

HAUTE DURANCE ET UBAYE

par Ch. P. PÉGUY

CHAPITRE I

LA STRUCTURE

De la Tête de Vautisse au Brec de Chambeyron, dix belvédères permettent à l'alpiniste d'embrasser du regard tout le haut pays durancien. Horizons riches en leçons : sous le désordre apparent des cimes innombrables — dont Léon Bloy disait que Dieu seul en savait le nom ! — se cache en fait une logique profonde dont le géologue n'a plus de peine, aujourd'hui, à montrer l'harmonie générale. Vers l'Ouest, de part et d'autre de la large échancrure de la Durance, trônent les sommets de Flysch aux puissantes assises horizontales. Au centre émerge une zone axiale qui doit à son armature de Trias de porter, avec la Font-Sainte et le Chambeyron, les plus hauts sommets de la région. Vers l'Est enfin la montagne s'assagit à nouveau dans la zone des schistes lustrés, succession monotone de cuestas dont on ne voit de nos sommets que les versants conformes et que domine, isolée, la masse du Viso. Quitte-t-on ces hauteurs pour se borner à cheminer lentement le long des vallées ? c'est pour retrouver, le long du Guil ou de l'Ubaye, la même succession de terrains : après le large étoilement de Montdauphin qui s'étale dans le Flysch la route du Queyras s'engage bientôt dans des gorges célèbres, profondément creusées dans la zone d'armature triasique, pour s'épanouir à nouveau, au delà de l'Ange Gardien, entre les pentes moins sévères de la zone des schistes lustrés. En Ubaye, c'est après le bassin de Flysch de Saint-Paul la gorge triasique de Serennes à La Barge et ce sont pour terminer, là encore, les sommets schisteux de la très haute vallée. Sans doute subsiste-t-il encore bien des obscurités pour le spécialiste qui tente soit de préciser les relations profondes de ces trois zones, soit de détailler la structure intime de chacune d'elles, mais c'est assurément ce triptyque général, très simple, qui doit servir de cadre à toute étude structurale du haut bassin durancien.

I. — Le Flysch et son substratum.

Le substratum. — Les nappes de Flysch de l'Embrunais reposent ici sur un socle formé en général de terrains cristallins, quelquefois du Flysch autochtone lui-même, dont il importe de préciser avant tout l'allure générale.

Le massif ancien apparaît formé tantôt de granite (granite du Pelvoux), tantôt de schistes très cristallins. Il s'agit de roches dans l'ensemble dures, mais susceptibles pourtant de se « pourrir » (p. ex. : face Nord du Combeynot). La tectonique en a été décrite par ALLIX¹ : le bloc hercynien s'est trouvé ployé en un dôme culminant sans doute vers l'emplacement actuel de la Bérarde; en se gauchissant il s'est accidenté de failles contraires vers sa périphérie où l'on observe des blocs basculés au Nord vers le Nord (Meije), à l'Est vers l'Est (Dôme du Monétier), au Sud vers le Sud (Chaillol). Sur chacun de ces blocs, le basculement se lit aux lambeaux de pénélaine prétriasique auxquels les principaux sommets doivent leur allure dissymétrique — pente raide vers l'intérieur du massif, pente plus douce en direction de la périphérie. Il est très vraisemblable que des failles ont aussi localisé le réseau hydrographique, en ce qui concerne notamment la Romanche au Nord, la Séveraisse et l'Onde au Sud.

En quelques points des mouvements, vraisemblablement anté-nummulitiques, ont été assez heurtés et violents pour pincer dans le socle ancien des synclinaux liasiques. C'est le cas, à quelques kilomètres à l'Ouest de notre champ d'études, du curieux massif de l'Aiguille de Morges. C'est le cas, à l'entrée de la Vallouise, d'un synclinal liasique renflé à sa base et laminé au sommet. Dans la vallée du Tabuc (SO. du Monétier) la couverture « en place » du socle cristallin, formée ici de Trias et de Lias, apparaît sous la lame granitique de la Croix de Ciboui et on la retrouve encore non loin de là, en amont, dans l'écaille synclinale de la crête des Grangettes. Mais l'accident principal de cette nature est de beaucoup le synclinal liasique d'Arsine qui isole presque complètement de la masse cristalline du Pelvoux le petit massif du Combeynot (fig. 2).

On notera que tous ces accidents, les derniers surtout, sont nettement dissymétriques; ils dénotent un puissant déversement

¹ ALLIX (4), chap. I.

vers l'Ouest, de la zone interne vers le massif ancien qui a joué le rôle de « heurtoir ».

Au Sud-Est du Sirac le massif cristallin s'ennoye sous une épaisse couverture de Nummulitique autochtone² qui entasse ses puissantes assises noirâtres horizontales sur 2.000 m. d'épaisseur dans l'arête Eyglière-Queyrettes. Il s'agit de dépôts à faciès de Flysch, non sans rapports avec le grès d'Annot, qui reposent *directement* sur la masse granitique elle-même. Celle-ci réapparaît d'ailleurs à la faveur de deux petites fenêtres creusées par l'érosion de la Biaysse et du Fournel à la faveur d'accidents tectoniques dont nous préciserons plus loin la nature.

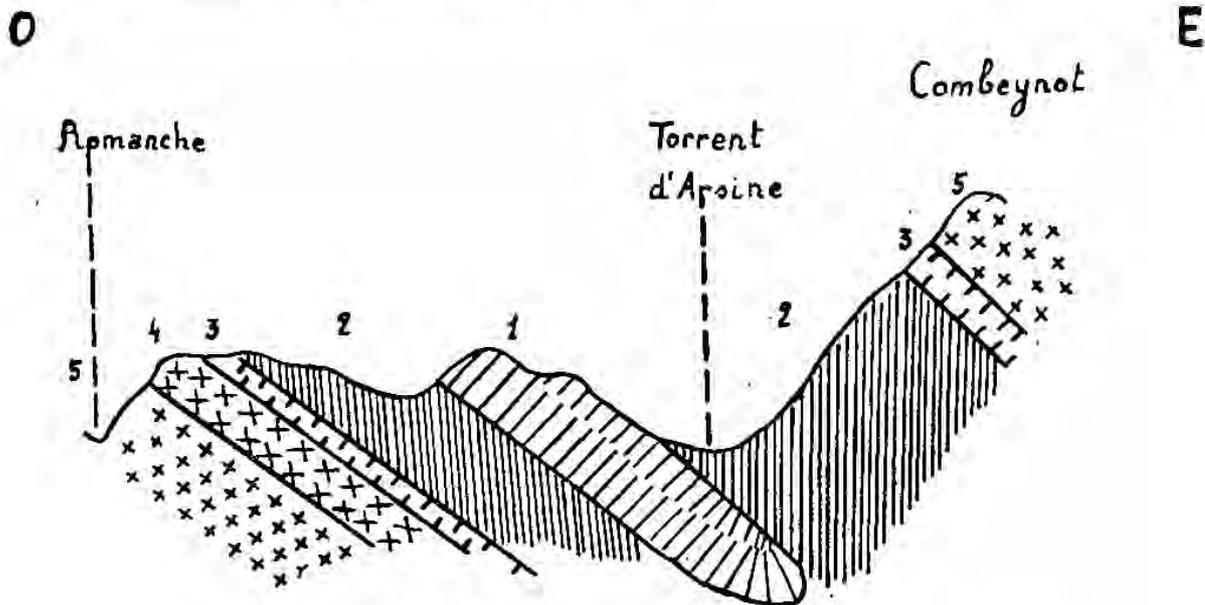


Fig. 2. — Le synclinal liasique d'Arsine.

1, Jurassique (Bajocien). — 2, Lias schisteux. — 3, calcaire du Trias.
4, quartzite du Trias. — 5, granite.

Entre le Mercantour et le Pelvoux le socle cristallin n'apparaît nulle part. Nous disons nulle part, car la lame granitique du Plan de Phasy possède une signification spéciale qui n'est pas à retenir ici et les pointements isolés de Remollon et de l'Avance sont situés très à l'Ouest, à quelque 35 kilomètres au delà d'une ligne joignant les centres approximatifs des deux grands amygdaloïdes cristallins. Sur tout cet espace le socle hercynien est recouvert d'épais sédi-

² En fait, le contact entre le massif ancien et le Flysch se fait souvent par faille : l'une d'elles est bien observable sur la rive gauche de l'Onde, dans l'axe du ravin de Malacombe (cf. fig. 4).

ments autochtones qui disparaissent eux-mêmes par place sous les avancées extrêmes des nappes (Autanes, Morgon). C'est ainsi que la Durance entre définitivement sur les terrains autochtones en aval de Châteauroux, que l'Ubaye y coule dans la « fenêtre de Barcelonnette », de l'amont de Jausiers jusqu'aux approches de Revel. Il s'agit ici et là d'épaisses couches jurassiques, principalement oxfordiennes, où s'impose le faciès « terres noires », schistes noirâtres très tendres découpés par l'érosion en ravins profonds et réguliers, totalement dépourvus bien souvent de terre végétale. Notons toutefois qu'autour de Barcelonnette, la présence d'un épais manteau morainique a pu contribuer à retarder l'entaille de l'érosion sur les schistes et qu'on ne trouve pas là de paysage de « bad-lands » comparables à ceux qui caractérisent, autour de La Bréole, les abords du confluent Ubaye-Durance.

Aux abords du Mercantour enfin le socle autochtone se relève progressivement. Ça et là, dans les montagnes confuses du Pelat, l'action combinée de mouvements tectoniques qui ont bombé les nappes et de l'érosion qui les a éventrées dénudent des dômes sous-jacents. Le Var, le Verdon et surtout les affluents de ce dernier (Chadoulin et Bouchier), le Bachelard lui-même en amont du Villard d'Abas ont ainsi creusé des fenêtres où apparaissent, sous les nappes du Flysch, le grès d'Annot³, le Crétacé, le Jurassique, parfois le Lias. Quant au tréfonds cristallin, il n'émerge lui-même qu'en dehors de notre champ d'études.

L'itinéraire qui nous a mené rapidement ainsi du Sirac au Vallonnet suit sensiblement le lieu des points où le socle ancien, entre Mercantour et Pelvoux, se relève le plus. Nous avons indiqué cette ligne, sur notre planche V, sous la dénomination d'« axe des Dômes » : dômes de Prapic, d'Embrun, de Barcelonnette, dôme enfin des Granges Communes.

Le Flysch. — C'est au-dessus de ce substratum que s'est « écoulée » — le mot est probablement plus qu'une simple image — la masse du Flysch venue du Nord-Est où elle formait sans doute la couverture de ce qui est devenu la zone axiale. Il s'agit des derniers terrains déposés avant le paroxysme alpin, puissantes séries principalement schisteuses. Mais le Flysch, confondu sous une même

³ Le « grès d'Annot » est un conglomérat de la fin de l'Eocène comportant des éléments granitiques venus du Mercantour. Comme le grès d'Annot se trouve lui-même plissé, il faut en conclure que le massif cristallin était déjà soulevé et soumis à l'érosion avant le paroxysme des plis alpins. — Sur la bordure Nord du Mercantour, voir DEMANGEOT (47).

teinte sur les cartes géologiques sommaires, présente en réalité à l'observateur des aspects étonnamment divers.

Diversité si sensible dès le premier coup d'œil que l'on a quelque peine à admettre que le même terrain puisse tantôt former les pentes doucement vallonnées du haut vallon de Vars, tantôt se redresser dans les tours ruiniformes de la crête de Prenetz ou dans les bords d'auge quasi verticaux du haut val de Freissinières (où il s'agit à dire vrai de Flysch autochtone). La vérité est qu'indépendamment des modalités diverses de l'érosion il y a plusieurs Flysch lithologiquement très différents. Nous distinguerons, d'après GIGNOUX et MORET, « un *Flysch typique*, sans épithète... où alternent régulièrement des bancs schisteux et gréseux d'égale épaisseur (quelques centimètres à quelques décimètres) dessinant des stries caractéristiques sur les parois rocheuses⁴. De là dérivent, selon que l'un ou l'autre des éléments prédomine, un *Flysch noir* à prédominance argileuse et un *Flysch gréseux* là où au contraire les bancs gréseux s'épaississent, tandis que les intercalations schisteuses se réduisent. Un quatrième type voit intervenir « des bancs... de calcaires vaseux à grain fin... c'est le faciès *Flysch calcaire* ». Enfin le « *Flysch à helminthoïdes* » « constitue un type très spécial... à alternance régulière de schistes secs, gris, peu argileux et de calcaires un peu gréseux à grain fin...; à la surface des plaquettes calcaires abondent les empreintes énigmatiques appelées « helminthoïdes ».

Complexes dans leurs caractères lithologiques, les assises de Flysch le sont aussi par leur agencement tectonique. L'hypothèse d'une unique masse éoulée du Nord-Est au Sud-Ouest ne résiste pas à la complexité des observations. Celles-ci montrent en effet la présence d'épais lambeaux de terrains mésozoïques charriés qui constituent dans la masse du Flysch autant de témoins d'anticlinaux étirés. A l'échelle géographique on retiendra ainsi l'existence de deux masses de Flysch reposant chacune sur des coussinets mésozoïques.

Immédiatement au-dessus des terrains autochtones, ou séparée d'eux par des écailles mésozoïques peu développées, apparaît d'abord au Sud de l'Ubaye une nappe inférieure, ou externe, à faciès dominant « Flysch noir », difficile à distinguer bien souvent des terres noires sur lesquelles elle repose. C'est la nappe « subbriançonnaise » des géologues. L'entassement de tout ce matériel charrié loin vers le Sud sur un plan subhorizontal donne aux mas-

⁴ GIGNOUX et MORET (49), p. 135.

sifs du Cemet et du Pelat leur allure si caractéristique de pays de nappes. Au-dessus, *et séparée du Flysch de la nappe inférieure par de nouvelles écaillés mésozoïques* — *Séolanes et Chapeau de gendarme* — apparaît la masse principale du Flysch, dite « Flysch de l'Embrunais-Ubaye ». Le type dominant est ici le Flysch à helminthoïdes dont l'immense accumulation forme tout le massif du Parpaillon. Vers l'Est enfin, le long du sillon Guillestre-Vars, le Flysch à helminthoïdes semble disparaître « en l'air » en dégageant au-dessous de lui une épaisse masse de Flysch noir, roche on le sait déjà fort tendre, à qui l'on doit les formes si douces du val de Vars. Au Nord, sur la rive droite de la Durance, ce même Flysch à helminthoïdes passe latéralement à un Flysch gréseux auquel on doit l'aspect ruiniforme déjà signalé de la crête des Prénétz, sur la rive gauche du Couleau. Le faciès devient ici voisin de celui des grès autochtones du Champsaur, voire des grès d'Annot ⁵.

Les lambeaux charriés mésozoïques. — Dans son long cheminement en avant, le Flysch entraînait sur son front des lambeaux de terrains mésozoïques arrachés à son tréfonds. Le front des nappes subbriançonnaises se trouve ainsi jalonné par une série de masses exotiques : Trias reposant sur le Ludien autochtone au flanc Ouest de l'Aupillou pour ne citer que l'exemple le plus caractéristique (fig. 3). Mais beaucoup plus importante est la présence de masses mésozoïques exotiques *au-dessus* du Flysch subbriançonnais : il s'agit là de digitations anticlinales séparant le Flysch subbriançonnais du Flysch de l'Embrunais. Ces lambeaux forment au Nord de la basse Ubaye le massif complexe du Morgon, au Sud les massifs moins étendus, mais si caractéristiques de la structure en nappes, des Séolanes et du Chapeau de gendarme. La Grande Séolane présente la curiosité d'être formée par une série sédimentaire non seulement charriée, mais renversée : le sommet est formé en effet de Lias et de Dogger en dessous desquels apparaissent le Tithonique, puis le Lutétien, celui-ci reposant lui-même sur la masse du Flysch subbriançonnais. Il s'agit en somme d'un anticlinal couché dont c'est le flanc inverse qui s'est, par une anomalie curieuse, trouvé seul conservé ⁶. Plus près de la zone des racines on retrouve

⁵ Signalons que plus à l'Ouest, hors des limites de cette étude, une mince bande de Flysch à helminthoïdes du type « Embrunais-Ubaye » vient s'encapuchonner *en avant* des unités tectoniques les plus externes de la zone inférieure (= subbriançonnaise), au pied du Piolit. GIGNOUX et MORET (19), p. 78.

⁶ Une autre hypothèse serait à la rigueur concevable : celle d'un bloc mésozoïque basculé par la poussée du Flysch.

ces terrains secondaires en amont de Jausiers où ils forment une « cicatrice » entre le substrat autochtone et le Flysch de l'Embrunais; on les retrouve encore dans l'arête séparant le Bachelard de l'Ubaye à la Tête des Fanets et au Mourre Haut. Au premier de ces sommets, on voit le Flysch de l'Embrunais reposer sur un coussinet de Trias ⁷.

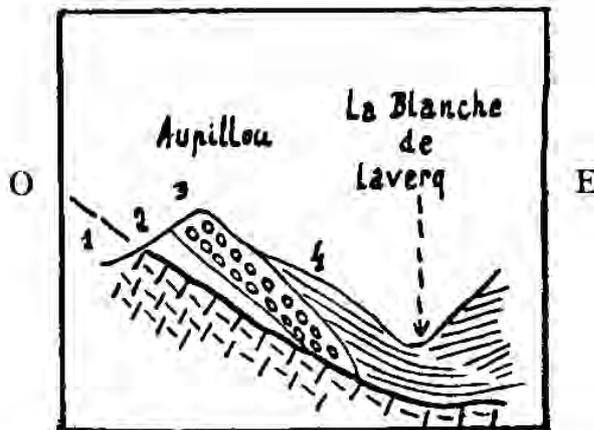


Fig. 3. — Le chevauchement pennique frontal au flanc Ouest de l'Aupillou (basse Ubaye).

1, autochtone (Ludien-Bartonien). — 2, Trias. — 3, Lutétien. — 4, Flysch, ces trois dernières unités appartenant à la « nappe I » de Gubler-Wahl.

⁷ Le schéma structural que nous donnons de la zone du Flysch — deux masses principales de Flysch à dominance de Flysch noir dans l'une et de Flysch à helminthoïdes dans l'autre et reposant toutes deux sur des coussinets mésozoïques exotiques — est volontairement simplifié. GIGNOUX et MORET (19) s'appuyant surtout sur D. SCHNEEGANS (41, 44) distinguent quatre écaïlles ou « digitations » sub-briançonnaises qui sont de bas en haut (des externes aux internes) :

— la digitation du Piolit, dans le massif de ce nom, donc en dehors de notre champ d'études;

— la digitation des Séolanes qui se prolonge sur la rive droite de l'Ubaye par le « pli du Cap »;

— la digitation du Morgon qui forme le massif de ce nom, charrié par-dessus la nappe du pli du Cap;

— la digitation de Chabrières.

Chacune de ces écaïlles anticlinales est « emballée » dans le Flysch noir. Les distinctions établies par les géologues entre elles reposent essentiellement sur des différences de faciès qui passent de faciès « externes », presque « ultra-dauphinois » dans l'écaïlle du Piolit, à des faciès plus internes presque « briançonnais », dans celle de Chabrières. Une discussion est même ouverte à propos de cette dernière entre HAUG, qui considérerait les calcaires de Chabrières comme venus réellement du Briançonnais par-dessus le Flysch de l'Embrunais, et SCHNEEGANS à qui revient d'avoir isolé là une quatrième écaïlle subbriançonnaise (cf. GIGNOUX et MORET (19), p. 72, note).

(On nous permettra de noter que dans la légende de la belle « carte structurale du bassin supérieur de la Durance » de ce dernier ouvrage (planche IX), les signes relatifs à ces quatre digitations ont été fâcheusement intervertis.)

Ces lambeaux de terrains subbriançonnais ne se sont d'ailleurs conservés qu'à la faveur de replis synclinaux de l'ensemble des nappes. Au Sud-Ouest de notre « axe des dômes » Prapic-Embrun-Barcelonnette-Granges Communes, nappes et substrat sont en effet affectés de vigoureuses ondulations d'orientation alpine. On les reconnaît particulièrement dans l'isthme de terrains charriés reliant le Morgon au Parpaillon : l'axe des dômes s'y jalonne par le col des Orres et le village du même nom; immédiatement à l'Ouest un synclinal passant par le Pouzenc et le village des Tuilés provoque un renflement de la masse charriée; au delà un nouvel anticlinal (Rioclar) isole presque complètement le Morgon; celui-ci enfin n'est qu'un immense synclinal de nappes fortement déjeté vers l'Ouest dont une coupe frontale apparaît nettement sur la rive droite de l'Ubaye en aval du Lauzet. Sur la rive gauche de ce torrent, c'est à ce même synclinal, ici moins creusé et surtout moins déversé, que le massif des Séolanes doit son existence⁸. Plus loin encore, cet accident tectonique qui n'affecte plus que le Flysch vient mourir aux abords du Pelat (on le retrouve entre ce sommet et les « barres » du Pelat). Plus difficile est assurément d'expliquer la localisation du « Chapeau de gendarme ». On ne saurait faire intervenir ici un synclinal parallèle au précédent à cause du dôme du haut Bachelard. Peut-être pourrait-on imaginer un accident Ouest-Est qui recouperait le synclinal précédent à la Grande Séolane elle-même⁹ ?

Le sillon intra-alpin. — Ce Flysch de l'Embrunais est affecté de mouvements tectoniques que la netteté des assises rend particulièrement observables. En dehors d'innombrables plissements de détail sans grande portée on reconnaît, à la limite Est de la zone, un grand synclinal qui se suit des abords de Guillestre jusqu'au col

⁸ On distingue quelquefois dans la description structurale des zones de charriage une *tectonique primaire* (= mise en place des nappes) et une *tectonique secondaire* (= accidents postérieurs affectant ces nappes). Si l'on emploie ce langage on dira que la Grande Séolane est pour la tectonique primaire le flanc inverse d'un anticlinal déversé jusqu'à l'horizontale, pour la tectonique secondaire un synclinal perché. Synclinal perché d'ailleurs dissymétrique, le point le plus bas en étant situé à l'Est du sommet, près du col des Thuiles, ce qui donne à l'arête culminante une allure de cuesta avec front vers l'Ouest.

⁹ D'autres accidents, qui n'affectent que le Flysch, se laissent deviner : indépendamment du grand synclinal de Vars sur lequel nous reviendrons plus loin il faut noter dans le fond de la vallée du Parpaillon un gisement de grès d'Annot qui trahit là un synclinal et — plus au Nord — le léger synclinal transverse du col du Crachet (bien visible de la Mortice), de part, et d'autre duquel les couches se relèvent vers le Pic de Crévoux et la Grande Combe.

de Larche. C'est le « grand synclinal de Flysch », élément d'une importance capitale : il n'est pas impossible que nous soyons là au lieu même d'origine du Flysch ou encore que le Flysch, couverture normale de la zone briançonnaise, se soit déversé d'abord lors de la surrection de celle-ci dans le sillon Guillestre-Larche; dans les deux cas, c'est le contenu (primitif ou non) de ce sillon qui se serait vidé ensuite plus loin encore vers le Sud-Ouest pour former les grandes nappes que nous avons reconnues. Ce qui est certain, c'est que le synclinal lui-même est déversé vers le Sud-Ouest, déversement faible aux deux extrémités où il provoque par exemple la dissymétrie de la vallée de l'Ubayette, déversement extrême dans sa partie centrale qui peut expliquer, comme l'a montré DEMANGEOT (49), la position aberrante du massif de la Tête de l'Homme.

Sur la rive droite de la Durance, ce long synclinal se prolonge par le *synclinal de Champcella*. Le Flysch se trouvant réduit ici à un placage local, nous rattacherons l'étude de cette section du synclinal à celle de la zone axiale triasique. Plus au Nord encore, les cols d'Anon, de la Pusterle et de l'Eychauda semblent jalonner le prolongement de notre sillon. Mais ici, les choses se compliquent à l'envi : on retrouve là de l'Ouest vers l'Est, redressés et effroyablement laminés — l'allure devenant celle d'un pays de racines — un *Flysch* qui relie le Nummulitique autochtone de l'Aiglière au Flysch des Aiguilles d'Arves¹⁰ — une *écaille subbriançonnaise* formée de calcaires de Vallouise recouverts de marbres en plaquettes, élément dont les géologues confirment l'identité avec les massifs plus méridionaux du Morgon ou des Séolanes¹¹ — enfin, débutant par le Trias, le front de la nappe briançonnaise.

¹⁰ Très complexe est assurément la bordure du Pelvoux entre Vallouise et le Lautaret. On n'en retiendra comme significative que l'extraordinaire *coupe du Cibouï* (au SO. du Monétier), où le Flysch repose sur une lame granitique d'une dizaine de mètres de puissance couchée elle-même sur le mésozoïque autochtone. (Cf. (49), p. 56). C'est vraisemblablement là une des coupes les plus originales des Alpes françaises (fig. 4).

¹¹ Cette continuité, définie par ses faciès, de la zone subbriançonnaise de l'Ubaye en Maurienne, est un fait d'importance capitale. Car cette zone, séparée de la zone briançonnaise plus au Sud par toute l'étendue du Flysch de l'Embrunais, s'accroche ici à cette dernière. La conclusion est évidemment que le Flysch de l'Embrunais, interne par rapport à la zone subbriançonnaise, ne peut se prolonger au Nord par la zone du Flysch des Aiguilles d'Arves, externe par rapport à cette même zone. On doit cette notion essentielle à D. SCHNEEGANS (42 et 42 bis); elle pénètre dès l'année suivante dans le grand public géographique par la belle mise au point de GIGNOUX et MORET (48).

On ne peut songer non plus à considérer le Flysch du Cibouï (où se termine au Sud la zone des Aiguilles d'Arves) comme homologue du Flysch noir subbriançonnais de la basse Ubaye : les faciès s'y opposent. On ne peut dès lors les raccorder au Sud qu'avec le Nummulitique autochtone de l'Aiglière.

Cette dépression assez remarquable ne constitue donc que très imparfaitement une « dépression périphérique » du Pelvoux. En fait la structure se complique sensiblement de l'Eychauda au Galibier : le pendage des couches, qui n'était que de 30° environ vers le Monétier, passe à 50°-60° aux abords du Galibier en même temps que des complications de structure apparaissent sous forme d'anticlinaux « fichés » (fig. 4). Et pour expliquer la dépression et l'alignement des cols on doit faire appel tantôt aux schistes ou calcschistes tendres de la série compréhensive Oxfordien-Crétacé, tantôt à la multiplicité même des surfaces de chevauchements qui peut affaiblir par broyage la résistance de certaines roches et surtout favoriser l'injection de gypses du Trias solubles. De fait des entonnoirs d'effondrement, ou même des grottes, jalonnent de l'Eychauda au Monétier les principales lignes de discordance¹².

II. — La zone axiale triasique au Sud du Guil.

Au Sud du Guil les massifs de la Font-Sainte et du Chambeyron, bel ensemble de sierras dentelées, séparent les deux domaines plus monotones du Flysch et des schistes lustrés. Le massif du Chambeyron en particulier avec ses fines arêtes, ses cirques profonds aux innombrables petits lacs, ses traces évidentes d'une glaciation autrefois intense, apparaît sans doute aux yeux de l'alpiniste comme un des plus jolis massifs des Alpes du Sud.

Les terrains. — Tous ces massifs montrent une puissante série de sédiments triasiques dans l'ensemble résistants et laissés en saillie par l'érosion, terrains auxquels cette zone doit à la fois son altitude élevée et ses versants abrupts. Une assise supérieure puissante de plusieurs centaines de mètres, formée de calcaires noirs ou gris cendrés, quelquefois dolomitiques et ruiniformes, couronne partout le Trias. On lui doit de fort beaux sommets : Pic d'Escreins ou Pic des Heuvières dans le massif de la Font-Sainte, Aiguille

¹² Vers le Nord, le sillon intra-alpin se prolonge dans la vallée de la Valloirette où il a été étudié par GIGNOUX et MORET (50). Vers le Sud, il se prolonge au delà du col de Larche en territoire italien par l'« arrière-pays » du Mercantour qu'il serait du plus haut intérêt de pouvoir comparer avec celui du Pelvoux (voir ci-dessous, note 17).

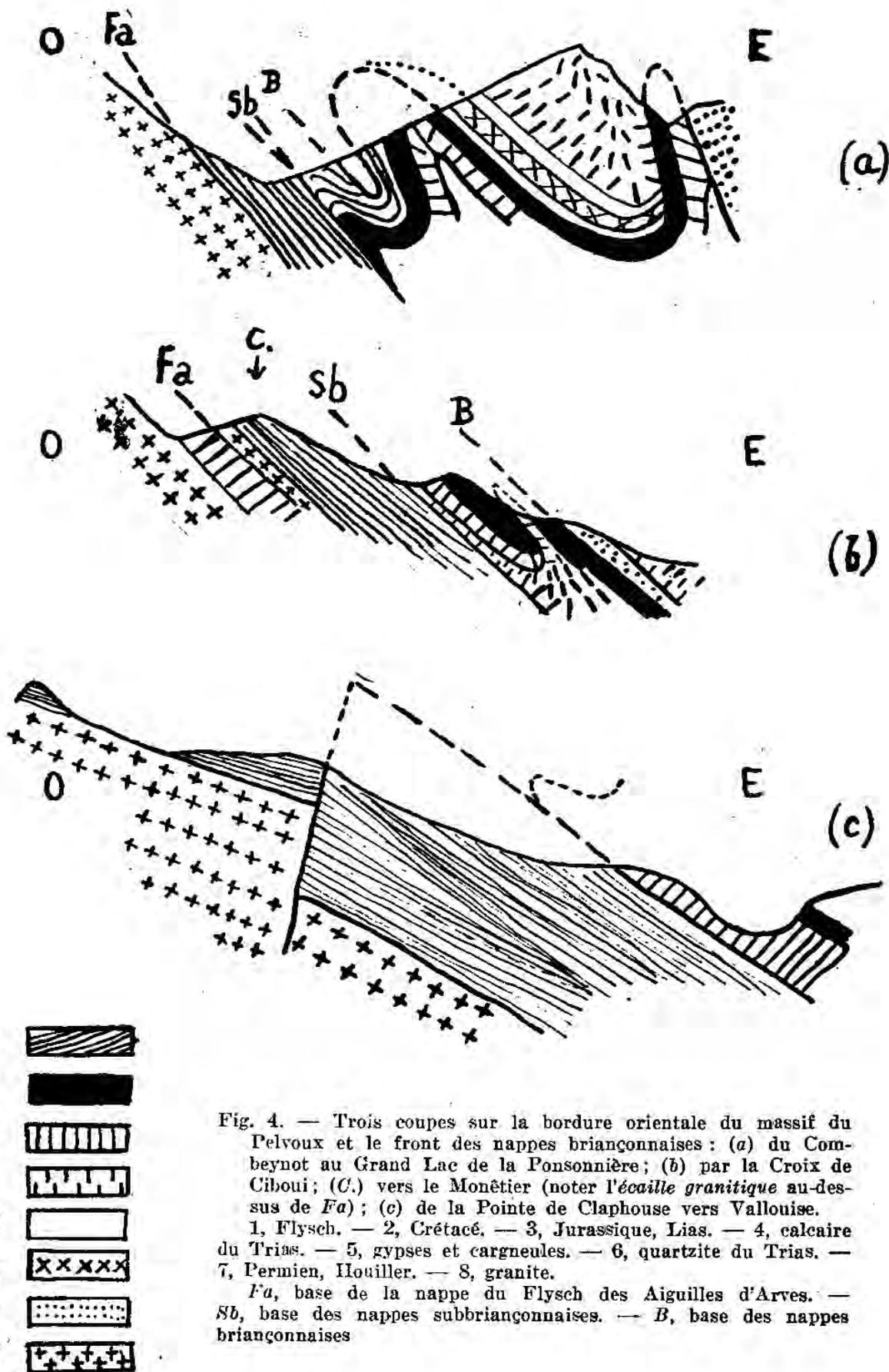


Fig. 4. — Trois coupes sur la bordure orientale du massif du Pelvoux et le front des nappes Briançonnaises : (a) du Combeynot au Grand Lac de la Ponsonnière; (b) par la Croix de Cibou; (c) vers le Monétier (noter l'écaïlle granitique au-dessus de Fa); (c) de la Pointe de Claphouse vers Vallouise.

1, Flysch. — 2, Crétacé. — 3, Jurassique, Lias. — 4, calcaire du Trias. — 5, gypses et cargneules. — 6, quartzite du Trias. — 7, Permien, Houiller. — 8, granite.

Fa, base de la nappe du Flysch des Aiguilles d'Arves. — Sb, base des nappes subbriançonnaises. — B, base des nappes Briançonnaises

Grande ou Aiguille de Chambeyron dans le massif de ce nom. Les géologues ont distingué dans cet étage un grand nombre de niveaux ¹³, mais l'ensemble se trouve assez homogène quant à la résistance à l'érosion pour que ces détails restent sans portée morphologique. A la base de cette masse calcaire, un banc de gypses et de cargneules localise bien souvent des vires sur les parois ou des cols sur les arêtes, aux noms souvent significatifs (col de la Gypiera). Ailleurs encore, le gypse se trahit par des entonnoirs d'effondrement, comme près de la Chapelle Saint-Simon ou dans le haut bassin du Riou Vert (Queyras) ¹⁴. Au-dessous des gypses enfin apparaît une troisième assise, moins épaisse, mais plus résistante encore que la première à l'érosion, assise de quartzites blancs ou jaunes d'aspect saccharoïde auxquels on doit pour une bonne part l'étonnante verticalité des versants inférieurs du Guil (en dessous de Pré Riond) ou de l'Ubaye (Tête de Sanglier). En quartzite encore le sommet de la Pointe Haute de Mary, en Ubaye (3206 m.). Tels sont les trois termes de ce que l'on a appelé quelquefois la « trilogie triasique alpine ». L'ensemble constitue pour toute la zone considérée le véritable squelette du relief, au même titre par exemple que l'Urgonien pour les Préalpes.

Ces assises maîtresses, et véritablement directrices du relief, affleurent ici dans les anticlinaux. Le résultat est que les terrains antérieurs au Trias n'occupent sur la carte qu'une place très restreinte, et s'ils sont du plus grand intérêt pour le tectonicien à qui ils permettent de jalonner les axes des anticlinaux, ils ne jouent dans le relief qu'un rôle direct des plus modestes. Ce sont — en remontant l'échelle stratigraphique — le Verrucano, conglomérat siliceux permien à éléments andésitiques; puis l'andésite elle-même, roche d'épanchement provenant sans doute d'un centre éruptif voisin. Ces deux terrains affleurent dans les gorges du Guil en amont de la ferme de Mongauvie; on les retrouve sur l'Ubaye à la hauteur de La Blachière ¹⁵ et plus au Sud encore dans le vallon d'Oronaye. En dessous encore le Houiller — que nous verrons si abondant dans le Briançonnais — n'apparaît plus nulle part au Sud du Plan de Phazy, laissant ainsi au Permien, plus souvent encore aux

¹³ Voir notamment BLANCHET (24), p. 70 sqq. Sur la rive gauche du Vallon Claus (*op. cit.*, fig. 2), il n'y a pas moins de 8 niveaux reconnus, dont 7 à vrai dire calcaires.

¹⁴ Cet étage gypseux est le principal responsable des phénomènes de « migrations » du Trias (cf. GIGNOUX) (28).

¹⁵ Notons tout de suite que ces deux affleurements ne sont pas situés sur le même axe tectonique. L'andésite de l'Ubaye occupe une situation plus « interne » que celle du Guil.

quartzites du Trias, le soin de jalonner dès lors les axes des anticlinaux ou le front des nappes.

Par contre, les terrains plus récents que le Trias — et qui occupent par conséquent les synclinaux — tiennent en surface comme en volume une place bien plus importante tandis que leur variété entraîne des effets directs sur le relief. Le Lias est à vrai dire insignifiant : l'étude minutieuse de Blanchet (24) ne le signale nulle part dans le massif de la Font-Sainte que l'on doit dès lors considérer comme émergé à cet étage (cordillère briançonnaise). On l'a reconnu plus au Nord, au-dessus de Saint-Crépin, et plus au Sud à Rocca Blanca : deux affleurements médiocres sans effet appréciable sur le relief. Mais le Jurassique et le Crétacé forment des assises d'une toute autre ampleur. Nous rencontrons de bas en haut un Dogger marin transgressif, avec brèche de base suivie de lits noirâtres calcaires ou schisteux ; un Jurassique supérieur très caractéristique dit « marbre de Guillestre », calcaire bréchoïde rosâtre se terminant souvent par des lits violacés tels que ceux qui forment par exemple la corniche supérieure du Brec de Chambeyron. Au-dessus un Crétacé qui n'est guère moins original : ce sont les fameux « marbres en plaquettes »¹⁶ débutant eux aussi par une brèche rougeâtre et se poursuivant par un lit de calcschistes luisants de dureté très inégale, formant à l'occasion des arêtes d'une incroyable raideur telle que l'étonnante « Main de Dieu » dans les montagnes d'Escreins ou que les Becs de la Grande Roche. L'échelle stratigraphique se termine enfin comme partout par un Flysch qui affleure sur certains sommets (La Mortice) ou, sur les versants, en dessous des surfaces de discontinuité, par exemple sur la rive droite du Vallon d'Escreins, vers 2200 mètres.

La tectonique. — La tectonique de cette zone axiale présente assurément, comme dans toute la zone intra-alpine, une certaine complexité. On a la chance cependant de pouvoir déceler presque partout l'agencement des couches et les problèmes posés ne sont pas tous insolubles. La pauvreté fréquente du tapis végétal, l'absence même parfois de tout sol de décomposition donnent souvent au terrain un caractère de nudité fort propice à l'observation et qui a pu faire comparer notre région à l'Atlas. L'inexistence du méta-

¹⁶ Rappelons la description très suggestive que donnait TERMIER de cette roche : « plaquettes plissotées comme si, après une extension violente, l'élasticité les avait ramassées sur elles-mêmes » (45, p. 34). Il y voyait une « série compréhensive » se terminant à l'Oligocène.

morphisme contribue aussi à faciliter la tâche du tectonicien. Enfin, la position générale de notre région à une extrémité du bourrelet alpin lui a valu de subir un effort orogénique moindre, ce qui n'a pas été sans entraîner une certaine simplicité de structure.

Le premier accident tectonique que l'on rencontre en territoire français¹⁷, parallèle au grand sillon du Flysch, est l'anticlinal triasique Rochers de Saint-Ours - Oronaye. Il s'agit d'un vaste dôme de calcaires triasiques formant, sous un mince placage sommital de Jurassique, l'armature des Rochers de Saint-Ours et de La Meyna. Vers le Sud-Est, l'axe de notre anticlinal voit affleurer des terrains tendres permien entaillés par inversion de relief (vallons de Rouchouse et de l'Oronaye) tandis que les flancs de l'anticlinal, formés toujours de calcaires triasiques, forment maintenant deux alignements de hauteurs parallèles : Tête de Viraysse - Bec de Lièvre - Signoura d'une part; Tête de Sautron - Aiguilles d'Oronaye - Tête de Moïse d'autre part. C'est en somme un mont ayant évolué vers le Sud-Est en combe.

Mais un examen plus approfondi du terrain montre que ni ce mont ni cette combe n'ont rien de la simplicité qu'évoquent d'ordinaire ces mots. L'anticlinal, à peu près droit dans les Rochers de Saint-Ours, se déverse de plus en plus vers le Nord-Est aux abords du col de Larche. L'arête Bec de Lièvre - Signoura a bien évolué normalement en crêt tournant sa face abrupte vers le cœur de l'anticlinal — nous dirons que c'est un crêt « conforme » —, mais l'autre arête se trouve tourner, elle, sa face abrupte vers l'extérieur de l'anticlinal : nous dirons que c'est un crêt « contraire ». Ce second crêt est en outre affecté sur sa face Sud-Ouest, au droit de la Tête de Sautron et des Aiguilles d'Oronaye, d'accidents se traduisant par l'apparition d'écaillés synclinales liasiques. L'allure nettement isoclinale de l'ensemble entraîne un drainage de la combe vers le Sud-Ouest (torrents de Rouchouse et d'Oronaye), si bien que le

¹⁷ Il peut paraître intéressant — fût-ce d'après le seul examen des cartes géologiques et en l'absence de toutes recherches sur le terrain — de préciser rapidement la structure de cet arrière-pays du Mercantour d'où nous voyons naître les zones structurales qui vont constituer l'Ubaye : sur le socle ancien reposent d'abord des assises triasiques et crétacées (Monte Nebius) ; au delà un synclinal de Flysch (Vallone dell'Arma-Demonte) ; au delà encore un système de terrain triasique redressé à la verticale (Punta Parvo, La Meja, Auto-Vallonasso) dont nous retrouverons le prolongement en territoire français (Tête de Sautron) ; des terrains permien enfin, avec noyau granitique dans l'arête reliant le Monte la Bianca au Monte Piégu. Ces terrains permien apparaissent dans la vallée de la Maïra dès en amont de Prazzo. Peut-être faut-il y rattacher, bien plus au Nord, le permien métamorphique du col du Longet (« Dôme du Longet » de DEMANGEOT (49), p. 551).

Notons encore que le cours de la Stura di Demonte est surimposé : entré sur le cristallin à Bersezio le torrent y coule jusqu'en aval de Vinadio.

crêt Viraysse - Signoura, plus régulier que l'autre, est par contre plus discontinu et moins élevé.

