé, exposé au Midi, comme un refuge de la flore. Cela signifie aussi que jamais le bétail sauvage (isards) n'a exercé une action régressive comparable à celle que provoque le bétail domestique, et notamment les troupeaux de moutons.

III. — TOPOGRAPHIE KARSTIQUE ET VÉGÉTATION CALCICOLE
EN CLIMATS SEMI-ARIDES

La disparition du réseau hydrographique superficiel, en pays calcaire à modelé karstique, permet au tapis végétal d'exercer une action plus étendue sur le relief du sol. Variable selon le climat, cette action est le plus nettement différenciée en phases successives quand le climat est semi-aride.

A. Évolution progressive : action du tapis végétal sur le modelé karstique. — **1. Action corrosive initiale.** — Certaines algues, les lichens, les racines ont une action corrosive bien connue sur le calcaire. L'humus même, par son atmosphère riche en gaz carbonique, par sa fréquente acidité propre, favorise la corrosion. Cette action est manifeste dans les fentes très étroites occupées et agrandies par les végétaux (chasmophytes) [29, 30, 31].

2. Action protectrice ultérieure. — La corrosion est limitée dès que le sol s'approfondit. Alors la roche échappe au contact direct des racines. L'eau de pluie ne ruisselle plus sur la roche nue, ne l'atteint plus après acidification dans l'humus, car elle est retenue en majeure partie dans le sol épais, puis évaporée ou transpirée. L'érosion du calcaire est alors ralentie par le tapis végétal. Plus la couche de sol végétal est épaisse, plus elle est ancienne et mûrie, zonée en profondeur, mieux la surface rocheuse est fossilisée [33, 34].

3. Série progressive sur les dalles compactes. — Il ne peut y avoir progression du tapis végétal sur de telles dalles que si leur surface est presque horizontale. Sinon, les chasmophytes seules prennent pied dans les petites fissures, et ne concourent qu'à la démolition des falaises, ou à la corrosion des pentes en forme de lapiaz.

Si la surface est presque horizontale, on observe : 1° des lichens et quelques mousses xérophiles ; 2° le rassemblement des poussières dans les moindres creux, où s'installent les premiers pionniers : Sédums et Thyms. Ils s'étendent lentement en rampant, retenant les poussières et graviers, habités par des mousses ; — 3° les herbes (*Festuca duriuscula*, *scoparia* ou *glacialis*) s'établissent au centre de la touffe, en chassent les premiers pionniers qui ne persistent qu'à la périphérie. Elles accumulent de l'humus (débris foliaires) et constituent, avec leurs associées, la *pelouse xérophile* ; — 4° des végétaux ligneux nains s'y installent (Hélianthèmes, Germandrées...) ; c'est la *pelouse à chaméphytes* ; — 5° si l'altitude le permet, la forêt méso-xérophile à Chêne pubescent représente le stade final (pl. XV, A) [33, 34].

Sous ce manteau végétal, bientôt confluant sur toutes les dalles,

la roche se corrode d'abord ; puis, le sol s'épaississant, la roche est protégée et fossilisée. Cette évolution suppose cependant l'existence d'un certain drainage, soit par quelques fissures de la roche, soit par une légère pente d'écoulement.

4. Série progressive sur les dalles profondément fissurées : lapiaz. — Les lapiaz ne se creusent que si la surface rocheuse est inclinée, ou si les fissures d'une surface horizontale ont un drainage intense (par exemple au bord d'une corniche), empêchant l'ins-

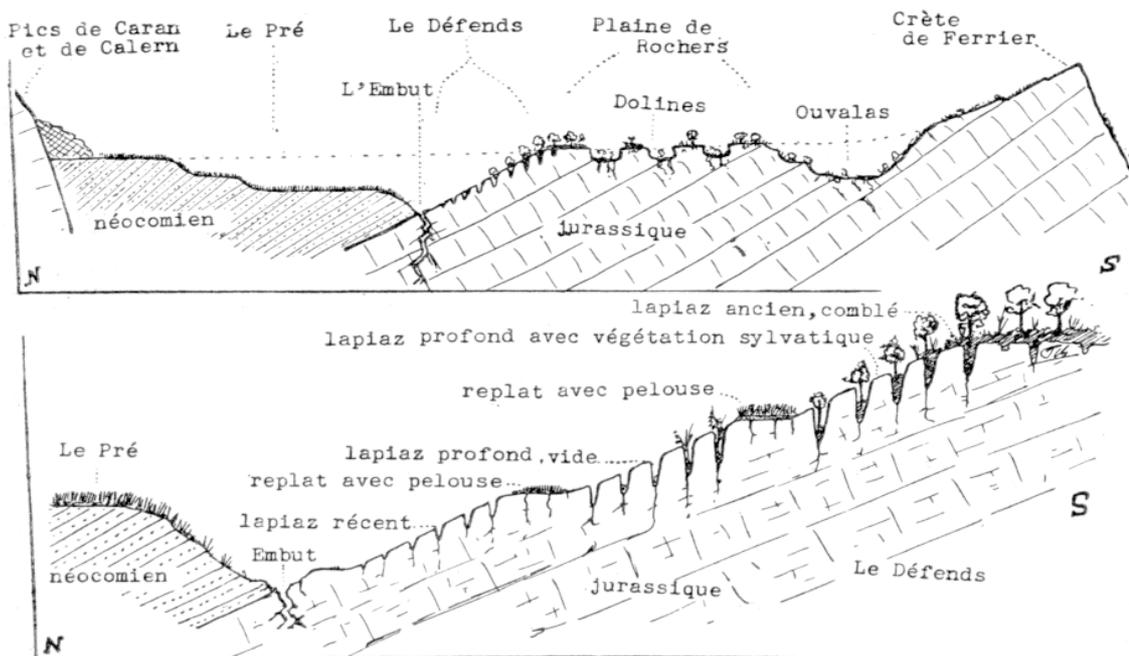


FIG. 13. — Coupes schématiques à travers le plateau de Caussols, montrant les stades divers d'évolution progressive du tapis végétal sur une pente et sur des replats calcaires. Voir le texte, p. 468.