Au Nord-Ouest des Rochers de Saint-Ours notre anticlinal s'envoie complètement dans le Flysch : le prolongement de son axe irait passer, en pleine zone de Flysch, près de la Tête de Paneyron. Cet envoi périclinal opposé à l'exhaussement d'axe que révèle au contraire au Sud-Est l'apparition d'un noyau permien trahit un relèvement général des axes aux abords du Mercantour¹⁸, fait d'une importance capitale sur lequel nous aurons à revenir.

Pour trouver ensuite un nouvel élément dont la signification tectonique soit évidente, il nous faut — franchissant provisoirement sans nous y arrêter le Brec de Chambeyron — nous transporter sur la haute Ubaye, un peu en aval du hameau de la Barge. Là affleurent des terrains permien qui soulignent l'apparition d'un nouvel anticlinal autochtone ou subautochtone dont on suivrait le prolongement vers le col de Mary au Nord des escarpements de l'Aiguille de Chambeyron. Cet anticlinal se traduit dans la topographie par une ébauche d'inversion de relief (Vallon et Pas de Chillol). Il est déversé vers le Nord-Est et chevauche par une sorte de pli-faille la zone tectonique suivante (zone du col du Tronchet) dont nous n'aborderons l'étude qu'ultérieurement. Au Sud-Ouest, des assises triasiques redressées jusqu'à la verticale forment l'ossature de l'Aiguille Grande et de l'Aiguille de Chambeyron. Sur l'autre rive de l'Ubaye le Permien s'envoie très vite et l'axe de l'anticlinal n'est plus marqué que par les quartzites de la Tête de Sanglier. On le suit encore entre le Panestrel et la Font-Sainte, puis il disparaît par suite d'un abaissement d'axe pour réapparaître sur le bas Cristillan où BLANCHET a montré que la masse rocheuse, tout entière triasique, masquait en réalité deux nappes superposées. Notons comme un fait digne de remarque qu'entre les pointements permien du Sud et l'arête crétacée de la Main de Dieu, ce second anticlinal plonge vers le Nord-Nord-Ouest exactement comme le faisait l'anticlinal Oronaye-Saint-Ours.

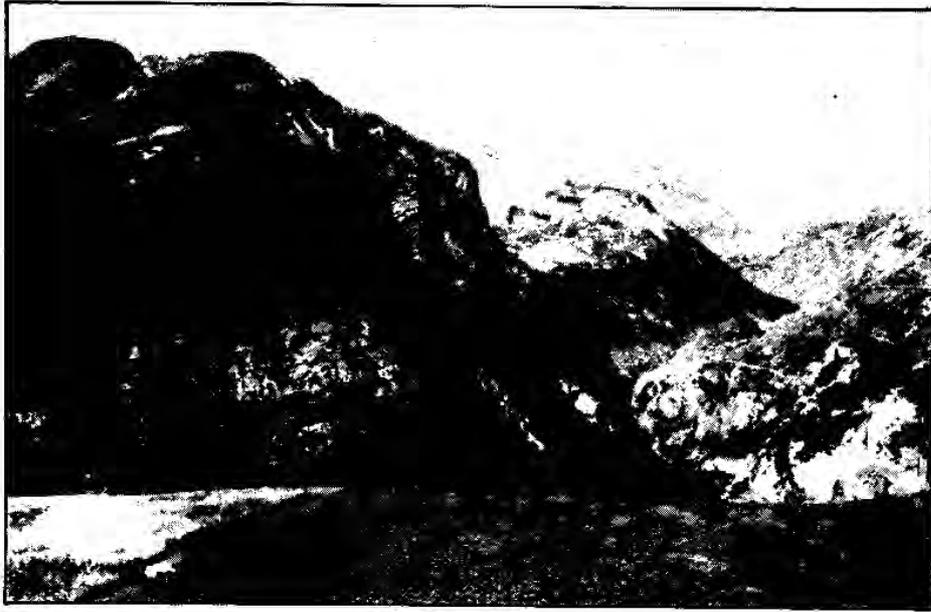
Reste à élucider maintenant la structure de la zone comprise entre ces deux anticlinaux. Nous avons affaire cette fois, indubita-

¹⁸ On pourrait à vrai dire former au sujet de l'ensemble St-Ours-Oronaye une hypothèse tectonique toute différente : il ne serait pas absurde *a priori* de le considérer comme le front d'un anticlinal fiché, très fortement déjeté vers le Sud-Ouest, et séparé par l'érosion de ses racines qui devraient être cherchées dans la région de la haute Maïra. Hypothèse inutilement compliquée à la réflexion et qui entraînerait par surcroît la nécessité d'un *abaissement d'axe* nécessaire à la conservation de la nappe : cet abaissement devrait être de plus en plus accentué vers le Sud-Est, condition bien invraisemblable à l'approche du Mercantour.

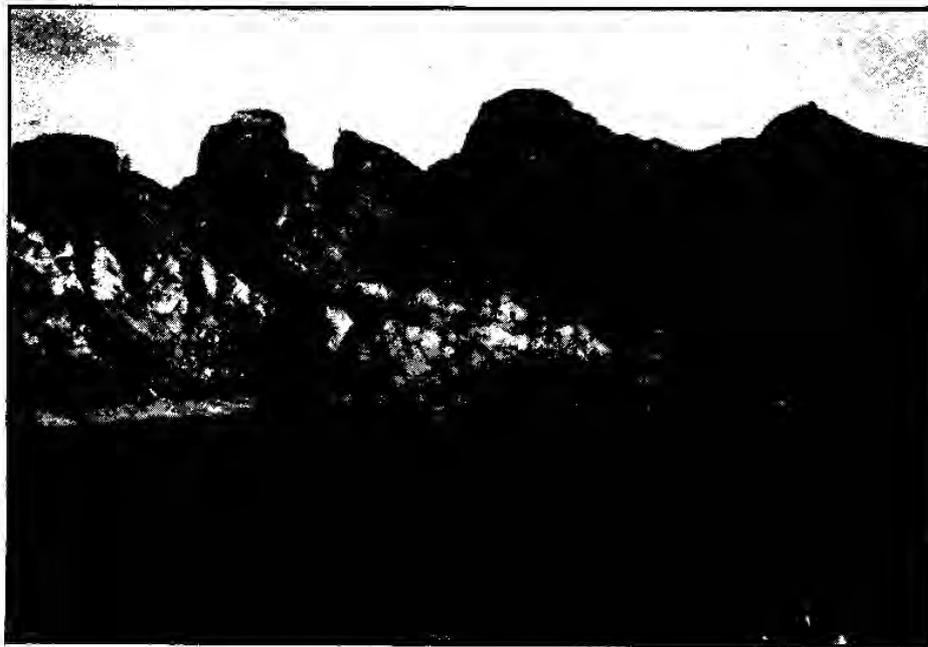
blement, à des masses charriées. Le Brec de Chambeyron est en effet formé de Trias recouvert de marbres en plaquettes et reposant lui-même sur du Flysch, tandis que d'autres marbres en plaquettes s'encapuchonnent à l'Ouest. Il s'agit nettement d'un pli couché, déversé au delà de l'horizontale, et dont les racines doivent être cherchées sans nul doute dans l'anticlinal de la Blachière étudié ci-dessus. Le pli couché du Brec forme également vers le Nord-Ouest le sommet de la Sauvagea. Au delà de l'Ubaye, cette unité tectonique constitue encore le Pic des Houerts. Elle disparaît enfin sous une digitation supérieure, mais provenant sans doute des mêmes racines, qui recouvrait déjà le sommet de la nappe précédente au sommet même du Pic des Houerts et qui constitue au delà toute la Crête de Vars. Nouvelle preuve, notons-le en passant, de cet abaissement d'axe qui se suit depuis le Mercantour jusqu'aux environs de Vars.

L'ensemble de ces terrains triasiques (ou reposant sur le Trias), auquel on peut donner dès maintenant le nom de « nappe du Brec », repose lui-même sur du Flysch qui n'est rien d'autre sans doute que le contenu du synclinal originel séparant les deux anticlinaux des Rochers de Saint-Ours et de la Blachière. Ce synclinal se trouve évidemment déjeté jusqu'à l'horizontale comme la nappe anticlinale qui le recouvre encore en partie. Le résultat est que le Flysch apparaît de part et d'autre du Brec comme de la Sauvagea : au Sud-Ouest il forme le bassin de Fouillouze et se relie dès lors par-dessus la plongée périclinale de l'anticlinal de Saint-Ours à la grande masse de Flysch du sillon de Vars (au-dessus de celle-ci le front de la nappe du Brec est jalonné par le col de Serennes, le verrou du Châtelet et, sur la frontière, le col de Stroppia); de l'autre côté le Flysch apparaît dans une large fenêtre séparant la nappe du Brec de la zone de ses racines, fenêtre qui se suit du col de la Gypiéra¹⁹ au col des Houerts (où elle se rétrécit), et tout au long de la vallée d'Escreins pour aboutir finalement à la fameuse « fenêtre du bas Guil » où elle se ceinture. Dans le massif compris entre Ubaye et Guil, le Flysch a d'ailleurs en grande partie disparu par érosion ou plus vraisemblablement par laminage et ce sont les marbres en plaquettes qui, dans les Becs de la Grande Roche ou au fond du val d'Escreins, jalonnent ordinairement l'axe de la fenêtre.

¹⁹ Il semble bien qu'au delà, en territoire italien, la remontée générale des axes au droit du Mercantour provoque la disparition « en l'air » de la nappe du Brec, et que les terrains de la fenêtre de la Grande Roche se relient dès lors à l'anticlinal subautochtone de St-Ours.



Pl. I A. — Tête de Gramusar et haute vallée de la Biaysse.
Noter le voisinage, sur le Flysch, de formes molles (à gauche) et de roides abrupts d'auge.



Pl. I B. — Les Tours du lac d'Allos.
Abrupts quasi-verticaux de Flysch gréseux ruiniforme.

Ulich's Pump.



PL. II A. — Arête du Rocher de l'Yret.
Profil en dents de scie résultant d'une
structure isoclinale. Les écailles montent
à l'assaut du massif ancien, à droite de
la figure.



PL. II B. — Haute Guisane et massif
du Grand Galibier vus des abords
du col de l'Eychauda.

A gauche, les pentes régulières du
massif ancien. A droite, fronts très diffé-
renciés des nappes subbriançonnaises et
briançonnaises.

Clichés Péguy.

En résumé, l'ensemble de la zone que nous venons de décrire apparaît comme accidentée de deux anticlinaux « primaires », — rappelons que nous désignons de ce terme les accidents tectoniques aboutissant à la mise en place des nappes —, anticlinaux à armatures triasiques tendant à se chevaucher l'un l'autre. Le synclinal de Flysch compris entre ces deux anticlinaux « primaires » s'est trouvé ensuite soulevé dans sa partie orientale par un anticlinal « secondaire » dans lequel l'érosion a pu dégager la longue fenêtre Guil - Grande Roche - Gypiéra. Le Permien que nous avons reconnu sur le bas Guil apparaît grâce à l'axe anticlinal de cette fenêtre (anticlinal « secondaire »); il n'est donc nullement l'homologue tectonique du Permien de l'Ubaye qui apparaît, lui, à la Blachière, dans une zone de racines, au cœur d'un anticlinal « primaire ». Tout cet ensemble complexe se relève d'ailleurs fortement vers le Sud à l'approche du Mercantour, tandis qu'il dessine au Nord un ensellement où l'anticlinal externe reste enfoui sous le Flysch, et grâce auquel l'anticlinal interne lui-même conserve, dans la « Main de Dieu », sa couverture crétacée ²⁰.

Plus au Nord encore, nous allons voir ces éléments tectoniques se relever à nouveau, d'une façon en quelque sorte symétrique, aux abords du Pelvoux.

III. — La zone axiale triasique au Nord du Guil.

Au Nord du Guil, le géologue retrouve sans peine la prolongation des unités tectoniques que nous venons de reconnaître plus au Sud. Chose d'autant plus aisée que nous avons la bonne chance de pouvoir nous appuyer ici sur une excellente synthèse ²¹. Dès le Sud-Ouest de Risoul une écaille de terrains triasiques accompagnée même de Primaire émerge du Flysch : nous sommes tenté personnellement de considérer cet accident comme une résurgence de l'anticlinal de Saint-Ours que nous avons vu disparaître sous le Flysch du Paneyron. Mais la structure en est maintenant toute différente, nettement isoclinale, et l'accident se traduit dans le relief par les Rochers de Barbein et l'arête rocheuse de Réotier entre

²⁰ Ajoutons qu'on observe déjà, en Ubaye, le déversement vers l'Est des plis les plus orientaux : c'est le classique « éventail briançonnais » que nous étudierons dans son ensemble dans la section suivante de ce chapitre (p. 414).

²¹ GIGNOUX et MORET (19).

lesquels la Durance s'est creusé une gorge épigénétique façonnée en verrou. Au fond du talweg l'érosion a mis à jour, à la base de l'écaïlle, une mince lame de granite : c'est le fameux granite du Plan de Phazy sur lequel la littérature abonde ²². Une source minérale, un séisme récent (19 mars 1935) viennent encore souligner cet accident tectonique remarquable. Vers le Nord-Ouest, notre écaïlle se suit parfaitement jusqu'à Roche Charnière (2421m.) et jusqu'aux abords du col de Val Haute (2533 m.); sa base est formée de Trias chevauchant le Flysch de l'Embrunais; son sommet, de marbres en plaquettes. Mais cette écaïlle n'a point provoqué la formation d'un relief de cuesta. Les torrents nés sur le Flysch au pied de la Tête de Vautisse la traversent sans difficulté pour rejoindre la Durance en amont de Réotier. En bref, il s'agit donc là d'une série de précieux repères tectoniques, mais non d'un axe directeur du relief.

Vers l'Est, les marbres en plaquettes du sommet de cette écaïlle plongent à leur tour sous une nouvelle unité tectonique qui débute par le Houiller de Chanteloube, mais que soulignent surtout les formidables escarpements triasiques de la Tête de Gaulent (2866 m.). Cette écaïlle, comme la précédente, contient au sommet Jurassique et marbres en plaquettes qui viennent s'enfouir sous le Flysch dans la région de Champcella. Les géologues appellent indifféremment la première de ces deux écaïlles « écaïlle de Réotier » ou « de Roche Charnière » ou « nappe briançonnaise externe » et la seconde « nappe de Gaulent » ou « de Champcella » ou « briançonnais interne ».

L'ensemble de ces terrains se trouve donc affecté d'un net pendage vers l'Est jusqu'au village de Champcella. Là se situe le fond d'un synclinal, *évident prolongement du synclinal de Flysch Guillestre - Larche* ^{22 bis} et dont le fond, à Champcella même, est d'ailleurs tapissé de Flysch. Immédiatement au delà les couches commencent à se redresser dans la belle cuesta du Ponteil qui domine la vallée de la Durance, ici isoclinale et rétrécie ²³.

²² Voir la bibliographie de (19) et (24). Sur la séismicité de la région, voir deux comptes-rendus de J.-P. ROTHE à l'Académie des Sciences. *C.R.A.S.*, 19 janvier 1942 et 9 février 1942.

^{22 bis} Nous ne souscrivons pas, ainsi, à l'opinion exprimée par E. DE VAUMAS dans un article récent (53, p. 585, note).

²³ En aval, vers Saint-Crépin, l'axe de la vallée coïncide à peu près avec celui du synclinal Champcella-Guillestre, d'où l'élargissement de la vallée dans ce secteur et son allure de « val ».

Traversons maintenant la Durance et voici que se posent à nous les problèmes structuraux du massif de Peyre-Eyraute. Pour en aborder l'étude, reportons-nous-en à l'extrémité méridionale où se laisse déchiffrer la fameuse « coupe du Guil ». Depuis un point situé à quelque 400 mètres à l'Est du « Pain de Sucre » (en amont de Guillestre) jusqu'à la Maison du Roy, le Guil éventre un dôme à noyau andésitique recouvert de Trias et, immédiatement, d'un Crétacé transgressif. Nous savons déjà comment cette « fenêtre du Guil » se rattache aux éléments structuraux de la haute Ubaye. Par-dessus reposent le Trias, le Jurassique et le Crétacé d'une nappe également bombée. L'anticlinal est d'ailleurs dissymétrique : pendage moyen à l'Est, pendage presque vertical à l'Ouest par lequel, près de la Font d'Eygliers, tous ces éléments mésozoïques plongent sous le Flysch du synclinal de Guillestre. Au Nord du Guil, la nappe inférieure n'est plus visible qu'un moment dans la fenêtre du torrent de la Valette et tout le massif de Peyre Eyraute se trouve formé par des plissements assez lourds du Trias de la nappe supérieure du Guil, des lambeaux crétacés de cette même nappe se trouvant pincés dans les synclinaux ²⁴.

Dès lors, il devient infiniment vraisemblable que cette « nappe supérieure du Guil » qui constitue tout le massif de Peyre Eyraute et qui vient s'envoyer à l'Ouest sous le Flysch réapparaît au delà dans la « nappe de Gaudent » : il s'agirait d'une seule et même unité tectonique à laquelle nous réserverons le qualificatif plus général de « Briançonnais interne ». En dessous de cette nappe les terrains du dôme du Guil (dont on ne préjuge pas s'ils sont charriés ou non) doivent se trouver homologues de ceux de la nappe de Roche Charnière et constituer dès lors avec ceux-ci un « Briançonnais externe » ²⁵. Plus à l'Ouest encore, on doit pouvoir considérer comme schématiquement homologues l'écaille de Réotier et l'anticlinal Saint-Ours - Oronaye.

On notera enfin qu'à l'Est de cette zone triasique les plis se redressent de nouveau jusqu'à la verticale pour se trouver finalement déjetés *vers l'Est* : on observe ce nouveau pendage sur l'Ubaye en amont de la Blachière, sur le Guil en amont du « Pas de la Mort ». L'ensemble de notre zone axiale paraît donc affectée par

²⁴ A l'extrémité Nord du massif, les choses se compliquent à nouveau : du Pic du Peyron au Pic Jean-Rey la nappe supérieure se dédouble en effet en deux digitations subhorizontales : c'est là un des paysages du Briançonnais le plus propre à faire concevoir la notion de nappe.

²⁵ Nous suivons ici de très près GIGNOUX et MORET (19), p. 85. Cf. aussi la « coupe du Guil », *ibid.*, p. 222.

un « pli en éventail » dont les deux moitiés sont d'ailleurs d'importance très inégale. C'est l'amorce de l'« éventail briançonnais » que nous suivrons plus au Nord aux abords de Briançon. A l'Est de l'éventail le pendage vers l'Ouest affecte encore toute la zone suivante dite des « schistes lutrés ».

Les montagnes entre Briançon et Vallouise. — Sous ce titre P. TERMIER publiait en 1903 (45) un mémoire devenu vite classique sur la structure du puissant et original massif qui culmine au sommet de la Condamine (2936 m.). Trente ans plus tard, les contours établis par ce géologue étaient intégralement reproduits sur la seconde édition de la feuille de Briançon. C'est dire que nous pouvons suivre aveuglément un tel maître, sauf à signaler une hypothèse originale due à M. GIGNOUX et à intégrer la nomenclature de TERMIER dans la nomenclature générale actuelle.

Les terrains de ce massif — dont la structure est la plus complexe d'une région où les choses simples n'abondent pas — sont en majorité triasiques et constituent le prolongement septentrional de notre « zone axiale ». TERMIER y distingua d'abord quatre « écailles » qui auraient été superposées par d'intenses mouvements tangentiels et reployées ensuite par une tectonique « secondaire »²⁶. La première écaille (il les numérote de bas en haut ou, si l'on veut, des plus « externes » aux plus « internes »), observée d'ailleurs en fait en dehors de la zone étudiée ici, sur le bas Fournel, correspondrait à l'écaille « subbriançonnaise » que nous avons distinguée là. Sa seconde écaille correspond vraisemblablement à une résurgence, aux abords du Pelvoux, des terrains subautochtones de la fenêtre du Guil et, au delà, de l'anticlinal de Saint-Ours (ce serait ainsi la « nappe inférieure du Guil » de BLANCHET et le « Briançonnais externe » de GIGNOUX et MORET). Sa troisième écaille, qui prolonge sans aucun doute possible les terrains de Peyre Eyraute, correspond donc à la « nappe supérieure » du Guil ou au « Briançonnais interne ». L'ensemble de ces deux nappes qui constituent

²⁶ Les idées de TERMIER n'ont pas pris d'ailleurs d'un seul coup leur forme définitive. Partisan en 1900 d'une superposition de quatre nappes charriées à grande distance et déformées ultérieurement en éventail, il se rallia partiellement en 1903 aux hypothèses de KILIAN (éventail briançonnais enraciné) et admit dès lors que la quatrième seule avait fait l'objet d'un charriage de grande envergure par-dessus un pli subautochtone en éventail déjà formé.

Rappelons pour mémoire que TERMIER imaginait une cinquième écaille de gneiss permo-carbonifère, le « traîneau écraseur », dont aucun témoin n'aurait subsisté dans notre région.



à elles seules presque tout le matériel du massif comprend, comme plus au Sud, une solide armature triasique²⁷ recouverte de marbre de Guillestre et surtout de marbres en plaquettes, ici blanc-jau-nâtres (la Cucumelle)²⁸. Quant à la « quatrième écaille » elle se trouve constituée par d'énigmatiques terrains cristallins (surtout micaschistes et amphibolites) reposant sur des conglomérats oligocènes à galets cristallins (= brèche de friction ?). TERMIER voyait dans ces terrains les lambeaux d'une nappe charriée loin vers l'Ouest depuis la région du Montgenèvre. Cette hypothèse est restée la seule formulée jusqu'au moment où GIGNOUX (1936)²⁹ a proposé de voir là la base d'une nappe subbriançonnaise rabattue en arrière par un pli en retour. On pourrait également songer à y voir un lambeau du cristallin de base des schistes lustrés.

On a la plus grande peine à se représenter par la pensée l'allure de ce matériel, car les nappes ne se superposent pas avec la simplicité et la rigueur qu'on serait tenté d'imaginer : les phénomènes de charriage ont produit des effets surprenants. C'est ainsi que la troisième écaille qui constitue l'ossature de tout le massif et à laquelle TERMIER donne une puissance originelle de quelque 3000 m. (1000 de Houiller, 500 de Trias, 500 de Jurassique et de Crétacé, 1000 de Tertiaire) se lamine au point de disparaître complètement en un point (haut vallon de Méa) où la quatrième écaille vient reposer localement sur la seconde.

Naturellement, ces nappes sont affectées par une « tectonique secondaire » assurément fort complexe elle aussi. Elles dessinent dans l'ensemble au Sud de la Condamine une aire anticlinale où l'on distingue deux replis principaux laissant apparaître en « fenêtre » les terrains de la seconde écaille. Un troisième repli anticlinal, relayant en coulisse les précédents, s'est trouvé évidé par la Durance en aval de Queyrières : c'est la « fenêtre de l'Argentière » au cœur de laquelle la rivière a atteint les terrains subbriançonnais eux-mêmes³⁰. Sur le versant Vallouise, face à la masse cristalline du Pelvoux, les replis de nappes se multiplient, donnant le dessin si tourmenté de ce secteur de la carte géologique. Vers le Nord enfin, au delà des écaillles cristallines, la structure se

²⁷ Trias parfois dolomitique. Au-dessus des Vigneaux la magnésie y atteint une teneur de 19 % (TERMIER, 45, p. 21). C'est ce gisement que les Allemands avaient l'intention d'exploiter (conjointement peut-être avec des serpentines ?) quand ils avaient amorcé, fin 1944, la transformation de l'usine de La Roche-de-Rame en productrice de magnésium.

²⁸ La « cucumelle » est le nom local d'un gros champignon blanc.

²⁹ GIGNOUX (29).

³⁰ GIGNOUX, MORET et SCHNEEGANS (30).

résout en une série d'anticlinaux d'axe NO.-SE. déversés vers le SO., jusqu'à provoquer des charriages locaux (par exemple près de Gaudissard) (fig. 6).

Mais le géographe retiendra surtout de ce massif la différence très nette de style architectural au Sud et au Nord d'une ligne Eychauda - Prorel. Au Sud la structure heurtée, la grande prédominance des affleurements triasiques donnent à la montagne grande allure. Le Pic de Montbrison, la Tête d'Amont et les curieuses



Fig. 6. — Coupe de Gaudissart (d'après TERMIER (45), p. 91).

1, 4^e écaïlle. — 2, Flysch. — 3, calcaire du Trias. — 4, quartzites du Trias. — 5, Houiller.

Exemple caractéristique de la complexité structurale que peut atteindre le massif : un anticlinal de nappes, déjeté lui-même jusqu'à l'horizontale, donne naissance à une *nappe du second degré*.

« Tenailles » défient sous certaines faces les grimpeurs les plus éprouvés. Il s'en faut de bien peu d'ailleurs que les sommets n'atteignent les 3000 m. Au Nord, au contraire, les micaschistes, le Flysch, les marbres en plaquettes donnent des sommets alourdis tandis que les grès houillers, plus tendres encore, se développent largement sur les pentes inférieures en aval du Bez. Ce n'est que

tout à fait au Nord du massif, dans la Tête de Grand Pré, que réapparaîtront localement quelques falaises de calcaires triasiques ³¹.

La zone houillère et sa bordure orientale. — A l'Est des régions que nous venons d'étudier une dernière zone couvre à elle seule la moitié du Briançonnais. Elle se caractérise tout de suite sur la carte comme sur le terrain par l'ampleur qu'y acquièrent les affleurements houillers ³². Jusqu'ici, nous n'avions rencontré de terrains de cet âge qu'à l'état de minces lentilles anticlinales, à Chanteloube par exemple. Ici nous avons affaire à des assises extraordinairement développées : 1000 m. au moins, souvent bien plus encore par suite de redoublements d'assises. Il s'agit de couches monotones de schistes et de grès noirâtres, englobant à la fois sans doute le Westphalien et le Stéphaniens ³³. Le relief est mou, et ne se raidit localement que sur certains affleurements de conglomérats quartzeux un peu plus durs ³⁴.

Tectoniquement parlant, le Houiller dénote aux abords de Briançon l'apparition d'un formidable anticlinal dont la structure intime, que l'on devine complexe, nous échappe à peu près totale-

³¹ Tirant des conclusions extrêmes de cette opposition entre le Nord et le Sud du massif, GIGNOUX et MORET (49, p. 97) écrivent : « Il est en tout cas certain que les faciès typiquement briançonnais... (nappe supérieure du Guil) ne se retrouvent ici que dans la partie Sud du massif... ; au Nord, dans le mésozoïque de la Tête de Grand Pré les faciès ressemblent à ceux de la zone subbriançonnaise et peuvent être qualifiés de « briançonnais externes » et les vraies unités briançonnaises disparaissent en l'air. » Le Nord du massif appartiendrait ainsi à la même unité que Roche Charnière. Une telle hypothèse entraîne logiquement une conséquence de la plus haute importance : celle d'un relèvement d'axe dans la partie Nord du massif, c'est-à-dire au droit des Ecrins.

³² Ce Houiller est productif et fait l'objet de nombreuses concessions aux mains pour la plupart des paysans qui en font une exploitation rudimentaire.

1899 372 ouvriers 11.385 tonnes extraites.

1945 213 ouvriers 20.248 tonnes extraites.

La teneur en cendres, inférieure à 20 %, tombe même à 9 % pour la couche graphiteuse de la concession du Freycinet.

Le gros obstacle à l'extension de cette exploitation réside évidemment dans le climat (nombreux puits à plus de 2000 m.) et dans les difficultés de transport.

³³ L'ensemble n'est nullement métamorphique — ce qui le distingue du Houiller savoyard —. Par ailleurs le Houiller briançonnais diffère encore de celui de la zone externe (La Mure) en ce qu'il est recouvert de Permien et de Trias concordant : il n'y a pas ici, comme à La Mure, traces de plissements post-hercyniens.

³⁴ Le Houiller comprend encore, mais sans qu'elles exercent d'action sur le relief, des roches intrusives (surtout microdiorites). L'injection, d'âge d'ailleurs inconnu, a transformé sur une mince épaisseur l'anthracite en graphite (col du Chardonnet). Ce gisement, signalé par Elie DE BEAUMONT dès 1828, a été exploité jusqu'à la veille de la guerre de 1939.

ment dès que n'y participe plus la couverture secondaire. En remontant la Durance, on aborde le Houiller sitôt franchie la « fenêtre de l'Argentière ». Il se présente ici comme l'élément de base de la nappe briançonnaise (troisième écaïlle). Après avoir franchi l'anticlinal de quartzite sculpté en verrou de Rochebaron-Piolier, on pénètre cette fois définitivement sur le Houiller pour n'en sortir en amont, sur la Guisane, qu'au Monétier. C'est ce grand anticlinal houiller, façonné par l'érosion en relief inversé, qui a donné naissance au si remarquable « bassin de Briançon ».

A l'Ouest, la retombée de cet anticlinal se fait dans le massif de la Condamine que nous venons d'étudier. Plus au Nord, la monotonie de ces montagnes houillères est troublée par deux accidents remarquables : il s'agit de deux synclinaux triasiques à noyaux crétacés qui se suivent l'un de l'Aiguillette du Lauzet au Grand Galibier, l'autre du Grand Aréa au massif des Cerces³⁵. Nous avons donc affaire là à des montagnes d'un style tectonique tout nouveau. Les sommets à armature triasique qui se localisaient plus au Sud sur les anticlinaux forment maintenant des synclinaux perchés, aux formes d'autant plus hardies que le pendage des couches est voisin de la verticale. Entre ces sierras les vallées (Ponsonnière, haute Clarée) sont creusées dans les anticlinaux plus tendres : inversion de relief caractéristique qui donne au Briançonnais sa grande « aération ».

Vers l'Est enfin la retombée de notre anticlinal s'effectue dans le massif frontière, encore géologiquement mal connu, qui s'étend de part et d'autre du Montgenèvre. Les assises s'y épaississent jusqu'à atteindre 1000 m. pour les seuls calcaires du Trias³⁶ dans la formidable paroi du Lasseron qui domine à l'Est Cervières. La structure s'y complique, comme en témoigne l'énigmatique affleurement houiller proche des chalets de Granon³⁷. Des synclinaux pincés renferment du Lias (arête frontière au Nord du Montgenèvre) ou même du Flysch à faciès schistes lustrés³⁸.

³⁵ Ce second synclinal est interrompu par la cluse du Queyrellin : l'érosion a reporté là la ligne de partage des eaux entre Clarée et Guisane bien à l'Ouest de l'alignement tectonique.

³⁶ Le Permien est assez rare dans toute cette zone (base ouest du Pic de la Moulinière, massif des Cerces). TERMIER estimait pourtant qu'il y avait eu sédimentation continue du Houiller au Trias et que le Permien avait disparu par laminage.

³⁷ On trouve bien sur l'emplacement indiqué sur la carte géologique (2^e éd.) de nombreux blocs de grès houiller, mais dont aucun n'est en place. On peut se demander même s'il ne s'agit pas simplement d'un placage morainique.

³⁸ Nous avons déjà noté au paragraphe précédent que la région du Gondran-Janus semblait former la prolongation, vers le Nord, de la « zone intermédiaire du col du Tronchet » de BLANCHET.

Nous n'avons plus dès lors qu'à souligner l'importance d'un dernier fait qui intéresse l'ensemble des accidents tectoniques que nous venons de passer en revue : c'est leur structure générale « en éventail ». On veut dire ainsi que les couches, isoclinales avec pendage vers l'Est à l'Ouest d'un axe figuré sur notre planche hors texte V, deviennent verticales le long de cet axe pour être enfin affectées, plus loin vers l'Est, d'un pendage vers l'Ouest (synclinal de l'Enlon, près du fort de l'Olive). C'est ce que KILIAN appelait déjà l'« éventail briançonnais ». Ce lieu des couches verticales que nous avons déjà observé en Ubaye près de la Blachière, sur le Guil près de Montbardon, aborde le Houiller briançonnais sensiblement à l'Ouest du col des Ayes³⁹, passe à l'Est du Prorel, coupe la Guisane à La Salle pour prendre finalement en écharpe le synclinal des Cerces⁴⁰. Les sommets situés au voisinage immédiat de l'axe de l'éventail présentent des formes symétriques dues à la verticalité des couches; ceux qui en sont plus distants ont une allure de cuesta présentant leur versant abrupt vers l'Ouest pour ceux situés à l'Ouest de l'axe (Grand Galibier), vers l'Est au contraire pour ceux situés à l'Est de l'axe (Roche Gauthier et surtout Aiguille Rouge, bien visible dans l'axe de la basse Clarée)⁴¹.

IV. — Le domaine des schistes lustrés.

En amont des massifs que nous venons de décrire, les vallées supérieures de l'Ubaye et du Guil sont creusées dans des terrains dans l'ensemble peu résistants où domine un faciès nouveau, original : celui des schistes lustrés : il s'agit de calcschistes très métamorphiques d'aspect chatoyant entassés sur plusieurs centaines de mètres d'épaisseur. D'abord considérés comme triasiques par LORV, comme « primitifs » par ZACCAGNA, conceptions qui toutes les deux tendaient à donner à l'ensemble de la zone une fonction « anticli-

³⁹ KILIAN, induit en erreur par un accident tout local, faisait passer l'axe de l'éventail au col même des Ayes. (KILIAN, *C. R. A. S.*, 2 janv. 1899.)

⁴⁰ En fait, l'éventail n'est pas rigoureusement symétrique : son flanc Est met en contact par un pli-faille des couches verticales et des couches à pendage déjà léger. On observe particulièrement bien le fait dans le massif des Cerces, sur l'arête Est de la tête de la Cassille.

⁴¹ Nous reportons à la section V de ce chapitre l'étude, fort importante, des *mouvements tectoniques transverses* du Briançonnais.

nale », ils ont été plus justement identifiés par la suite (KILIAN et TERMIER) comme une série compréhensive fortement métamorphique : le type même en somme d'un dépôt de géosynclinal. Mais on discute encore en ce qui concerne les relations profondes de cette zone avec la précédente. S'agit-il simplement d'une zone tectoniquement déprimée, symétrique du Flysch et ne se différenciant de celui-ci que par un métamorphisme accentué ? S'agit-il, comme le voulait TERMIER, d'une vaste nappe — homologue de la « nappe de la Dent Blanche » d'ARGAND — venue chevaucher vers l'Ouest la zone du Briançonnais, quitte à s'enfoncer accidentellement sous elle en certains points par « sous-charriage » ? La question reste ouverte et déborde assurément le ressort de la géographie.

En tout cas BLANCHET, qui a minutieusement étudié le contact entre zones du Briançonnais et des schistes lustrés — notamment dans l'arête col Girardin - col Tronchet entre Ubaye et Queyras — a démontré que ce contact, tout en restant toujours assez brutal, n'est jamais ni lithologiquement ni tectoniquement simple. Lithologiquement, on observe « du Trias inférieur jusqu'au Flysch inclus... une transformation progressive des divers horizons. Tous les terrains tendent à prendre un faciès cristallin uniforme et leurs caractères distinctifs s'estompent progressivement à mesure que l'on se dirige vers l'Est. Cette uniformisation se fait en commençant par les niveaux inférieurs »⁴². Tectoniquement, le Trias de la zone briançonnaise chevauche du col Mary au col Girardin et jusque vers Ceillac un synclinal très déversé de « Flysch à faciès schistes lustrés ». Vers l'Est, ce synclinal se trouve bordé par un anticlinal à mince noyau permien (col Tronchet - Combe Brémond) : nous avons affaire en bref à une zone où les schistes lustrés, à faciès encore transitoires, n'apparaissent que timidement dans des écailles synclinales. BLANCHET a proposé pour elle le terme de « zone intermédiaire » ou de « zone du col du Tronchet ». Vers le Nord, à défaut encore d'études géologiques satisfaisantes, il semble que l'on puisse toutefois considérer que cette zone se prolonge jusqu'aux abords de Briançon au Gondran. KILIAN distinguait déjà là⁴³ deux types de schistes bien distincts. « impossibles à délimiter rigoureusement l'un de l'autre » : d'une part les schistes lustrés de type normal, schistes calcaires avec zones lie de vin ou verdâtres, et d'autre part des schistes plus fins, argileux, voisins du Flysch — et que TERMIER avait effectivement considérés comme étant du

⁴² BLANCHET (24), p. 157 de l'édition B. S. Sc. D.

⁴³ KILIAN, C. R. A. S., 5 juillet 1897.

Flysch. Nul doute que ces schistes ne soient à comparer lithologiquement avec ceux de la « zone intermédiaire » de BLANCHET.

Plus à l'Est apparaît enfin la zone proprement dite des schistes lustrés qui s'étend surtout en Queyras. Ils s'ordonnent là en puissantes séries isoclinales déjetées vers le Nord-Est, qui se traduisent dans le relief par toute une série de *cuestas* grossièrement parallèles : crête des Eusselières entre torrent du Mélézet et haut Cristillan; arête Pointe Jacqueline - Pointe des Marcellettes entre Cristillan et Aigue Blanche; crête de Caramagne enfin au-dessus du haut Guil. Le terme de « *cuesta* » qui vient à l'esprit pour caractériser ces reliefs n'exprime d'ailleurs que très inexactement la réalité des choses. En fait, le terrain est grossièrement homogène et l'on ne saurait y distinguer sur la carte géologique l'alternance de couches dures et tendres requise pour la formation de véritables *cuestas*. Mais l'homogénéité de l'ensemble disparaît sur le terrain à qui regarde de près : des bancs plus durs de quelques décimètres, ou de quelques centimètres, apparaissent en effet dans la masse avec un beau pendage vers le Nord-Est. Dans un tel terrain, l'érosion dégage des versants dissymétriques, versants en pentes douces là où les couches sont conformes; versants en pentes raides au contraire, se résolvant en une multitude de petits ressauts structuraux, là où les couches sont contraires. Ce relief, auquel on pourrait réserver le nom de « pseudo-*cuestas* », se distingue encore des *cuestas* authentiques par le fait que leur direction n'est pas soumise directement au facteur structural; et de fait nous avons vu que leurs directions ne sont que très grossièrement parallèles entre elles. L'exemple des affluents de gauche du haut Guil, jusqu'au torrent de Peinin, est significatif : nous avons là une série de torrents qui se sont creusé leurs bassins de réception; au fur et à mesure que ces bassins se creusaient la structure isoclinale tendait à les déformer tant en plan (allure consécutive de la section supérieure du torrent de Ségure) qu'en coupe (dissymétrie des versants). Le résultat est que les crêtes d'intersection évoluèrent en « pseudo-*cuestas* ». Mais elles conservèrent en plan une allure palmée : il leur manque l'orientation structurale rigide des véritables *cuestas* ⁴⁴.

Ici et là, rompant la monotonie des schistes, des roches plus dures apparaissent d'ailleurs en masses beaucoup plus volumi-

⁴⁴ Disons tout de suite que c'est à cette structure que le Queyras doit de déterminer les records d'altitude des cultures et de l'habitat permanent (Saint-Véran). Les versants conformes forment en effet des adrets remarquablement exposés tandis que les ubacs voient leurs superficies réduites.

neuses : anticlinal résurgent triasique du Péouvou sur l'arête entre Ubaye et Cristillan ⁴⁵; anticlinal à noyau permien au col du Longet. Mais surtout les schistes lustrés sont comme truffés « de différentes roches issues d'un matériel cristallin basique... dont le mode de gisement initial fut peut-être laccolithique ⁴⁶ ». Ce sont les « pierre verdi » des géologues italiens dont la plus fréquente est la serpentine ⁴⁷. Il s'agit — sauf accidents locaux dus au broyage — de roches dures qui émergent en saillie au-dessus de la masse tendre des schistes. Le Brec de Rubren en Ubaye, le Bric Bouchet et surtout l'imposant massif du Viso (3841 m.) sont les principaux reliefs de ce type. Les roches vertes apparaissent sur la surface comme formant de grosses injections d'orientation Nord-Sud, légèrement oblique par conséquent par rapport aux orientations structurales. Il ne semble pas possible de pouvoir préciser autrement le rapport de ces deux orientations.

**

Pour concrétiser schématiquement l'ensemble de ces données nous avons tenté de figurer sur une série de diagrammes les relations pouvant exister entre les différentes zones que nous venons de parcourir. Une méthode dont nous exposerons le principe dans les chapitres suivants nous a permis d'évaluer approximativement, d'après les formes mêmes du relief, la dureté moyenne des différentes roches. Nous avons porté dès lors sur les axes verticaux des graphiques des longueurs proportionnelles aux duretés ainsi évaluées, et sur les axes horizontaux des longueurs proportionnelles aux superficies des affleurements. Voici ces diagrammes (fig. 7).

⁴⁵ Il ne serait pas impossible *a priori* de considérer le Péouvou comme la base d'une nappe supérieure (= Briançonnaise) pincée ici dans un repli synclinal « secondaire ». Nous préférons cependant de beaucoup le considérer comme enraciné. Aux arguments de DEMANGEOT (49, p. 550), nous ajouterons ceci : les éléments triasiques et permien disparaissent au Nord dans le Queyras. S'ils disparaissaient ainsi « en l'air » (hypothèse de lambeaux de nappe pincés dans des synclinaux), il faudrait admettre pour que ces lambeaux aient été conservés en Ubaye que celle-ci soit tectoniquement déprimée par rapport au Queyras méridional. S'ils disparaissent au contraire « en profondeur » sous les schistes lustrés (hypothèse d'anticlinaux enracinés) on doit admettre que le haut Cristillan se trouve tectoniquement plus profond que la haute Ubaye. C'est évidemment cette seconde hypothèse qui semble le mieux correspondre à la remontée générale des axes vers le Mercantour.

⁴⁶ DEMANGEOT (49), p. 551.

⁴⁷ Les roches vertes contiennent de l'amiante qui a été exploitée vers 1933 au col de Péas (à l'Est du Pic de Rochebrune).

Pour diviser notre champ d'études en trois zones grossièrement perpendiculaires aux plis nous avons joint l'Embrunais (à l'Est d'une ligne Mont Saint-Guillaume - Morgon) au Queyras. De ces diagrammes ressortent nettement les caractères structuraux de chaque vallée. Le granite du Pelvoux n'affleure qu'au Nord, en

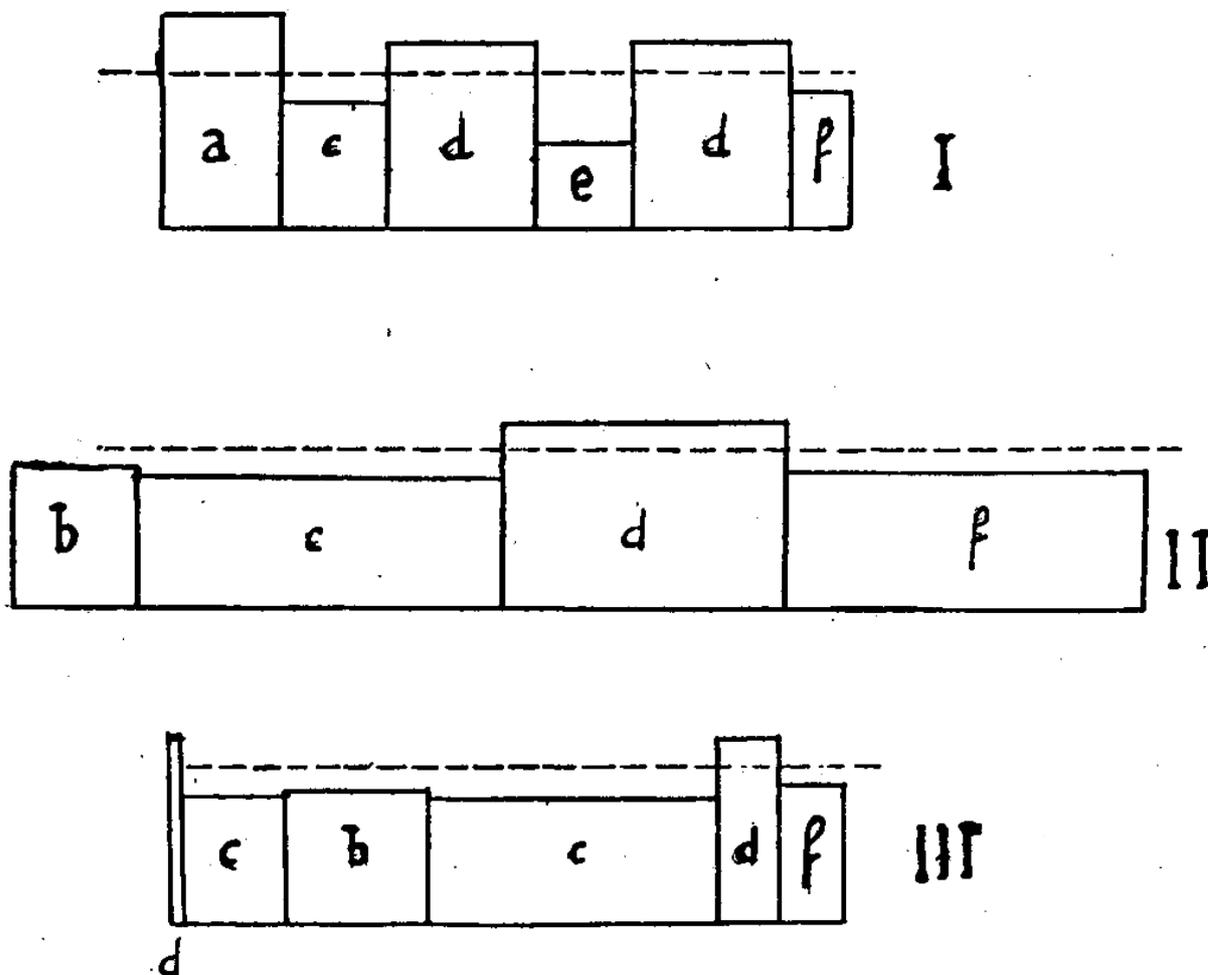


Fig. 7. — Diagrammes structuraux de la zone intra-alpine.

I, Briançonnais. — II, Embrunais-Queyras. — III, Ubaye.

a, socle cristallin. — b, Mésozoïque autochtone. — c, Flysch. — d, Mésozoïque briançonnais. — e, Houiller. — f, schistes lustrés.

La longueur de chaque rectangle est proportionnelle à l'étendue de l'affleurement qu'il schématise; sa hauteur, proportionnelle à la dureté moyenne des roches.

Briançonnais (Vallouise). Le Flysch voit l'étendue de ses affleurements s'accroître du Nord au Sud où il finit, en Ubaye, par être éventré par un anticlinal où apparaît le Mésozoïque autochtone. L'importance de la zone axiale du Mésozoïque briançonnais varie

au contraire en sens inverse, diminuant du Nord au Sud et c'est au Nord qu'elle se trouve éventrée par l'anticlinal houiller. La zone des schistes lustrés enfin n'est étendue qu'en Queyras et elle se réduit au Nord dans le Briançonnais (Cerveyrette) comme au Sud en haute Ubaye. Rappelons que cette figure n'a pas d'autres buts que de montrer la position des grandes zones structurales, de préciser les étendues occupées respectivement par chacune d'entre elles dans nos trois grandes vallées et de souligner enfin la prééminence en volume du granite et du Trias de la zone axiale. Pour le commentaire des valeurs que nous avons attribuées aux duretés relatives des autres roches, notamment du Flysch, nous renvoyons le lecteur aux deux chapitres suivants de cet ouvrage.

V. — Les problèmes d'ensemble.

Nous venons de donner de la structure de la zone intra-alpine du Sud une description régionale purement objective, la part d'hypothèse s'y trouvant réduite au minimum. Il nous reste à examiner encore un certain nombre de problèmes plus généraux, intéressant l'ensemble des éléments tectoniques, problèmes auxquels nous ne pourrions donner le plus souvent que des solutions très imparfaites.

Le problème des nappes. — Toute étude moderne de la tectonique intra-alpine envisage celle-ci comme la superposition d'une série de « nappes » formées soit par étirement d'anticlinaux, soit par décollement ou écoulement, et séparées en tout cas les unes des autres par des surfaces de discontinuité. Nous même avons dû le plus souvent employer ce langage consacré par l'expérience et avons été ainsi amené à reconnaître au total 9 nappes principales dont le tableau ci-joint résume la position (tableau I, p. 421).

Mais ce terme de « nappe » implique trop facilement une idée qui serait fautive et dont on a quelque peine à se dégager : celle d'une superposition *intégrale* de ces éléments tectoniques : rien ne serait en fait plus inexact. GIGNOUX et MORET ont déjà insisté sur cette idée qu'il « faut bien que les nappes commencent et se terminent quelque part » et que « les grandes unités tectoniques des Alpes » ressemblent « non pas à des cylindres bien réglés qui se poursuivraient d'une extrémité à l'autre de la chaîne en conservant

toujours leur individualité, mais bien à des « festons » qui se relayent comme se relayent les vagues le long d'un rivage ou au front d'une coulée de matière visqueuse⁴⁸ ». Les exemples abondent dans le champ de notre étude qui illustreraient cette notion. C'est d'abord la vaste zone du Flysch de l'Embrunais qui se lamine aux abords de la Biaysse au Nord de laquelle les zones subbriançonnaise et briançonnaise se trouvent dès lors accolées. C'est la zone du Flysch des Aiguilles d'Arves que l'on voit « naître » à la Croix de Ciboui du Flysch autochtone. C'est le bord externe des nappes briançonnaises qui apparaît au Sud de la Durance comme formé de toute une série de « festons » émergeant du Flysch pour se relayer. On notera ainsi en particulier (voir les coupes de BLANCHET, 24) que la nappe qui se suivait sans interruption en Ubaye du verrou du Châtelet à la Mortice disparaît plus au Nord sous une digitation supérieure apparue au sommet du Pic des Houerts et qui s'élargit dans la crête de Vars. Mais à ce moment, le synclinal couché de Flysch qui séparait les deux digitations disparaît ainsi que la digitation inférieure elle-même au droit de l'ancien hameau d'Escreins. Le résultat est que le front externe de la zone axiale triasique, un instant dédoublé par le jeu d'un festonnement de nappe, retrouve au Nord d'Escreins son unité, mais se trouve maintenant constitué par une unité tectonique supérieure. Certains chevauchements enfin peuvent être très limités comme développement : tel celui, pourtant bien caractérisé, formant la base de la digitation de Pierre-Eyraute. Nous ne croyons pas qu'il s'agisse là de simples vues de l'esprit, ni d'observations purement théoriques à laisser aux seuls géologues : le géographe ne peut pas ignorer ces faits qui sont autant d'obstacles à toute systématisation trop poussée de la structure et à toute étude trop hardie de l'adaptation du réseau hydrographique.

Limitées sur leurs fronts, les nappes le sont encore, elles le sont surtout, en profondeur : nous voulons dire par là que les racines des nappes les plus externes peuvent fort bien se trouver « en avant » du front des nappes les plus internes. Ailleurs, comme c'est le cas pour le Flysch du Pelat, la nappe a pu disparaître tout entière par laminage sur une grande distance entre la zone des racines et la zone frontale. Pour l'une ou l'autre de ces raisons *il ne faut pas s'attendre à trouver sur une même verticale toute la succession des unités tectoniques intéressant une région.* Dès lors, le numérotage des éléments tectoniques inauguré par TERMIER avec

⁴⁸ GIGNOUX et MORET (19), p. 59.



Pl. III A. — Détail du front de la nappe Briançonnaise,
dans un torrent au Nord du Monctier.

A gauche, Flysch formant le sommet d'une nappe inférieure. Large affleurement de Houiller (replat avec plaques de neige) qui se trouve posé au-dessus du Flysch. Au-dessus encore, escarpements du Trias.

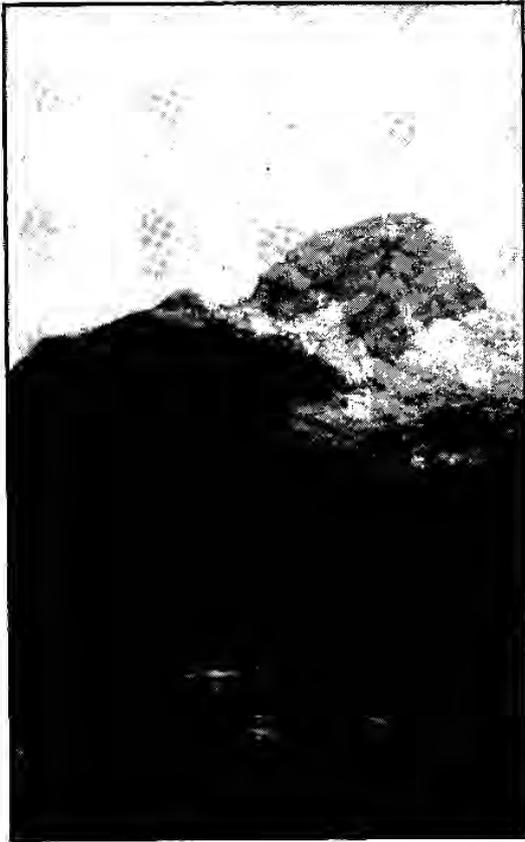


Pl. III B. — La Grande Séolane, vue du Sud.

Masse charriée mésozoïque reposant sur une nappe de Flysch aux formes molles.

Les deux photographies sont prises du Sud vers le Nord, les nappes viennent donc de la droite.

Clichés Péquy.



PL. IV A. — La Grande Séolane,
vue du Nord.

La vue est prise du bassin de réception
du torrent des Thuiles. Noter le synclinal
perché formé par le lambeau charrié au-
dessus du Flysch autochtone.



PL. IV B. — Gorges de Palluel.
Torrent coulant au Nord du col
d'Allos dans la masse du Flysch.

Clichés Abbé Krebs.

TABLEAU I *Tableau synoptique des éléments structuraux.*

	Ubaye.	Embrunais-Queyras.	Briançonnais.
0.	« Terres noires »	« Terres noires »	Massif cristallin du Pelvoux. vers le Sud, couverture autochtone nummulitique.
1.		Ecailles « ultradauphinoises ».	Ecaille du Cibou. Flysch des Aiguilles d'Arves.
2.	Ecailles subbriançonnaises externes. Flysch du Pelat.	Ecailles subbriançonnaises externes.	1 ^{re} écaille de Termier (?).
3.	Ecailles subbriançonnaises internes. (Morgon, Scôlanes.)	Ecaille de Chabrière.	
4.	Flysch de l'Ubayette.	Flysch de l'Embrunais.	
5.	Anticlinal subautochtone Saint-Ours-Oronaye.	Nappe inférieure du Guil. Ecaille Réotier-Roche Charnière (= nappes I et II Blanchet).	2 ^e écaille de Termier.
6.	Nappe Chambeyron-Mortice.	Nappe III a de Blanchet.	« Briançonnais externe » de Gignoux et Moret (Tête de Grand Fré).
7.		Nappe III b de Blanchet. Nappe supérieure du Guil. Nappe de la Tête de Gaulent (Gignoux et Moret).	Nappe supérieure du Guil (Roc de Saphie). 3 ^e écaille de Termier.
8.			« Digitation de Pierre-Eyraudz ».
9.			4 ^e écaille de Termier (?).
10.	Zone du Col du Tronchet.	Zone du Col du Tronchet.	
11.	Schistes lustrés.	Schistes lustrés.	Schistes lustrés.

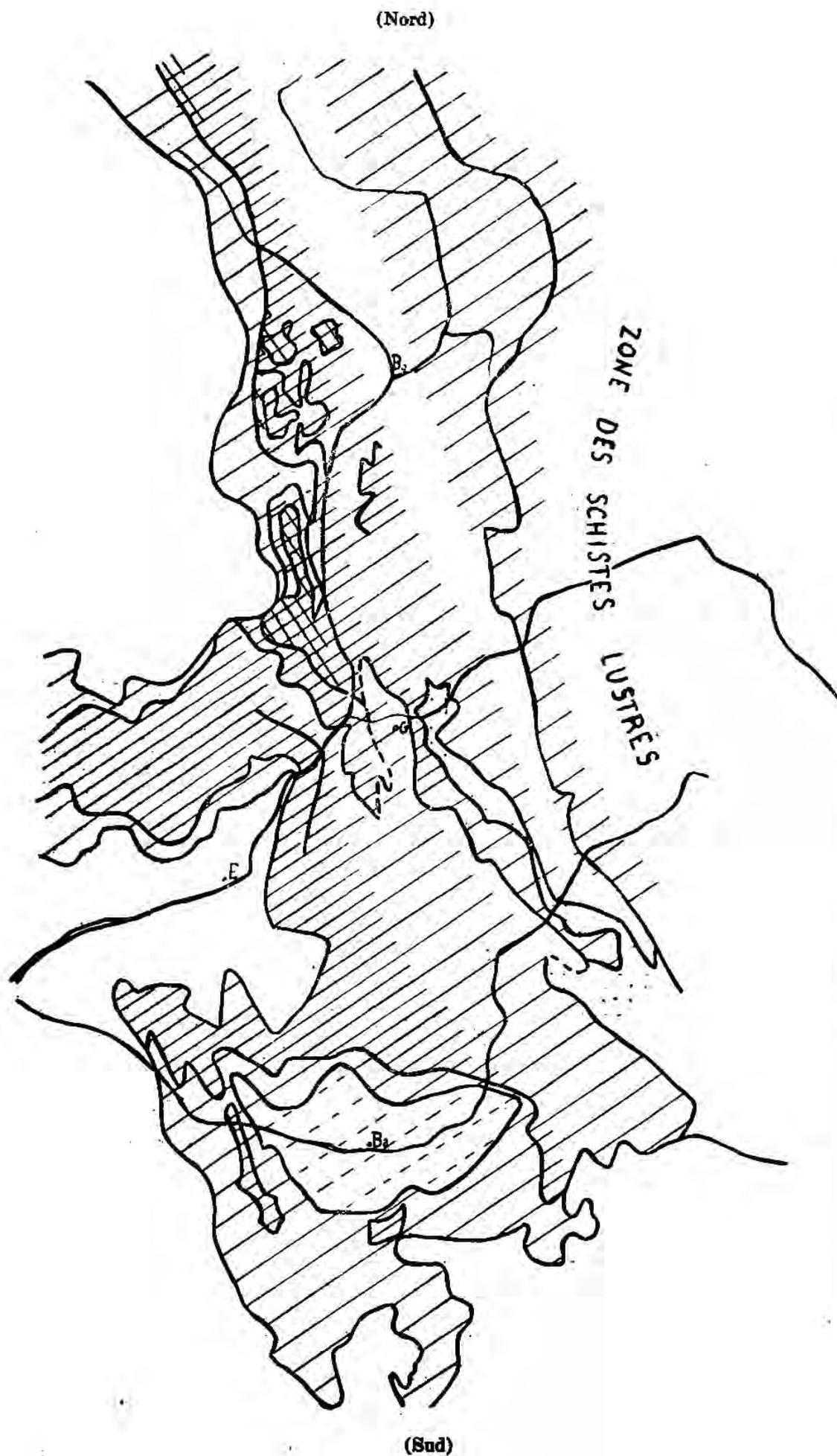


Fig. 8. — Schéma de la superposition probable des nappes.

Grisé lâche : une seule nappe recouvre le socle autochtone ; — *grisé serré* : superposition probable de deux nappes.

Quadrillé oblique : superposition probable de trois nappes.

Tirété : fenêtre de Barcelonnette.

Pointillé : zone « subautochtone » (anticlinal de Saint-Ours, anticlinal de la fenêtre du Guil).

sa découverte classique des quatre « écailles » dans les montagnes entre Briançon et Vallouise n'exprime nullement un classement « vertical », mais un simple numérotage d'éléments qui se relayent sur le plan vertical de la coupe comme sur le plan horizontal de la carte. TERMIER avait déjà dû faire remarquer que sa quatrième écaille ne s'observait en fait ni sur la même verticale que la première, ni même sur le plan d'une même coupe perpendiculaire aux axes tectoniques.

Sur la figure 8 nous avons essayé de traduire ces faits trop souvent négligés. Le grisé lâche y indique les zones où le socle autochtone n'est vraisemblablement recouvert que par l'épaisseur d'une seule nappe; le grisé serré indique la superposition probable de deux nappes; le quadrillé oblique celle de trois. Evidemment, la part d'hypothèse qui entre dans le dessin d'une telle figure est considérable, rien ne permettant d'imaginer avec précision comment disparaissent les nappes en profondeur par enracinement ou laminage⁴⁹. Néanmoins deux faits nous semblent certains : le premier, c'est que l'on ne trouve nulle part sur une même verticale superposition anormale de plus de trois éléments tectoniques — alors que notre étude nous en a révélé l'existence de neuf (tabl. I). Rien ne permet mieux de comprendre qu'il s'agit moins de *superposition* que d'*imbrication* d'éléments tectoniques et que pour désigner une telle structure le terme d'*écaille* est plus souvent infiniment plus juste que celui de *nappe*. Le second fait qui ressort de la figure est que la zone de complication structurale maxima ne se trouve pas située près des racines — hypothétiques — de l'éventail briançonnais, mais bien dans la zone frontale au droit du Pelvoux, entre le col de l'Eychauda et le massif de la Tête de Gaulent.

Le problème de processus de formation de nos nappes ressort évidemment plus de la géologie pure que de la géographie : il ne sera tout de même pas inutile d'en retenir que les hypothèses proposées ont été multiples et que la réalité n'est assurément pas simple. Dans le cas du Flysch de l'Embrunais on tend aujourd'hui à faire intervenir un « écoulement par gravité » ; l'absence de défor-

⁴⁹ Nous avons précisément essayé, dans l'établissement de cette figure, de nous en tenir aux *hypothèses les plus simples*, susceptibles d'expliquer les *faits visibles*. Certains géologues peuvent estimer qu'un sondage opéré sous Briançon rencontrerait le mésozoïque sous le Houiller ou que l'andésite du Guil « pourrait » reposer sur du Flysch... De pareilles hypothèses doivent rester, croyons-nous, étrangères au géographe qui doit considérer au moins provisoirement tout terrain ne reposant pas sur un terrain plus récent visible dans une « fenêtre » comme autochtone ou, si l'on veut « subautochtone ». C'est le qualificatif que nous avons employé, entre autres, pour l'anticlinal de Saint-Ours.

mation des empreintes d'Helminthoïdes est l'argument principal qui milite en faveur de cette hypothèse. Notre Flysch ne serait donc rien d'autre que la couverture de la zone axiale qui se serait écoulée vers le Sud-Ouest lors de la surrection de celle-ci. Mais ailleurs, au Plan de Phazy ou à la Croix de Ciboui, l'existence d'écaillés granitiques chevauchant des terrains sédimentaires semble impliquer l'existence de violents mouvements tangentiels, d'une tectonique « forcée » opposée à la tectonique « libre » de l'écoulement. Ailleurs encore, la présence des micaschistes cristallins du Sommet de l'Eychauda au-dessus du Flysch trahit l'existence soit de mouvements tectoniques étonnamment puissants, avec plis en retour, soit d'un épanchement des terrains cristallins à un état semi-fluide. Tectonique complexe et longue à coup sûr : on a l'impression que toute une série de processus orogéniques se sont relayés dans le temps comme les éléments structuraux visibles aujourd'hui se relayent dans l'espace...

La tectonique superficielle. — Ces nappes se trouvent affectées à leur tour, comme nous l'avons montré, d'ondulations tectoniques « secondaires ». Il nous reste à tenter une synthèse des principales d'entre elles, de celles-là surtout qui affectent plusieurs zones structurales. Notre planche V nous dispensera de revenir longtemps sur les mouvements d'orientation *longitudinale*. Nous y reconnaissons notre « axe des dômes », lieu des culminations reliant le Mercantour au Pelvoux par les dômes de Barcelonnette, d'Embrun et de Prapic. Ajoutons seulement qu'il s'agit d'une unité purement cartographique, descriptive, qui ne préjuge en rien d'une unité tectonique d'origine : en fait, les dômes d'Embrun et de Barcelonnette, éventrés par des cours d'eau antécédents sans la moindre esquisse d'une hydrographie divergente, ont dû connaître une surrection postérieure à l'organisation hydrographique et *a fortiori* à la mise en place des nappes, tandis que le Mercantour et le Pelvoux, dont l'érosion avait déjà donné aux grès d'Annot leurs éléments cristallins, étaient certainement émergés avant cette même mise en place⁵⁰. A l'Ouest de cet axe hétérogène l'ensemble des nappes et de leur tréfonds se trouve affecté de deux accidents synclinaux, synclinal des Thuiles et synclinal du Morgon séparés par l'anticlinal de Rioclar. C'est à la faveur de ce second synclinal — qui se suit jusqu'aux abords du Pelat — que se sont conservées les nappes

⁵⁰ C'est ce qu'a fort bien vu DEMANGEOT (49), p. 563 : Dômes et butoirs.

supérieures du Morgon et des Séolanes. Plus en avant, l'allure isoclinale de la structure se poursuit au delà même du front des nappes (front dont la position actuelle dérive du jeu de l'érosion) pour former, de Dormilloux à la Tête de l'Estrop, une formidable arête dissymétrique que nous appellerions volontiers la « cuesta frontale alpine ».

A l'Est de l'« axe des dômes » se trouve, avec le grand synclinal du Flysch ou « synclinal interne » l'élément tectonique le plus continu de toute notre région. Au delà encore nous reconnaissons l'aire anticlinale de la zone axiale, puis la structure isoclinale des schistes lustrés. Retenons seulement comme leçon de cette récapitulation le fait qu'un même mouvement superficiel longitudinal peut prendre en écharpe plusieurs zones tectoniques. C'est notamment le cas du grand sillon de Flysch qui se prolonge dans la zone briançonnaise par le synclinal de Champcella. Beaucoup plus intéressant et révélateur de faits nouveaux va être l'examen des mouvements superficiels *orthogonaux* — c'est-à-dire perpendiculaires à la direction générale alpine — ou, si l'on veut encore, des *abaissements d'axe* (planches III et V). Du Mercantour le socle cristallin, plongeant périclinalement, s'abaisse d'abord vers l'Ubaye. Il s'abaisse même vraisemblablement au delà et les axes tectoniques paraissent plus bas encore dans le massif de la Font-Sancte que dans celui du Chambeyron. Tandis que l'Ubaye ne s'est localisée sans doute que le long d'une série de flexures, la masse crétacée de la Main de Dieu trahit plus au Nord l'existence d'un ensellement considérable.

Au Nord de la Durance et du Guil inférieur un synclinal transverse remarquable se situe dans le massif Autanes - Mourre Froid, correspondant au lieu des points bas entre socle cristallin du Pelvoux et Dôme de Gap⁵¹. Cet accident se prolonge à coup sûr dans la retombée méridionale du massif de Peyre-Eyraute⁵². Plus à l'Est enfin on retrouve le même alignement dans le cours moyen du Guil, de Château-Queyras à Abriès.

Plus au Nord encore, dans le massif cristallin et le Briançonnais, des indications intéressantes abondent. Les « fenêtres » cristallines du Fournel et surtout de la Biaysse permettent d'observer avec précision les mouvements transversaux. La fenêtre de la Biaysse est située sur le rebord nord-oriental d'un dôme (« dôme du Pinier » auquel est liée la fenêtre de Prapic); elle dénote donc un

⁵¹ Les Autanes sont situées en fait sur un léger synclinal secondaire, plus septentrional, qui relaye en coulisse le synclinal principal dont l'axe passe vers les sommets de la Diablée (Dublée de l'E.-M.), et de Clotinaille.

⁵² Le fait a été très judicieusement observé par DE VAUMAS (53). p. 586-7.

fort pendage vers le Nord : le cristallin y remonte en effet à 2500 m. dans la vallée du Ruffy tandis qu'il disparaît à moins de 2100 m. au Nord de Dormillouze. Dans le Fournel où l'affleurement, beaucoup plus étroit, donne des indications moins certaines, le pendage de la surface de base du Flysch semble se faire au contraire vers le Sud. La crête de Dormillouze se serait donc localisée sur un très léger synclinal d'orientation Ouest-Est (= « pyrénéenne »?). Mais un accident plus important s'observe plus au Nord : le socle ancien plonge en effet sous l'Eyglière avec un pendage d'environ 30° SSE.; il ne peut donc réapparaître dans la vallée du Fournel que grâce à une flexure, peut-être même une faille, d'orientation Ouest-Est et de regard Nord.

Passons au Briançonnais : quand on vient du Sud un premier relèvement d'axe est souligné par la base de la digitation de Pierre-Eyraute qui s'élève de 2300 m. au Puy à 2700 m. à la base du Pic Jean-Rey. Le synclinal triasique de Rochebaron-Piolier se relève lui aussi au Nord pour disparaître « en l'air » au delà de ce hameau. L'apparition du Houiller dans le bassin de Briançon confirme partout ce relèvement des axes : émergé à 2500 m. sous le Trias au Sud des chalets des Ayes, il dépasse 2750 à la Croix de La Gardiole, 3000 m. sans doute dans le fond de la vallée de la Clarée⁵³. Et sur le synclinal occidental du Briançonnais, les faits observés sont analogues : le Houiller n'y dépasse pas 1800 m. près des Combes tandis qu'il monte à 2150 au Sud du Petit Aréa, à 2550 au Nord du col de Buffère (côté Tête Noire). Au delà un abaissement d'axe doit intervenir puisqu'il n'apparaît que vers 2200 m. au fond de la profonde coupure du Queyrellin⁵⁴.

Il résulte de cette analyse que, sous réserve d'accidents de détail, chaque axe structural tend à se relever du Guil vers le Galibier. C'est là l'effet de l'énorme remontée du tréfonds cristallin dans l'amygdaloïde Ecrins-Pelvoux. Du coup se substitue à la tectonique en nappes qui prévalait dans le Sud une tectonique d'écaillés imbriquées, inclinées de 30° à 45° sur l'horizontale et qui se chevauchent comme pour monter à l'assaut du Pelvoux. C'est elle encore qui amène au cœur de la zone axiale de larges affleurements de Houiller

⁵³ Parmi les nombreux points où s'observe un relèvement transversal des couches vers le Nord, on nous permettra de citer encore la petite gorge dans laquelle s'enfonce d'une vingtaine de mètres le torrent de Granon en aval des chalets de ce nom : les couches de Trias y plongent franchement vers le Sud.

⁵⁴ Indépendamment des relèvements d'axe, il faut signaler ici le décrochement horizontal du synclinal perché de l'Aréa au col de Buffère, décrochement qui se situe dans le prolongement de celui du synclinal col d'Arsine-Ciboui. Sans doute est-ce là un effet du rôle de résistance que constitue le Pelvoux. \

alors que, plus au Sud, les anticlinaux ne nous montraient que des noyaux de quartzite, ou tout au plus de Permien. A la « hernie » de la zone interne entre Mercantour et Pelvoux fait suite, plus au Nord, une structure d'arrière-pays de massif cristallin : toute la clef du Briançonnais est là.

Mais si l'on cherche à pénétrer plus avant encore dans les détails de cette structure on se heurte à des faits qui défient toute synthèse trop ambitieuse et la complexité des accidents que nous avons essayé de cartographier sur notre planche V ne paraît guère susceptible de description par trop systématique. Il faut renoncer assurément à trouver de grands accidents transversaux prendre en écharpe toutes les Alpes du Sud, des massifs anciens aux zones les plus internes. Mais nous ne croyons pas beaucoup plus exacte, au moins dans tous ses détails, la conception de DE VAUMAS⁵⁵ qui oppose à toute culmination de la zone externe un ensellement de la zone interne et vice versa. L'extension aux Alpes du Sud de toute généralisation de cette nature se heurte en effet à trois obstacles. Le premier est la difficulté où l'on est, par suite de l'incurvation d'ensemble de la chaîne, de déterminer des alignements transversaux qui échappent à toute critique. Le second est le fait que les accidents transversaux de la structure, comme les accidents longitudinaux, se défient des alignements trop simplistes pour se relayer assez souvent « en coulisse » : ainsi le synclinal des Autanes relaie-t-il plus au Nord le grand synclinal du Guil ; ainsi encore le dôme d'Embrun est-il une aire anticlinale complexe qui résulte non de la simple intersection de deux axes perpendiculaires, mais du relais de deux ou trois anticlinaux transverses. En troisième lieu enfin, il faut noter que les grandes masses anticlinales des Alpes du Sud n'ont pas connu toutes la même origine : si le Pelvoux et le Mercantour ont émergé — nous en avons rappelé la preuve — *avant* la mise en place des nappes et ont dès lors dû guider celles-ci dans leur écoulement, les dômes de Gap, d'Embrun et de Barcelonnette n'ont achevé, eux, de saillir que bien plus tardivement, et fort lentement, comme en témoigne, nous le verrons, leur hydrographie antécédente. Dès lors, la conception chère à DE VAUMAS d'un écoulement des nappes se gonflant au-dessus des enselllements du socle peut paraître admissible dans le cas des accidents du premier groupe, — ceux qui sont antérieurs à la mise en place des nappes —, elle demeure inopérante à systématiser les accidents transversaux les plus récents. C'est ainsi que la retombée septentrionale du dôme de

⁵⁵ DE VAUMAS (22).

Gap — accident récent — se fait dans le synclinal des Autanes qui prolonge, aussi exactement que possible, le synclinal du haut Guil en pleine zone intra-alpine.

La leçon de ces difficultés, c'est que l'étude structurale elle-même d'une région alpine se révèle incertaine sans l'appui de certains témoignages tirés de l'examen du réseau hydrographique, voire des formes d'érosion.

p 428 vers 3 F n° 1547 353

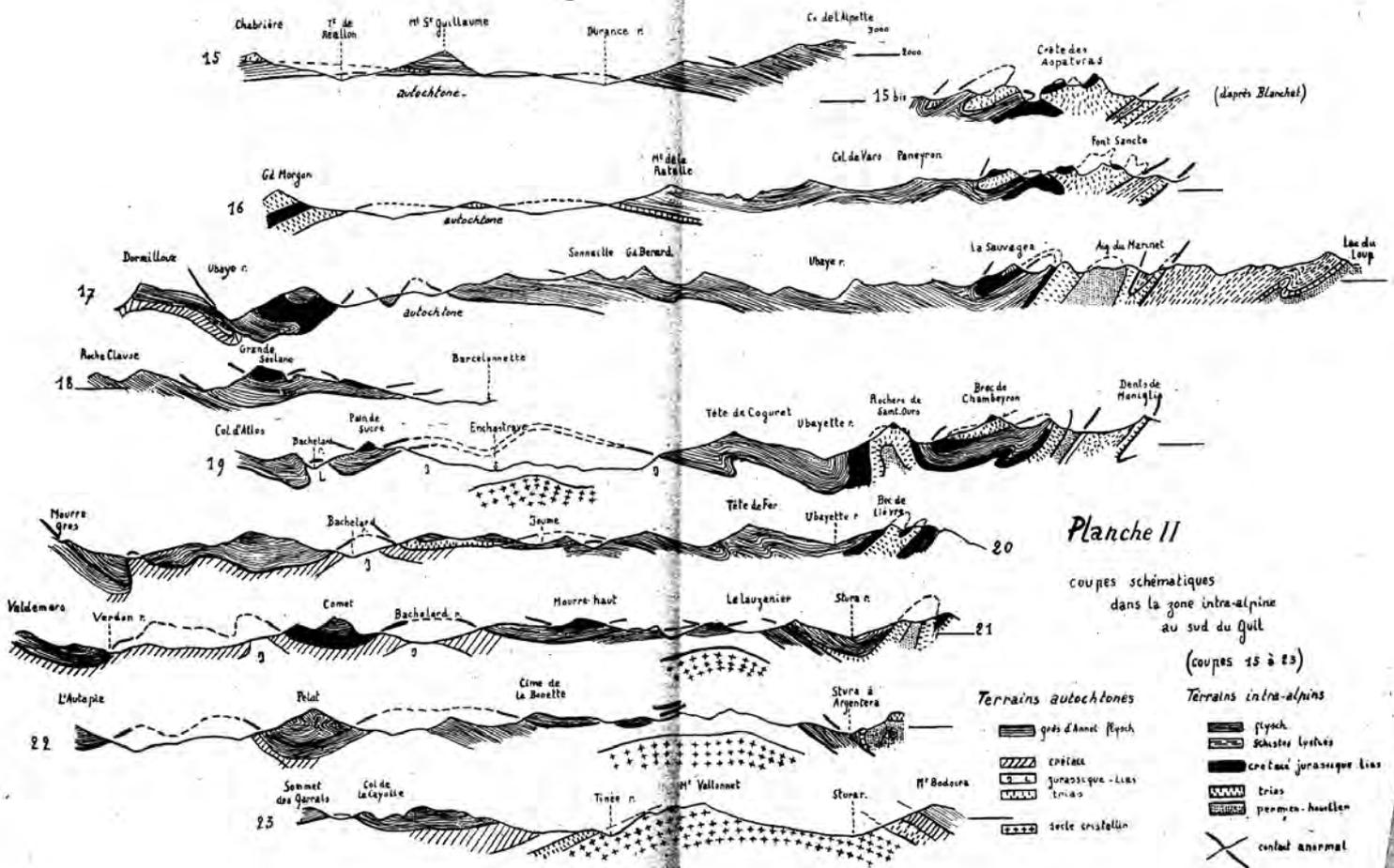


Planche II

coupes schématiques dans la zone intra-alpine au sud du Quil

(coupes 15 à 23)

Terrains autochtones

- gres d'Annet Flysch
- crétacés
- jurassique - Lias trias
- socle cristallin

Terrains intra-alpins

- flysch
- schistes lustrés
- crêtes jurassique Lias
- trias
- permien-hautain
- contact anormal

p428 vers L 5 F 15 1947 35-3

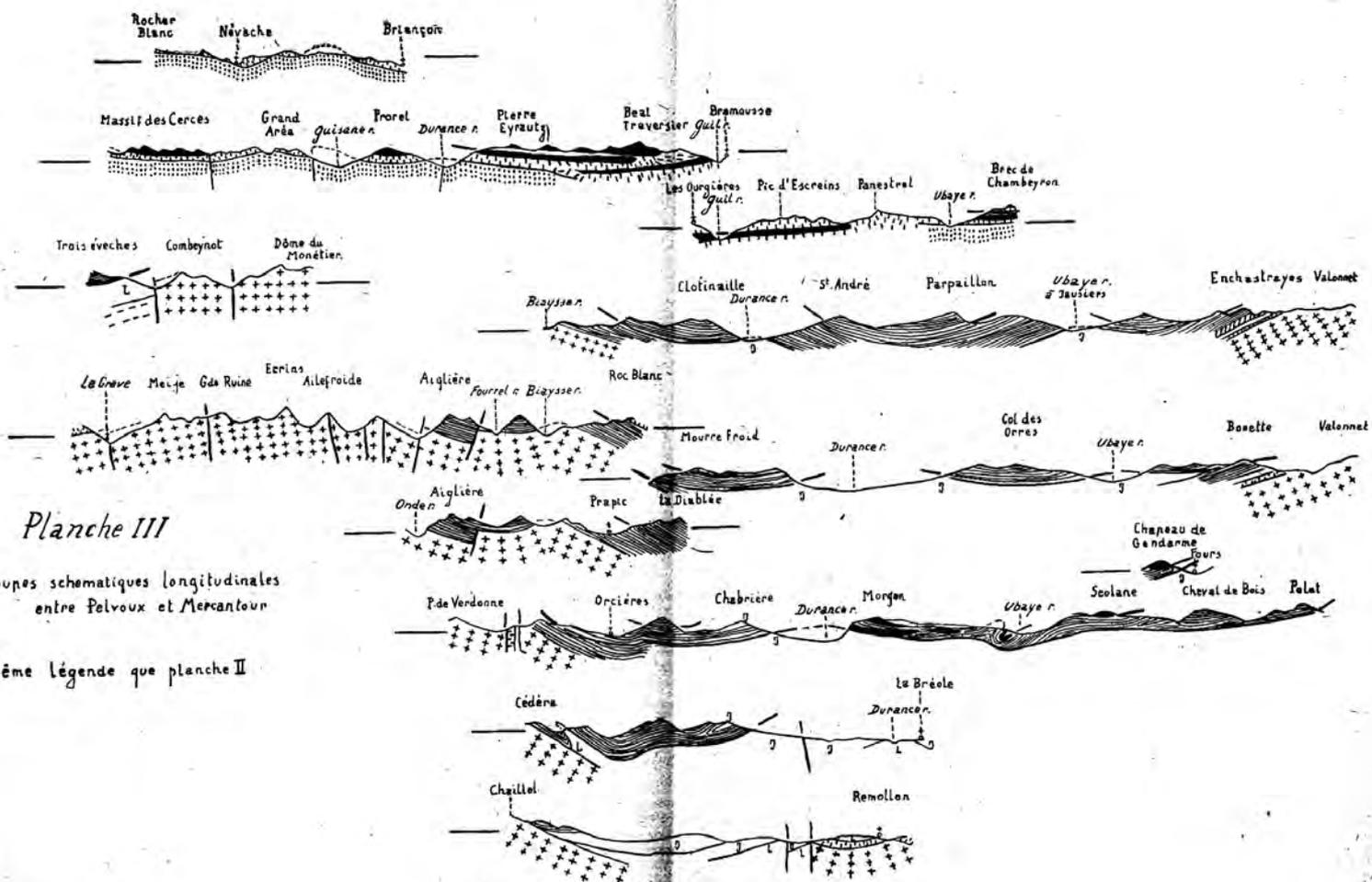
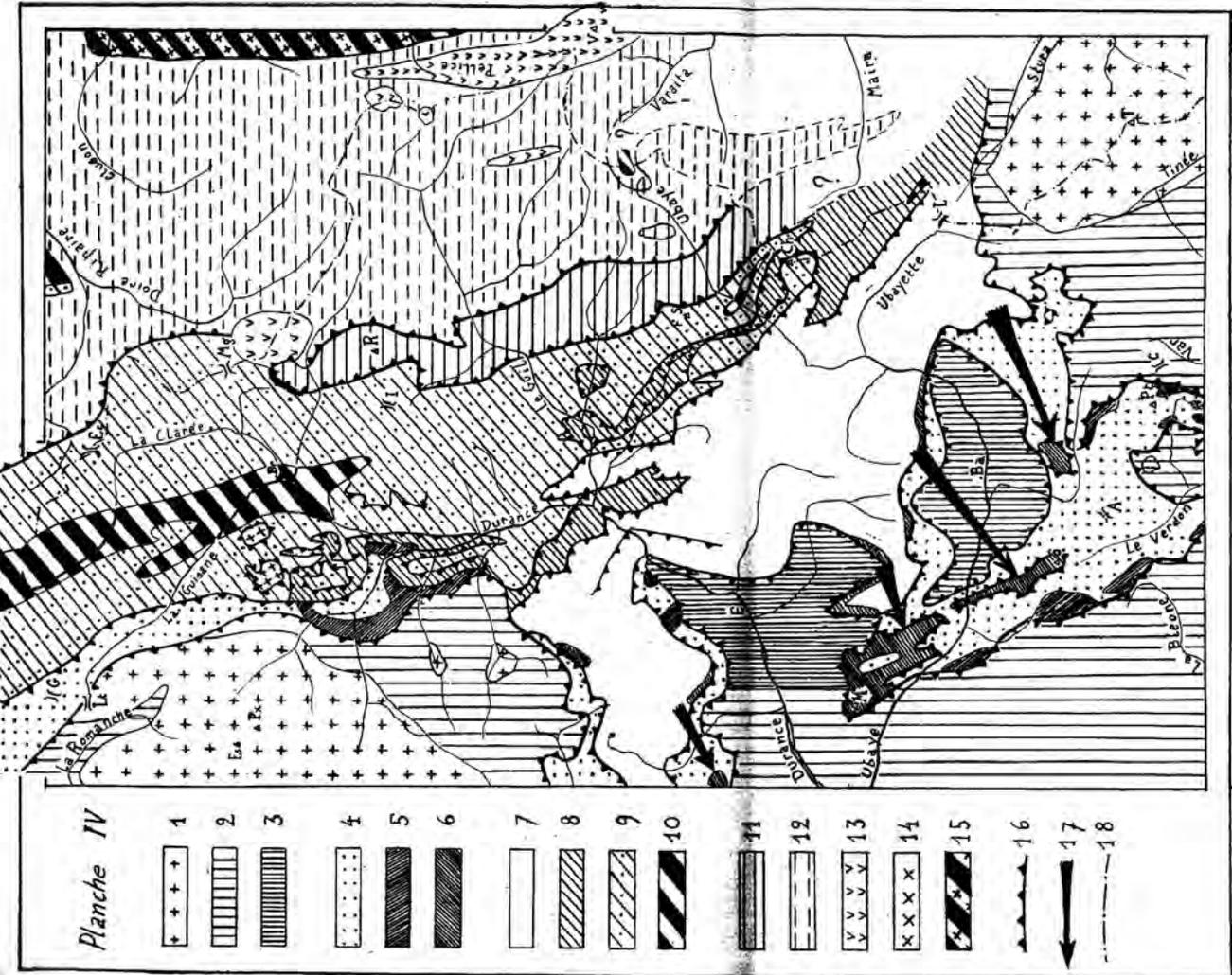