tallation directe du manteau végétal. La roche subit d'abord une période de corrosion, souvent aidée par quelques chasmophytes. Mais un moment critique intervient, où la végétation va reprendre le dessus sur l'évolution physique : c'est quand la forme des fentes des lapiaz est devenue telle que leur climat interne rappelle celui d'une forêt. Dans chaque cas, il y a une combinaison précise de la profondeur, de la largeur, de l'exposition et du drainage, qui réalisent des conditions d'ombre, de fraîcheur et d'humidité analogues à celles d'un sous-bois. Alors le fond de la fente se garnit d'une *végétation sylvatique* : épais coussins de Mousses, Fougères, Anémone hépatique, Mélifiques, Hellébore verte, Lis martagon, Daphnés, et même des arbres, Coudrier, Chêne, Hêtre, Sorbier si l'altitude le permet. Chaque fente ne renferme qu'une ou deux espèces, mais le relevé de toutes les fentes rappelle le relevé d'une forêt.

Après une courte phase de corrosion du fond, par les racines et l'humus, le coussin végétal tamisant les eaux de pluie, retenant les poussières et cailloutis, ne tarde pas à remplir la fente d'un sol épais. Bientôt le sol déborde, et les plantes, ancrées solidement dans les fissures comblées, confluent et recouvrent tout le lapiaz d'un manteau végétal. A demi fossilisé, le lapiaz n'évolue plus qu'avec une extrême lenteur [33, 34] (fig. 13 et pl. XV, A).

5. Série progressive dans les dolines. — Sans végétation, l'effondrement des grottes provoque la formation de dolines qui ne cesseraient ensuite de s'agrandir : elles rassemblent les eaux, qui accélèrent encore l'affouillement du fond. Mais, quand les dimensions des fentes absorbantes, au fond de la doline, atteignent des proportions convenables, la végétation s'y installe comme dans les fentes des lapiaz, tamise l'absorption de l'eau, retient les poussières et l'argile de décalcification, et finit par arrêter l'évolution de la doline en la tapissant d'une pelouse, boisée ou non. Pour chaque type de roche et de climat, il y a une grandeur moyenne à laquelle s'arrête l'évolution des dolines sous l'effet du tapis végétal.

Exemples. — Le plateau de Caussols (Alpes-Maritimes, 1 100 m.) présente une synthèse naturelle presque schématique de tous ces phénomènes (fig. 13 et pl. XV, A). Une vieille surface d'érosion prend les couches en écharpe, jurassique calcaire au Sud, néocomien marneux au Nord. Au contact des deux terrains, l'érosion a creusé un caniveau mettant à nu le toit des assises jurassiques en pente douce. Plus on remonte cette pente, et plus sa dénudation est ancienne. C'est là qu'on observe, de bas en haut, l'approfondissement des lapiaz, puis leur remplissage par la végétation sylvatique, ainsi que les stades de colonisation directe sur les replats. Parsemées sur la vieille surface d'érosion se présentent de nombreuses dolines, toutes de mêmes dimensions, 8 à 10 m. de profondeur sur 50 m. de diamètre environ, avec fond de pelouse boisée. A l'extrémité Sud, au pied de la crête limitant le plateau se voient de grandes dolines confluentes (ouvalas), certainement antérieures au cycle récent d'évolution.

Les Pyrénées calcaires espagnoles présentent aussi d'excellents exemples, et notamment des alignements de dolines évoluées et stabilisées par la végétation, entre le barranco de Pardina et la Peña Crespeña.

B. Évolution régressive : action des phénomènes karstiques sur la végétation. — **1. Excès de drainage.** — Quand une fissure de drainage, évoluant lentement sous le couvert végétal, s'abouche avec une large cavité souterraine, l'excès de drainage qui en résulte dessèche trop vite le sol ; le tapis herbacé continu perd de la vitalité, meurt ; une steppe xérophile disjointe le remplace, où se rassemblent les eaux de pluie pour être rapidement absorbées. L'élargissement de la fente de drainage s'accroît de soi-même, jusqu'à ce que le sol végétal finisse par être entraîné dans la fissure. La pelouse s'effondre

ÉVOLUTION DES PELOUSES SUR LES CALCAIRES.



A. — PROGRESSION DE LA PELOUSE SUR LES DALLES CALCAIRES.
Au loin, lapiaz en pente, nu, avec végétation sylvatique dans les fentes
(Caussols, Alpes-Maritimes).



B. — RÉGRESSION DE LA PELOUSE PAR
COLMATAGE ET STAGNATION D'EAU.
Pardina (Haut-Aragon).



C. — LOESS RELICTUEL REMPLISSANT LES
TROUS, ET NON LES FENTES, DES LAPIAZ.
Pas de Buret (Haut-Aragon).

dans ce trou formant un entonnoir qui rassemble encore davantage les eaux de pluie, et peut devenir le point de départ d'une doline (fig. 14) [33, 34].