Planche III

coupes schématiques longitudinales
entre Pelvoux et Mercantour

Même légende que planche II

p428 insel 7 F n° 1847 35-3

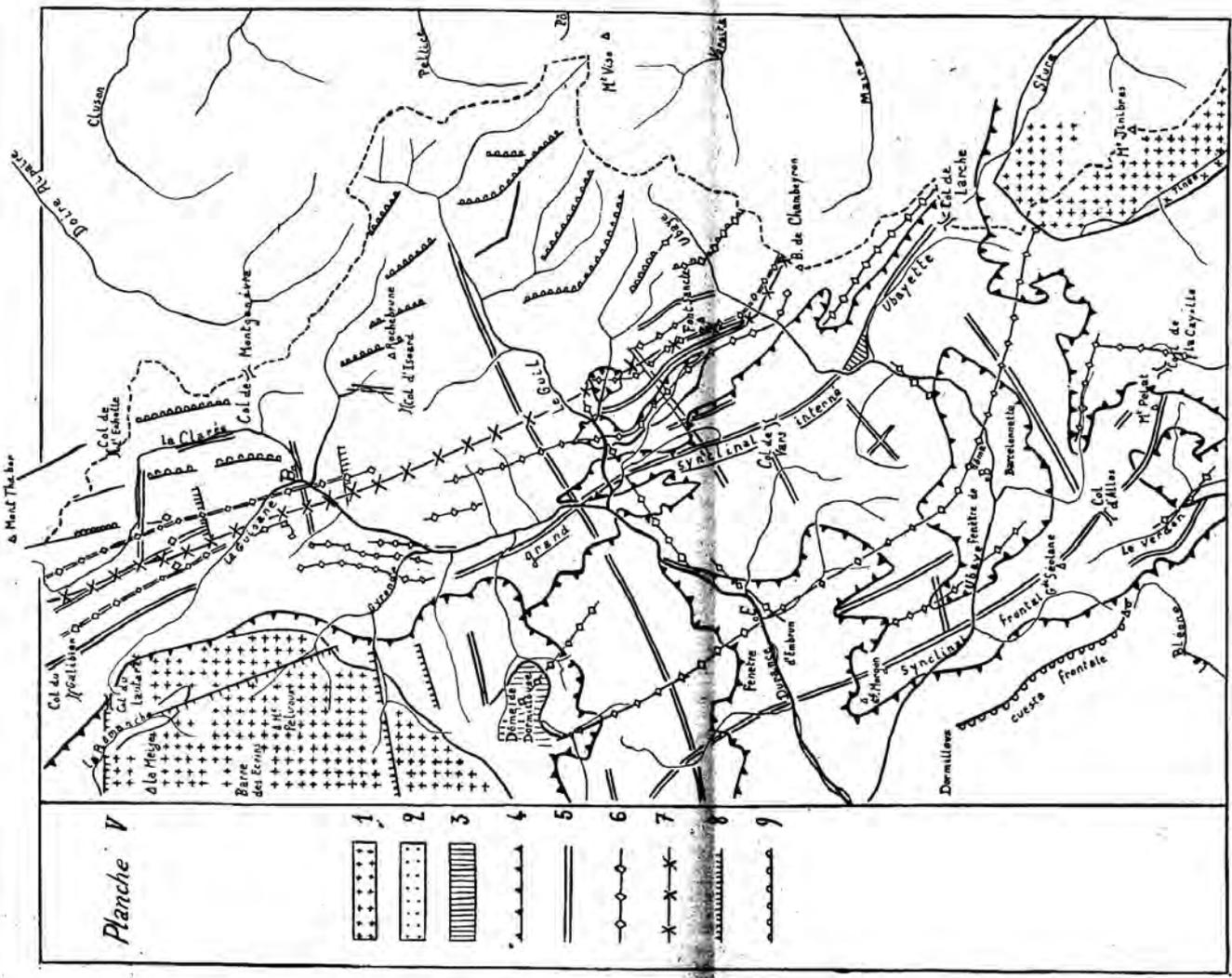


LES ÉLÉMENTS TECTONIQUES DE LA ZONE INTRA-ALPINE.

1 : socle cristallin. — 2 : couverture mésozoïque ou nummulitique. — 3 : couverture mésozoïque dans les ophiolites d'Embrun et de Barcelonnette. — 4 : Flysch des Aiguilles d'Arves et Flysch « externe » de l'Ubaye (ces deux éléments, quoique réunis sous le même signe, ne sont pas rigoureusement identiques). — 5 : écaillés subbriançonnaises externes. — 6 : écaillés subbriançonnaises internes. — 7 : Flysch de l'Embrunais. — 8 : écaillés briançonnaises externes. — 9 : briançonnais interne. — 10 : Houiller des anticlinaux briançonnais. — 11 : zone du col du Tronchet. — 12 : schistes lustrés. — 13 : « pierres vertes ». — 14 : « quatrième écaillé ». — 15 : Houiller métamorphique interne. — 16 : front des nappes et des écaillés. — 17 : schématisation des principaux charriages. — 18 : frontière.

Abréviations : A : col d'Allos. — Ba : Barcelonnette. — Br : Briançon. — C : col de la Cayolle. — Ch : Chambevron. — E : Embrun. — Es : Barre des Ecrins. — Ec : col de l'Échelle. — F.S. : Font-Saacia. — G : col du Galibier. — I : col d'Isard. — L : col de Larche. — La : col du Lautaret. — M : Morion. — Mg : col du Montgenèvre. — Pt : Palat. — Px : Peloux. — R : Rochebrune. — T : Tintras. — Th : Thabor. — V : Viso.

pl28 work 9 F no 1547 35-3



LA STRUCTURE SUPERFICIELLE

1 : socle cristallin. — 2 : « fenêtres ». — 3 : Dôme de Dormillouse. — 4 : fronts principaux des nappes (chevauchement pennique frontal et front du Briançonnais). — 5 : synclinaux de nappes. — 6 : anticlinaux de nappes. — 7 : axe de l'éventail » Briançonnais. — 8 : failles. — 9 : cuestas.

Errata : le figuré 2 a été omis dans la « fenêtre » de Barcelonnette.

CHAPITRE II

LA GENESE DES VALLEES

Sans méconnaître l'importance du facteur structural dans le domaine intra-alpin des Alpes méridionales, on ne saurait pourtant prétendre expliquer par la seule géologie l'aspect actuel du relief. Partout, ne l'oublions pas, plusieurs milliers de mètres de sédiments ont été déblayés par l'érosion au-dessus de la surface actuelle. Aussi devine-t-on que l'agent et les modalités de ce déblaiement déterminent autant que la nature même des roches l'allure de la topographie.

Glaciaires ou fluviales, ce sont les vallées qui ont été le théâtre de ce travail de déblaiement. Aussi aborderons-nous l'étude de la morphologie par l'examen de leur tracé et de leur façonnement, réservant pour un troisième chapitre l'application de méthodes inédites d'analyse morphométrique à l'étude de l'organisation régionale du relief.

I. --- Le problème du tracé.

De sa source jusqu'au delà de Sisteron, la Durance coule avec une simplicité de tracé que pourrait lui envier toute autre rivière alpine. La montagne est comme éventrée jusqu'aux cols frontière par une longue entaille à peine sinueuse et David MARTIN a pu parler quelque part avec une pointe de poésie de l'« avenue triomphale de la Durance ». De fait, de ses sources au confluent de l'Ubaye, notre rivière réunit par un lit de 73 kms deux points qui sont distants à vol d'oiseau de 58 kms : l'allongement du cours n'atteint que le quart, valeur infime pour un cours d'eau de chaîne plissée. L'Ubaye, elle, réunit par un cours de 78 kms deux points distants de 53 : l'allongement est ici déjà d'environ la moitié. Mais des calculs analogues effectués pour l'Arc ou pour l'Isère nous mèneraient à des allongements de l'ordre de 60 ou de 70 %. De

pareils chiffres expriment que les Alpes du Sud possèdent une hydrographie bien plus simple que celles du Nord. Les rivières (sauf l'Ubaye vers Saint-Paul et le Bachelard) n'offrent guère de ces cours coudés si caractéristiques que l'on rencontre en Tarentaise ou dans le Jura. Tout ceci provient de ce large ensellement entre Pelvoux et Mercantour grâce auquel, par ailleurs, les nappes de l'Embrunais doivent d'avoir partiellement échappé à la morsure de l'érosion. Grâce à cet ensellement la région a connu très tôt un écoulement transversal relativement simple, de l'arête faitière vers le bas pays, simplicité dont on ne trouverait guère d'autres exemples dans nos Alpes. C'est ainsi que le trait le plus original du relief des Alpes du Sud découle logiquement de leur caractère structural le plus saillant.

Mais vues de près, les choses se révèlent moins simples. En aval de son confluent avec la Clarée¹ la Durance traverse d'abord obliquement aux axes le système triasique oriental du Briançonnais, puis l'anticlinal houiller dans lequel s'évase le bassin de Briançon. Toujours obliquement, elle coupe le système triasique occidental Montbrison - Peyre-Eyraute. Dans la « fenêtre de l'Argentière » la rivière éventre un anticlinal de nappes; à La Roche-de-Rame nous voyons la vallée devenir isoclinale pour se fixer enfin, plus en aval encore, sur le synclinal de Champcella. Mais à peine la Durance s'est-elle installée dans le grand « val » du synclinal de Flysch qu'elle le quitte pour traverser en cluse franche l'éperon rocheux de Réotier qui sépare le Haut du Bas-Embrunais. Plus loin son orientation prolonge dès lors celle du long sillon du Guil, rivière dont le tracé est sensiblement plus simple. En effet, après un cours supérieur longitudinal ou sublongitudinal jusqu'à Abriès le Guil présente dans son cours moyen et inférieur un tracé nettement transversal, avec une seule déviation locale entre l'Ange Gardien et La Chapelue. Ce long secteur transversal semble coïncider avec le lieu d'abaissement maximum des axes structuraux entre Pelvoux et Mercantour.

Quant à l'Ubaye, elle coule dans une région relevée inégalement au contact de ce dernier massif, ce qui lui vaut à nouveau un tracé dans le détail assez complexe. DEMANGEOT localise la haute Ubaye sur un synclinal transverse². Le fait ne se vérifie guère qu'au droit

¹ Rappelons ici l'existence du problème toponomastique de la Durance-Clarée sur lequel se sont acharnés bien des érudits locaux : selon DE MANTEYER la fréquentation du col du Mont-Genèvre expliquerait que le cours d'eau qui en était issu ait imposé son nom en aval au grand collecteur hydrographique des Alpes du Sud. Par ailleurs, le terme de « Clarée » est récent : on disait au moyen-âge l'« eau de Névache ».

² DEMANGEOT (48) et — avec quelques réserves — (49).

du Pont du Châtelet : là le dôme structural de la Mortice s'incline doucement rive droite vers le talweg tandis que sur la rive gauche les axes se relèvent en direction du Mercantour. Mais ailleurs, le relèvement des axes n'est bien marqué que sur cette seule rive gauche; il s'agit donc moins d'un synclinal que d'une flexure transverse. C'est ainsi, nous l'avons vu, que l'anticlinal de Saint-Ours disparaît bien sous le talweg de l'Ubaye, mais sans réapparaître sur la rive droite³. Plus en aval, l'Ubaye présente en face de Tournoux un bref tronçon longitudinal lié au grand synclinal de Vars, ici d'ailleurs très déformé. Au delà de Gleizolles et sur toute la traversée de la fenêtre de Barcelonnette le tracé semble relever d'une épigénie par antécédence. La basse Ubaye enfin présente à nouveau vers le Lauzet un cours grossièrement longitudinal, légèrement oblique toutefois par rapport au front des nappes. Ce dernier secteur semble un élément d'un long sillon qui, par le col de Manse, se prolongerait vers le Drac moyen⁴.

L'étude du tracé des talwegs secondaires n'est pas moins instructive. On note à première vue sur la carte qu'un bon nombre de ces talwegs se relayent pour constituer, en arrière du Mercantour et du Pelvoux, une sorte de « sillon intra-alpin » embryonnaire. C'est le cas de l'Ubayette, du Riéou Monal, du haut Chagne, d'un bref secteur de la Biaysse inférieure, du torrent de l'Eychauda, de la Guisane en amont du Monétier. Nous avons vu que la Durance et l'Ubaye elles-mêmes empruntaient un moment cette direction, l'une en amont de Montdauphin, l'autre en amont des Gleizolles. Mais ce long sillon longitudinal ne présente pas d'unité structurale réelle. La partie Sud (Ubayette, Ubaye, Riéou Monal, Chagné, Durance) correspond au grand synclinal de Flysch. Nous savons déjà que le déversement de ce synclinal au delà de l'horizontale est responsable de la déviation du sillon hydrographique au droit de la Tête de l'Homme entre Meyronnes et Saint-Paul. Plus au Nord, au contact du Pelvoux, le sillon intra-alpin devient isoclinal; ce type s'établit nettement dans la haute Guisane : avec son versant cristallin très régulier et son versant sédimentaire accidenté de « côtes »; la dépression que l'on suit du Monétier au Galibier évoque une « dépression périphérique ». Au Nord de ce dernier col elle se prolonge en Savoie par la vallée de la Valloirette⁵.

³ Dans le détail, l'épigénie est d'ailleurs fréquente, notamment en amont du Péouvou.

⁴ La haute Drôme et le Buech en aval de Serres semblent dessiner un sillon parallèle à celui du Drac moyen et de la basse Ubaye.

⁵ GIGNOUX et MORET (50). Plus au Sud, le long du Mercantour une dépression analogue se développe avec la vallée de la Stura di Demonte. Une différence toute-

Les affluents des trois rivières principales qui se sont localisés ailleurs que dans le sillon intra-alpin suivent le plus souvent, eux aussi, des directions nettement longitudinales en profitant des affleurements de roches tendres. Et les terrains les plus tendres de la région se trouvant être le Houiller ou le Permien qui occupent le cœur des anticlinaux, les formes d'inversion de relief sont très fréquentes. Tels sont en Ubaye les vallons d'Oronaye ou de Chillol déblayés dans des noyaux permien, en Briançonnais ceux des Ayes, de la Ponsonnière, de la haute Clarée⁶. Dans la zone des schistes lustrés, les vallées sont isoclinales (torrents de Mary et de Chabrières en Ubaye, Guil en amont d'Abriès, Aigue Blanche, Aigue Agnelle, rivière d'Arvieux en Queyras). On remarque toutefois que ces vallées de la zone des schistes lustrés sont souvent déviées vers la gauche. Cette déviation, déjà sensible dans le cas du haut Guil, devient très marquée pour les cours supérieurs du Cristillan et de la Cerveyrette qui se trouve avoir grossièrement la même orientation que la basse Guisane dont on n'hésite pas à affirmer la surimposition. Il ne s'agit donc plus ici d'hydrographie longitudinale, mais tout au plus sublongitudinale. Encore un tel mot ne fait-il guère que masquer notre ignorance des faits. Peut-être peut-on supposer avec quelque vraisemblance que les plis supérieurs — en fonction desquels s'est établie l'hydrographie — présentaient des orientations uniformes Nord-Ouest-Sud-Est, matérialisées sous nos yeux par les cours de la basse Guisane ou de la haute Cerveyrette. Les plis inférieurs se seraient moulés, eux, sur la masse cristalline du Pelvoux, accusant dès lors une plus grande sinuosité de leurs axes par rapport auxquels l'hydrographie surimposée paraît parfois aberrante⁷.

Quant aux sections transversales en cluses franches, elles sont très rares sur les rivières secondaires. Seule la Clarée à Névache quitte le sillon houiller où elle coulait pour percer transversalement un épais système triasique : elle a profité là d'un abaissement d'axes ou d'une flexure située dans le prolongement de l'accident tectonique Romanche-Lautaret - col du Chardonnet. Plus à l'Ouest les

fois : la Stura s'est surimposée dans le massif ancien tandis que la Guisane semble avoir glissé à sa surface.

⁶ Au moins dans le cas de la vallée des Ayes, la morsure initiale de l'érosion semble avoir été facilitée par une flexure des couches superficielles.

⁷ DE VAUMAS (52) pressentait déjà l'unité structurale de la vallée de la Guisane. Il s'agit, croyons-nous, d'un synclinal superficiel qui a servi de gouttière originelle tandis que les plis profonds — seuls visibles aujourd'hui — se sont tordus vers le Sud pour se mouler sur le Pelvoux. La rivière, s'enfonçant sur place, est restée rectiligne tandis que les contours de la carte géologique sont concaves vers le Pelvoux.

minuscules torrents du Chardonnet et du Raisin ont profité du même accident pour forcer par érosion régressive un synclinal perché de Trias (crête du Queyrellin). Quant à l'épigénie proprement

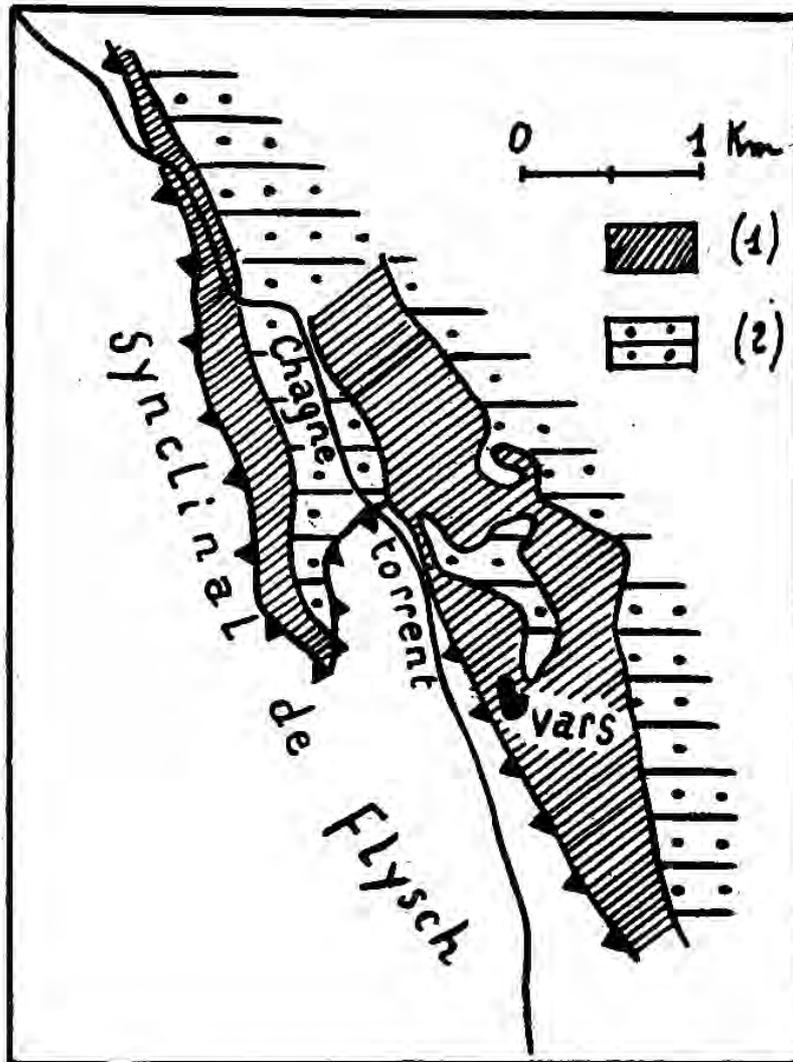


Fig. 9. — Epigénie du Chagne en aval de Vars.

1, Crétacé; — 2, Trias.

L'épigénie s'est trouvée considérablement facilitée par la structure si particulière de la bordure occidentale du massif d'Escreins où plusieurs digitations de la nappe supérieure du Guil se relaient comme des festons au front de la zone charriée.

dite elle est, elle aussi, assez rare sur les torrents secondaires. L'exemple le plus typique est celui du Chagne qui se creuse une gorge dans le Trias en aval de Vars au lieu de couler, jusqu'à Guillestre, dans le berceau de Flysch (fig. 9). Le cas de la Clarée

en aval de Névache est moins net car le talweg semble s'être établi, au moins entre Plampinet et La Vachette, dans un repli synclinal des assises triasiques⁸. Quant aux secteurs épigénétiques des talwegs principaux (Durance, Guil, Ubaye) nous les avons déjà localisés⁹. Dans tous les cas l'épigénie, ou plus généralement l'indifférence de l'hydrographie à la structure, devient de plus en plus fréquente de l'amont vers l'aval : fait normal puisque la puissance de l'érosion s'accroît avec la surface drainée. *Tout se passe comme si les vallées profondes étaient dérivées d'une structure superficielle dont il ne reste généralement plus de traces, tandis que les vallées supérieures se sont adaptées à la structure visible.*

Un dernier point est à noter dans l'examen du chevelu hydrographique : la fréquence de sa dissymétrie. Très fréquemment un collecteur reçoit d'un côté des affluents substantiels, de l'autre de simples rigoles qui entament à peine le versant principal. C'est ainsi que l'Ubayette reçoit sur la gauche les torrents du Pis, du Courrouit (et si l'on peut dire l'Ubayette elle-même venue du Lauzanier) et sur la droite (si l'on excepte l'Oronaye allogène) les infimes ravins de Maisonméane et de Ruine Blanche. La haute Ubaye reçoit également des affluents de gauche bien plus développés (torrents de Mary et de Chabrières) que ceux de droite. Même disproportion au droit de Barcelonnette entre le Bachelard et le Riou Bourdoux. Dans le Haut-Embrunais, ce sont cette fois les affluents de droite de la Durance qui se trouvent favorisés par rapport à ceux de gauche : il n'est que de comparer le Tramouillon, la Biaysse et le Fournel avec les torrents de Bouchouse et de l'Ascension qui leur font vis-à-vis¹⁰. Plus au Nord, la Guisane reçoit rive droite les gros torrents du Grand et du Petit Tabuc, rive gauche — outre le Rif descendu du sillon houiller de la Moulinière

⁸ Il est bien évident que le Trias ne peut s'étaler sur plus de 10 kms de large entre le Signal de Saint-Chaffrey et le Chaberton que parce que ses assises sont affectées de nombreux replis, indéchiffrables dans le détail. Dès lors, toutes les hypothèses d'« épigénie dirigée » — pour reprendre une expression heureuse de H. ONDE — sont à la fois permises et... indémonstrables. Peut-être toutefois le synclinal principal qui a fixé la basse Clarée se prolonge-t-il vers le col d'Isoard dans la vallée du Blétonnet où des écailles de schistes lustrés sont effectivement « pincées ».

⁹ Citons encore les cas de la Biaysse et du Fournel qui ont éventré les couches de Flysch pour couler, sur une partie de leur cours inférieur, sur le socle cristallin. Mais rien ne vient rompre ici l'unité de direction du talweg et le terme d'« épigénie » est impropre à désigner un fait tout naturel.

¹⁰ Cette dissymétrie du chevelu hydrographique devient vraiment un trait dominant du paysage quand les sites d'habitat permanent se localisent le long des affluents d'une rive, à l'exclusion de ceux de l'autre : c'est le cas du Bachelard (Fours Saint-Laurent) et de la Biaysse (Freissinières).

— d'infimes rigoles telles que le torrent de la Moulette. Ces faits se répètent avec trop de fréquence pour qu'on n'en cherche point d'explication. Il nous a paru que *cette dissymétrie était liée à un inégal relèvement du tréfonds, les affluents étant toujours les plus développés sur la rive la plus proche du massif ancien voisin, c'est-à-dire la plus relevée tectoniquement*. Les cours d'eau ainsi orientés bénéficient en effet du caractère sans aucun doute originel de l'hydrographie consécutive ; les cours d'eau obséquents, voire subséquents, résultent au contraire d'une adaptation ultérieure à la structure et ont dès lors disposé d'un temps moins long pour l'extension de leur bassin par érosion régressive. C'est ainsi que les affluents de gauche de l'Ubayette et de l'Ubaye bénéficient de la proximité du Mercantour, ceux de droite de la Durance et de la Guisane bénéficiant de celle du Pelvoux ¹¹.

Les hypothèses de capture. — L'idée que le réseau hydrographique actuel n'est pas originel, mais ne s'est établi que peu à peu après toute une série de captures, a été mise en avant par de nombreux auteurs ¹². Un fait milite évidemment dans notre région en faveur de semblables hypothèses : c'est la dissymétrie même du bourrelet alpin. Le Pellice à Bobbio n'est déjà plus qu'à 750 m. d'altitude à 7 kms seulement de la frontière ; pour traverser cette même courbe de niveau le long de la Durance il faudrait descendre jusqu'à Savines, à plus de 50 kms de la ligne de partage des eaux. Cette dissymétrie, comparable à celle des Cévennes, entraîne de toute évidence une érosion bien plus active sur un versant que sur l'autre. D'où la possibilité de captures au profit du Pô, captures encore facilitées par le fait que les torrents transversaux du versant padan venaient facilement intercepter les torrents en majorité subséquents du versant durancien.

¹¹ On a parfois aussi fait remarquer que les affluents les plus importants coulent en général dans le sens Sud-Nord (rives gauches de l'Ubayette et de l'Ubaye ; rive droite de la Guisane), ce qui pourrait s'expliquer par la persistance dans les vallées ainsi exposées de l'érosion glaciaire. Mais si ce mode d'érosion apparaît — nous le verrons — comme le grand processus de *façonnement* des vallées, il ne semble pas qu'il puisse expliquer l'*extension* d'une vallée par recul de sa tête : l'érosion fluviale est seule régressive. Et aux cas précédemment cités on pourrait opposer celui de la Romanche vers La Grave : le versant gauche, quoique terriblement englacé, ne possède que des affluents médiocres, tandis que rive droite, en plein adret, se développent d'interminables rigoles. La vérité est que l'organisation du réseau hydrographique est dominée avant tout par la structure.

¹² Voir notamment R. STAUB et Emm. DE MARTONNE (64). C'est surtout à propos du Giffre et de l'Arve d'une part, du Verdon de l'autre, que la possibilité des captures en haute montagne a été passionnément discutée. Pour la haute Durance, les choses paraissent beaucoup plus simples.

Ces captures possibles ont-elles eu effectivement lieu? Trois ordres de faits sont à retenir dans la discussion : le tracé des talwegs, le modelé des versants, la constitution géologique des dépôts récents. Les tracés semblent ainsi témoigner d'un ancien écoulement du torrent de Thures et de la Ripa par le col du Montgenèvre vers la Durance. On a la chance de voir cette hypothèse confirmée par l'allure des versants eux-mêmes : croupe du Mont Fraitève, arête sud du Chaberton, et verrou de Roche Clari qui, se raccordant avec la basse arête de Chalvet, semblent bien témoigner à l'observateur impartial d'un ancien écoulement vers la Durance. Nous verrons toutefois plus bas des raisons de croire cet écoulement assez ancien (ci-dessous, note 20). Les torrents de Rochemolles et de la Vallée Etroite auraient rejoint, eux, la Clarée par-dessus le col de l'Echelle. La Doire et le torrent de Bardonnèche auraient effectué ensuite leurs conquêtes par érosion régressive partant du bassin d'Oulx. La topographie glaciaire des cols n'est pas un argument contre l'hypothèse de captures fluviales préglaciaires ou interglaciaires, les diffluences n'ayant pu que ressusciter d'anciens drainages fluviaux. Les difficultés commencent quand il s'agit de déterminer l'emplacement d'une ancienne ligne de crête. L'hypothèse la plus modérée ferait passer celle-ci par la pointe de Cloutzeau. Mais peut-être il y a-t-il eu plusieurs phases de captures, ce qui reporterait la ligne de partage des eaux initiale bien plus à l'Est encore, jusque vers Usseaux et Chomont : le haut Cluson lui même a fort bien pu voir son drainage inversé à la suite de quelque conquête hydrographique¹³ (fig. 10).

Plus au Sud, il semble bien que la masse du Viso, isolée à l'écart de la ligne de faite, doive sa situation singulière au fait de s'être trouvée investie par l'érosion conquérante du versant padan. Dès lors la Valle di Soustra n'est très vraisemblablement qu'un ancien tronçon supérieur de l'Ubaye passant au-dessus du col de Longet avant d'avoir été décapitée par l'érosion régressive de la Varaita di Chianale. Ici encore la topographie glaciaire du col n'enlève rien à la vraisemblance d'une capture fluviale. A défaut de preuves formelles le cirque de Chianale donne, en comparaison de la topographie molle du versant de Saint-Véran, l'impression d'une érosion furieusement conquérante. Décapitée ainsi de sa section tout à fait supérieure, l'Ubaye n'en a pas moins pu conquérir les hauts vallons

¹³ On peut aussi supposer que le torrent du col Saint-Martin, en amont des chalets ruinés de la Montette, serait un ancien tronçon supérieur du torrent de Thures, la capture faite ici au profit du Guil devant être évidemment antérieure à celle du tronçon restant de ce même torrent par la Doire d'Oulx.



Pl. V A. — Crête des Heuvières, vue du col Girardin.
Anticlinal secondaire de la zone axiale triasique.



Pl. V B. — Les montagnes au Sud de l'Ubaye, vues du col Girardin.
A gauche, topographie molle des schistes lustrés dans le vallon de Mary.
A droite, massif triasique du Chambeyron. Déversement local des nappes
vers l'Est.

Clichés Péguy.



Pl. VI A. — Plampinet et la vallée de la Clarée.



Pl. VI B. — Montagnes entre Briançon et Vallouise.
Le Rocher Bouchard (à gauche) et la Cendamine (à droite).

Clichés Péguy.

du Crachet et de l'Infernet dont les eaux paraissent s'être écoulées d'abord vers la Durance par-dessus le col de Vars ¹⁴.

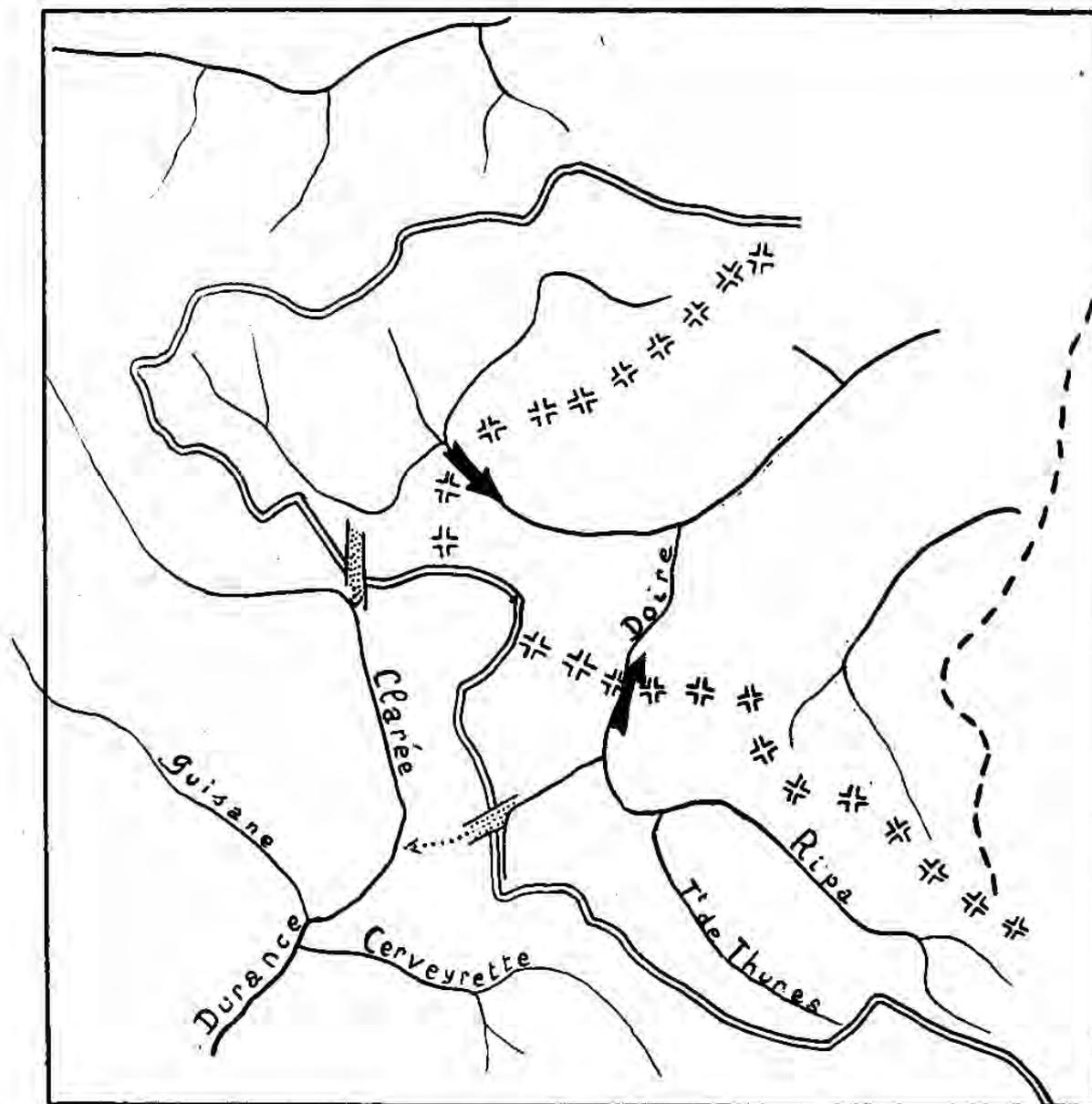


Fig. 10. — Hypothèses de captures dans le bassin supérieur de la Durance.

Trait double : ligne de partage des eaux actuelle. — *Pointillé* : anciens écoulements par les cols de l'Echelle et du Montgenèvre. — *Flèches noires* : captures. — *Croix en trait double* : emplacement hypothétique de l'ancienne ligne de partage des eaux. — *Tirété* : ligne de partage des eaux encore plus ancienne (??).

¹⁴ Une hypothèse invérifiable évoquée déjà par DEMANGEOT (48) et (49) ferait couler une ancienne haute Ubaye vers la Durance, le long du sillon de Flysch.

Au col de Larche enfin il ne semble pas impossible que la ligne de partage des eaux n'ait reculé vers l'Ouest au profit de la Stura.

Telles sont les hypothèses très modérées auxquelles conduit un examen impartial des talwegs et de certains versants. Il s'agit là de captures presque certaines et relativement récentes. Les géologues, eux, se basant sur l'origine des alluvions, peuvent émettre des hypothèses d'une audace bien plus folle encore. C'est ainsi que la présence de radiolarites dans la mollasse de la basse Isère a fait admettre à STAUB l'existence d'une ancienne Romanche née au delà du Mont Genève et passant au-dessus du Lautaret ¹⁵. Ce cours d'eau aurait été conquis par la basse Durance, le tout très antérieurement aux captures effectuées au détriment de cette dernière.

Malgré le caractère de certitude des observations qui sont à la base de telles hypothèses, on sait qu'il ne faut point se fier aveuglément en matière de captures aux seuls arguments géologiques : ils ne donnent aucune indication sur le tracé possible des vallées, et restent dès lors d'un intérêt morphologique médiocre. De plus la possibilité de transport par simple diffluence glaciaire (n'excluant pas la possibilité d'un remaniement postérieur des éléments sur place) doit être soigneusement discutée.

L'étude purement descriptive que nous venons de faire du réseau hydrographique gagnerait évidemment à être précisée par quelques indications numériques, faisant ressortir nettement l'importance relative du drainage transversal et longitudinal. Malheureusement, nous manquons dans ce domaine encore de bonne méthode d'analyse statistique et aucun des essais que nous avons pu effectuer nous-même ne nous a donné réellement satisfaction. Nous nous bornerons donc au plus simple en disant que si l'on prend comme « axe repère » l'anticlinal houiller du Briançonnais et plus au Sud le synclinal de Flysch, il semble que l'on puisse estimer à 310 millièmes la proportion des talwegs longitudinaux ou sublongitudinaux (s'écartant de 15 grades au plus de l'orientation repère), et à 136 millièmes seulement celle des talwegs transversaux ou subtransversaux. Pour la zone intra-alpine des Alpes françaises du Nord, ces mêmes valeurs de la fréquence brute seraient de 200 millièmes seulement pour les talwegs longitudinaux et de 162 millièmes pour les talwegs transversaux. Ces chiffres indiqueraient que les sections longitudinales des talwegs seraient plus fréquentes dans la zone intra-alpine du Sud que dans celle du Nord ; inversement, les sections transversales seraient moins développées dans le Sud. L'étude des fréquences ferait également ressortir la fréquence anormale des sections déviées de 20 à 30 grades vers la gauche de l'axe repère, telle la vallée de la basse Guisane.

¹⁵ DE MARTONNE (64). — STAUB admet aussi, mais sans fournir ici d'argument géologique, l'écoulement à un autre moment du haut Arc vers la Durance.

II. — L'intermède glaciaire.

Les appareils. — Le réseau hydrographique que nous venons de retracer était déjà certainement établi dans ses grandes lignes, les captures effectuées, et le travail d'enfoncement des talwegs suivait son cours quand l'évolution normale du modelé se trouva complètement bouleversée par l'apparition des appareils glaciaires auxquels on doit, surtout dans les hautes vallées, le plus clair du modelé actuel. Ici érodant, là déposant tantôt des moraines continues, tantôt de simples témoins erratiques, le glacier durancien traversait en effet de part en part tout notre domaine puisque entré en Briançonnais, au moins par l'une de ses branches, par la transfluence du col de l'Echelle, il parcourait en aval tout l'Embrunais pour aller mourir au delà de Sisteron. L'existence connue depuis longtemps d'une transfluence vers le Champsaur par le seuil Bayard - col de Manse, tout encombré de moraines qui ne laissent aucun doute sur le sens même de l'écoulement, souligne assez quelle devait être l'ampleur, vers l'amont, du magnifique fleuve de glace et lourde serait assurément l'erreur du morphologue qui en méconnaîtrait les effets sur le relief actuel. De fait, les dépôts glaciaires les plus élevés qui jalonnent le bord des anciens glaciers ont été minutieusement notés par D. MARTIN¹⁶ : notre prédécesseur signale ainsi par exemple un bloc de protogine du Pelvoux (provenant par conséquent de la rive droite de la Durance) échoué vers 2500 m. près du lac de l'Ascension, dans une vallée affluente de la rive gauche de notre rivière. En aval, c'est vers 1900 m. que D. MARTIN signale un bloc exotique, également de protogine, sur les pentes du Mont Saint-Guillaume qui domine au Nord Embrun¹⁷. En Ubaye, c'est à 2125 m. qu'un bloc d'euphotide permettrait de jalonner aux abords du col de Vars le niveau supérieur des glaces. Dans le massif du Morgon enfin des placages attribués par D. SCHNEEGANS au Riss remontent jusqu'à 2000 m. Toutes observations s'accordant avec

¹⁶ D. MARTIN (78), chap. VII, *passim*.

¹⁷ P. VEYRET (41, p. 172-173) estime qu'il s'agit là de dépôts « de la première crue glaciaire, de celle qui vraisemblablement précéda le grand creusement des vallées », ce qui donnerait à la glace une épaisseur moindre que la dénivellation actuelle entre les cotes de l'erratique et le fond de la vallée. Pour VEYRET, le glacier rissien se manifesterait en Embrunais par des moraines situées plus bas, vers 1700 m.

celles qui donnent à la glace dans le sillon de Gap, d'après P. VEYRET, une épaisseur de 800 m., il s'agit bien là d'un phénomène puissant dont les traces doivent abonder dans le relief.

Indices encore de la puissance de ces anciens appareils que les dépôts de cols de transfluence ou de diffluence qui tapissent non seulement l'Echelle et le Montgenèvre mais encore les cols de la Pousterle et d'Anon au pied de la masse imposante du Pelvoux. L'importance de cette dernière transfluence était telle qu'un lobe du glacier remontait à contre-pente la vallée du Fournel, poussant jusqu'au delà de Champ-Disdier des blocs de protogine dont on ne saurait expliquer autrement l'origine.

Les phases de disjonction. — La plupart des auteurs qui traitent des anciens appareils glaciaires s'efforcent de préciser les positions caractéristiques de leurs fronts par l'étude des moraines. Peu se sont souciés de légitimer les positions invoquées des « stades » frontaux en fonction des conditions locales de l'alimentation et de l'ablation. C'est pourtant ce que doit permettre une étude attentive des plus grands appareils actuels (Mer de Glace, gl. d'Aletsch).

On admettra aisément qu'un glacier fond d'autant plus bas que sa zone d'alimentation est étendue et que les sommets en sont élevés. Il doit donc être théoriquement possible, soit de calculer le niveau des neiges persistantes nécessaire à l'alimentation d'un glacier donné, soit de conjecturer le point jusqu'où devrait s'avancer le glacier pour une valeur arbitrairement choisie du niveau des neiges persistantes. Nous avons été amené, par l'analyse statistique des glaciers actuels, à déterminer que cette valeur h de l'altitude du front dépendait d'une relation :

$$h = k \cdot p \cdot Q - h'$$

dans laquelle expriment :

h l'altitude du front ;

h' l'altitude moyenne des crêtes ;

Q le niveau des neiges persistantes ;

k un coefficient variant avec l'altitude du massif ($k = 2$ pour les massifs culminant au niveau de Q ; $k = 2,1$ pour les massifs culminant à $Q + 500$ m. ; $k = 2,2$ pour les massifs culminant à $Q + 1000$ m., etc.) ;

p un coefficient variant avec la surface d'alimentation située au-dessus de Q ($p = 0,8$ pour $S = 16$ kms² ; $p = 0,75$ pour $S = 36$ kms² ; $p = 0,7$ pour $S = 100$ kms²).

(Il s'agit là d'une formule approchée qui ne tient pas compte notamment des conditions locales de la fonte. Nous renvoyons le lecteur à notre chapitre V, pour le commentaire de notre formule complète de l'« équilibre glaciaire ».)

Or l'emploi de cette méthode d'investigation nous a amené à considérer comme très vraisemblables les hypothèses suivantes :

1) L'abaissement du niveau des neiges persistantes vers 2200 m. (soit 600 à 700 m. seulement en dessous de leur niveau actuel) dans

le massif du Pelvoux semble théoriquement suffisant pour amener le glacier qui en était issu aux portes de Sisteron ¹⁸.

2) En Queyras, la fusion du glacier vers 1050 m. (moraine de Mongauvie) suppose une limite des neiges persistantes située vers 2500 - 2550 m., *c'est-à-dire de 550 à 600 m. en dessous du niveau actuel* qui se relève, nous le verrons, à 3100 m. au Viso, chiffre à peine moindre que celui que nous avons été amené à conjecturer pour le Pelvoux. On est donc amené à supposer légitimement que le glacier du Guil n'a jamais dû dépasser beaucoup le stade de Mongauvie. A supposer même qu'au moment de la crue maxima un mince filet de glace ait pu rejoindre dans le bassin de Guillestre le flot glaciaire de la Durance, on doit raisonnablement admettre que lors du retrait la *disjonction* totale du glacier du Guil s'est produite à un moment où le glacier principal s'attardait encore dans le sillon de Gap. Voilà qui va éclairer singulièrement et le dépôt des fameux « conglomérats » de Montdauphin et le creusement des non moins fameuses gorges du Guil. Notre hypothèse se trouve d'ailleurs confirmée par la présence d'éléments granitiques dans la moraine à Peyre-Haute et à Langieu, au *Sud* de Guillestre ¹⁹ : c'est donc bien le glacier de la Durance, et non celui du Guil, qui a rempli le bassin de Guillestre. Et si le lecteur hésite encore devant une telle conclusion, nous l'inviterons par anticipation à examiner l'extension des glaciers actuels dans les deux vallées : tandis que le glacier du Casset descend à 1990 m. celui d'Asti, exposé pourtant lui aussi en plein Nord, reste suspendu à plus de 3000 m. Quand nous nous référons à nos formules d'équilibre glaciaire pour conclure à la disjonction remarquablement précoce des glaciers de la Durance et du Queyras, nous ne faisons rien d'autre que de projeter dans le passé, avec le maximum de vraisemblance, le contraste actuellement encore observable entre l'englacement des deux vallées.

3) La disjonction du glacier de l'Ubaye a dû nécessiter une altitude des neiges persistantes remontée vers 2450 m. environ dans cette vallée. Par la suite, la langue stationnait dans le bassin de Barcelonnette pour un niveau des neiges persistantes de 2600 m. environ. A ce moment, la disjonction du glacier de l'Ubayette ne devait pas être loin de s'opérer : peut-être même était-ce déjà chose faite.

¹⁸ Le résultat brutal (2300 m.) est évidemment trop fort car il ne tient compte ni de l'affaiblissement du glacier par la transfluence du Bayard, ni du réchauffement progressif du climat vers le Sud.

¹⁹ BLANCHET (24, p. 162) et observations personnelles.

4) Un confluent d'un intérêt particulier est celui de la Durance et de la Gyronde. On sait depuis longtemps que le glacier de la Gyronde, bien mieux alimenté par les hauts sommets du Pelvoux, constituait en fait le tronc principal, celui de la Durance étant réduit au rôle d'affluent. Nous croyons pouvoir préciser que la disjonction des deux glaciers s'est opérée quand le niveau des neiges persistantes fut remonté vers 2600 m. en Briançonnais : or ce niveau devait permettre encore au glacier de la Gyronde de descendre, à lui seul, au delà de Guillestre. Nos calculs viennent donc étayer une hypothèse de D. MARTIN qui admettait qu'à défaut du glacier durancien en pleine déroute, c'était une diffluence remontante du glacier du Pelvoux qui serait même venue modeler l'auge en aval de Queyrières; hypothèse qui n'a rien d'absurde pour qui a noté, comme nous l'avons fait, la présence des blocs granitiques portés par la diffluence remontante de la vallée du Fournel.

5) Enfin la disjonction des glaciers de la Durance et de la Guisane a dû se produire très peu de temps après, l'appareil de la Guisane, mieux alimenté par les sommets des Agneaux, abandonnant en dernier lieu le bassin de Briançon tandis que la Durance, rendue la première aux conditions de l'écoulement fluide, avait le temps de scier la gorge de raccordement du Pont d'Asfeld ²⁰.

En conclusion, nous admettons que l'extension maxima de la dernière crue glaciaire s'est produite pour un niveau des neiges persistantes abaissé à —700 m. en dessous de leur niveau actuel. Lors du réchauffement ultérieur le recul des appareils s'est effectué par saccades, en fonction surtout des conditions topographiques de l'alimentation. Pour un niveau des neiges persistantes remontées à —550 m. le glacier s'est démembré par disjonction des glaciers du Guil, puis de l'Ubaye. Pour —350 m. une nouvelle disjonction dissociait un glacier briançonnais rapidement démembré à son tour en petits éléments de vallées supérieures tandis que le tronc principal, issu du Pelvoux, occupait pour un certain temps encore l'auge du Haut-Embrunais. Ces conclusions, pour relatives qu'elles soient, nous paraissent d'une portée plus grande que les considérations classiques de nombre et de durée des glaciations, car à chacune d'elles *il fallait bien que le mécanisme des disjonctions se répât de façon à peu près identique.*

²⁰ Cette remarque contribue à nous faire reporter loin dans le passé la capture de la haute Durance. Une transfluence récente par le Mont-Genèvre aurait en effet rendu le glacier de la Durance-Clarée plus puissant que celui de la Guisane, et aurait même réduit sa médiocrité relative vis-à-vis de celui de la Gyronde.

C'est à la lumière de ces principes que nous allons passer en revue successivement les formes d'érosion et d'accumulation de notre région.

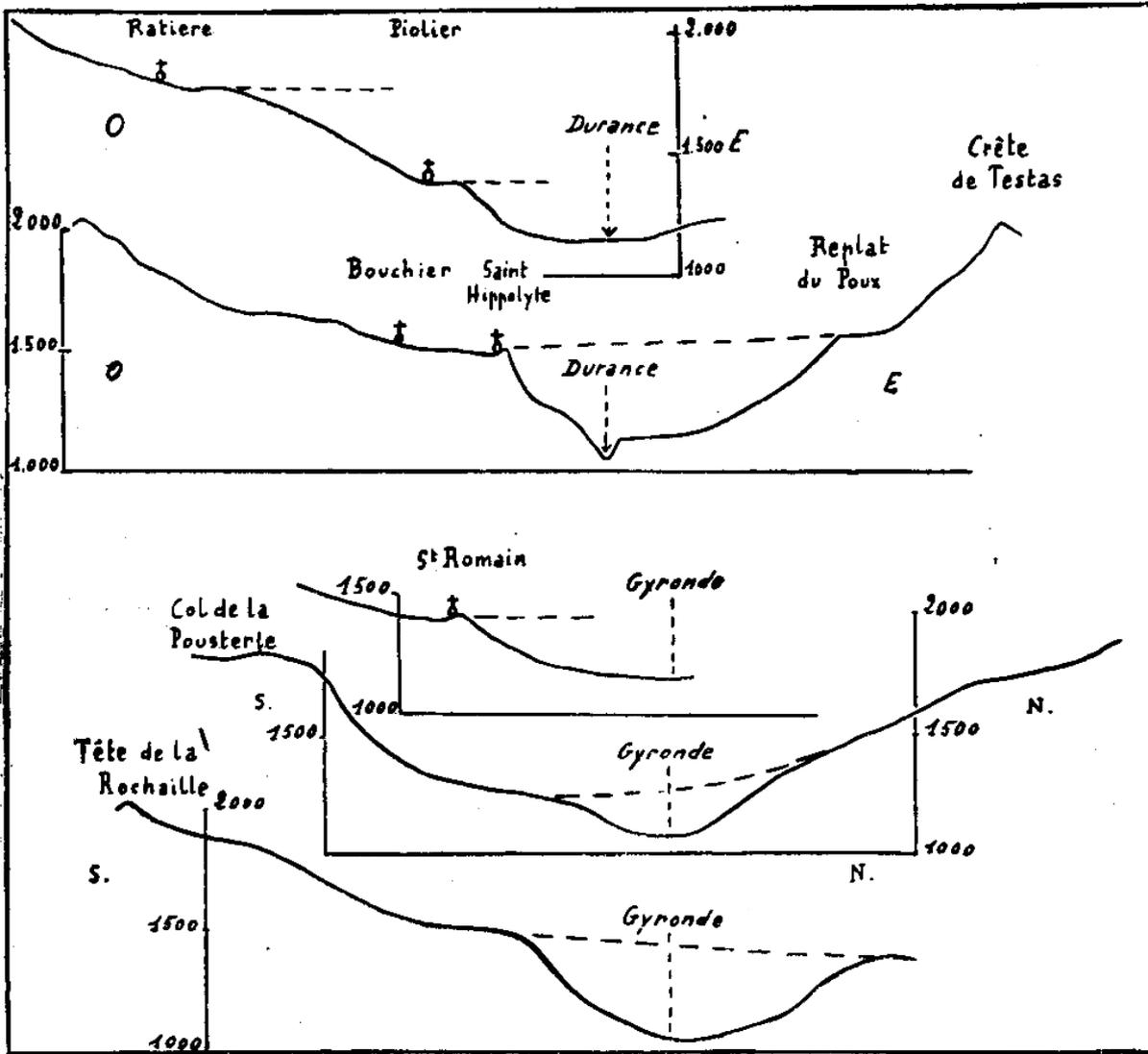


Fig. 11. — Profils glaciaires caractéristiques à travers les gorges de la Durance vers Queyrières et la basse Vallouise.

Le calibrage glaciaire. — C'est évidemment en Vallouise que nous trouverons les profils d'auge les plus typiques: l'homogénéité du granite y ayant autant contribué que l'altitude élevée du massif, génératrice d'une intense glaciation. En amont d'Ailefroide, l'auge a une régularité quasi géométrique; deux épaulements la flanquent vers 2150 m. dont l'un forme une curieuse vire continue dans la

face Est du Pelvoux. En aval du confluent Gyr - Onde les profils (fig. 15) permettent de reconnaître au moins deux auges emboîtées. Au-dessous, toute la zone de confluence Gyronde - Durance - Fournel est riche en hautes surfaces à topographie glaciaire, les cols de la Pousterle et d'Anon ayant été jadis des cols de transfluence tandis que les arêtes voisines étaient au plus fort de la glaciation elles-mêmes submergées par les glaces. Dans la vallée voisine de la Durance, en amont du confluent avec la Gyronde, la traversée par le glacier de la zone axiale briançonnaise a également permis l'établissement de belles auges emboîtées, bien visibles au verrou de Saint-Hippolyte. En amont encore, sur la rive droite, deux épaulements superposés portent les chalets de Piolier (1400 m.) et de Ratière (1780 m.). On pourrait être tenté de chercher dans ce beau jeu de replats les vestiges d'anciennes formes fluviales qui auraient été à peine remaniées par les glaciations. Mais nous croyons que l'on doit renoncer à de telles hypothèses devant les caprices extrêmes de ces auges dont le gabarit varie d'amont en aval avec une surprenante facilité. Sur la rive droite de la Gyronde le replat de la chapelle Saint-Romain est à 250 m. au-dessus du talweg actuel. Ce replat se poursuit régulièrement vers l'aval jusqu'au méridien du col de la Pousterle, puis disparaît brusquement. Plus à l'Est deux épaulements se situent à des altitudes relatives de +100 et +650 m. Même désordre des altitudes au-dessus de la Durance : les replats de Bouchier, de Saint-Hippolyte et du Poux déterminent avec une incontestable netteté un ancien fond d'auge à +450 m. au-dessus du talweg actuel (370 m. pour le défoncement de l'auge emboîtée + 80 pour celui de l'érosion postglaciaire). Mais comment raccorder ces niveaux à ceux, voisins, de Piolier (+250 m.) et de Ratière (+600 m.) ? On voit par ces simples exemples à quelles difficultés se heurtent, dans un cas pourtant très favorisé par l'abondance des faits observés, l'utilisation des replats glaciaires aux fins d'interprétations cycliques.

Dans les environs de Briançon, les auges se localisent dans les terrains durs du Trias : c'est le cas de la basse Clarée, où l'on devine même par place deux auges emboîtées, très irrégulières il est vrai, par suite sans doute des fantaisies de la structure (fig.16). C'est le cas surtout de la Cerveyrette qui traverse de Cervières à Briançon l'axe triasique par une auge magnifique de quelque 350 m. de défoncement : la vue en est particulièrement remarquable des pentes du Prorel d'où l'on prend toute la vallée en enfilade. Au-dessus de l'auge se distinguent avec netteté les deux replats opposés

de la Lauzette - Nugo. Sous la Croix de Toulouse enfin, versant Guisane, se remarque le beau petit replat du Poët Ollagnier ²¹.

Dans le Haut-Embrunais, l'auge de la vallée de la Biaysse est d'une netteté remarquable : les flancs s'en élèvent presque verticaux jusqu'à des épaulements situés vers 2400-2600 m. (Tête de Gramusat). Dans la vallée de la Durance elle-même les replats glaciaires ne sont guère accusés. Mais tout à fait au Sud, le long pédoncule de confluence de Peyre-Haute, entre Chagne et Rif Bel, d'ailleurs recouvert de dépôts glaciaires, pourrait être un ancien fond d'auge dans lequel les deux torrents auraient ensuite surcreusé leurs vallées distinctes ²².

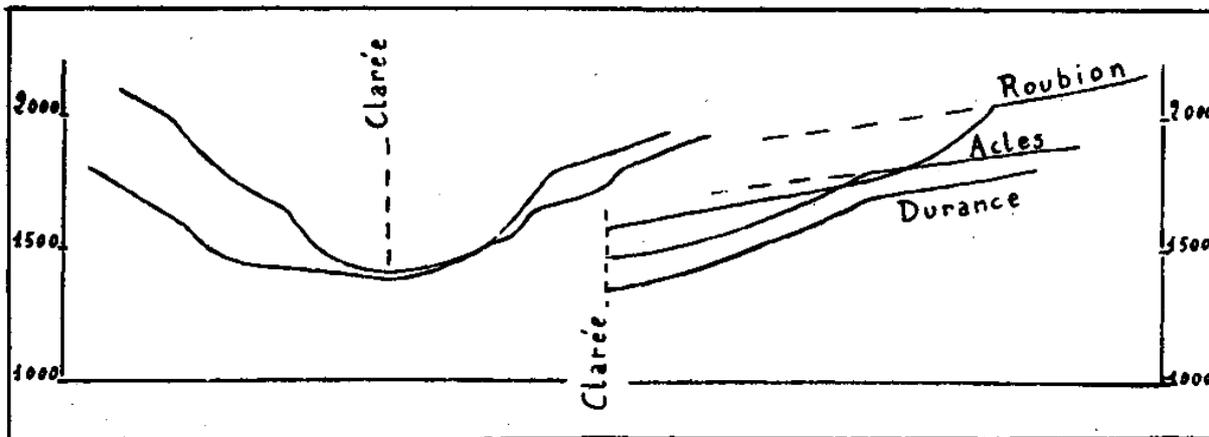


Fig. 12. — Profils glaciaires caractéristiques de la Clarée.
A droite : quelques gradins de confluence. Hauteurs exagérées deux fois.

Quant à l'Ubaye, sa haute vallée dans la traversée de la zone Briançonnaise présente une auge typique dont les flancs s'élèvent jusqu'à 2500 - 2600 m. C'est à cette altitude seulement que naissent les arêtes secondaires qui vont rejoindre les crêtes principales de la Font-Sainte ou du Chambeyron. Bien voisin se révèle l'aspect de la vallée de l'Ubayette, sous réserve du modelé forcément un peu plus mou du Flysch et d'une dissymétrie de la vallée qui ne présente guère que sur sa rive gauche le haut niveau de 2600 m. En aval de Saint-Paul, une auge dissymétrique s'installe dans le

²¹ Un petit synclinal pincé de marbres en plaquettes (non marqué sur la carte géologique) témoigne d'ailleurs qu'il s'agit là d'un accident dont la localisation a dû être favorisée par la structure.

²² Pour le modelé du verrou de Siguret-Saint-Clément, à la limite aval du domaine que nous nous sommes assigné, nous nous permettrons de renvoyer à VEYRET (41, p. 183).

Flysch, avec un épaulement bien marqué au droit de la Tête de Miéjour. Dans la traversée du bassin de Barcelonnette, les choses deviennent difficiles à distinguer par suite de la mollesse d'ensemble des versants et de la vigueur de l'érosion torrentielle (Riou Bourdoux) qui fournit ici la note dominante du paysage ²³. Mais dès que réapparaissent à l'aval des roches plus résistantes nous retrouvons la vallée typiquement glaciaire avec ses ombilics (petit lac du Lauzet) et ses replats qui accidentent ses versants, principalement celui de droite ²⁴.

Calibrage glaciaire ne veut donc pas dire pour autant indifférence aux conditions structurales : nous avons partout constaté que c'était de préférence dans les roches les plus dures que se localisaient les auges les mieux venues. Ailleurs, dans des zones de structure très nettement différenciée l'érosion, glaciaire ou non, ne peut que mettre en saillie un relief à prépondérance structurale. Ce sera le cas notamment sur la rive gauche de la haute Guisane où s'épanouissent les deux termes extrêmes de la gamme stratigraphique — granite excepté — le Houiller et le Trias. Les accidents des versants se relèvent ou s'abaissent dès lors selon les hasards de la structure : au-dessus du Monétier le replat portant les chalets de Puy Jaunar (ou Jaumard) est ainsi supporté par un synclinal très oblique de quartzites. Immédiatement en amont du Monétier une seconde barre rocheuse émerge du fond de la vallée et supporte les replats du Mas de la Faure et de Dessoubre l'Oule : il s'agit maintenant de calcaires liasiques. Sans doute l'érosion glaciaire a-t-elle modelé dans le détail ces deux escarpements rocheux, mais la plongée vers l'aval, liée à la structure, est beaucoup trop forte pour qu'on puisse y voir des formes d'érosion : ce sont des accidents typiquement structuraux.

Un accident du même ordre, mais bien mieux marqué encore, se présente en Haut-Embrunais avec le replat de Champcella. Ce replat s'étend rive droite de la Durance entre les confluent de la

²³ Dans le bassin de réception du Riou Bourdoux lui-même un accident se présente toutefois sous la forme d'un replat continu, à quelque 400 m. en dessous de l'arête terminale. Il s'agit évidemment d'un replat structural, formé en l'espèce par une barre de Flysch plus dur que les terres noires sous-jacentes. Seul un replat structural est susceptible de subsister à travers les violences de l'érosion torrentielle en se déplaçant parallèlement à lui-même.

²⁴ Quatre beaux replats (le principal est celui de « Roche Rousse ») se succèdent rive droite, vis-à-vis de la bifurcation de la route de Digne. Leur altitude décroît vers l'aval avec une pente beaucoup plus rapide que celle du talweg actuel, d'ailleurs ici postglaciaire (cf. la gorge de raccordement du Pas de la Tour). Toujours en basse Ubaye, la vallée supérieure de la Blanche du Laverq présente, rive gauche, de magnifiques épaulements (pl. X A.)

Biaissey et du Tramouillon, sur près de 3 kms. Sa largeur moyenne approche de 500 m. Avec une altitude moyenne de 1150 m., l'ensemble se situe à 230 m. au-dessus du talweg. Des buttes, comme celle de la Gardette (cote 1269), témoignent d'un modelé glaciaire intense qui ne surprend pas à moins de 10 kms en aval du confluent Gyronde - Durance. Mais pour l'essentiel ce long replat en berceau n'est rien d'autre que la traduction dans le relief du *synclinal de Champcella* dont nous avons précisé la tectonique au chapitre précédent de notre étude. Il s'agit en définitive d'un replat *structural* ²⁵.

Une autre forme caractéristique du calibrage glaciaire est le *gradin de confluence*. Ceux du Fournel et de la Biaissey, au-dessus de la Durance, ont plus de 150 m. d'amplitude ²⁶ : les pentes des talwegs actuels y atteignent 210 ‰ pour le Fournel et 173 ‰ pour la Biaissey alors qu'elles tombent à 30 ‰ et même 20 ‰ pour les sections situées immédiatement en amont. En Briançonnais, le plus remarquable des gradins de confluence est celui du torrent des Acles au-dessus de la Clarée. Au-dessus du Guil, l'Aigue Agnelle et le Cristillan présentent des gradins de 50 à 60 mètres, le premier surtout se trouvant topographiquement bien marqué. L'Ubayette débouche au-dessus de l'Ubaye par un beau gradin de 100 mètres; en amont, toutes les rigoles subséquentes de la haute Ubaye (vallons du Grand Caire, du Pont, de Mary, de Chillol) restent suspendues au-dessus de la vallée principale. Mais le plus curieux de tous les gradins de confluence est bien celui de la Durance au-dessus de la Gyronde, car tout se passe ici comme si c'était cette première rivière qui était affluente de la seconde : la Durance est plus déclive et coule dans une vallée d'un calibre moins grand que la Gyronde. Ce premier fait montre déjà bien la prédominance dans le modelé de l'érosion glaciaire : seul un glacier mieux nourri par la forte altitude du Pelvoux a pu creuser la vallée de la Gyronde en dessous de celle de la Durance. Tout autre processus d'érosion aurait inmanquablement donné l'avantage à la Durance mieux alimentée en eau. Notons encore que *les ruptures de pente ne sont nullement l'apanage des vallées affluentes* (ce qui serait le cas si elles étaient héritées d'un relief cyclique préglaciaire). La Gyronde — vallée principale — présente elle-même en effet une brusque rupture de pente avant de

²⁵ Sur une échelle plus modeste les nombreuses vires de gypses et de cargneules qui interrompent si fréquemment les grands abrupts triasiques du Briançonnais constituent de petits « replats structuraux ».

²⁶ On détermine graphiquement l'amplitude d'un gradin de confluence en prolongeant à vue la section du profil située immédiatement en amont du gradin jusqu'à l'aplomb du confluent : la dénivellation mesurée sur cette verticale entre les deux profils constitue l'amplitude cherchée.

confluer avec la Durance. Tous ces faits s'accordent bien avec la conception de BLACHE, le gradin tirant son origine de la simple différence de calibrage des *lits* glaciaires en fonction de leur débit : mais nous y ajouterons que, par suite du mécanisme de la *disjonction* du confluent, l'action du glacier du Pelvoux s'est exercée sur le sol *beaucoup plus longtemps*, continuant son creusement à un moment où le glacier du Briançonnais était remonté loin en amont du confluent.

Un dernier argument à porter en faveur d'une explication purement glaciaire des gradins de confluence est l'influence capitale qu'exerce sur eux l'orientation. Ce sont le plus fréquemment les torrents exposés au Sud ou au Sud-Ouest qui restent ainsi « suspendus » au-dessus du talweg principal. C'est le cas déjà de la Durance à La Bessée, du torrent de l'Eychauda au-dessus des Clots de Pelvoux, de la haute Cerveyrette au-dessus du bassin de Cervières, de l'Aigue Agnelle au-dessus de l'Aigle Blanche, du Cristillan au-dessus du torrent du Melezet. Dans ces trois derniers cas, c'est le torrent principal qui reste suspendu au-dessus de son affluent qui, coulant face au Nord, s'est trouvé plus englacé²⁷. Il semble que cette prédominance du facteur orientation soit d'ailleurs un nouvel indice de la faiblesse des glaciations queyrassines. Dans les zones fortement englacées, c'est la surface de la zone d'alimentation qui constitue plus vraisemblablement le facteur principal de la puissance d'un glacier.

Les hypothèses cycliques. — Les pages qui précèdent nous ont amené à deux reprises déjà à les examiner : l'établissement par captures d'un drainage actuel raccourci a dû concentrer en effet l'action de l'érosion récente sur la base des versants et protéger du coup indirectement les zones sommitales. Nous avons ainsi été amené à reconnaître, dans les parages du Montgenèvre, les vestiges d'une vieille surface s'inclinant de l'arête du Mont Fraitève qu'atteint le téléphérique Nord de Sestrières vers l'arête Sud du Chaberton et la basse arête de Chalvet²⁸. En haute Ubaye, c'est

²⁷ Cas analogue en Oisans au confluent de la Romanche et du Vénéon. On pourrait objecter à ces exemples celui du confluent Aigue Agnelle-Guil, où le gradin se trouve exposé au Nord, mais, compte tenu de la superficie et de l'altitude moyenne de son bassin, le glacier du Guil ne pouvait pas ne pas être ici le principal.

En face de la Biaysse et du Fournel, les affluents de droite de la Durance (torrents de l'Ascension, de Bouchouse, de Pra Reboul) présentent bien des gradins de confluence, mais moins marqués. Tout ce versant ouest de Peyre-Eyraute n'a dû connaître à vrai dire qu'une glaciation sommitale.

²⁸ A noter toutefois que plus au Sud la topographie molle du col de Bousson et de ses abords se situe par contre beaucoup plus bas, par suite sans doute de l'effet d'une transfluence glaciaire plus importante.

également sur l'hypothèse — beaucoup plus problématique ici — d'un ancien écoulement des eaux par-dessus le col de Vars que s'appuie la possibilité de conservation de hautes surfaces. En fait il ne s'agit pas tant de retrouver ici des « replats » caractéristiques que certains « niveaux de crêtes »²⁹. On constate effectivement que la rive gauche de l'Ubayette et les deux rives de la haute Ubaye présentent des crêtes secondaires qui descendent doucement vers 2600 - 2500 m. avant de tomber brusquement sur le versant de la vallée principale. Le niveau ainsi déterminé semble se raccorder assez bien avec le sommet émoussé de la Tête de l'Homme (2493 m.) et se prolonger par le col de Vars (2110 m.).

Ailleurs, c'est l'étude des gradins de confluence qui nous a amené à examiner, pour la rejeter, l'hypothèse d'une simple réadaptation glaciaire de ruptures de pente cycliques préglaciaires. Il nous reste maintenant à vider le débat par l'examen de formes latérales que nous avons écartées jusqu'ici.

Le plus remarquable peut-être de ces cas nous est offert par le plateau des Thures (haute Clarée) : nous avons là, adossé à la ligne actuelle de partage des eaux, un plateau mollement incliné (15 %) qui est littéralement tronqué vers le bas par deux ravins récents. Cette érosion actuelle est si active que les chalets des Thures, construits sur le bord même du replat, sont gravement menacés. Sans doute faut-il noter que cette érosion bénéficie ici de terrains gypseux très affouillables. Mais la pente fait plus que tripler et en prolongeant graphiquement la section amont vers l'aval on restituerait avec une vraisemblance rare dans nos Alpes un ancien confluent à 270 m. au-dessus du lit actuel de la Clarée³⁰. Sur la rive droite de la Clarée, des hauts replats s'étagent vers 2300 m. au-dessus des chalets du Queyrellin, 2150 m. au « Plateau de

²⁹ Notons toutefois les énigmatiques ruptures de pente situées vers 2400 m. au Sud-Ouest du Péouvou : il y a là deux torrents suspendus dont l'allure rappelle un peu celle du torrent de Roubion sous le col des Thures. Il semble difficile d'admettre qu'il s'agisse là simplement de cirques glaciaires, car le fond de ces hauts vallons est nettement en « V » et surtout l'altitude des ruptures de pente diffère trop de celle de la base du cirque sud-est du Péouvou (2600 m.).

³⁰ On pourrait noter que plus en aval le torrent des Acles et la Durance elle-même présentent des ruptures de pente de leurs profils en long qui permettent de fixer, selon la méthode de DE MARTONNE, des anciens confluits à 200 m. et 150 m. au-dessus des confluits actuels. Il semble vraiment difficile de raccorder ces trois points à un même profil ancien de la Clarée. Il suffit d'avoir essayé de bonne foi des constructions de cette nature pour voir à quel degré d'imprécision aboutit presque fatalement l'hypothèse de l'évolution cyclique d'une vallée alpine. Il semble à la rigueur possible de faire, dans quelques cas privilégiés, l'étude des probabilités de formation puis de conservation de certains replats cycliques ; mais de là à reconstituer pour l'ensemble de la vallée un certain nombre de niveaux nettement caractérisés, il y a un pas assurément bien téméraire à franchir.

l'Olive ». Au-dessus de la Guisane, le vallon supérieur du torrent de la Moulette présente une rupture de pente d'aspect cyclique vers 2050 m.; le prolongement vers l'aval de la section amont définirait un ancien confluent à 170 m. au-dessus du talweg actuel. Au-dessus de la Salle-les-Alpes, un beau replat vers 1900 m. permettrait de restituer un ancien talweg à +120 m. On voit que dans tous ces exemples l'application des théories cycliques aboutit à restituer d'anciens talwegs qui seraient beaucoup plus déclives que les talwegs actuels. D'ailleurs, ces repères de la Guisane nous semblent bien trop isolés encore pour que l'on puisse penser se fier à eux pour restituer l'allure générale de tout un ancien profil.

Mais c'est surtout le Queyras dont le relief nous semble devoir laisser quelque place sinon aux vestiges tout au moins aux survivances d'une topographie préglaciaire. Sans doute le relief glaciaire règne-t-il en maître dans la vallée du Guil, immédiatement au-dessus de la gorge due au creusement récent : on n'en voudra pour preuve que le modelé du Roc de l'Ange Gardien. Mais on sait aussi que le glacier du Queyras n'a jamais atteint l'ampleur de son collègue durancien. La langue qui venait mourir vers Montgavie devait modeler certes les replats portant les hameaux des Escoyères, de Bramousse et de Montbardon, mais ne devait guère dépasser ce niveau (1500 m.). Au-dessus, et jusqu'à la base des cirques supérieurs (Montagne de Furfande) une tranche des versants épaisse de 500 à 600 m. a dû, surtout à l'adret, pratiquement échapper à tout contact des glaces. En Haut-Queyras, les montagnes d'Urine, la crête de Jilly, la crête de Malrif; un peu plus bas le col de la Crèche et le Sommet Bucher de part et d'autre de Château-Queyras, en aval enfin les « montagnes » de Bramousse et de Furfande évoquent aux partisans de la théorie cyclique une ancienne surface mûre qui descendrait régulièrement de 2500 à 2000 m., parallèlement au profil actuel de la vallée. Ces surfaces seraient ainsi en tous points comparables à celles qui, au-dessus du Montgenèvre, témoignent encore de l'ancien écoulement vers la Durance.

En conclusion, nous pensons que les surfaces préglaciaires n'ont quelques chances nous ne dirons pas de s'être miraculeusement conservées, mais simplement d'être restées le facteur initial et prépondérant de la topographie actuelle, que dans quelques cas favorables nettement déterminés : surfaces comprises vers 1800-2500 m., de préférence à l'adret (garantie d'une glaciation moins intense), le tout dans des régions mollement englacées (Queyras). Dans ces conditions, on peut admettre que des surfaces « préglaciaires » ont pu connaître un simple remaniement par glaciation de « field », ou encore se trouver découpées en crêtes parallèles,

l'un et l'autre de ces processus permettant au morphologue de reconstituer avec quelque vraisemblance la surface originelle. Mais ailleurs, et en ce qui concerne notamment les grands gradins de confluence situés, en dessous de 1800 m., dans la zone des grands « iceströms » quaternaires, il paraît totalement utopique d'espérer reconstituer une topographie préglaciaire d'allure cyclique dont la topographie actuelle serait dérivée par simple remaniement superficiel. Gradins et replats inférieurs dérivent à coup sûr du mécanisme propre de l'érosion glaciaire. Tout au plus peut-on parler de phénomènes épicycliques là où le jeu des disjonctions rendait à l'érosion fluviale une vallée affluente alors que la vallée principale était encore vouée pour longtemps à l'occupation par les glaces³¹.

Les dépôts. — Les dépôts d'époque glaciaire que l'on peut rencontrer dans notre région ne présentent que dans un cas (à Montdauphin) un intérêt topographique. Ailleurs, il ne s'agit que de repères chronologiques.

a) Des *tufs* préglaciaires — ou tout au moins recouverts par le glaciaire — se rencontrent aux abords du Lautaret ainsi qu'au débouché du torrent du Roux (Abriès) et à nouveau quelque 800 m. en aval de ce dernier point. La situation de ces dépôts à quelque 10-20 m. à peine au-dessus des talwegs actuels indique que ces lits anciens (préglaciaires ?) étaient déjà creusés presque au niveau des lits actuels. Des tufs analogues se rencontrent au Nord du col de la Ponsonnière (versant Savoie) avec quelques gros troncs d'arbres témoignant d'une ancienne extension des forêts très au-dessus de leur limite actuelle.

b) Les conglomérats de Montdauphin constituent un vaste cône de déjections s'étendant à la fois sur le site de la citadelle de Montdauphin et sur le plateau de La Chalp, au Nord-Ouest de Guillestre : entre les deux, le Guil a dû se creuser, pour rejoindre son niveau

³¹ Cette notion de disjonction sur laquelle nous avons insisté dans les pages qui précèdent nous semble particulièrement déterminante dans le cas des glaciations marginales (massifs situés en bordure des grandes zones d'englacement quaternaire), ce qui a été le cas pour les Alpes du Sud. Dans des massifs de cette nature les phases d'avance et de retrait des glaciers ont dû être plus longues en effet que l'étale du maximum, ce qui doit faire passer la *durée* de l'englacement de la vallée au premier plan des considérations du morphologue. Ailleurs, au cœur même des grands massifs glaciaires (Alpes suisses, Scandinavie) qui ont connu un englacement très prolongé, les phases d'avance et de retrait se sont trouvées moins longues que l'étale : dès lors, ce n'est plus la *durée*, mais la *puissance* de l'englacement qui devient responsable du creusement plus ou moins grand : nous retrouvons dans ce cas l'explication classique donnée depuis longtemps par BLACHE des gradins de confluence.

de base actuel, une pittoresque gorge de raccordement sur laquelle nous aurons à revenir. Ces conglomérats ont été apportés là par le Guil, car on y trouve en abondance des roches vertes, jamais par contre de granite. L'altitude du sommet est de 1060 m. environ, celle du front (où le cône est sapé par l'érosion latérale de la Durance) de 1000 m. environ. Le géographe à qui la Durance est familière ne peut pas ne pas rapprocher par la pensée ces dépôts de ceux du Roc d'Embrun ou du confluent Rabioux - Durance sous Château-roux ³², dont l'aspect est identique. Partout ces conglomérats sont recouverts de glaciaire, ceux du Rabioux et d'Embrun reposant de plus eux-mêmes sur des moraines argileuses ³³ : il s'agit donc à première vue de dépôts fluviaux interglaciaires, vraisemblablement déposés pendant le stade de retrait qui précéda la glaciation wurmienne. Mais si l'on se rappelle que le glacier du Guil n'a jamais dû se maintenir longtemps sur ce site, à supposer qu'il l'ait même momentanément atteint, on doit conclure au caractère marginal de nos dépôts. L'absence de stratification très inclinée interdit à vrai dire de retenir l'hypothèse de dépôts effectués dans un lac de barrage glaciaire : il s'agit plus vraisemblablement d'un cône de déjections subaérien. Quant aux dépôts glaciaires superficiels ils ont été apportés par un retour offensif du glacier durancien (comme en témoignent les éléments granitiques que l'on rencontre bien plus au Sud dans les moraines de Peyre-Haute) et non par le glacier du Guil, bien incapable de cet effort. Le qualificatif classique d'« interglaciaire » paraît donc assez peu apte à caractériser semblable évolution.

c) Des dépôts alluviaux de lacs de barrage glaciaires s'observent sur les rampes du Montgenèvre, au-dessus de la Clarée. Ils ont dû se déposer quand le glacier de la Clarée barrait encore le débouché du vallon du Montgenèvre déjà libre de glaces. Naturellement, cette hypothèse entraîne pour conséquence un recul loin dans le passé de la capture de la haute Durance, mais nous avons déjà été amené à cette façon de voir les choses (ci-dessus note 20).

Des dépôts de même nature s'observent encore au confluent Durance-Gyronde, au-dessus de La Bessée, avec le fort pendage des lits caractéristique des dépôts de cette nature.

³² VEYRET (44), p. 176.

³³ FENCK et BRUCKNER (Die Alpen in Eiszeitalter, t. III, p. 22) ont même signalé un caillou strié à la base des conglomérats de Montdauphin.

DENIZOT persiste cependant à considérer ces alluvions comme *antéglaciaires* (74). Les dépôts d'Embrun (non de Montdauphin) ont été encore étudiés par CHARDONNET (59).



Pl. VII A. — Haute Ubaye.



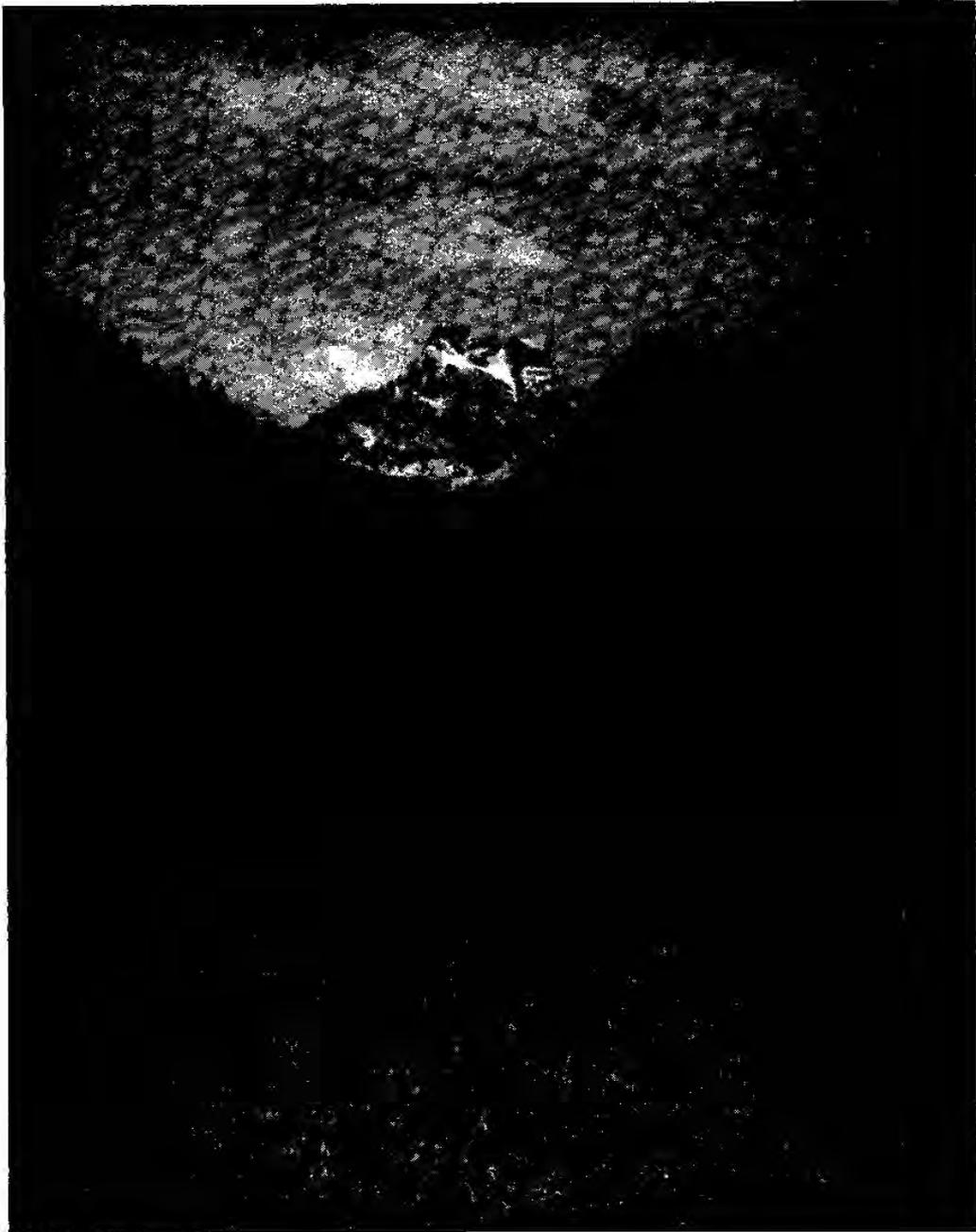
Pl. VII B. — Gorges du Queyras.