2. Colmatage, réduction du drainage. — Au contraire, si les fissures se colmatent sur un sol horizontal, le drainage est réduit, l'eau stagne en hiver. La pelouse continue meurt. Elle est remplacée par une vasière, craquelée en été, avec végétation discontinue (*Poa alpina*, *Valeriana tuberosa*, etc.). Les averses violentes entraînent peu à peu le sol de cette vasière, et finalement les dalles sous-jacentes peuvent être remises à nu (fig. 14 et pl. XV, B).

Exemples. — On observe à Caussols de bons exemples de régression des pelouses par excès de drainage (à l'Embut, notamment), et de fréquentes

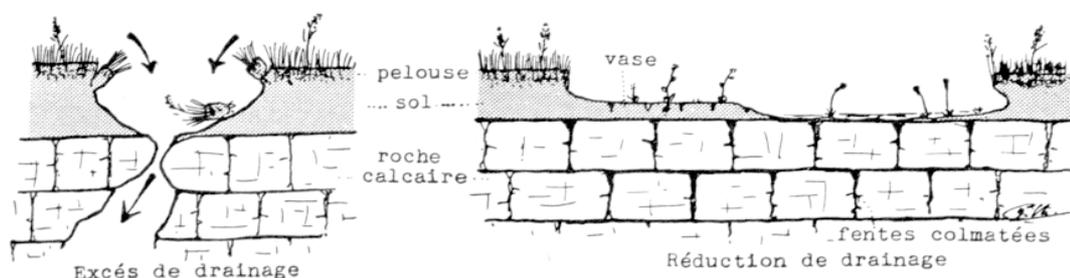


FIG. 14. — SCHÉMAS MONTRANT LES DEUX MODES DE RÉGRESSION DES PELOUSES SUR LES PLATEAUX KARSTIQUES

taches de colmatage. En Bourgogne, au plateau de Châteaurenard, près de Gevrey, il y a des flaques de colmatage avec végétation typique. Mais l'ensemble le plus complet de tous ces phénomènes peut être étudié sur le plateau de Gaulis (2 200 m. environ), au revers Sud du cirque de Gavarnie : on y observe tous les stades, depuis une petite poche de drainage jusqu'à une doline en pleine évolution, ainsi que de nombreux cas de colmatage [32 à 35].

C. Loess du Haut-Aragon. Complication des cycles évolutifs des plateaux karstiques, et enregistrement de l'histoire climatique. — Une couche de loess, recouverte de pelouses, s'étend sur les plateaux karstiques du Haut-Aragon. Cette complication entraîne l'interférence des phénomènes évolutifs de la végétation calcicole avec ceux du peuplement des sols meubles [34, 35].

1. Extension du loess pyrénéen. — Il abonde sur les plateaux ondulés situés au revers espagnol du cirque de Gavarnie, et au Sud du chaînon des Parets de Pinède et de la Peña Montanesa. Plus à l'Ouest, j'en ai trouvé quelques traces jusqu'au Sud de la Peña Collarada, près de Canfranc. Il est probable que tout le revers Sud des Pyrénées calcaires, dominant le synclinal marneux de l'Aragon, a été revêtu de loess, mais qu'à l'Ouest du massif de Gavarnie il a été plus ou moins lessivé à cause du climat plus pluvieux. Il manque au versant Nord.

En altitude, il prédomine entre 1900 et 2 400 m. On en trouve quelques fragments jusqu'à 1 500 m. au plus bas (Nord de Sercué) et 2 800 m. au plus haut (éperons du pic d'Olal).

2. Conditions de gisement ; âge. — Le loëss recouvre les aires horizontales, et les pentes jusqu'à 20 et 30 p. 100 d'inclinaison, d'un manteau continu de 1 à 3 m. d'épaisseur. Il revêt ainsi les croupes, sur toutes leurs faces, parfois jusqu'au sommet (Ripareta, fig. 15). A l'origine de la branche SO du Barranco de Pardina, il recouvre une moraine ; dans la branche NO, il tapisse un vallon glaciaire et enrobe des blocs erratiques (fig. 18). Il est donc d'âge certainement post-glaciaire.

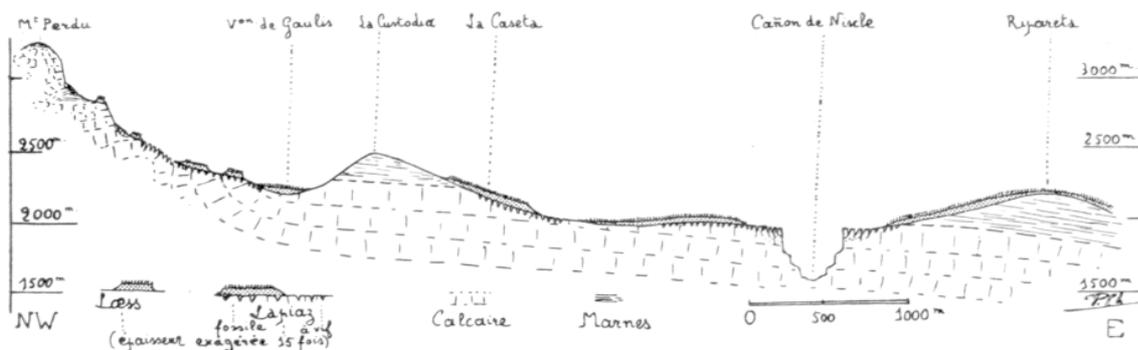


FIG. 15. — COUPE A TRAVERS LES PLATEAUX KARSTIQUES DU HAUT-ARAGON, montrant la répartition du loëss en manteau continu, en témoins étendus ou disjoints, en alluvions remaniées dans les bas-fonds.

Noter la vacuité des lapias absorbants au rebord du cañon de Niscla. L'épaisseur du loëss a été exagérée quinze fois sur la figure, mais le reste du relief est à l'échelle (1 : 65 000 pour les longueurs et les hauteurs).

3. Constitution et origine. — Ce loëss est formé de particules très fines de moins de un centième de mm. : grains de quartz légèrement usés, argile pulvérulente, faibles traces de calcaire, azote et carbone organiques provenant de la couverture végétale. Il ne contient normalement ni caillou, ni gravier, ni sable même fin.

C'est un loëss poudreux, d'origine plus ou moins lointaine. Dans les bas-fonds, il est souvent remanié par alluvion et mélangé de sable de provenance locale. Le loëss provient très vraisemblablement des marnes éocènes du synclinal de l'Aragon : celles-ci s'étendent au Sud, entre 500 et 1 500 m. d'altitude, commençant à 2 à 10 km. des gisements de loëss, sur une largeur moyenne de 50 km.

4. Modes de subsistance et d'érosion. — Le manteau de loëss est protégé par une couverture continue de pelouses. Ce sont tantôt des herbes rases formant tapis vert et dru de Fétuques, émaillé de fleurs naines aux coloris intenses (Lotiers, Myosotis, Silènes, Jacinthe améthyste...) ; tantôt des pelouses à hautes herbes (*Festuca spadicea*) avec des Scorzonères, des champs d'Iris bulbeux, de Trolles,

d'Anémones.... L'altitude élevée, le climat trop sec ne permettent pas l'installation de la lande (pl. XVI, A).

Sur les pentes, toute écorchure du tapis végétal est suivie d'un lessivage du lœss, de la chute des touffes d'herbe, et de l'agrandissement indéfini de la surface érodée. J'ai vu les trous de taupe servir de points de départ à ces phénomènes ; ailleurs c'était le piétinement du bétail déchaussant quelques touffes. Plus haut, le vent violent dans les cols, les avalanches déterminent aussi l'érosion.

Ni la neige, ni la pluie douce, ni la sécheresse ne provoquent d'entraînement appréciable du lœss tassé, même nu. Mais les averses

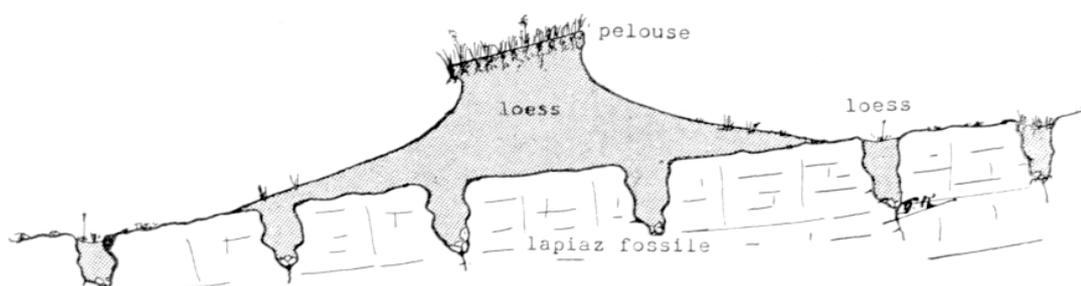


FIG. 16. — COUPE SCHÉMATIQUE D'UNE BUTTE-TÉMOIN DE LŒSS, ENCORE MAINTENUE PAR UN LAMBEAU DE PELOUSE, RECOUVRANT UN LAPIAZ FOSSILE QUI, MÊME DÉGAGÉ, RESTE REMPLI DE LŒSS.

Remarquer que les pentes douces de lœss entraîné ne se repeuplent pas sensiblement. Voir aussi pl. XVI, B.

diluviennes qui accompagnent les orages se transforment rapidement en coulées boueuses. Ce sont elles qui font avancer l'érosion du lœss, abrité sous ses pelouses, à raison de 5 à 10 cm. par an. Aussi, en grande altitude, où les causes naturelles d'écorchure datent de longtemps, il n'y a plus que quelques témoins de lœss sur des points privilégiés. Plus bas, vers 2 000 m., se voient de grands fossés d'érosion, évidemment récents, datant de 500 à 1 000 ans au plus. Peut-être leur origine coïncide-t-elle avec l'introduction du bétail sur ces pelouses.

Après érosion, le lœss, fragmenté en lambeaux ou buttes-témoins (fig. 16), découvre le substratum qu'il avait jadis recouvert : dalles compactes horizontales, à peine fissurées, lapiaz en pente douce fossilisés (pl. XVI, B), moraines parfois, ou même des sols de solifluction, fossilisés aussi (llano de Millarins), témoignant que le lœss ne tarda pas à se déposer après la nivation post-glaciaire (pl. XVI, C).

Quand l'érosion du lœss est complète, il en subsiste encore des reliques dans les fentes des lapiaz fossilisés, remis à nu par leur surface seulement. C'est là qu'on peut chercher des témoins de l'extension du lœss dans les contrées où il a été totalement lessivé.

5. Interprétation climatique du dépôt et de l'érosion du lœss. — A l'époque du dépôt, il fallait un climat aride dans le bas pays : les marnes devaient être plus dénudées que maintenant pour que le vent puisse y arracher du lœss. Les vents ascendants portaient ces fines particules au revers Sud de la chaîne ; elles s'y déposaient et restaient retenues par la rosée et par les herbes, car les hautes régions, condensant les nuages, pouvaient être moins arides et plus herbeuses que les basses collines.