Pl. VII C. — Gorges de la Durance
au Pont d'Asfeld
(en amont de Briançon).

Les trois vues sont prises de l'amont vers l'aval.

Clichés Péguy.



Pl. VIII. — La haute vallée du Guil et le Viso.

d) Les *dépôts glaciaires de fond* tant soit peu étendus sont tous très récents (« néowurmien » de BLANCHET). Les principaux ont été naturellement mis en place par le glacier de la Durance. Dans le bassin de Briançon un placage continu de glaciaire s'étend de Chantemerle et du Fontenil jusqu'aux abords du Villaret. Il remonte dans des vallées latérales jusqu'à 1900 m. aux Combes, jusqu'à la même altitude sur l'ubac de l'Infarnet. En aval de la gare de Briançon, l'érosion actuelle a limité le glaciaire à deux larges banquettes aux pieds des versants : entre les deux, la Durance serpente dans des alluvions récentes.

En Vallouise, les moraines anciennes forment deux banquettes également peu étendues, de part et d'autre du Gyr à Ville-Vallouise. Mais de larges placages remontent sur l'ubac jusqu'au col de la Pusterle.

En Ubaye, d'épais placages morainiques sont à signaler en amont du Lauzet et dans le bassin de Barcelonnette.

Les glaciations sommitales. — Dans les pages qui précèdent, nous avons délibérément laissé de côté les formes supérieures, modelées par les glaciers au cours de leurs dernières phases de retrait, formes localisées dans l'espace aux zones sommitales et dans le temps en ce qu'elles datent d'une époque où l'érosion torrentielle régnait déjà en maîtresse aux altitudes inférieures. Il s'agit d'abord de cirques, particulièrement bien venus eux aussi dans les terrains durs du granite et du Trias : ceux du Combeynot mériteraient entre autres de devenir célèbres (cirque du « Vallon de la Route », versant Romanche); mais la Font-Sainte et le Chambeyron en cachent qui ne sont guère moins beaux. Bien formés aussi sont les cirques dans les assises horizontales du Flysch. Mais le Haut-Queyras, avec ses schistes lustrés en pendage oblique, n'a pas de cirques bien formés. Le problème principal posé par cette forme topographique est celui de l'altitude de leur base. Deux théories s'affrontent ici : une théorie climatique qui situe la base des cirques à un ancien niveau d'enneigement persistant (RICHTER); une théorie morphologique qui voit dans les cirques des replats d'érosion préglaciaire simplement remaniés par l'enneigement. Pour analyser dans le domaine de la haute Durance ces altitudes de cirques, nous avons dressé un tableau de classement des lacs de cirques en fonction de leur altitude et de leur exposition. Il nous a semblé que ces lacs ou laquets constituaient une base de recensement assez commode et que leur présence symbolisait bien des « accidents » de l'écoulement normal des eaux.

TABLEAU II

Nombre des lacs ³⁴.

Altitude :	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800	Total
	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800	2900	
Adret ...	0	1	0	2	2	7	9	9	5	3	38
Ubac	2	2	0	6	6	8	6	8	2	0	40
Total	2	3	0	8	8	15	15	17	7	3	78

On voit que les lacs ou laquets sont approximativement en même nombre dans des cirques d'adret et dans des cirques d'ubac (38 contre 40). Mais ils sont en moyenne plus élevés à l'adret qu'à l'ubac, ce qui nous semble exclure l'influence sur leur localisation de faits cycliques préglaciaires.

Quant aux dépôts morainiques récents, ils empâtent en abondance la base des cirques, principalement encore dans le Combeynot et la Font-Sancte, toute chronologie devenant ici absolument impossible.

III. — L'érosion actuelle.

La régularisation fluviale. Raccordements et remblaiements. — Moins encore que dans les Alpes du Nord, le relief glaciaire n'a pu dans notre domaine prétendre conserver la pureté originelle de ses formes. Verrous et gradins ont été sciés par des gorges de raccordement tandis que les ombilics se remblayaient. Dans le bassin de Briançon, Durance et Guisane se sont toutes deux enfoncées par une érosion récente en « trait de scie », l'une dans la gorge triasique qu'enjambe le Pont d'Asfeld ³⁵, l'autre par l'étroite coupure qui sépare de la base du Prorel la butte de Serre-Paix. Quant à la Cerveyrette, elle se raccorde au niveau de la Durance par une large

³⁴ BLANCHET (24, p. 163) considère le fameux lac Sainte-Anne, au pied de la Font-Sancte, moins comme un lac morainique que comme un lac d'effondrement dans les gypses.

³⁵ A 80 mètres au-dessus du talweg actuel, au niveau de la route de Briançon en Italie, une « marmite » d'érosion, visible jusqu'en 1939, témoignait d'un ancien lit fluvial. Elle a disparu par suite de travaux d'élargissement de la route.

entaille creusée en amont dans le fond de l'auge, en aval dans d'épais dépôts glaciaires. Sur l'emplacement de l'ancien pont Baldy³⁶ la profondeur de l'entaille atteint 70 mètres. Au-dessus de La Bessée, la Durance s'est creusé la vigoureuse gorge qu'enjambe le siphon d'une conduite menant les eaux de la Gyronde à l'usine de l'Argentière : ici encore, l'entaille est profonde de quelque 70 mètres³⁷. Par érosion régressive, le creusement a remonté sur 4 km. 500 jusqu'aux abords de Saint-Martin-de-Queyrières : c'est ainsi la plus longue des gorges de raccordement, la plus importante sans aucun doute par le volume des matériaux déblayés. Vers l'aval, des gorges de raccordement accidentent les gradins que nous connaissons déjà : Fournel (au fond de la gorge : vestiges de l'ancienne exploitation de plomb argentifère qui a donné son nom à l'Argentière) et Biaysse (gorge pittoresque appelée le « Gourfouran »).

Certains s'étonneront peut-être de voir des gorges ayant la profondeur de celle de la Durance au Pont d'Asfeld ou sous Queyrières avoir été creusées dans les terrains durs du Trias par une érosion qualifiée de « récente » ou de « postglaciaire ». Mais nous savons qu'en fait, l'érosion glaciaire s'est vue relayer par la fluviale à des dates très variables, au hasard du retrait saccadé des glaciers. La Durance a ainsi pu commencer de creuser la gorge du Pont d'Asfeld ou celle de Queyrières à un moment où, plus en aval, le glacier de la Gyronde remplissait encore l'auge du Bas-Embrunais. Le terme de « postglaciaire » ne doit donc pas être pris dans son sens le plus général.

La gorge de raccordement du Guil nous semble à cet égard particulièrement intéressante à étudier. Le profil en long y présente en effet deux sections nettement distinctes : en aval du torrent de Furfande le Guil descend de 206 mètres sur 7 kms (pente 29 ‰); en amont de ce point, il ne descend que de 97 mètres sur 5 kms (pente 19 ‰); de plus la section amont du profil se prolongerait très exactement vers l'aval par le sommet du cône de Montdauphin. Les terrains restant dans l'ensemble de la même dureté tout au long de la gorge, on soupçonne une interprétation cyclique d'une

³⁶ Détruit par les Allemands en septembre 1944.

³⁷ Entaille totalement inutilisable pour la circulation : la voie ferrée remonte le torrent par une série de tunnels de flanc sur la rive droite tandis que la route utilise les replats de la rive gauche et l'encoche de verrou situé au Sud du Serre des Fourches. C'est là qu'était, au « Pertuis Rostan », la limite historique du Briançonnais et du Haut-Embrunais. (Le « Pertuis Rostan », utilisé par l'ancienne route, est une entaille, large de 4 mètres à peine, à 150 mètres au Nord du lacet supérieur de la route actuelle.)

telle rupture de pente, mais à vrai dire bien singulière et de portée toute locale : le secteur en amont du torrent de Furfande est contemporain du dépôt des conglomérats, c'est-à-dire d'un temps où la vallée du Guil se trouvait déjà être le domaine de l'érosion fluviale, la Durance restant encore englacée, et le secteur d'aval qui tranche tantôt les conglomérats³⁸, tantôt la roche en place, serait postérieur à l'abandon définitif par les glaces de la base vallée et serait donc l'œuvre de l'érosion postglaciaire proprement dite.

En Ubaye, le creusement postglaciaire est évident dans les gorges de l'aval; il a entraîné un creusement rapide des affluents cherchant à rejoindre le niveau de confluence (p. ex. : « Pas de la Tour », rive gauche, un peu en amont de la bifurcation de la route de Digne). Gorges de raccordement également que celles creusées par les torrents des Agneliers et de Palluel, ce dernier descendu du col d'Allos au-dessus du Bachelard. Dans le Flysch, des gorges de raccordement s'esquissent à l'aval de l'Ubayette et du Riéou Monal. Mais c'est avec les calcaires triasiques de la haute Ubaye que réapparaissent les terrains propices aux verrous glaciaires et aux « traits de scie » postglaciaires : le verrou du Châtelet présente le cas classique d'une double encoche, l'une utilisée par la route, l'autre ayant localisé la morsure de l'érosion postglaciaire.

Si les ruptures de pente glaciaires ont fait, de la part de l'érosion postérieure, l'objet d'un début de régularisation, les ombilics ont par contre été remblayés. Dans les sections supérieures des vallées on note ainsi l'emplacement d'anciens lacs glaciaires, lacs que la forte torrentialité de notre région a eu tôt fait de transformer en marécages, puis en « plans » herbeux. Nous saisissons une telle transformation sur le vif en Ubaye au Plan de Prarouart (ou Praroid). Dans le Briançonnais, ce sont les marais de la Cerveyrette en aval du Bourget, le Plan de la vallée de l'Orceyrette au-dessous des chalets de ce nom; ce sont encore les petits « plans » qui s'échelonnent le long de la Clarée.

Plus bas, les torrents divaguent souvent sur des *dépôts récents* : aux abords de Montdauphin, le lit majeur de la Durance atteint ainsi près de 400 mètres. La rivière s'y divise naturellement en de multiples bras; quelquefois des résurgences reproduisent en miniature le phénomène qui donne naissance à la source du Loiret.

³⁸ L'érosion récente a donné volontiers au conglomérat des formes bizarres (« Main du Titan », etc.). La « Charrière des Masques » (charrière = route où l'on peut passer en chariot) est vraisemblablement un ancien lit du Guil. Il convient de noter par ailleurs que le Guil s'est enfoncé, à travers tous les dépôts quaternaires, jusqu'aux schistes noirs du Flysch.

L'ensemble de ces terrains semi-aquatiques constitue les « Iscles ». Cela a été de tout temps une des préoccupations des riverains que de gagner à la culture ces terrains mouvants. En Ubaye, on retrouve le même paysage dans le bassin de Barcelonnette, soit en amont de cette ville au Bourget, soit en aval dans la zone de confluence entre Ubaye et Bachelard.

Les torrents. — Les torrents constituent par excellence la forme de relief « non glaciaire ». Leur localisation tient compte surtout de facteurs géologiques (sol plus ou moins affouillable); aussi sont-ils surtout nombreux dans le Flysch et les Terres noires du Bassin de Barcelonnette (Riou Bourdoux, torrents de Faucon et des Sagnières) ainsi que du Haut-Embrunais (Merdanel)³⁹. Dans le Briançonnais, ils se localisent de préférence dans les pustules de gypses triasiques : torrent du Roubion, déjà cité, sous le col de Thures; torrent de Sainte-Elisabeth au-dessus de Saint-Chaffrey; torrent des Ruines sous le Janus et surtout ravin du col d'Isoard (la fameuse « Casse déserte »)⁴⁰.

Au point de vue morphologique, une considération essentielle est celle de l'altitude limite supérieure du bassin de réception. Le plus souvent, celui-ci s'élève en effet jusqu'à la crête (Riou Bourdoux) (détail qui nous paraît témoigner de l'ancienneté d'un torrent); plus rarement ils laissent entre leur tête et la crête une sorte de replat, témoin du versant originel plus mûr (Verderel, au-dessus de Chantemerle). Par ailleurs, on sait que l'altitude absolue de la limite supérieure des bassins torrentiels est de la plus haute importance à noter car si les bassins remontent plus haut que la forêt, l'ensemble échappe pratiquement à toute tentative de correction par reboisement. Suivant qu'ils sont plus ou moins distants les uns des autres, les torrents tantôt laissent entre eux de larges portions du versant principal en forme de cônes (entre les torrents de Saint-Joseph et de la Moulette, par exemple, dans le bassin de la Guisane ou, en Vallouise, la crête de Belurio et le bois de Parapin); tantôt façonnent de fragiles arêtes d'érosion (en Ubaye, au Nord de Saint-Pons principalement).

³⁹ Rien n'est plus difficile à définir avec un peu de rigueur qu'un torrent : le Pra Reboul, le Bouchouse et le torrent de l'Ascension, au Nord du Merdanel, peuvent être des torrents aux yeux de l'hydraulicien ; le morphologue hésite à donner cette appellation à des cours d'eau déjà assez longs et qui débutent dans des cirques glaciaires.

⁴⁰ Dans le Briançonnais également, un bref secteur du versant droit du torrent de Sachas, au Nord des chalets de Ratière, est « affouillé » dans les gypses triasiques.

Eventrant les sections supérieures des versants les torrents encombrant par contre les vallées principales de leurs *cônes de déjections*. C'est en Ubaye que ces formes de terrain prennent toute leur ampleur. Celui du fameux Riou Bourdoux a une génératrice de 1300 mètres et une hauteur d'une centaine de mètres. En amont se succèdent les cônes de Faucon et des Sagnières près de Jausiers. En haute Ubaye, les cônes deviennent beaucoup plus modestes, mais on reconnaît bien encore à Saint-Paul celui du Riéou Monal. Sur la Durance on trouve en amont de Montdauphin le vaste cône du Merdanel (1100 mètres de génératrice, 110 mètres de hauteur), à la surface steppique si caractéristique. Plus en amont ces formes tendent à disparaître. Il faut aller dans le Briançonnais pour rencontrer à nouveau des cônes, aux proportions plus modestes, mais qui se relayent d'une façon presque ininterrompue sur de longs secteurs. Le mieux venu est sans doute le cône du torrent de Malafosse, près de la Vachette. Le long de la Guisane, on remarque le cône du torrent de Chanteloube sur la rive droite et celui du torrent de Saint-Joseph sur la rive gauche.

Indépendamment des conditions d'affouillement des versants qui localisent les cônes les plus importants sous les bassins torrentiels les plus vastes, la formation de cônes exige aussi un contraste net entre les pentes longitudinales de l'affluent et du talweg principal : cette dernière condition impose aux torrents une limite supérieure de surface réceptrice au delà de laquelle il n'y a plus de cône. En Ubaye, le torrent d'Abriès a ainsi un cône avorté; le Bachelard n'en a pas. On a pu songer invoquer aussi l'orientation : la torrentialité serait plus accusée, et par suite les cônes plus développés à l'adret qu'à l'ubac, par suite d'une déglaciation plus précoce. Le fait est exact en Ubaye; il ne se vérifie malheureusement plus pour la vallée de la Guisane où les cônes de l'ubac sont aussi étendus que ceux de l'adret.

La caractéristique principale des cônes est leur pente : celle-ci sera d'autant plus faible que le bassin de réception sera étendu et les sédiments formés d'éléments plus petits. Le cône du Riou Bourdoux, très aplati, n'a qu'une pente de 8 %. Les autres cônes de l'Ubaye (Faucon, Sagnières) voient leur pente atteindre 9-10 %. C'est la pente aussi du Merdanel de Saint-Crépin. Les cônes de la Guisane, plus petits, se redressent à 12 %. Il s'agit là d'ailleurs de moyennes, la génératrice du cône étant en fait concave; cette concavité, peu marquée sur les cônes aplatis du type Riou Bourdoux, est très sensible par contre sur le cône de Saint-Joseph (Le Monétier).

Le gros problème soulevé par les torrents est celui de leur âge. On a cherché à l'évaluer en datant tantôt le creusement des bas-

sins, tantôt l'édification des cônes. A considérer l'activité actuelle de certains de ces appareils on pourrait être tenté tout d'abord de les considérer tous comme très récents. Mais H. ONDE a judicieusement mis en garde les chercheurs contre les abus d'une telle interprétation⁴¹. Le modelé proprement postglaciaire ne peut évidemment avoir qu'un caractère assez embryonnaire. Etudiant précédemment les gorges de raccordement nous avons admis que le creusement postglaciaire avait pu atteindre, dans des circonstances très favorables, 80 mètres sur la Durance au Pont d'Asfeld, 130 mètres dans les conglomérats plus tendres de Montdauphin : encore s'agissait-il là d'une érosion en « trait de scie », par laquelle l'énergie accumulée dans tout un bassin versant assez étendu se concentre tout entière dans le creusement d'un étroit cañon. Le cas des torrents, fussent-ils de la taille du Riou Bourdoux, est assurément tout différent. De fait, au fur et à mesure que l'on remonte vers l'origine des talwegs ou les sommets des versants, on voit le creusement postglaciaire devenir de plus en plus négligeable : cela résulte à la fois d'un drainage hydrologique de moins en moins organisé et d'un abandon par les glaces de plus en plus rapproché de nous dans le temps. Vers 2000 mètres, le torrent de Roche Noire, entre le Lautaret et le Galibier, donne un bon exemple de la faiblesse du creusement postglaciaire : ce creusement, dans les grès tendres du Flysch, ne dépasse pas en effet 25 mètres⁴². Ailleurs même, des rigoles torrentielles égratignent à peine les versants, traversant sur la carte les courbes de niveau presque sans les échancre : c'est le cas de toutes les zones abandonnées très récemment par les glaces. Plus bas même, sur le grand versant de la rive gauche de la basse Guisane, le torrent du Verderel étonne par son encaissement presque nul.

Aussi devons-nous admettre que les grands torrents de la taille du Riou Bourdoux ou simplement du torrent de Saint-Joseph ne sont pas l'œuvre du seul creusement postglaciaire, mais qu'ils ont eu une origine au moins interglaciaire. On comprend mieux ainsi que tant de torrents aient leurs bassins de réception remaniés en forme de cirques (haute Ubaye, haute Clarée). Mais la coexistence et souvent le voisinage de grands torrents d'origine au moins interglaciaire et de ces rigoles minuscules qui échancrent à peine les courbes de niveau nous forcent à admettre qu'il y a des torrents de tous âges.

⁴¹ H. ONDE (9), p. 268.

⁴² Le creusement postglaciaire maximum du torrent de Roche Noire se localise au pont de bois, non marqué sur les cartes, dit « Pont du Génie ». (Il s'agit d'un pont qui sert en fait aux piétons et aux skieurs, l'hiver, à éviter l'avalanche de « la Marionnaise » sur la route nationale.)

Plus déconcertant peut-être encore se révèle l'essai de datation par les cônes. ARNAUD, le connaisseur érudit de l'Ubaye⁴³ prétend que la construction de ces cônes est un phénomène très récent. De fait, on a retrouvé sous le cône du Riou Bourdoux de la terre arable, un couteau de fer, une borne avec une croix. ARNAUD croit même pouvoir dater du xv^e siècle la reprise de cette activité torrentielle : les fondations d'une église de dominicains antérieure à cette date se trouvent en effet régulièrement inondées aujourd'hui par les eaux d'infiltration. ARNAUD croit que ces inondations proviennent d'un relèvement à l'aval du cône du Riou Bourdoux, raisonnement qui n'a rien de sot. Mais cette reprise d'activité torrentielle à l'époque historique n'a dû être de toute façon qu'un phénomène posthume, pâle réplique des grands mouvements d'autrefois. Par ailleurs, il faudrait même se garder de généraliser un tel cas : si le Riou Bourdoux et le Merdanel sont soigneusement évités par tout établissement humain, d'autres cônes sont d'excellents sites de culture et d'habitat, ce qui implique pour eux une formation ancienne et une stabilité presque complète à l'époque historique. En Ubaye même, terre d'élection des torrents à catastrophes, Faucon et les Sanières sont de bons exemples d'habitats de cônes. Dans la vallée de la Guisane, c'est sur les cônes que se localise la culture des céréales : fin juillet, pour un observateur perché sur quelque sommet des alentours, la carte des cônes se trouve littéralement dessinée par le jaune des moissons tranchant avec le vert ou le gris de la plaine alluviale.

Une dernière observation témoigne enfin de l'ancienneté des grands cônes : c'est leur façonnement fréquent en terrasses par approfondissement du talweg principal. La Clarée, en aval de Névache, s'est ainsi creusé un lit encaissé de 10 à 15 mètres dans l'ancien cône de déjections du torrent de Robion descendu du col des Thures.

Il faut enfin noter une dernière catégorie de dépôts récents susceptibles d'intervenir dans le modelé des vallées : il s'agit des *éboulis des versants* qui dominent dans les sections tout à fait supérieures. Notons d'ailleurs que notre région n'a pas enregistré, comme telles autres des Alpes du Nord, d'éboulements catastrophiques entraînant destruction de villages ou formation de lacs temporaires par obstruction de la vallée principale⁴⁴.

⁴³ ARNAUD (176), *passim*.

⁴⁴ L'abbé ALBERT (*Histoire du diocèse d'Embrun*, I, p. 410) cite toutefois, à la date du 14 septembre 1740, la formation d'un lac de barrage accidentel entre Le Châtelard et Jausiers, sur l'Ubaye. Le lac se serait vidé en quelques jours sans débâcle catastrophique.

CHAPITRE III

L'ORGANISATION DU RELIEF

Essai d'analyse morphométrique.

Au cours du chapitre précédent nous avons montré, sur quelques cas remarquables, les rôles joués respectivement dans la topographie par l'érosion glaciaire et le remaniement fluvial. Il importe maintenant de compléter ces indications précises, mais forcément dispersées, par une comparaison morphologique exhaustive de nos grandes vallées : Durance, Guil, Ubaye.

Pour mener à bien cette comparaison, nous nous appuierons sur les méthodes de l'analyse morphométrique¹ en examinant successivement le creusement des talwegs, l'organisation hydrographique, le modelé des versants et la topographie des faites. Nous dégagerons ainsi, par des expressions numériques, les grands traits caractéristiques de chaque vallée. Chemin faisant, en confrontant les résultats de cette analyse avec les leçons de la structure, nous pourrions espérer préciser, cette fois par des chiffres, la part prise dans l'ensemble du relief par le facteur structural ou le facteur érosif.

I. — Morphométrie des talwegs.

Les profils en long. — Nos lecteurs n'ignorent pas que l'analyse génétique des profils en long a été récemment portée à un haut degré de perfection par le géographe serbe JOVANOVIĆ². Ce savant

¹ PÉGUY (70).

² JOVANOVIĆ (61) ; C.R. (PÉGUY) *R. G. A.*, 1943, p. 577-580.

est parvenu à confronter les profils réels avec des profils théoriques construits en fonction du débit; les différences observées entre les deux profils étant pour une part expliquées par l'inégale dureté des roches, pour une autre par les modifications qui ont pu intervenir dans le jeu de l'érosion. Il est à remarquer toutefois que la méthode n'a jamais été appliquée jusqu'ici à des profils de haute montagne. Une telle application s'y heurterait en effet à un obstacle presque insurmontable du fait de l'action quasi dominatrice de l'érosion glaciaire. Aussi serait-il vain de se référer, comme le fait Jovanovic, à tout un jeu de profils théoriques établis en fonction de l'écoulement fluvial dans un pays où cet écoulement fluvial n'a vraisemblablement imposé qu'une empreinte superficielle à un modelé fondamentalement glaciaire. Néanmoins il nous est apparu que s'il ne pouvait être question de transporter sans discussion dans notre domaine les méthodes du géographe serbe, il n'était pas interdit de s'en inspirer largement. Nous lui emprunterons d'abord le principe de la « réduction » des profils, simple procédé graphique à vrai dire, mais des plus ingénieux pour faciliter la comparaison « de visu » des profils en long. A défaut ensuite d'une analyse véritablement « génétique », nous essaierons, par un procédé purement statistique — le seul qui nous paraisse permis — d'évaluer la résistance plus ou moins grande des roches à l'érosion. Une fois ce facteur géologique circonscrit, il nous sera peut-être possible d'espérer pousser nos investigations plus loin encore par le recours à un profil de référence théorique...

Quel que soit le procédé d'analyse adopté, le premier travail à faire est évidemment de construire en coordonnées métriques les profils à commenter. On trouvera figurés ceux qui nous intéressent sur la planche VI hors texte. On note tout de suite qu'à égales distances du confluent l'Ubaye se tient toujours très au-dessus du Guil, le Guil lui-même se trouvant au-dessus de la Durance. L'Ubaye coule ainsi à 1130 m. à Barcelonnette tandis qu'à égale distance de leur confluent la Durance est en dessous de 900 m. vers Montdauphin. Plus en amont, des points situés à 70 kms de l'île de Rousset sur chacun des trois talwegs auraient des altitudes respectives de 2050 m. sur l'Ubaye (Plan du Prarouart), 1540 m. sur le Guil en amont d'Abriès, 1280 m. seulement sur la Durance à Briançon. Seule la Gyronde, par un effet évident de surcreusement glaciaire, coule, sur une brève section, en dessous de la Durance. Les deux autres affluents doivent l'altitude élevée de leurs talwegs aux barres rocheuses qu'ils doivent scier par des gorges dans les parties inférieures de leurs cours, en même temps qu'à l'absence dans leurs bassins de massifs élevés générateurs de glaciations intenses.

Cette comparaison immédiate des quatre profils principaux sera déjà un peu précisée par la construction des « profils réduits » tels que les conçoit JOVANOVIC. On sait que cet artifice graphique, auquel nous avons déjà fait allusion, consiste à multiplier les coordonnées du profil des affluents par des coefficients choisis de telle sorte que les sources se trouvent avoir la même abscisse. De la sorte, des points situés sur des profils différents, mais sur une même verticale, peuvent être considérés comme homologues. Les hauteurs se trouvant multipliées par les mêmes coefficients que les longueurs, ces *profils réduits* ne sont pas déformés. L'axe des abscisses est gradué de 0 (niveau de base) à 10 (sources des cours d'eau) (*coordonnées réduites décimales*).

Voici quelques valeurs, arrondies au dixième, des coordonnées décimales que l'on obtient pour quelques points caractéristiques des profils :

TABLEAU III

Coordonnées métriques et décimales de la Durance-Clarée.

	l_d	x_d	h_d	y_d
Confluent Ubaye	273	7	601	15,5
	292	7,5	677	17,4
Confluent Guil	311,5	8	785	20,1
	325	8,4	883	22,6
	331	8,5	893	22,9
Confluent Fournel	343	8,8	963	24,7
Confluent Gyronde	344,5	—	978	25,1
Confluent Cerveyrette	351	9	1135	29,1
	357	9,15	1188	30,1
	358,8	9,2	1222	31,5
	363	9,35	1366	35
	366,6	9,4	1388	35,7
Confluent Durance	374,4	9,6	1488	37,8
	376	9,68	1577	40,3
	382,2	9,8	1807	46,5
Source Clarée	390	10	2350	60

TABLEAU IV

Coordonnées métriques et décimales de l'Ubaye.

	l_u	x_u	h_u	y_u
Confluent	292	7,5	677	17,4
	307,5	8	890	24,3
Le Martinet	311	8,1	949	26,2
Confluent Bachelard	323	8,5	1114	31,6
	338,5	9	1263	36,35
Confluent Ubayette	341,2	9,1	1297	37,6
	344,7	9,2	1366	39,65
	351	9,4	1535	45,1
	357,1	9,6	1833	54,7
	363,3	9,8	2076	62,6
Lac du Longet	369	10	2641	81,8

TABLEAU V

Coordonnées métriques et décimales du Guil.

	l_g	x_g	h_g	y_g
Confluent	325	8,4	883	22,6
Confluent Cristillan	333	8,6	1032	27,5
	345	9	1310	36,8
Confluent Aigue Blanche	349	9,1	1373	38,8
	367	9,7	1752	51,2
Source	378	10	2480	75

TABLEAU VI

Coordonnées métriques et décimales de la Gyronde-Gyr.

	l_p	x_p	h_p	y_p
Confluent	341,5	8,8	978	25,1
	348	9	1031	28,3
Confluent Gyr-Onde	353	9,3	1146	35,1
Confluent Eychauda	357	9,5	1246	41
Glacier	366	10	—	—

Dans ces tableaux, les colonnes l expriment les abscisses brutes en kilomètres, x les abscisses réduites, h les hauteurs en mètres, y les hauteurs réduites. Les unités sont pour la Durance-Clarée $u_d = 39$ kms, $u'_d = 39$ mètres; pour l'Ubaye $u_u = 31$ kms, $u'_u = 31$ mètres; pour le Guil $u_g = 33$ kms, $u'_g = 33$ mètres; pour la Gyronde $u_p = 16,7$ kms, $u'_p = 16,7$ mètres. L'unité des hauteurs réduites étant toujours, comme on le voit, égale au millième de celles des longueurs réduites, il s'ensuit que la pente s'évalue directement en mètres par kilomètre en effectuant le quotient des coordonnées réduites aussi facilement que par le quotient des coordonnées brutes. Précisons par un exemple cette propriété fondamentale des profils réduits : la pente de l'Ubaye entre le confluent de l'Ubayette et celui du Bachelard s'exprimera aussi bien par le

quotient des coordonnées métriques $\frac{1297 - 1114}{341,2 - 323}$ que par celui des coordonnées réduites $\frac{37,6 - 31,6}{9,1 - 8,5} = 10$ mètres par kilomètre.

Pour comparer dès lors les profils des affluents — Ubaye, Guil, Gyronde — avec celui de la Durance considéré comme « fondamental » il suffit de faire le rapport des ordonnées des points ayant sur chaque profil la même abscisse : ce rapport, appelé *indice des hauteurs*, sera supérieur ou inférieur à l'unité suivant que le profil de l'affluent considéré se situe au-dessus ou en dessous du profil principal choisi comme référence. On voit tout de suite sur notre figure (fig. 13) que seule la Gyronde, aux abords immédiats de son confluent avec la Durance, se trouve avoir un indice des hauteurs inférieur à l'unité. L'anomalie inverse la mieux marquée intéresse l'Ubaye pour laquelle le point d'abscisse décimale $x = 9,7$ possède un indice des hauteurs de 1,46. Il est facile enfin d'évaluer graphiquement la valeur moyenne prise par l'indice des hauteurs pour l'ensemble d'un profil : cette valeur moyenne est pour l'Ubaye de 1,30; pour le Guil, 1,26 — chiffres qui expriment que le creusement moyen est en moyenne sensiblement moins avancé que pour la Durance —; la Gyronde doit par contre à l'intensité de l'érosion glaciaire un profil en moyenne à peine plus relevé que celui de la Durance : indice moyen des hauteurs : 1,06.

Il a paru intéressant de compléter notre figure 13 par les profils réduits de l'Arc et de l'Isère : on y voit que pour $x < 9$ les rivières intra-alpines du Sud coulent très au-dessus de leurs congénères des Alpes françaises du Nord.

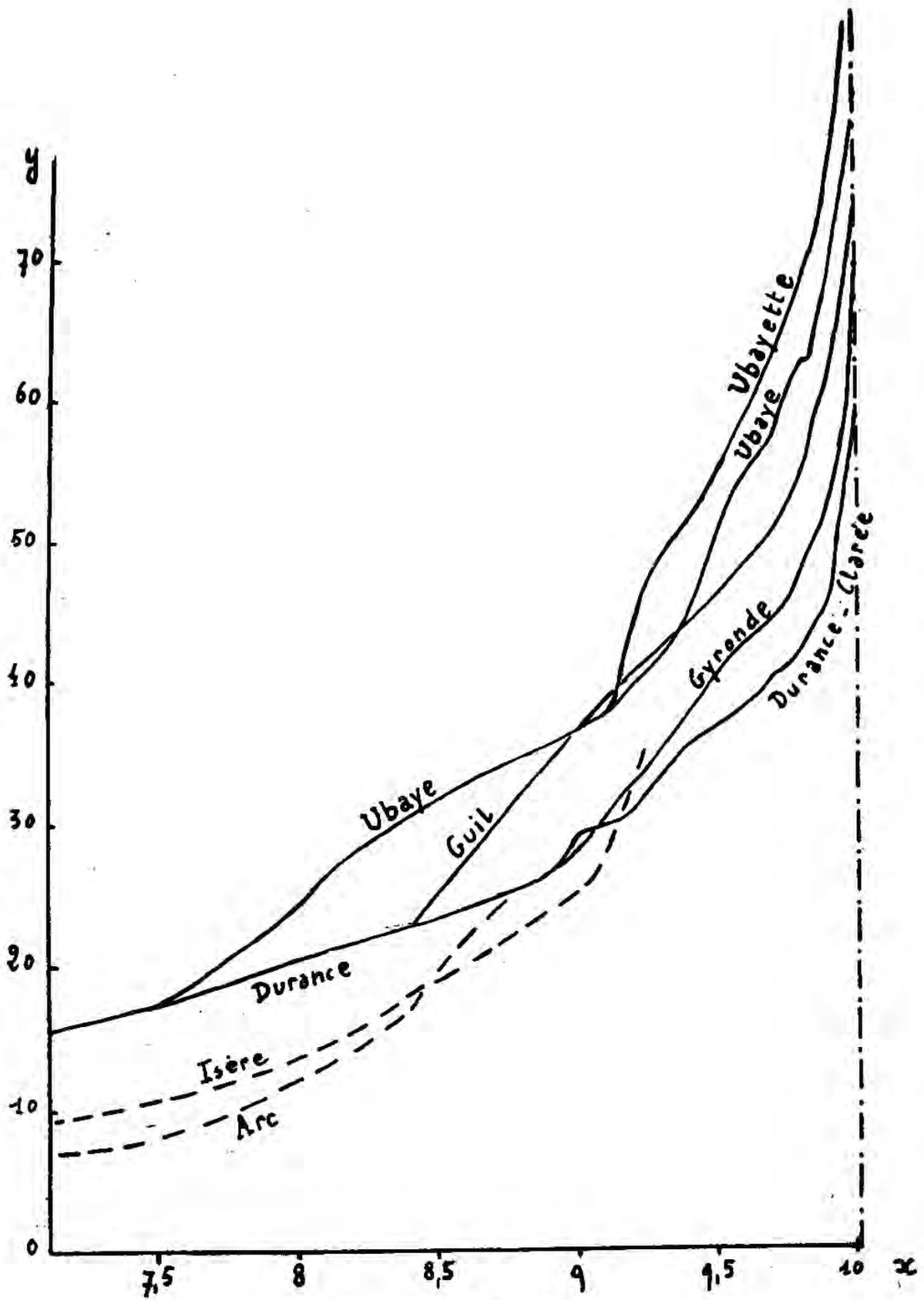


Fig. 13. — Profils réduits.

Essai d'analyse des profils réduits. — Les inégalités que l'on observe dans les profils en long s'expliquent pour la plus grande part par la structure, qui impose ses conditions impératives aussi bien à l'érosion glaciaire qu'à la fluviale. Sur un même talweg, l'apparition de roches dures provoque un accroissement de la pente tandis que les roches tendres entraînent l'apparition de pentes plus douces. On sait en effet combien BLACHE a démontré clairement, dans le cas de l'érosion fluviale, cette vérité fondamentale qu'en chaque point d'un talweg le potentiel érosif (fonction du débit et de la pente) est proportionné au travail érosif à réaliser (fonction essentiellement de la résistance des roches) ³.

Compte tenu d'autres facteurs dont le principal sera l'augmentation du débit vers l'aval, il existe donc *a priori* une relation entre la pente du talweg et la dureté des roches. C'est cette relation que nous allons essayer de préciser maintenant dans les limites de notre étude. Ne pouvant utiliser à ces fins, comme le faisait JOVANOVIC, des profils de référence théoriques déduits des lois de la dynamique fluviale, nous avons dû nous contenter de comparer entre elles sur nos différents profils les sections correspondant à des affleurements déterminés. On trouvera ainsi par exemple que des sections de profil correspondant à des affleurements de Trias ont des pentes en général doubles des sections de profil correspondant à des affleurements houillers. Mais il faut prendre bien soin de ne comparer que des sections comparables entre elles par leurs positions relatives sur l'ensemble du profil : on s'exposerait sans cela à de lourdes erreurs. C'est ainsi que la pente de la Clarée en amont de Névache, coulant pourtant sur les grès tendres du Houiller, est supérieure à celle du Guil dans ses fameuses gorges entaillées dans une voûte triasique, mais à une distance déjà notable de la source. Faute de se rapporter à deux sections homologues des profils, la comparaison des pentes est ici dénuée de toute valeur propre à évoquer la résistance du sol. On devine qu'il faudra se borner à comparer les sections ayant, sur deux talwegs différents, les mêmes abscisses décimales.

La méthode que nous avons suivie a consisté à établir tout d'abord un profil réduit moyen en effectuant les moyennes arithmétiques des ordonnées des profils réduits de l'Ubaye, de la Durance, de l'Arc et de l'Isère. Un tel profil repose, croyons-nous, sur des bases statistiques assez larges pour servir de profil de référence dans l'étude d'une quelconque rivière alpine. Voici comment la pente s'y accroit en effet régulièrement de l'aval vers l'amont :

TABLEAU VII

Pente du profil moyen de référence.

Abscisses décimales . . .	7,0	7,2	7,4	7,6	7,8	8,0	8,2	8,4	8,6	8,8	9,0	9,2	9,4	9,6	9,8	10
Pente (°/oo)	1,3	2,5	4,0	5,7	7,2	9,2	11,0	13,2	15,5	18,5	21,2	25,5	32,0	44,0	75,0	

On a dressé ensuite, pour chacun de nos profils, un tableau des pentes classées par affleurements.

On comprend dès lors que, pour éliminer dans le commentaire des pentes d'un talweg l'influence perturbatrice de la concavité générale des profils, il suffise de retenir comme expression caractéristique de la pente dans un terrain déterminé le rapport de la pente observée à la pente de la section homologue du profil de référence. Nous appellerons un tel rapport *indice des pentes*.

³ BLACHE (55).

Voici d'ailleurs les résultats détaillés. Pour ne pas compliquer les choses outre mesure, on a retenu seulement six entités géologiques : Flysch, Mésozoïque briançonnais, Mésozoïque autochtone, Houiller briançonnais, schistes lustrés, granite.

TABLEAU VIII

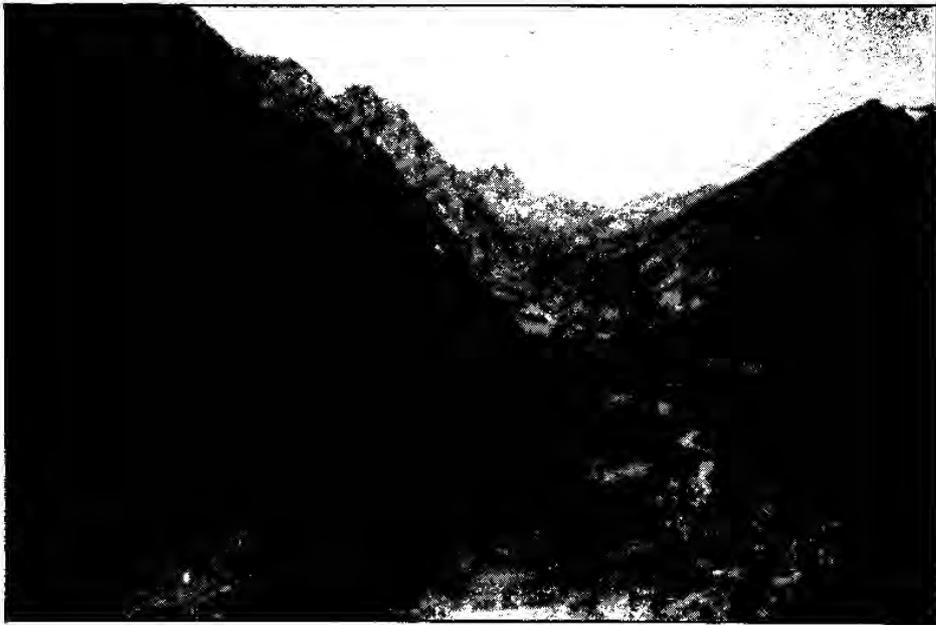
Durance-Clarée.