Il y a des preuves d'une légère crue glaciaire consécutive au dépôt du lœss : certains lapiaz de grande altitude sont encore remplis de lœss dans les fentes perpendiculaires au sens de la pente, ou dans les

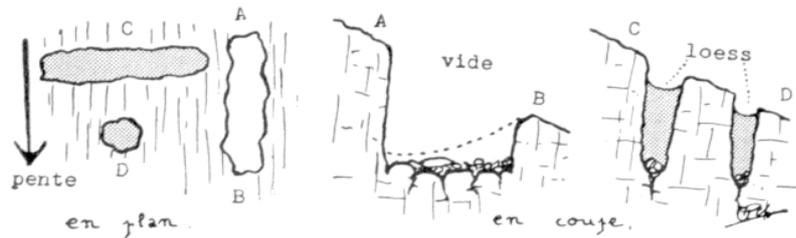


FIG. 17. — SCHÉMA MONTRANT LE REMPLISSAGE DE LŒSS PERSISTANT DANS LES FENTES TRANSVERSALES (C, D) D'UN LAPIAZ EN PENTE, TANDIS QUE LES FENTES LONGITUDINALES (AB) SONT COMPLÈTEMENT CURÉES PAR LA DERNIÈRE CRUE GLACIAIRE.

A gauche, vue en plan ; à droite, en coupe. Le curage par ruissellement aurait laissé du lœss en AB au moins jusqu'au trait pointillé (indiqué sur la coupe).

trous étroits, tandis que les fentes longitudinales sont entièrement vidées. Seul le cours des glaces peut avoir curé ces fentes jusqu'au fond (fig. 17 et pl. XV, C). La situation de ces lapiaz montre un abaissement des glaces de 100 à 200 m. plus bas qu'actuellement. Le climat devait être plus humide, mais sans averses brutales qui auraient partout érodé le lœss.

Enfin, le climat actuel, moins sec en moyenne qu'à l'époque du dépôt du lœss, puisque les basses régions sont couvertes de végétation, moins humide au total que durant la dernière petite crue glaciaire, est caractérisé par des étés arides coupés de violents orages. Il s'ensuit que la pelouse ne peut plus recoloniser le lœss mis à nu dès qu'il est en pente, même assez faible.

6. Durée des phénomènes karstiques. — Quelques indications permettent de l'apprécier. La branche NO amont du barranco de Pardina (1 900 m.) est formée par un socle d'arkose très dure, large de 100 à 200 m., poli par le glacier, semé de blocs erratiques à demi enfouis dans le lœss. Les versants de l'auge glaciaire, hauts d'une dizaine de mètres, sont formés par une assise de 2 m. d'épaisseur en calcaire gris très dur, surmontée de calcaire blanc fissuré.

La tranche latérale du calcaire gris porte encore des traces de stries glaciaires. Au-dessus, la falaise de calcaire blanc est éboulée, et elle a reculé au maximum de 1 à 2 m. depuis qu'elle servait de berge au glacier (fig. 18). Cette constatation permet d'évaluer l'ordre de grandeur du recul de cette falaise à *2 cm. par siècle*, sous l'effet de l'érosion karstique de ses lapiaz absorbants. Même en décuplant cette vitesse, c'est par millions d'années que se chiffre l'âge des immenses cañons de Niscle et d'Arazas qui sillonnent ces hauts plateaux, sur 1 000 à 1 200 m. de profondeur et 500 à 2 000 m. de largeur au sommet.

7. Extensions glaciaires et histoire du Haut-Aragon. — Les grands cañons sont certainement antérieurs aux glaciations, et

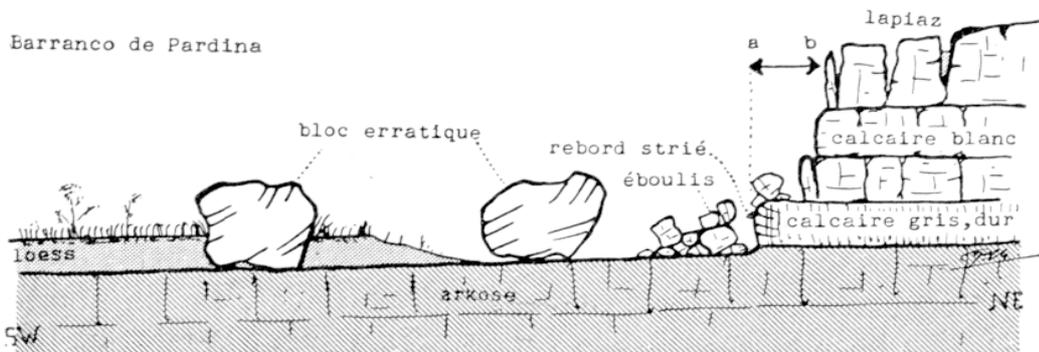


FIG. 18. — COUPE A TRAVERS LA PORTION AMONT DE LA BRANCHE NO DU BARRANCO DE PARDINA, montrant que, depuis le retrait du glacier, le recul de la falaise de calcaire blanc n'a pas excédé la longueur a-b, au plus égale à 2 m.

les glaciers n'ont contribué à leur creusement que dans la partie amont. Des barres rocheuses étroites, des coudes brusques permettent d'affirmer que les glaciers n'y sont pas descendus bien bas. Dans la vallée de la Cinca ne se voit aucune basse moraine, et ce qu'on a pris parfois pour tel n'est autre qu'alluvions. On peut fixer la limite inférieure des glaciers anciens à 1 700 m. d'altitude dans le cañon de Niscle, 1 500 à 1 600 dans le cañon d'Arazas, 1 800 m. sur le rebord des plateaux. Des limites aussi élevées, au pied de sommets dépassant 3 300 m., alors qu'au même moment, sur le versant français, les glaciers atteignaient Lourdes (420 m.), témoignent d'une grande aridité relative du climat, même au moment des maxima glaciaires.

Cette aridité relative du bassin, jadis endoréique, de l'Èbre, et surtout de la vallée de la Cinca, a dû être un fait constant depuis une haute ancienneté. La conservation admirable de niveaux d'érosion dans les marnes, étagés autour d'Escalona (alt., 650 m.), avec mince couverture de matériaux roulés (terrasse de 5 m., niveau de Laspuña à 30-40 m., niveau de 60-90 m., niveaux fragmentaires jusqu'à 300 m. !), et le remplacement des cônes de déjection par des cônes d'érosion plaident dans le même sens [35].

La végétation actuelle des marnes éocènes de la Cinca est méditerranéenne : Vigne, Maïs, Olivier, Figuier, Mûrier, Caroubier sont cultivés, au milieu de collines à Chêne vert, Chêne Kermès et Pin Laricio. Comme les glaciers n'y sont jamais descendus, la dénudation, nécessaire à la formation du loess, n'a pu provenir que d'une grande aridité.

En résumé, l'intervention du loess, du tapis végétal, des glaciers et de l'évolution karstique permet de retracer ainsi quelques points de l'histoire du Haut-Aragon : pays de tous temps aride ou semi-aride, surtout en basse altitude ; creusement des cañons commencé depuis longtemps, dès le Tertiaire lointain ; évolution karstique des hauts plateaux souvent ralentie par le tapis végétal, ou par des épisodes de dépôt de loess ; glaciations de faible importance ; la dernière glaciation suivie d'une période aride, formation et dépôt de loess ; ensuite climat plus humide, légère crue glaciaire et boisement du bas pays marneux ; enfin époque actuelle un peu moins humide, de caractère méditerranéen sec dans les basses collines, mais avec violentes averses en haute altitude, lessivant le loess sous les pelouses écorchées par les taupes et le bétail. Le modelé karstique très ancien est fossilisé sous les pelouses et le loess ; mais, réciproquement, les phénomènes d'évolution karstique, bien que ralentis, entraînent la mort de la pelouse et la dénudation de la roche en provoquant l'excès de drainage, ou au contraire la réduction du drainage par colmatage.

CONCLUSION ET RÉSUMÉ

Alors que le modelé du sol nu est passif devant les facteurs physiques qui le sculptent, le tapis végétal réagit activement. Il s'installe par des séries progressives variées qui ont pour effet, soit de fixer le modelé dans sa forme, soit de lui ajouter de nouveaux sédiments, directement (tourbe), ou indirectement (fixation du loess).

Le manteau végétal résiste activement à l'érosion chimique ou au ruissellement. Cependant, il est passif devant l'érosion par les cours d'eau. Aussi son rôle est-il important surtout pour expliquer le détail des formes du relief sur les pentes, ou encore en pays karstique où précisément les cours d'eau font défaut.

Au point de départ, le choix et l'orientation de la série progressive sont déterminés par le climat et par les facteurs physiques résultant du modelé (grosseur des blocs d'éboulis, par exemple), accessoirement en montagne par les facteurs chimiques.

Réciproquement le tapis végétal présente des phénomènes régressifs qui reconstituent le modelé primitif (lacs), ou bien, mettant le sous-sol à nu, l'exposent à une reprise de l'érosion. La cause des phénomènes régressifs réside surtout dans la modification des facteurs



A. — CAÑON DE NISCLE. PELOUSES SUR LÈSS.



B. — TÉMOIN DE LÈSS SUR LAPIAZ FOSSILE (PARDINA).



C. — TÉMOIN DE LÈSS SUR SOL FOSSILE DE SOLIFLUCTION.
Llano de Millarins (Haut-Aragon).

physiques, surtout du régime d'alimentation en eau (colmatage, stagnation, excès de drainage, circulations souterraines). Parfois ce sont des facteurs biotiques (taupes, piétinement dû au bétail). La nature organique et fermentescible des sédiments végétaux est elle-même une cause de l'évolution régressive par les fermentations en surface ou en profondeur qu'ils subissent parfois.

Les formes de détail du modelé ne peuvent donc s'expliquer complètement que par l'action du tapis végétal, action par l'intermédiaire de laquelle s'exercent indirectement les facteurs climatiques qui agissent rarement par eux-mêmes sur le modelé. La nature et l'allure du tapis végétal ne peuvent s'expliquer complètement que par le climat et par les facteurs résultant du modelé, primitif ou secondaire. Ce sont ces phénomènes d'interdépendance qui établissent un lien de plus entre la botanique et la géographie.

Résumé. — Autour des lacs, les ceintures végétales progressives aident au comblement. Mais réciproquement, le colmatage du sol des pelouses, par une série inverse, y reconstitue des flaques aquatiques, peu profondes, mais souvent nombreuses.

Quand les conditions sont favorables, les lacs sont comblés plus activement par des tourbières à Sphaignes, progressant à la surface comme un voile extensif et flottant. Mais la nature même du sédiment formé, la tourbe, l'expose à régresser : par érosion à sa marge interne (le lac s'agrandit) ; par stagnation sur sa surface ancienne et éloignement de la frange lacustre qui l'alimentait régulièrement en eau ; et surtout par effondrement dû aux fermentations en profondeur, déterminées par des circulations d'eaux souterraines.

D'autres tourbières sont capables de déposer des placages discontinus de tourbe (tourbières topogéniques de pentes), ou continus (tourbières ombrogéniques et soligéniques). Dans ce dernier cas, elles sont sous la dépendance de la forte pluviosité, et les variations climatiques s'inscrivent dans l'allure et l'extension de la tourbière.