Abcisses décimales	Terrain	Pente moyenne	Pente du profil de référence	Indice des pentes
8,2 < x < 8,35	Flysch	0,55	1,1	0,5
8,35 < x < 8,5	Mésozoïque brian. + Flysch	0,25	1,2	0,2
8,5 < x < 8,8	id.	0,58	1,47	0,4
8,8 < x < 9	Mésozoïque brianç.	2,2	1,85	1,19
9 < x < 9,2	Houiller	0,7	2,1	0,33
9,2 < x < 9,4	Mésozoïque brianç.	2,4	2,5	0,96
9,4 < x < 9,6	id.	1,2	3,2	0,38
9,6 < x < 9,8	Houiller	2	4,4	0,46
9,8 < x < 10	id.	10	7,5	1,33

TABLEAU IX

Ubaye et Guil.

Abcisses décimales	Terrain	Pente moyenne	Pente du profil de référence	Indice des pentes
<i>Ubaye :</i>				
8,9 < x < 9	Flysch	0,4	1,9	0,21
9 < x < 9,2	id.	1,65	2,12	0,78
9,2 < x < 9,4	id.	2,7	2,5	1,08
9,4 < x < 9,6	Mésozoïque brianç.	4,8	3,2	1,5
9,6 < x < 9,8	schistes lustrés	3	4,4	0,68
9,8 < x < 10	id.	8,5	7,5	1,13
<i>Guil :</i>				
8,4 < x < 8,5	Mésozoïque + Flysch	3	1,3	2,3
8,5 < x < 9	Mésozoïque brianç.	2,4	1,65	1,45
9 < x < 9,1	id.	2	2,05	1
9,1 < x < 9,2	schistes lustrés	1,8	2,2	0,82
9,2 < x < 9,4	id.	1,6	2,5	0,64
9,4 < x < 9,6	id.	2,2	3,2	0,68
9,6 < x < 9,8	id.	3,3	4,4	0,75
9,8 < x < 10	id.	9,5	7,5	1,26



Pl. IX A. -- Vallée du Fournel.

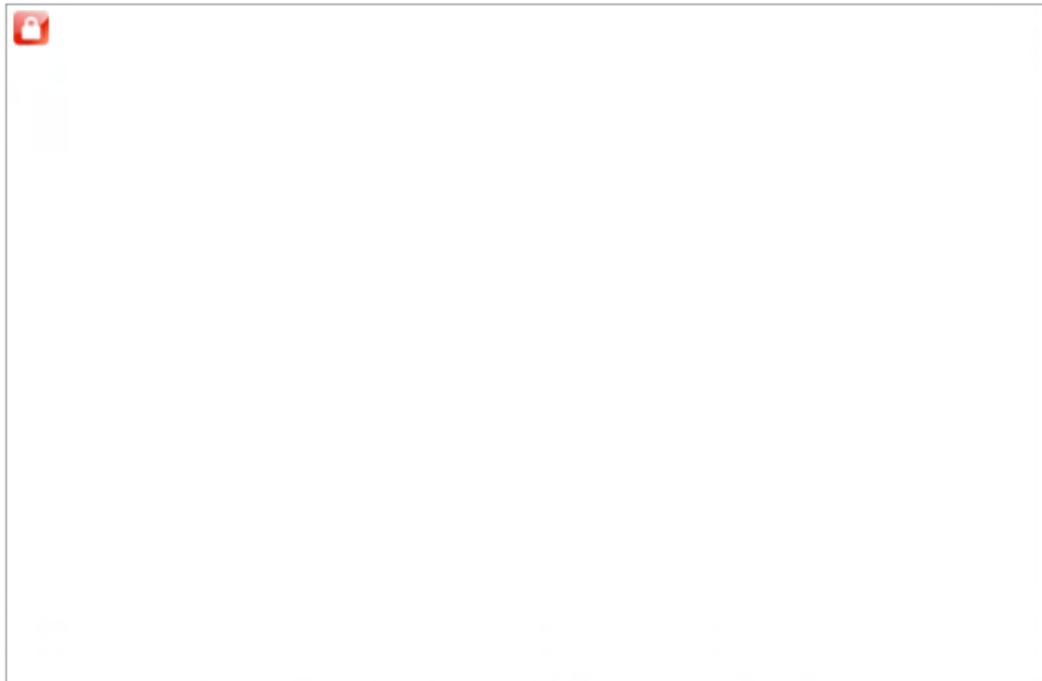


Pl. IX B. -- Vallée de l'Ubaye, vue de Maurin vers l'aval.

Clichés Péguy.



PL. X A. — Vallée du Laverq (Ubaye), vue de la Tête de Sestrière.



PL. X B. — Torrent des Agneliers et vallée de Fours,
vus du pied Est de la Grande Séolane.
Au centre, le « Chapeau de Gendarme ».

Clichés Abbé Krebs.

Pour étudier par cette méthode la pente des talwegs sur le granite, on doit faire appel aux sections supérieures du Gyr :

TABLEAU X

Abcisses décimales	Terrain	Pente moyenne	Pente du profil de référence	Indice des pentes
<i>Gyr :</i>				
9,5 < x < 9,6	granite	5	3,6	1,38
9,6 < x < 9,8	id.	5,5	4,4	1,25
9,8 < x < 10	id.	12	7,5	1,60

Si l'on calcule pour terminer la valeur moyenne des indices de pente correspondant à chaque affleurement, on obtient les valeurs caractéristiques suivantes ⁴ :

TABLEAU XI

Terrains	Ubaye-Durance	Arc-Isère
granite	1,30	1,07
Mésozoïque autochtone	0,87	1,16
Flysch	0,72	1,26
Mésozoïque briançonnais	1,20	0,90 (?)
Houiller briançonnais	0,40	1
schistes lustrés	0,68	0,70

Ces indices, rappelons-le, signifient que la pente des sections de talwegs établies sur du granite sera en moyenne de 1,3 fois la pente des sections homologues du profil de référence. La pente des sections de talwegs établies sur du Flysch sera en moyenne de 0,72 fois celle des sections homologues du profil de référence, et ainsi de suite... Si nous estimons — à la suite de BLACHE — qu'un rapport étroit doit exister entre la pente et la résistance offerte par le sol, nous pouvons considérer que nos « indices de pente » constituent pour chaque roche une véritable expression de sa dureté relative ⁵.

⁴ Dans le calcul de ces moyennes, on a affecté l'indice de pente de chaque section d'un coefficient proportionnel à la longueur de ces sections. De plus, il est apparu qu'il ne convenait pas de retenir les valeurs souvent aberrantes des sections terminales amont, d'abscisses décimales $9,8 < x < 10$.

⁵ Différente de celle de JOVANOVIĆ, fondée sur les lois mécaniques de l'écoulement fluvial, notre méthode est à vrai dire purement statistique, et non « génétique ». Elle aboutit uniquement à exprimer la résistance relative des roches à l'érosion en prenant comme unité la résistance moyenne des roches du bassin considéré : cette méthode est la seule applicable, croyons-nous, à des vallées d'origine mixte, fluviale et glaciaire.

Ces valeurs, auxquelles nous a mené le calcul, exigent quelques mots de commentaire : pour le granite, la divergence des résultats obtenus ne doit pas correspondre à une différence réelle de la dureté des roches, mais provenir plutôt d'une insuffisance de nos mesures : tandis qu'en Vallouise en effet nous avons dû rechercher des talwegs granitiques dans les plus hautes sections du Gyr, l'Arc et l'Isère ne traversent au contraire le granite que dans des sections très basses de leurs cours. Un pareil fait rend très aléatoire la comparaison des pentes et soumet à rude épreuve notre procédé de comparaison à un profil moyen de référence. En ce qui concerne le Mésozoïque autochtone, le Flysch et le Houiller, l'écart entre les indices des pentes est tel qu'on ne saurait admettre qu'il soit fortuit : on doit penser que ces trois terrains sont effectivement beaucoup moins résistants à l'érosion dans les Alpes du Sud que dans celles du Nord. Les « terres noires » de la Durance n'ont effectivement pas leurs similaires dans les domaines de l'Arc et de l'Isère ; pour le Houiller, il y aurait peut-être lieu d'invoquer le métamorphisme qui, totalement absent du Briançonnais, en durcit les assises en Maurienne. Mais avec les schistes lustrés réapparaissent des terrains tendres dont le comportement à l'érosion reste remarquablement identique de la haute Ubaye à la haute Isère.

Pour modestes que soient ces premiers résultats numériques, ils illustrent une méthode d'évaluation de la résistance des roches à l'érosion dont l'avenir dira si le principe en était fécond.

Ainsi l'inégale dureté des roches apparaît-elle bien comme la cause principale des irrégularités des profils en long. Mais ce n'est assurément pas la seule et notre effort d'analyse doit tendre maintenant à dissocier les causes secondaires de ces irrégularités. Dans ce but, nous construirons des *profils pondérés* obtenus en multipliant d'aval en amont les pentes de chaque secteur décimal par l'inverse de l'indice des pentes des terrains affleurants. Le Guil, que nous prendrons comme exemple numérique, présente ainsi sur son profil réel, dans les fameuses gorges du Bas-Queyras, une pente moyenne de 23 m/km. Mais l'indice des pentes du terrain intéressé (Mésozoïque briançonnais) étant de 1,20 la pente de cette section se trouvera, sur

notre profil pondéré, ramenée à : $23 \times \frac{1}{1,20} = 19,1$ m/km. C'est la pente qu'aurait

dans des conditions d'érosion identiques la section homologue d'un profil établi sur un terrain de résistance égale à l'unité. En amont, la pente réelle est, sur les schistes lustrés, de 16 m/km. L'indice de pente de cette roche étant de 0,68, la pente de cette

section du profil pondéré sera de $16 \times \frac{1}{0,68} = 23,5$. On conçoit que l'on puisse ainsi

construire de proche en proche, de l'aval vers l'amont, un profil imaginaire, certes, mais reproduisant selon toute vraisemblance ce qu'aurait été le profil d'un talweg creusé dans des conditions identiques dans un terrain homogène. Dans le cas concret qui vient de nous servir d'exemple, on voit que le profil « pondéré » du Guil retrouve la concavité normale qui manquait au profil réel. C'est par le commentaire de ces profils pondérés que l'on peut espérer dégager, d'une part les irrégularités provenant du jeu de l'érosion glaciaire, d'autre part celles qui pourraient résulter de mouvements tectoniques récents.

Voici (fig. 14) les profils pondérés que le calcul permet de restituer pour la Durance-Clarée, le Guil et l'Ubaye, présentés comme les profils bruts sous une forme décimalement réduite. On y remarque de suite la belle concavité retrouvée par le profil du Guil. Celui de la Durance, plus régulier que le profil réel correspondant, présente encore des accidents que le façonnement glaciaire suffit sans doute à expliquer. Quant au profil pondéré de l'Ubaye, il reste très en dessus de celui de la Durance, l'écart entre les deux étant encore plus grand que sur les profils bruts. De plus, il se révèle curieusement convexe entre les points d'abscisses décimales 8,4 et 8,9. La barre rocheuse sciée par l'Ubaye dans son cours inférieur n'est donc pas seule responsable, comme nous l'avions admis jusqu'ici, du relèvement de son talweg puisque le même accident subsiste ici sur le profil pondéré dont les influences structurales en quelque sorte statiques ont été éliminées par le calcul : nous croyons que cet accident traduit une poussée orogénique très récente du dôme de Barcelonnette,

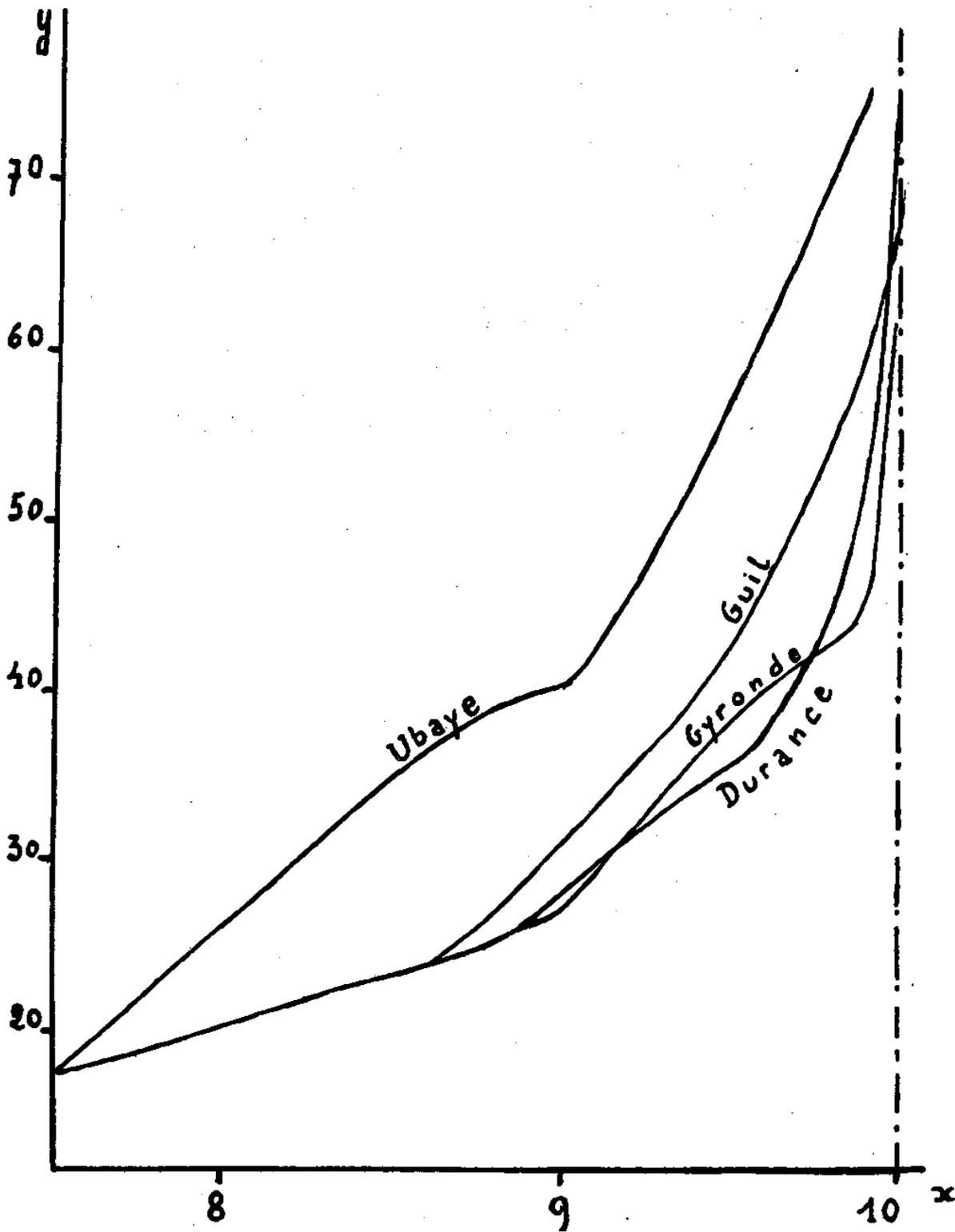


Fig. 14. — Profils pondérés réduits.

(La pondération a pour but d'éliminer les influences structurales.)

le terrain s'étant soulevé là plus vite que la rivière antécédente n'arrivait à s'enfoncer. Ainsi, comme l'espérait JOVANOVIĆ, l'analyse serrée d'un profil en long semble permettre non seulement d'évaluer l'inégale dureté des roches traversées, mais encore de reconstituer hypothétiquement les mouvements du sol qui ont pu troubler l'évolution normale du profil. Les résultats de notre analyse sont à joindre, en tout cas, au dossier de l'antécédance des dômes sud-alpins.

L'établissement de ces profils pondérés ne représente point d'ailleurs le terme final d'une telle analyse et une conclusion telle que celle que nous venons de formuler à l'alinéa précédent ne peut être formulée avec quelque rigueur qu'à condition de confronter en dernier lieu les profils pondérés avec un profil théorique établi en fonction du débit⁶. Aussi avons-nous construit des profils théoriques de référence de cette nature par l'emploi de la formule de KUTTER déjà utilisée dans ce but par JOVANOVIĆ⁷. Rappelons que cette formule établit une relation entre trois variables d'un cours d'eau : le débit, la pente et la vitesse. Si l'on postule que la vitesse minima d'un cours d'eau admettant érosion ou transport est de 0,1 m/sc. la formule donne pour chaque débit une pente limite pour laquelle l'eau possède tout juste l'énergie nécessaire à son propre écoulement, sans qu'un excédent puisse servir à l'érosion ou au transport. Dès lors, on peut évidemment, pour une rivière donnée, construire de proche en proche, de l'aval vers l'amont, le *profil d'équilibre idéal* dont la pente se redresse évidemment au fur et à mesure que le débit diminue⁸.

⁶ Nous terminons ainsi nos analyses par où JOVANOVIĆ commençait les siennes : — c'est en cela que diffèrent les deux méthodes —. La raison en est qu'on ne pouvait songer à comparer de prime abord à un profil fluvial théorique des profils réels en partie glaciaire : le facteur structural ne serait pas apparu. Mais s'appliquant à des profils pondérés dans lesquels le facteur dureté des roches se trouve déjà éliminé par le calcul, l'opération redevient légitime et permet précisément d'établir la part prise respectivement dans le façonnement des profils par les érosions fluviale et glaciaire.

⁷ Nous avons fait ailleurs, en rendant compte de l'ouvrage de JOVANOVIĆ (voir ci-dessus note 2) de fortes réserves sur l'emploi de cette formule. Rappelons qu'elle entraîne dans ses applications numériques une gamme de pentes qui nous paraît bien trop étendue. Il est par ailleurs très arbitraire de fixer à 0,1 m/sc. la vitesse limite inférieure de l'érosion ou du transport (très vraisemblablement, ces deux vitesses limites seraient à distinguer l'une de l'autre). Mais surtout, *il n'est nullement prouvé que la pente limite soit fonction du seul débit liquide*. Tout semble indiquer, au contraire, que la puissance érosive d'un cours d'eau dépend non seulement de son débit et de sa pente, mais encore de son *débit solide*, nous voulons dire des matériaux transportés. Et contrairement à une idée fautive partagée encore par trop de géographes, il semble bien que le pouvoir érosif *décroit* quand le transport croît (cf. PARDÉ ('49), t. II, *passim*). Tout se passe comme si l'énergie globale mise en jeu étant définie mécaniquement en fonction du débit et de la pente, la quantité d'énergie nécessaire au transport des matériaux se trouvait soustraite du potentiel érosif local. Dès lors, la pente limite en dessous de laquelle le cours d'eau cesse de creuser son lit décroît bien quand le débit liquide augmente, mais *croît en même temps que le débit solide*. Voilà qui complique singulièrement l'analyse de notre phénomène ! Mais ce serait sortir du cadre limité d'une étude régionale que de chercher une solution approfondie du problème.

⁸ Si l'on voulait pousser les choses à fond, il faudrait, croyons-nous, dissocier deux notions : celles de *profil d'équilibre* et de *profil limite*. Le premier aurait en chaque point une pente telle que l'eau y garderait l'énergie nécessaire au transport des matériaux venus de l'amont, sans excédent disponible pour l'érosion locale. Là où la pente serait plus forte que celle du profil d'équilibre, il y aurait érosion ; là où elle serait moins forte, il y aurait au contraire dépôt. Le profil d'équilibre ainsi défini se réaliserait d'aval en amont selon les lois bien connues de l'érosion régressive. Quant au *profil limite*, ce serait pour nous le profil idéal conçu pour le seul écoulement fluvial, sans transport : il s'agirait là non plus d'un *équilibre*, mais d'une *limite*, au sens mathématique du mot.

En fait il convient de prendre comme terme de comparaison non pas le profil d'équilibre lui-même, beaucoup trop aplati, mais un profil qui dérive de celui-ci par une multiplication des hauteurs par un indice constant. Nous avons choisi pour indice le rapport des pentes du profil réel et du profil d'équilibre de la Durance pour la dernière partie de son cours, entre Orgon et son confluent avec le Rhône : ce rapport est de 17,6, chiffre élevé qui traduit la pente anormalement forte que la Durance garde sur son cours inférieur. En opérant ainsi on obtient un profil « conforme » (au sens où JOVANOVIĆ emploie ce mot) qui prolonge aussi régulièrement que possible vers l'amont la courbure des sections inférieures du cours d'eau, sections dont le profil est évidemment le plus évolué. Nous appellerons un tel profil *profil cohérent*.

Voici, calculées pour quelques points caractéristiques de nos cours d'eau, les coordonnées métriques et réduites de ces profils cohérents :

TABLEAU XII

*Profil cohérent,
Durance-Clarée.*

I = pente minima selon Kutter.

I' = pente du profil cohérent.

D = distances partielles (en kms).

d = dénivellations partielles (en m.).

Distances au Rhône	Points	Débit (mc.)	I	I'	D	d	Alt. (mèt.)	Coord. réduites x y	
0	Confluent	210					12	1,58	0,31
			0,109	1,8	15	27			
15	Bonpas	208					39	1,96	1
			0,110	1,8	16	29			
30,8	Orgon	206					68	2,37	1,77
			0,114	2	29	58			
59,5	Cadenet	196					126	3,11	3,23
			0,115	2,05	11,5	24			
71,1	Pertuis	194					150	3,42	3,85
			0,116	2,05	15,5	37			
86,6	Mirabeau	190					187	3,81	4,8
			0,120	2,1	26	55			
112,5	Conf. Lorgue . .	165					242	4,55	6,2
			0,135	2,3	26	60			
138,5	Conf. Bléone ..	140					302	5,13	7,75
			0,148	2,6	21	55			
160	Sisteron	120					357	5,68	9,3
			0,165	2,9	37	107			
196,7	Conf. Rousine .	98					464	6,65	11,9
			0,205	3,1	26,4	82			
223,1	Conf. Ubaye ..	84					546	7,5	14
			0,214	3,8	20,7	78			
20,7 (1)	Embrun	62					624	8	16
			0,249	4,4	12,3	54			
33	Saint-Clément .	57					678	8,36	17,4
			0,256	4,5	1,5	7			

Distances au Rhône	Points	Débit (mc)	I	I'	D	d	Alt. (mèt.)	Coord. réduites	
								x	y
34,5 (1)	Conf. Guil	57	0,286	5,05	11,5	58	685	8,4	17,6
46	Conf. Biaysse .	40	0,360	6,35	6	38	743	8,68	19,1
52	Conf. Fournel	32	0,390	6,9	1	7	781	8,8	20
58	Conf. Gyronde .	30	0,456	8,2	13,5	110	788	8,8	20,3
66,5	Conf. Cerveyr..	20	0,602	10	1	10	898	9,15	23
67,5	Conf. Guisane .	17	0,772	13,6	5	68	908	9,2	23,3
72,5	Conf. Durance .	7	1,937	34	29	980	976	9,35	25
101,5	Source Clarée .	0					1956	10	50

¹ Distances mesurées à partir du confluent Durance-Ubaye.

TABLEAU XIII

Ubaye. — Profil cohérent.

Distances au confluent	Points	Débit (mc.)	I	I'	D	d	Alt. (mèt.)	Coord. réduites	
								x	y
0		26	0,456	8,2	13,4	110	546	7,5	14
13,4	Le Lauzet ...	23,7	0,535	9,45	17,4	164	656	7,93	17,5
30,8	Conf. Bachel. .	18,5	0,71	12,5	3	37	820	8,5	23,1
33,8	Barcelonnette .	12	1,04	18,3	19,5	357	857	8,55	24,3
59,3	R. du Châtelet	4,5	2,75	48,5	18,2	883	1214	9,4	35,8
77,5	Lac du Longet	0					2097	10	64,3

TABLEAU XIV

Guil. — Profil cohérent.

Distances au confluent	Points	Débit (mc.)	I	I'	D	d	Alt. (mèt.)	Coord. réduites x	y
0		13					685	8,4	17,6
			0,772	13,6	1,5	20			
1,5	Conf. Chagne .	10,8					705	8,4	18,2
			0,882	15,6	6,5	101			
8	Maison du Roi .	9,1					806	8,6	21,2
			1,112	19,6	16	315			
24	Ville-Vieille ...	5,6					1121	9,1	30,8
			2,19	33,5	28	940			
52	Source	0					2061	10	59,2

TABLEAU XV

Gyrone. — Profil cohérent.

Distances au confluent	Points	Débit (mc.)	I	I'	D	d	Alt. (mèt.)	Coord. réduites x	y
0		8,5					788	8,8	20,3
			1,218	21,4	8	171			
8	Conf. Gyr	4,5					959	9,3	30,6
			1,80	30	4	120			
12	Conf. Eychaуда .	3					1079	9,5	37,8
			3,74	65,5	9	590			
21	Glacier	0					1669	10	73,3

Les figures suivantes (15 à 18) synthétisent pour chaque profil tous les éléments de l'analyse génétique : le trait plein y figure le profil réduit, le tireté A le profil pondéré réduit, le tireté B le profil cohérent, également réduit. L'écart entre les deux premières courbes exprime la valeur du facteur structural, celui entre les deux dernières mesure l'effet des diverses modalités de l'érosion et, éventuellement, des mouvements du sol récents. Ces figures se commentent aisément d'après les indications que nous avons déjà données. Soulignons cependant encore que le haut Gyr coule *en dessous* de son profil cohérent : anomalie qui traduit remarquablement l'effet du surcreusement glaciaire.

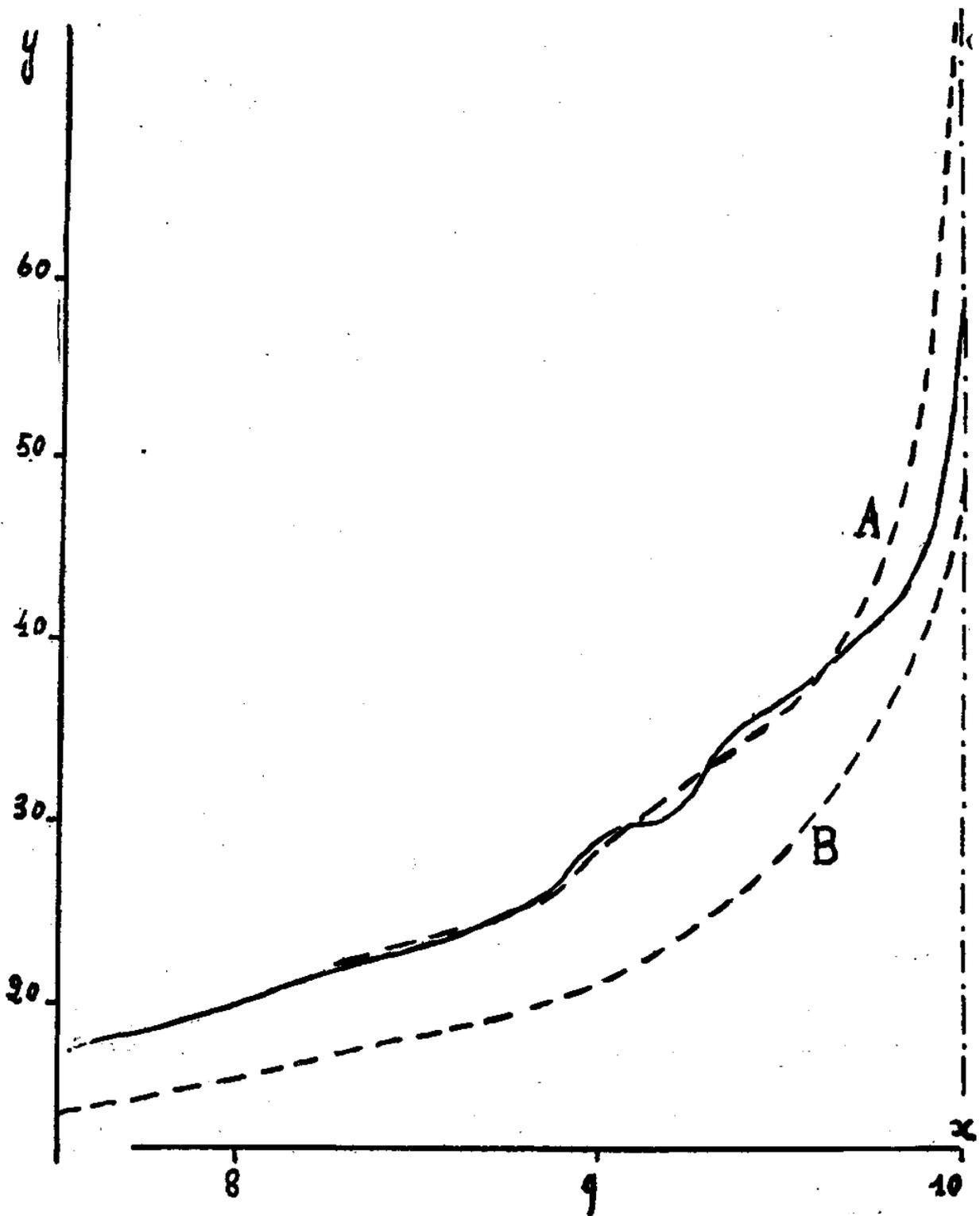


Fig. 15. — Durance - Clarée.

Profil réduit (en trait plein) ; profil pondéré réduit (A) et profil cohérent (B).

Les profils secondaires. — Il resterait à étudier maintenant selon des procédés analogues le creusement des torrents secondaires. Parmi ceux-ci, la Guisane est à isoler par l'ampleur de son bassin versant (202 kms²). En dehors d'elle, 9 torrents possèdent des bassins compris entre 50 et 120 kms² : le Fournel et la Biaysse, affluents de la Durance, l'Aigue Agnelle - Aigue Blanche, le Cris-

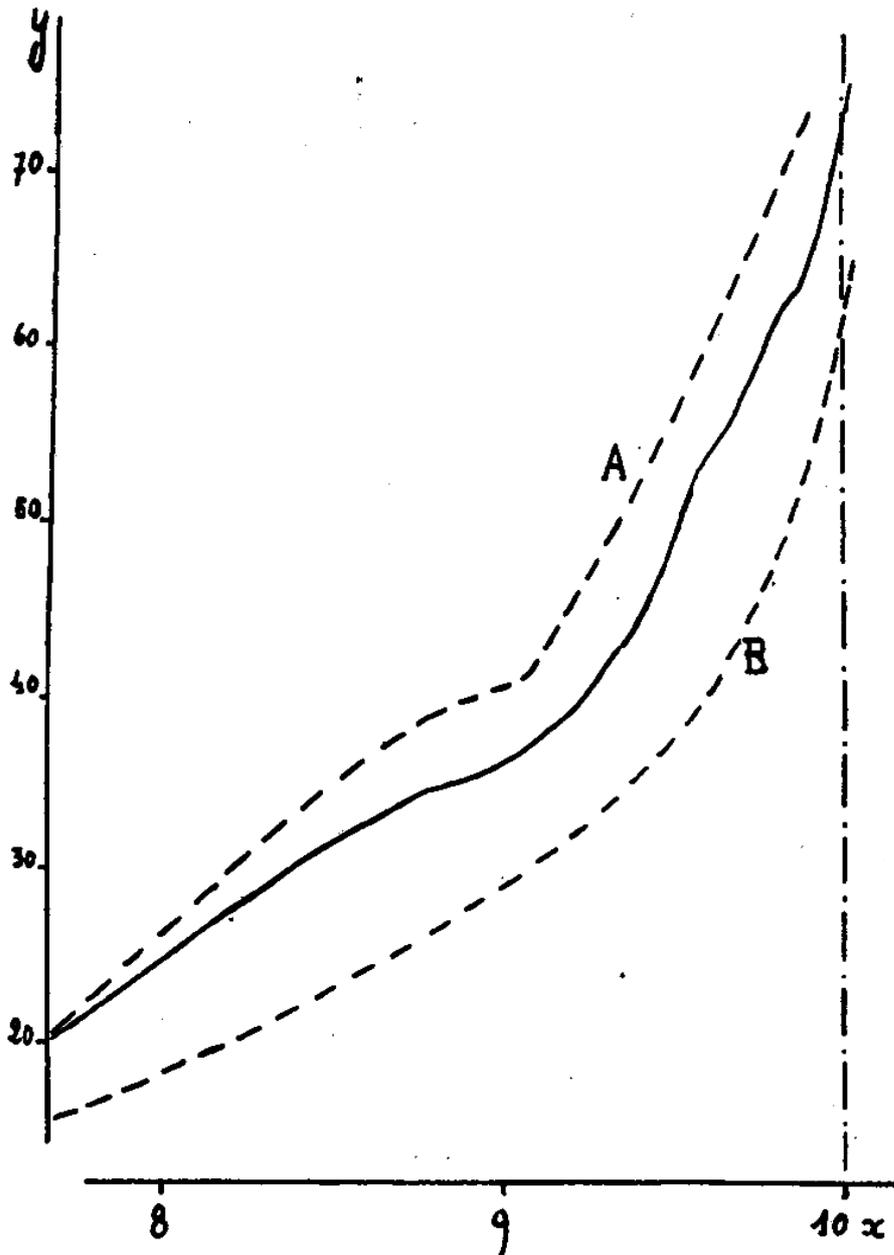


Fig. 16. — Ubaye.

Profil réduit (en trait plein) ; profil pondéré réduit (A) et profil cohérent (B).

tillan et le Chagne, affluents du Guil; le Rif Bel venant grossir lui-même le Chagne; l'Ubayette et le Bachelard en Ubaye. Malheureusement, l'analyse rationnelle d'un profil en long devient d'autant plus délicate et incertaine que le bassin versant est petit. Les causes d'anomalies qui peuvent intervenir ici ne se compensent

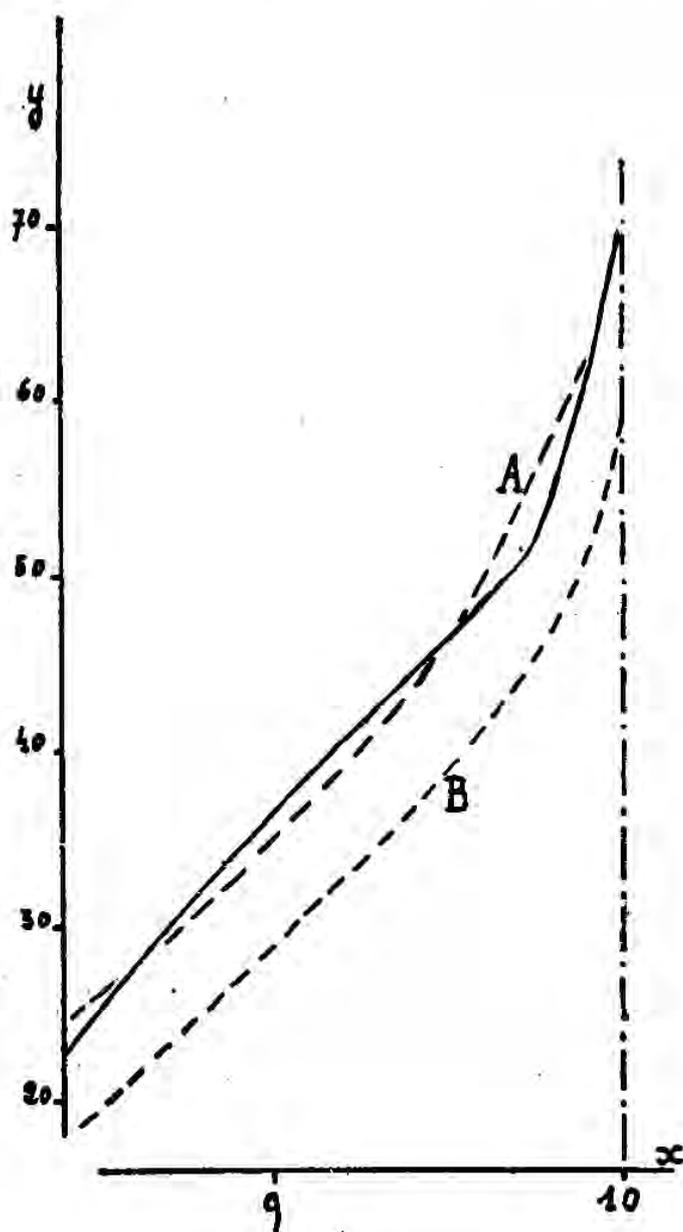


Fig. 17. — Guil.

Profil réduit (en trait plein); profil pondéré réduit (A)
et profil cohérent (B).

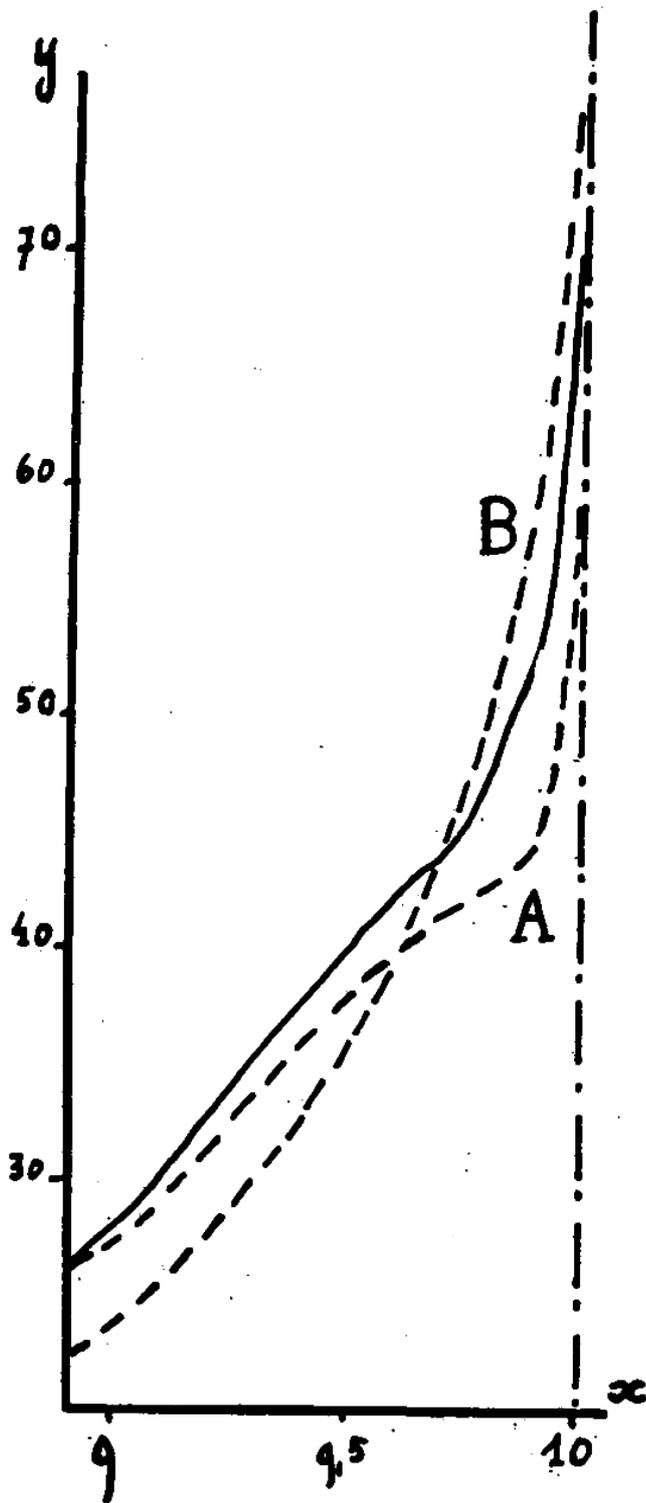


Fig. 18 — Gyronde.

Profil réduit (en trait plein) ; profil pondéré réduit (A)
et profil cohérent (B).

plus comme dans le cas des rivières plus importantes. Surtout, les procédés d'analyse que nous avons utilisés jusqu'ici ne peuvent s'appliquer sans de grosses modifications au cas des très courts talwegs. Nous avons été amené en particulier à abandonner complètement dans ces cas le procédé de la réduction décimale. Deux raisons nous y invitaient : la première est que cette opération accroît les ordonnées d'une façon inadmissible pour les profils les plus courts⁹, l'autre est que le point le plus intéressant de l'étude des talwegs secondaires concerne les gradins de confluence : or à ce point de vue, ce sont les conditions d'altitude brute qui comptent seules évidemment¹⁰. Ayant dû renoncer ainsi à présenter de semblables profils, nous renvoyons le lecteur aux profils réels de la planche VI.

Dans les sections inférieures de leurs cours, les torrents secondaires présentent tous les traits caractéristiques d'une topographie glaciaire rajeunie : nous nous sommes attardé au chapitre précédent à l'étude des gradins de confluence. Pour les sections moyennes et supérieures il devient beaucoup plus difficile de présenter une étude rationnelle : nous en avons dit les raisons. Nous avons imaginé de comparer nos profils par leurs pentes moyennes, en nous limitant aux sections comprises entre 1200 et 2200 m. d'altitude : on élimine ainsi d'une part les gorges de raccordement, déjà étudiées, et d'autre part les sections de très haute altitude qui seraient mal comparables entre elles et qui manqueraient même sur certains torrents comme le Chagne.

Voici le classement obtenu :

Guisane	37	Biaysse	68
Ubayette (1)	51	Chagne (2)	74
Bachelard	53	Cristillan	76
Cerveyrette	56	Fournel	78
Aigue Blanche-Aigue Agnelle.	64	Rif Bel	100

(Pentes en mètres par kilomètre entre les cotes 2200 et 1200, sauf : (1) pente calculée entre les cotes 2200 et 1400; (2) entre les cotes 2000 et 1200 m.)