Sur les pentes meubles, la végétation progresse sur les gros blocs en y étalant une lande à Raisin d'Ours (à la soulane), ou à Rhododendron (à l'ombrée), qui forme un épais manteau d'humus, bientôt occupé par la forêt de Pins. Les éboulis fins sont colonisés plus rapidement et de diverses manières par des plantes à longs rhizomes et par des herbes gazonnantes ; puis ces pelouses se transforment généralement en landes alpines et en forêts. L'évolution régressive est déterminée surtout par le bétail qui détériore la forêt et provoque l'extension de vastes pelouses pâturées. Mais, si quelques touffes y sont déchaussées, l'érosion risque de gagner indéfiniment et de dénuder complètement une pente de sa terre végétale ou même de son sous-sol meuble.

En pays calcaire, la végétation, après une courte phase corrosive, exerce une action protectrice qui ralentit l'évolution karstique ou même en fossilise les formes. Elle s'installe d'emblée sur les dalles horizontales ; mais, sur les dalles inclinées, elle doit attendre le creusement des lapiaz à une profondeur telle qu'ils puissent être habités par une végétation sylvatique qui les comble et recouvre ensuite toute la surface. L'évolution des dolines est arrêtée aussi à un stade toujours le même pour une roche et un climat donnés.

Sur le versant espagnol des Pyrénées calcaires, j'ai découvert l'existence d'un manteau de loess post-glaciaire, arraché au synclinal marneux de l'Aragon. Maintenu par des pelouses, il fossilise le modelé. Mais l'écorchure des pelouses, due souvent aux taupes ou au bétail, détermine le lessivage du loess et la remise à vif du modelé. Ce loess permet de reconstituer quelques traits de l'histoire du Haut-Aragon, toujours plus ou moins aride, surtout aussitôt après la dernière période glaciaire (qui y fut très faible), plus humide ensuite (crue glaciaire), et plus sec avec violentes averses de nos jours.

BIBLIOGRAPHIE

Ensemble de la question. — 1. P. CHOUARD, *Quelques exemples d'influences réciproques entre le modelé terrestre et sa couverture végétale* (*C. R. somm. Soc. Biogéogr.*, n° 72, 1932, p. 16-19). — 2. P. CHOUARD, *L'évolution du tapis végétal et du relief du sol dans la haute montagne* (*Bull. de l'Assoc. de Géogr. fr.*, n° 73, 1933, p. 126-131).

Comblement des lacs et colmatage des pelouses. — Ouvrages généraux de limnologie : 3. A. DELBECQUE, *Les lacs français*, Paris, 1898, xii-436 p., 153 fig., 22 pl. — 4. A. MAGNIN, *La végétation des lacs du Jura*, Paris, 1904, xx-426 p., 210 fig., 11 phot., 2 pl.

Recherches spéciales : 5. H. PRAT et P. CHOUARD, *Note sur les milieux aquatiques du massif de Néouvielle (Hautes-Pyrénées)* (*Bull. Soc. bot. de Fr.*, 75, 1928, p. 986-997, 2 fig., 1 pl.).

Tourbières lacustres ; tourbes. — Généralités : 6. B. RENAULT, *Sur la constitution des tourbes* (*C. R. Ac. Sc.*, 127, 1898, p. 825-828). — 7. J. FRÜH und C. SCHRÖTER, *Die Moore der Schweiz mit Berücksichtigung der Gesamte Moorfrage* (*Beitr. z. Geol. des Schw., Geotechn. Ser.*, 3, 1904, xviii-751 p., 1 carte, 45 fig., 4 pl.). — 8. C. BRUYANT, *Les tourbières du Massif Mont-Dorien* (*Ann. de Biol. Lac.*, 6 (1913), p. 339-391). — 9. H. GAMS und R. NORDHAGEN, *Postglaziale Klimaänderungen und Erdkrustenbewegungen in Mitteleuropa*, Munich, 1923, 326 p., 73 fig., 26 pl., — et H. GAMS, *Die Geschichte der Lunzen Seen, Moore und Wälder* (*Intern. Rev. d. Ges. Hydrob. und Hydrogr.*, 18, 1927, p. 305-387, 12 fig., 4 pl., bibliographie). — 10. S. A. WAKSMAN and E. R. PURVIS, *The microbiological population of peat* (*Soil Sc.*, 34, 1932, p. 95-114), — etc.

Recherches spéciales : 11. J. BRAUN-BLANQUET et M. DENIS, *L'évolution de la végétation au lac des Esclauzes (Monts Dores) (Arvernica, Rev. d'Auv., 1926, p. 53-56, 1 pl.)*. — 12. M. CHASSAGNE et M. DENIS, *Principales séries dynamiques observées dans la végétation turfo-lacustre des Monts-Dores* (*Bull. Soc. hist. nat. Auv.*, 1927, p. 24-33). — 13. P. ALLORGE et M. DENIS, *Notes sur les complexes végétaux des lacs-tourbières de l'Aubrac* (*Arch. de Bot.*, 1, 1927, Bull. mens., 402, p. 17-26, 2 fig.). — 14. R. DE LITARDIÈRE et G. MALCUIT, *Contribution à l'étude phytosociologique de la Corse. Le Massif de Renoso*, Paris, 1926, 140 p. (avec étude et bibliographie sur les Pozzines). — 15. P.

CHOUARD et H. PRAT, *Note sur les tourbières du Massif de Néouvielle (Hautes-Pyrénées)* (*Bull. Soc. bot. de Fr.*, 76, 1929, p. 113-130, 4 fig., 1 pl.). — **16.** P. CHOUARD et H. PRAT, *Remarques sur l'évolution des cuvettes lacustres à propos de la Pozzine et du lac de Nino (Corse)* (*Ibid.*, 77, 1930, p. 438-442, 2 fig.). — **17.** P. CHOUARD, *Une région lacustre des Pyrénées centrales ; Orédon et le massif de Néouvielle* (*Bull. Soc. nat. d'Acclim. de Fr.*, 78, 1931 [Confér., 1930], p. 42-58, 87-104, 6 fig., 5 pl.). — **18.** M. BATISSE, *Végétation et évolution de quelques tourbières mont-doriennes* (*Dipl. Ét. sup., Clermont-Ferrand*, et *Bull. Soc. Hist. nat. d'Auv.* [suppl. 1930], p. 123). — **19.** P. CHOUARD, *Coup d'œil sur l'étang tourbeux del Racou dans la forêt de Pins à crochets des Bouillouses (Pyr. Or.)* (*Trav. lab. forest. Toulouse*, 1, art. XI, 1931, 6 p., 1 fig., 2 pl.).

Tourbières de recouvrement. — Généralités : **20.** H. OSVALD, *Die Vegetation des Hochmoore Komosse* (*Sv. Växtsoc. Sällsk., Handl.*, 1), Upsal, 1923, 436 p., 10 pl., 114 fig ; *Die Hochmoortypen Europas* (*Festschrift C. Schröter*, 1925, p. 707-723, 5 fig., 5 pl. ; avec bibliographie). — Cf. aussi nos 7, 8 et 9.

Recherches spéciales : **21.** P. CHOUARD, *Tourbières de sources alcalines sans calcaire en haute montagne* (*Bull. Soc. bot. de Fr.*, 79, 1932, p. 850-854, 1 fig.). — **22.** P. CHOUARD, *Sur la flore actuelle, l'extension et la structure de dépôts tourbeux dans les Alpes françaises* (*Ass. fr. p. l'av. des Sc., Congr. Chambéry*, 1933, p. 275-278). — Cf. aussi 15 et 18.

Pentes meubles et leur peuplement. — Généralités : **23.** M. OETTLI, *Beiträge zur Ökologie der Felsflora* (*Inaug. diss., Zurich*, 171 p. ; et *Bot. Exkurs. und pflanzengeogr. Stud. in der Schweiz, her. v. Dr. C. Schröter*, 3, 1909). — **24.** H. JENNY-LIPS, *Vegetationsbedingungen und Pflanzengesellschaften auf Felschutt. Phytosociologische Untersuchungen in der Glerner Alpen* (*Beitr. z. Bot. Centrabl.*, Bd. 46, abt. 2 [1930], p. 119-296 ; avec bibliographie).

Recherches spéciales : **25.** J. FRÖDIN, *Les associations végétales des hauts pâturages pyrénéens. Étude sur leurs affinités et sur leurs rapports avec les mouvements du sol dans les Pyrénées* (*Bull. Soc. hist. nat. Toulouse*, 52, 1924, p. 21-53, 3 pl.), — et : *Contribution à la connaissance des Pyrénées centrales espagnoles* (*Meedel. från Lunds Univ. Geogr. Inst.*, A, n. 6, 1926, 49 p., 4 pl.). — **26.** P. CHOUARD, *Premières observations sur les microclimats de montagne autour du laboratoire d'Orédon, et sur leur importance écologique* (66^e Congr. Soc. Sav., Toulouse, 1933, p. 256-259). — **27.** P. CHOUARD, *L'origine de la vie pastorale en haute montagne d'après des documents botaniques* (*C. R. Soc. Biogéog.*, n° 85, 1933, p. 64-67). — **28.** P. CHOUARD et H. PRAT, *Les modes de peuplement des éboulis pyrénéens, dans le massif de Néouvielle* (*Bull. Soc. bot. Fr.*, 81, 1934, sous presse). — Cf. aussi n° 1.

Cycles de végétation sur pays karstiques. — Généralités : **29.** G. R. BECK VON MANAGETTA, *Die Vegetationsverhältnisse der illyrischen Länder* (in : *Die Vegetation der Erde*, n° IV, herausg. v. A. ENGLER und O. DRUDE, Leipzig). — **30.** L. ADAMOVIC, *Die Vegetationsverhältnisse der Balkanländer* (*ibid.*, 1909, n° XI). — **31.** H. MÜLLER, *Ökologische Untersuchungen in der Karrenfeldern der Sigriswilergrates* (*Bericht. d. Schweiz. Bot. Gesell.*, t. 33, 1924, p. 1-31).

Recherches spéciales : **32.** P. CHOUARD, *Excursions botaniques dans les Pyrénées centrales espagnoles entre la Cinquetta et le rio Ara* (*Bull. Soc. bot. de Fr.*, 75, 1928, p. 957-966, 1 fig., 2 pl.). — **33.** P. CHOUARD, *Esquisse de la Géographie botanique du plateau karstique de Caussols (Alpes-Maritimes)*. Manuscrit remis en 1931 aux *Arch. de Bot.*, encore non paru. — **34.** P. CHOUARD, *Observations sur la couverture végétale du modelé karstique* (*Bull. Soc. bot. de Fr.*, 78, 1931, p. 731-736, 2 pl.). — Cf. aussi 1 et 35.

Loess des Pyrénées aragonaises. — **35.** P. CHOUARD, *Autour des cañons de Niscle et d'Arazas. Botanique et géographie du Haut-Aragon* (*La Terre et la Vie*, fév. 1934, 20 p., 15 fig.). — Cf. aussi nos 2 et 32.

P. CHOUARD.