⁹ Certains s'étonneront peut-être de ce qu'une même méthode ne puisse être appliquée à l'ensemble des profils de toutes dimensions. C'est le contraire qui serait surprenant pour qui n'ignore pas qu'en géographie les méthodes de réduction ne sont jamais valables qu'entre de certaines limites. Rappelons seulement, à titre d'analogie, que la notion si usuelle de densité de population permet de comparer la population de deux pays en éliminant le facteur « surface », mais seulement dans les limites d'un certain ordre de grandeur. Il en est de même en hydrologie pour le calcul du débit relatif d'un cours d'eau. On pourrait multiplier de tels exemples.

¹⁰ JOVANOVIĆ lui-même avait déjà fait cette réserve à l'emploi de sa méthode (64, p. 37, note 1).

La Guisane s'isole nettement dans cet ensemble par sa pente moyenne très modérée. Le fait s'explique à la fois par l'étendue déjà notable de son bassin versant (202 kms², contre 50 à 120 pour les autres torrents cités) et par le caractère constamment très tendre des terrains sur lesquels elle coule : Houiller en aval, Flysch, Lias et gypses en amont, ces derniers injectés par diapirisme le long des nombreux fronts de chevauchement qui jalonnent les abords du Galibier. L'Ubayette nous offre un cas assez voisin, la pente s'en relevant déjà toutefois par suite d'un bassin notablement plus petit (110 kms²). A l'autre extrémité de l'échelle, le Rif Bel doit sa pente considérable à la petitesse de son bassin versant (56 kms²) mais plus encore sans doute au fait qu'il coule en totalité sur les assises résistantes du Mésozoïque briançonnais. C'est le seul de nos cours d'eau qui ne rencontre ni Houiller, ni schistes lustrés, ni (sauf sur une infime section) Flysch, toutes assises qui provoquent ailleurs des replats sensibles du profil.

A un autre point de vue, il serait intéressant de noter la plus ou moins grande régularité des profils en long. La Biaysse montre d'étonnantes ruptures de pente d'origine glaciaire; le site de Dormilouze constitue un très beau site de confluence glaciaire avec son double gradin et sa cuvette surcreusée. Sur le Fournel voisin, la pente beaucoup plus forte de l'ensemble du profil masque en partie les formes glaciaires autres que le gradin de confluence aval. Sur le profil du Cristillan, l'érosion glaciaire a exagéré, vers Ceillac, la tendance au replat des schistes lustrés. Sur le Bachelard enfin, la rupture de pente de la cote 1410 située peu en amont du coude si caractéristique de ce torrent pourrait faire envisager l'hypothèse d'une capture : hypothèse fragile à la vérité dans un domaine comme le nôtre et difficilement compatible avec le soulèvement récent du dôme de Barcelonnette que nous avons démontré par ailleurs.

Les abords des talwegs. Etude statistique des fonds. — Ce n'est que d'une façon purement conventionnelle que nous avons pu considérer jusqu'ici les talwegs comme linéaires. En fait, on ne peut pas séparer de l'étude du lit celle de ses abords immédiats sur lesquels le torrent divague parfois.

Aussi nous apparaît-il indispensable de compléter les notions que nous venons d'acquérir par l'étude de la largeur des fonds. Tâche délicate dès qu'on veut y apporter un peu de précision. La base des escarpements de l'auge fournirait bien un repère facile à déterminer, mais d'une part les auges glaciaires n'existent avec netteté que dans les tronçons supérieurs de nos vallées, d'autre

part la portion de pente située en dessous de cette base constitue aussi souvent déjà un élément du versant qu'un élément du fond. Nous avons donc retenu de préférence comme critère principal de la limite de ce fond la présence de dépôts torrentiels récents. Mais là encore faut-il observer que les sommets de ces dépôts reposent souvent déjà sur le versant, non sur le fond. C'est le cas presque normalement pour les sommets des cônes de déjections ou d'éboulis. Aussi avons-nous en dernière analyse retenu pour préciser le contact entre versant et fond *les extrémités latérales des cônes affluents*.

C'est de cette façon, en nous aidant chaque fois qu'il le fallait de l'observation directe du terrain, que nous avons construit la figure 19. Les talwegs y sont figurés par des lignes verticales graduées, non en distance, mais en altitude, ce qui facilite les comparaisons entre vallées voisines. Pour restituer aux secteurs d'aval leur véritable importance on a adopté pour les hauteurs une échelle croissante vers l'aval calculée en raison de la concavité moyenne des profils.

Une telle figure montre avec évidence l'éclatante supériorité de la Guisane et de la Clarée-Durance. Ces deux rivières, dès en dessous de 1800 m. d'altitude, coulent sur un fond de vallée de largeur toujours appréciable et qui atteint parfois 1 km. Le chemin qui mène du Monétier au Casset traverse une véritable plaine à plus de 1500 m. d'altitude : on songeait, en 1939, à y établir un camp d'aviation militaire. Tout au long de la Clarée, les « plans » abondent aussi. Les cônes de déjections, sans rivaliser avec ceux de la moyenne Ubaye, sont bien venus et de pente douce. Les gorges sont rares. Là où elles existent, il s'agit, nous l'avons vu, d'un creusement récent et limité. Au Pont d'Asfeld ou dans la gorge qui descend de Prelles sur l'Argentière il suffit de s'élever d'une centaine de mètres au-dessus du talweg actuel pour retrouver l'ancien fond de vallée avec tous ses caractères physiques et humains. Au Serre-Paix nous avons vu la Guisane s'enfoncer dans une gorge épigénétique; mais un parcours de quelques hectomètres à l'Est de cette minuscule butte nous fait retrouver l'ancienne vallée glaciaire, large ici de 800 m., qui s'épanouit à l'entrée du magnifique bassin de Briançon. En Vallouise, le fond de l'auge est en général masqué au-dessus de 1400 m. par des dépôts d'éboulis en pente raide. Mais en aval, le fond de la vallée s'élargit jusqu'à dépasser souvent 500 mètres.

Tout autre est l'aspect que présente le diagramme des fonds du Guil. Cette rivière n'a une vallée de largeur appréciable qu'au-dessus de 1300 m.; encore cette largeur atteint-elle bien rarement 4 ou

500 mètres. Le contraste est des plus nets entre les sites de villages situés sur la Guisane et le Guil à la même altitude. Le Monétier et

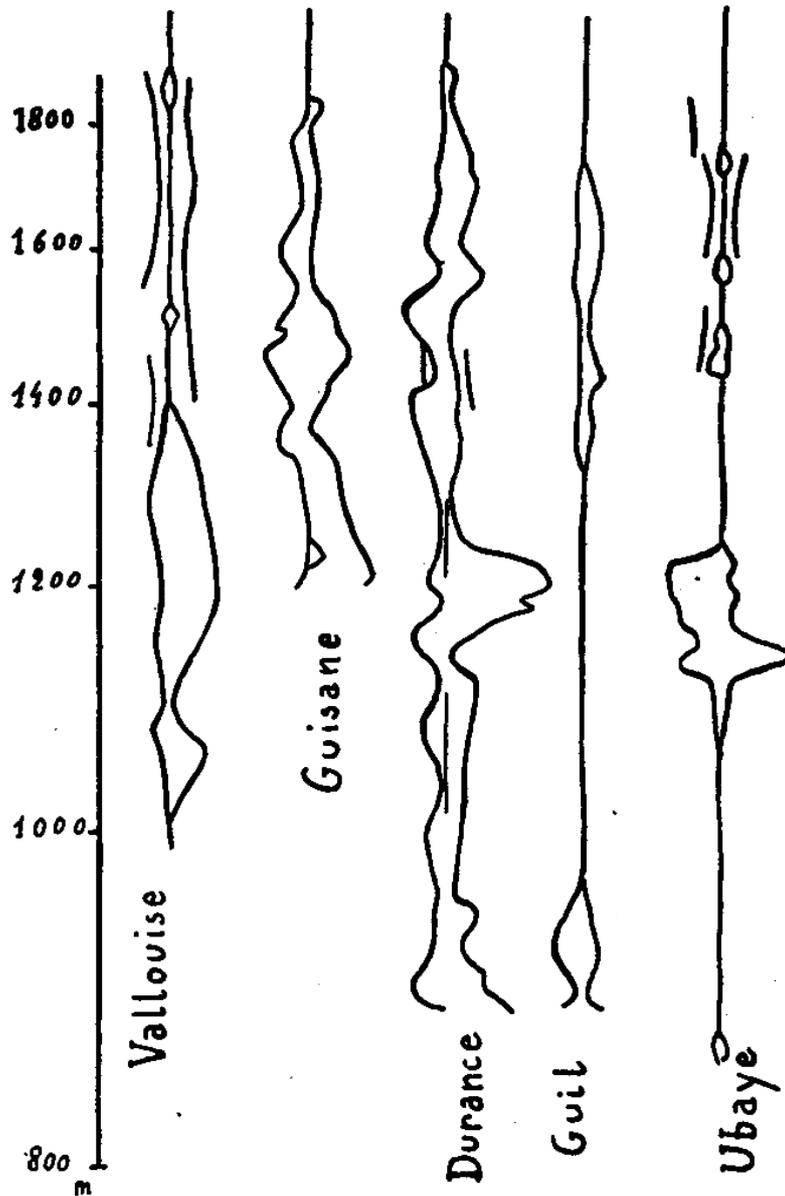


Fig. 19. — Diagramme des fonds.

Largeur du fond alluvial dans chaque vallée (rive droite à gauche de l'axe figurant le talweg et réciproquement) en fonction de l'altitude. Echelle décroissante des altitudes sur l'axe vertical tenant compte de la concavité des profils en long. *Trait fort* dans l'axe des talwegs = vallée encaissée; — de part et d'autre de celui-ci : base des escarpements d'auge.

La figure souligne, entre autres faits, l'encaissement du Guil dans ses gorges à des altitudes où Durance et Ubaye s'épanouissent dans les bassins de Briançon et de Barcelonnette : on devine les conséquences sur le peuplement d'un pareil contraste.

Aiguilles par exemple : d'un côté une vraie petite plaine et des cônes très aplatis où se dorent en juillet les « blés »¹¹ au pied des adrets; de l'autre un fond des plus exigus où les cultures ne sauraient guère trouver de place. Le Queyras peut bien être favorisé — nous le verrons plus loin — par la belle concentration hydrographique du site d'Abriès. Il peut bien bénéficier d'un modelé très large des versants contribuant à l'aération de l'ensemble : il sera toujours humainement très défavorisé en comparaison du Briançonnais *sensu stricto* par cette étonnante maigreur des fonds. Et c'est bien pis encore au-dessous de 1300 m. à des altitudes où s'épanouissent sur les autres talwegs les sites de Briançon, de Vallouise, de Barcelonnette, le Guil coule dans une gorge abrupte où la route elle-même n'a pu trouver place que récemment¹². Les petites cuvettes glaciaires, comme celle de Mongauvie tout à l'aval des gorges, sont insignifiantes. Les replats, quand il y en a, sont situés tous très au-dessus du talweg.

Quant à l'Ubaye, sa vallée offre une disposition de bassins encore différente. Toute la haute Ubaye ne présente que quelques très petits bassins alluviaux isolés les uns des autres. Mais dans le bassin de Barcelonnette, réplique altimétrique sinon structurale de celui de Briançon, la largeur des dépôts récents approche d'un kilomètre et dépasse même cette largeur dans le delta de confluence du Bachelard. Plus en aval, la vallée se resserre à nouveau et n'a plus guère comme accident latéral que le petit bassin du Lauzet.

La concentration hydrographique et les courbes hydrodynamiques. — Dans les développements qui précèdent, nous n'avons encore considéré les profils en long qu'isolément les uns des autres. Il importe maintenant de voir comment ils s'organisent dans l'espace. A cet effet, portons sur l'axe vertical d'un système de coordonnées les altitudes des confluent successifs d'un cours d'eau et sur l'axe horizontal les débits totaux issus de ces confluent. En joignant par une courbe continue les points figuratifs de chaque confluent on obtiendra une *courbe hydrodynamique approchée*. Dans la pratique, en supposant l'indice d'écoulement grossièrement constant dans le bassin, on peut remplacer sur l'axe horizontal les débits par les surfaces drainées. C'est ainsi qu'a procédé MAZLOUM dans son

¹¹ Le paysan appelle encore souvent « blé » le seigle et « froment » le blé proprement dit.

¹² 1855 — et même 1911 pour la section Maison du Roi — Guillestre selon son tracé actuel.



Pl. XI A. — La Durance entre Praelles et l'Argentière :
Rocher de Saint-Hippolyte et verrou de Queyrières.



Pl. XI B. — La Durance entre Praelles et l'Argentière :
les auges emboîtées et le replat de Villard-Meyer.

Les deux vues sont prises vers l'amont.

Clichés Péguy.



Pl. XII A. — Le site de capture de la Haute Durance.
Ancien talweg durancien par le col du Montgenèvre, au fond de
la vue, entre le Chaberton et le Janus.



Pl. XII B. — Le Riou Bourdoux (Ubaye).
Noter le replat coïncidant avec la limite supérieure de la forêt.

Clichés Péguy.

étude hydrologique de l'Afriné¹³. Nous présentons nous-même ici les courbes hydrodynamiques de la Durance, de l'Ubaye et du Guil (fig. 20).

De telles courbes présentent deux propriétés qui les recommandent à l'attention du géographe. La première est que les abscisses

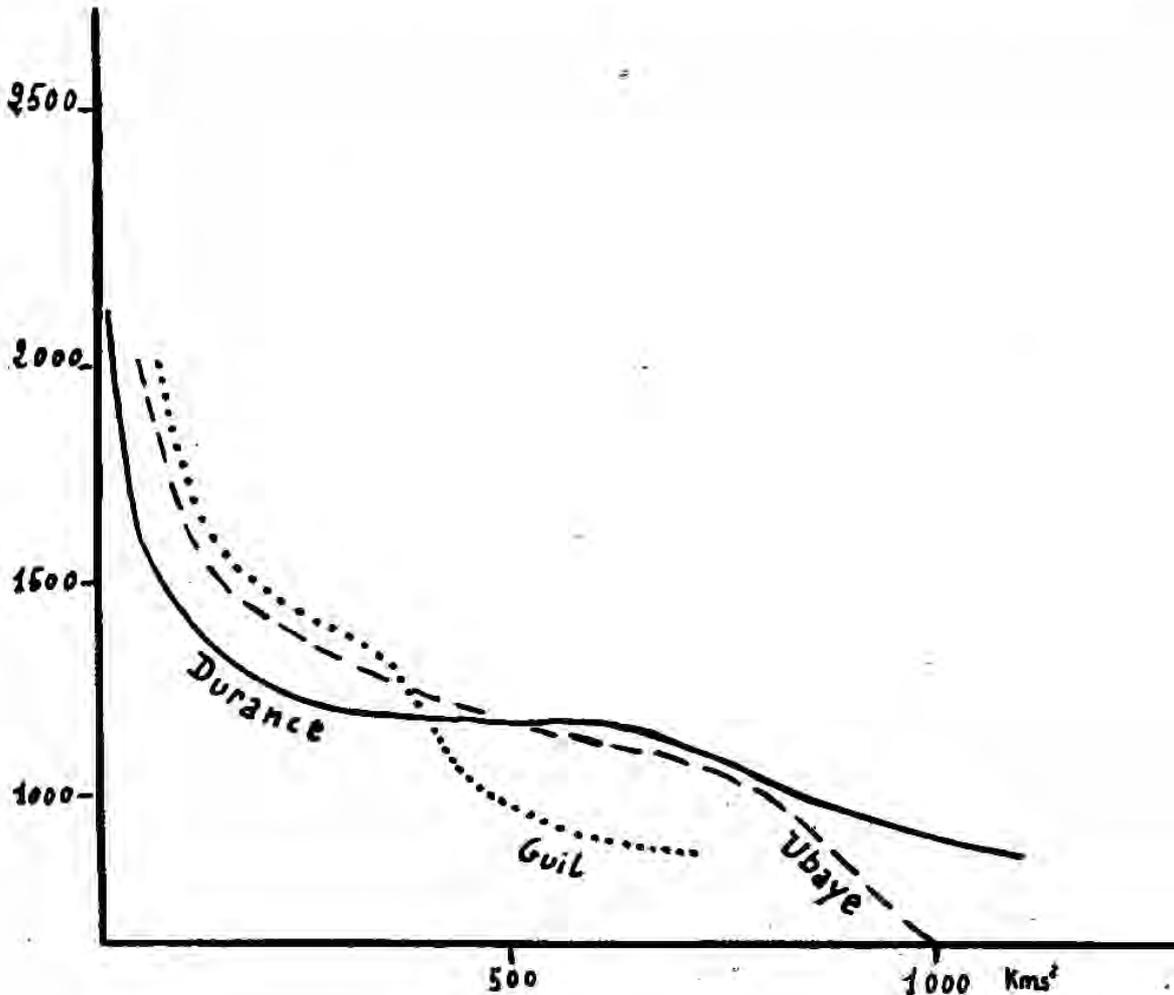


Fig. 20. — Courbes hydrodynamiques approchées.

Axe vertical : altitude des conflents. — Axe horizontal : surfaces drainées.

¹³ MAZLOUM, l'Afriné, étude hydrologique (*Revue de Géographie physique et de Géologie dynamique*, Paris 1939 — Thèse d'ingénieur-docteur). Rigoureusement parlant, cette simplification est fort arbitraire, du fait notamment que l'indice d'écoulement croît avec l'altitude. Aussi avons-nous proposé précédemment (70, p. 482), pour serrer de plus près la réalité des choses, de porter sur l'axe horizontal les volumes drainés. A l'expérience, cette complication nous a apparu inutile pour le gain réalisé. Elle ne tient pas compte du détail du relief (orientation, etc.), aussi important en hydrométéorologie que l'altitude pure.

étant considérées comme proportionnelles au débit, l'aire enveloppée par la courbe (aire hydrodynamique) sera proportionnelle à l'énergie totale libérée par le fleuve dans son écoulement. Elle intéresse à ce titre les ingénieurs-hydrauliciens qui détermineront grâce à elle la réserve d'énergie hydraulique d'un bassin. Mais ces courbes présentent un intérêt géographique beaucoup plus large du fait qu'elles schématisent l'organisation hydrographique d'une région en fonction de l'altitude et donnent une première idée de l'« aération », notion sur laquelle nous reviendrons dans la section suivante de ce chapitre. En effet, une déclivité faible de la courbe traduira une multiplicité des confluences favorable, si l'altitude ne s'y oppose pas, aux établissements humains. Le long palier de la courbe de la Durance traduit ainsi les confluences successives qui ont fait la fortune de Briançon : au Pont d'Asfeld (Briançon), à 1232 m. d'altitude, la Durance ne draine encore qu'un bassin de 222 kms². A 3 kilomètres seulement en aval et 50 mètres seulement plus bas la Durance, qui a reçu entre temps la Guisane, la Cerveyrette et le torrent des Ayes, draine maintenant quelque 580 kms², soit bien plus du double. La courbe hydrodynamique du Guil est au contraire entre 1300 et 1100 m. très déclive : pas ou peu d'affluents; ce sont là, sous un autre aspect, les rébarbatives gorges du Guil. Deux paliers s'esquissent bien sur la courbe : mais l'un, traduisant la bonne organisation hydrographique de la zone des schistes lustrés, se situe vers 1500 m., altitude déjà bien élevée pour être, humainement, la réplique du site de Briançon; l'autre, tout en aval, correspond à la confluence du Chagne, et c'est le site de Guillestre. On voit comment ces courbes hydrodynamiques, d'un tracé si facile, schématisent bien les conditions de peuplement des deux vallées. Quant à la courbe de l'Ubaye, elle présente un palier, d'ailleurs bien moins marqué que celui de la Durance, entre 1400 et 1100 m. : c'est la partie vitale de la vallée, qui s'étend de Saint-Paul à Barcelonnette. Plus en dessous une section très déclive traduit la médiocrité des confluent dans le cours inférieur.

Ces courbes nous sont apparues d'une construction et d'un commentaire faciles et il nous semble que leur emploi mériterait d'être généralisé dans le matériel géographique usuel. Il reste cependant à nous expliquer sur un point technique : le lecteur qui aura vu ailleurs des courbes hydrodynamiques (celle par exemple de l'Afriné présentée par MAZLOUM, voir ci-dessus, note 13) aura été certainement frappé par le fait que la « courbe » de MAZLOUM (nous l'appellerons courbe hydrodynamique exacte) apparaît en fait sous la forme d'une ligne brisée. La surface drainée ne s'accroît pas en effet régulièrement de l'amont vers l'aval : elle progresse par bonds à chaque confluent, bonds se traduisant sur la courbe par de petits secteurs horizontaux. C'est à dessein néanmoins que nous avons présenté des courbes continues,

extérieures aux courbes de MAZLOUM, en réunissant entre eux pour chaque confluent des points déterminés par l'altitude et par le débit total. Le confluent de la Durance et de la Guisane se traduira ainsi par un seul point d'ordonnée 1195 (alt.) et d'abscisse 225 (surface Durance) + 202 (surface Guisane) = 427. Un exemple schématique nous fera comprendre l'avantage d'une telle courbe continue : soit (fig. 21) OH l'axe des hauteurs, OS l'axe des surfaces d'une courbe hydrodynamique exacte ABCD, BC étant un palier de confluence. On conçoit que l'on puisse construire une courbe hydrodynamique de l'affluent lui-même qui se superposerait en BC à celle du cours d'eau principal. Soit A'C la courbe de cet affluent. Si l'altitude A' de la source de l'affluent est la même que l'altitude A de la source du cours d'eau prin-

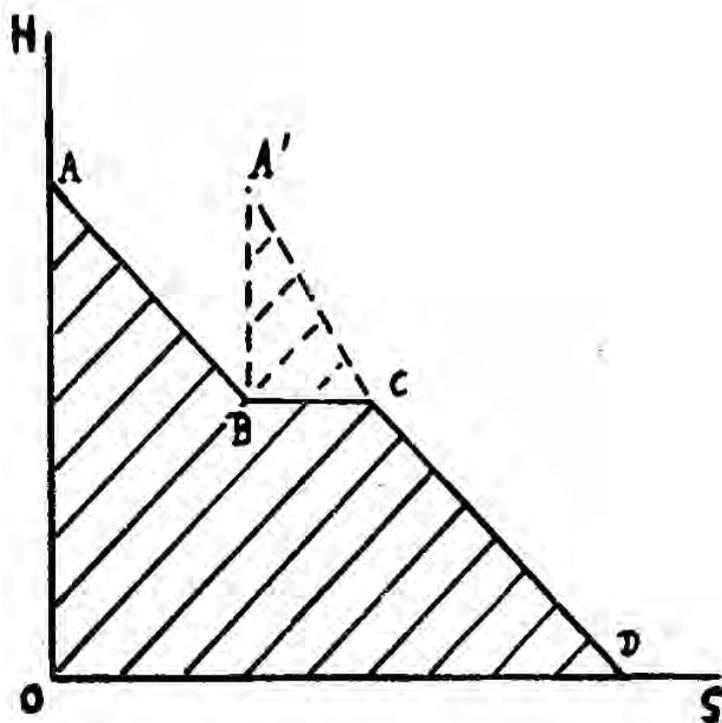


Fig. 21. — Schéma légittimant la construction proposée des courbes hydrodynamiques approchées.

cipal, les triangles ABC et A'BC se trouvent avoir la même surface. Dès lors l'aire limitée entre les axes de coordonnées et la courbe hydrodynamique approchée, telle que nous la concevons, ACD, sera égale à la somme des aires hydrodynamiques exactes du cours d'eau principal et de son affluent. On voit qu'à condition de supposer que les sources des affluents soient à la même altitude que celle du cours d'eau principal, hypothèse voisine le plus souvent de la réalité, la courbe hydrodynamique continue, construite en joignant les points externes déterminés pour chaque confluent, exprime la somme des courbes hydrodynamiques « brisées » du cours d'eau principal et des affluents.

II. — Morphométrie des versants.

Notre analyse n'a encore porté que sur les talwegs et leurs abords immédiats. C'était déjà suffisant pour noter, par exemple, l'altitude remarquablement élevée de l'Ubaye ou pour opposer la quasi-impénétrabilité du Queyras à l'aération du Briançonnais. Mais pour avoir une vue plus complète de la physionomie de chaque vallée, il convient d'y joindre maintenant l'étude des versants.

Ici encore, c'est la méthode morphométrique qui guidera notre analyse. Nous examinerons successivement la *pente moyenne* des versants et leur *altitude moyenne*.

Les pentes moyennes. — Nous avons exposé ailleurs¹⁴ le principe de l'analyse statistique de la pente d'un versant. Rappelons seulement que le quotient de la surface comprise entre deux isohypses par la demi-somme de celles-ci donne leur *écart moyen*. Le calcul de ces écarts moyens permet de construire de proche en proche des *courbes clinographiques* : il suffit de porter successivement sur l'axe horizontal d'un système de coordonnées les écarts moyens successifs des isohypses et sur l'axe vertical les altitudes correspondantes. En fait, il apparaît préférable de construire séparément les courbes clinographiques des deux versants de la vallée : leur juxtaposition constitue en effet le *profil moyen transversal* de cette vallée.

Notre figure 22 donne de tels profils pour les principales vallées de notre région¹⁵ (on notera que les figures sont censées vues de l'aval; par suite la rive droite se trouve portée sur la rive gauche de la figure et vice versa). La Guisane, vallée principale du Briançonnais, est en amont nettement dissymétrique : la rive droite, appuyée au massif cristallin du Pelvoux, est plus escarpée et remonte plus haut. En aval la vallée s'évase dans les grès tendres du Houiller, la rive droite se trouvant être maintenant la moins pentue (0,33 contre 0,70 en amont du Monétier)¹⁶. Plus en aval, la

¹⁴ PÉGUY (70), p. 463 sqq.

¹⁵ Nous n'avons pu construire de tels profils moyens pour la Vallouise : la raideur des pentes, la fréquence du figuré « rocher » sur la carte entraînant la suppression des courbes de niveau, rendaient ce travail difficile et aléatoire.

¹⁶ Dans tout ce qui suit, nous prenons comme expression de la pente la *tangente* de l'angle formé avec le sol par un plan horizontal.

Durance du Haut-Embrunais possède une vallée d'une largeur exceptionnelle, la rive droite étant en moyenne plus étendue que la gauche. Le Guil oppose nettement une haute vallée large et en

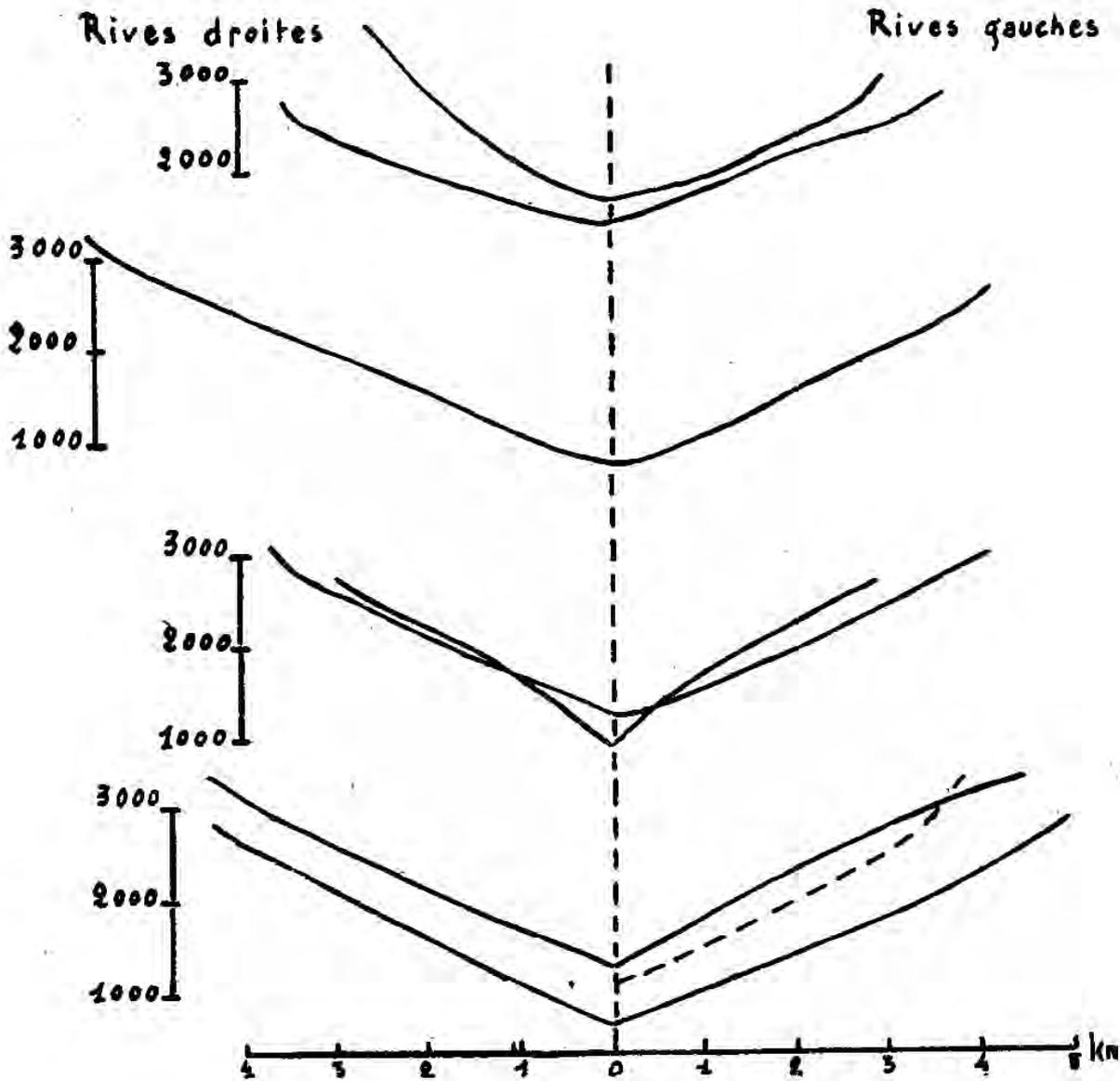


Fig. 22. — Profils transversaux moyens

(vus de l'aval : les rives droites se trouvent donc être portées sur les parties gauches de la figure et vice versa).

a, Guisane en amont du Monétier; — *b*, Guisane en aval du Monétier; — *c*, Durance entre La Roche-de-Rame et Montdauphin; — *d*, bas Guil; — *e*, haut Guil; — *f*, Ubaye en amont de Serennes; — *g*, bassin de Barcelonnette; en pointillé : courbe clinographique du Bachelard.

pente douce (0,48) à une vallée aval plus étroite et abrupte (0,66), accusant de plus une rupture de pente marquée vers 2000 m. Quant à l'Ubaye, son profil moyen transversal, en amont de Jausiers, est fort curieux : la rive gauche est plus pentue que la droite et surtout convexe, ce qui confirme les idées de DEMANGEOT relatives à la dissymétrie de cette haute vallée liée à l'émergence du socle cristallin dans le Mercantour. La rive droite elle-même est convexe dans sa partie inférieure, ce qui constitue aussi une anomalie. Peut-être cette convexité des formes inférieures témoigne-t-elle d'une capture de la haute Ubaye; les formes supérieures, concaves, auraient évolué en fonction d'un ancien drainage par le col de Vars.

Un caractère remarquable de ces courbes est leur tracé presque rectiligne, à peine concave, et d'une régularité surprenante. Seules les sections les plus voisines des crêtes échappent souvent, par un brusque ressaut, à la pente générale des versants. Mais cette réserve faite, la pente s'élève presque partout avec une régularité monotone du fond des talwegs jusqu'à quelque 300 mètres en dessous des arêtes. Le seul accident vraiment notable apparaît sur la courbe du bas Guil dont la pente est beaucoup plus déclive en dessous de 2000 m. qu'au-dessus. Les versants gauche de la basse Guisane et du Haut-Embrunais accusent également de légers replats, l'un vers 2300, l'autre vers 2000 m. C'est le cas aussi, comme nous l'avons dit, du versant droit de la haute Ubaye. Mais rien de tout cela ne s'impose réellement avec netteté à l'observation. Et en dehors de ces cas, nulle part les replats ne sont assez étendus, ni d'une altitude assez constante, pour apparaître sur un profil moyen.

En faisant abstraction de ces accidents, l'étude des profils moyens se réduit à celle de la *pente moyenne*. Nous avons montré ailleurs¹⁷ que cette pente moyenne d'un versant pouvait d'ailleurs se calculer directement sans passer par l'intermédiaire graphique du profil moyen. On démontre en effet que cette pente moyenne est égale au produit de la somme du développement des isohypses par l'équidistance de ceux-ci divisé à son tour par la surface de base. Le tableau suivant résume les résultats numériques obtenus pour nos vallées :

¹⁷ PÉGUY (70), p. 468.

TABLEAU XVI

Tangente de la pente moyenne des versants.

Haute Clarée	0,65	Aigue Agnelle	0,49
Basse Clarée-Durance	0,58	R. d'Arvieux	0,53
Haute Guisane	0,61 (a)	Bas Guil	0,65
Basse Guisane	0,37 (b)	Cristillan	0,49
Cerveyrette	0,45	Rif Bel	0,56
Vallon des Ayes	0,49	Chagne	0,34
Durance (versant S.E. Condamine)	0,58	Ubaye :	
Haute Vallouise	0,66	— amont La Barge	0,49 (c)
Basse Vallouise	0,61	— La Barge à Serenne	0,55 (d)
Fournel	0,57	— bassin St-Paul	0,48
Biaissey	0,46	Ubayette	0,47 (e)
Durance (versant O. Pierre-Eyraute)	0,49	Parpaillon	0,46
Durance (sous Vautisse)	0,38	Ubaye (Barcelonnette)	0,40
Haut Guil	0,48	Bachelard	0,51
		Basse Ubaye	0,55

Les renvois concernent les vallées dissymétriques : (a) rive droite = 0,72 ; rive gauche = 0,49. — (b) rive droite = 0,33 ; rive gauche = 0,41. — (c) rive droite = 0,45 ; rive gauche = 0,52. — (d) rive droite = 0,61 ; rive gauche = 0,51. — (e) rive droite = 0,46 ; rive gauche = 0,48.

Il apparaît tout de suite que la pente moyenne est en rapports étroits avec la constitution géologique du sol. Dans les roches les plus dures, les pentes se redressent, comme si l'équilibre était automatiquement maintenu entre la pente qui accroît la puissance de l'érosion et la résistance qu'opposent à celle-ci les roches. Les pentes moyennes extrêmes sont de 0,35 pour le Houiller, de 0,70 environ pour le granite. Cette notion d'un rapport entre la pente moyenne d'une surface et la dureté de la roche qui la constitue est à vrai dire banale, mais nous ne croyons pas qu'elle ait fait auparavant l'objet de recherches numériques. Ici, cette adaptation presque parfaite de la pente des versants à la dureté des roches évoque, croyons-nous, la primauté du facteur structural dans le relief et la jeunesse d'ensemble de celui-ci.

Le tableau suivant donne la pente moyenne des versants pour les principaux affleurements : nous avons distingué les mêmes six groupes de roches que précédemment au cours de l'étude des profils en long. On conçoit l'intérêt qui s'attache à la comparaison des résultats obtenus dans ces deux ordres de recherches.

TABLEAU XVII

	Pente moyenne des versants	Indice relatif	Indice de pente des talwegs	Moyenne ¹⁸
Houiller	0,35	0,71	0,40	0,55
Mésozoïque autochtone	0,40	0,81	0,87	0,84
Flysch	0,45	0,91	0,72	0,81
Schistes lustrés	0,48	0,97	0,68	0,84
Mésozoïque briançonnais	0,58	1,18	1,20	1,19
Granite	0,70	1,42	1,30	1,36

L'*indice relatif* qui figure à la colonne 2 est un indice proportionnel à la pente moyenne, la moyenne générale de la pente ($\text{tg } \alpha_m = 0,495$) étant prise pour unité. C'est en somme un *indice des pentes* des versants immédiatement comparable aux indices de pente des talwegs précédemment déduits de l'analyse des profils en long.

La comparaison de ces deux indices de pente fondés l'un sur celle des profils en long, l'autre sur celle des versants, est des plus instructives. Nous nous attendions, en entreprenant ces recherches, à ce que ces deux séries d'indices soient grossièrement identiques; ce qui aurait signifié que les roches se seraient comportées de la même façon devant l'érosion verticale qui scie les talwegs et devant le ruissellement qui modèle les versants. Entre les deux phénomènes, la différence de pente n'aurait été qu'une différence d'échelle. A l'observation, les faits se sont certes révélés plus complexes, mais il ne semble pas téméraire pourtant d'expliquer certaines des anomalies constatées.

Pour trois des six groupes de roches distingués — Mésozoïque autochtone, Mésozoïque briançonnais et Granite — les indices des pentes longitudinales et transversales coïncident aussi bien qu'on pouvait raisonnablement l'espérer. Le granite, en particulier, s'affirme bien dans l'une ou l'autre des échelles comme la plus résistante à l'érosion des roches considérées, suivi de près par le Mésozoïque briançonnais aux rudes escarpements de quartzites ou simplement de calcaires du Trias. Pour le Houiller, un désaccord quantitatif apparaît, cette roche se révélant encore plus molle à

¹⁸ C'est la moyenne arithmétique de ces deux indices de pente qui nous a servi au chapitre I^{er} (fig. 7) à caractériser la résistance moyenne à l'érosion des roches considérées.

l'analyse des profils en long qu'à celle des profils transversaux; mais ce désaccord ne change rien au fait que ce terrain se signale, d'après l'un ou l'autre de nos modes d'investigation, comme le plus tendre. On constate seulement que la pente des sections houillères des talwegs est bien plus faible encore que ne le laisserait supposer la mollesse des versants. C'est avec le Flysch et les schistes lustrés que se posent les problèmes d'interprétation les plus délicats. Ces deux terrains présentent en effet des versants dont les pentes ne sont guère inférieures à la moyenne générale (indices relatifs : 0,91 et 0,97), tandis que les sections de talwegs qui les traversent présentent des adoucissements beaucoup plus marqués (indices relatifs : 0,72 et 0,68). On pourrait invoquer comme source d'erreurs possible le manque d'homogénéité des terrains que nous avons réunis sous une même rubrique. Le Flysch noir, dont le faciès se rapproche des « terres noires » autochtones, est certainement beaucoup plus tendre par exemple que le Flysch calcaire ou que le Flysch gréseux aux escarpements ruiniformes. Dans les schistes lustrés, la présence de « roches vertes » renforce la pente moyenne des versants en restant sans effet sur celle des talwegs puisque ceux-ci ne traversent jamais en cluse celles-là. Mais nous croyons que l'anomalie mise en relief par nos calculs mérite une explication plus générale. Flysch et schistes lustrés sont en effet des roches essentiellement hétérogènes, constituées par des empilements de plaquettes d'inégale résistance. Dès lors, les minces assises dures ainsi constituées suffisent à soutenir des escarpements assez raides¹⁹ sur les versants, mais ne résistent pas par contre à l'érosion continue du lit. Tout se passe en somme comme si les roches feuilletées en question se comportaient comme des roches mi-dures en ce qui concerne le modelé des versants, et comme des roches nettement tendres au contraire en ce qui concerne l'évolution des profils longitudinaux. Et la structure quelquefois schisteuse des grès houillers permet sans doute d'étendre cette explication à l'anomalie identique que nous avons constatée pour ce terrain.

Les altitudes moyennes. — La notion d'altitude moyenne est devenue d'usage courant chez les géographes, plus encore sans doute que celle de pente moyenne. Cela tient sans doute à la facilité relative du calcul de cette valeur numérique et surtout au fait que le Service des Grandes Forces Hydrauliques a publié des résultats

¹⁹ Le fait est particulièrement accentué quand les couches plongent en sens inverse de la pente du terrain (cuestas du Queyras).

de planimétrages par zones d'altitude pour plusieurs régions françaises, dont les Alpes. BLANCHARD, ONDE, DE MARTONNE et en dernier lieu DEMANGEOT²⁰ ont montré concrètement la portée géographique de cette notion.

On sait que le fondement du calcul de l'altitude moyenne est la construction, puis le planimétrage, d'une *courbe hypsométrique* dans laquelle sont portées en abscisses les surfaces enveloppées par les isohypses, en ordonnées les altitudes. Une telle courbe est en elle-même d'un intérêt déjà considérable, surtout si l'on prend soin, pour faciliter la comparaison entre plusieurs régions naturelles, d'exprimer sur l'axe horizontal les surfaces non en valeurs absolues, mais en valeurs relatives (pourcentage de la surface totale). On notera encore que deux courbes hypsométriques ne sont parfaitement comparables entre elles qu'à condition d'avoir un point inférieur commun, ce qui suppose que l'on se borne à comparer des zones ayant la même altitude minima (ce qui se trouve automatiquement le cas dans le cas particulier où l'on compare deux bassins confluents). La figure 23 représente les courbes hypsométriques des bassins de la Durance et du Guil en amont de leur confluent. On y a joint celle de l'Ubaye en la limitant, pour respecter la condition que nous venons d'énoncer, à la portion de cette vallée située en amont de la cote 900 du talweg. Cette figure montre que l'Ubaye est dans l'ensemble la plus basse des trois vallées, le Queyras la plus haute par suite du retard apporté au travail de l'érosion par le sciage de l'anticlinal de nappes des gorges du Guil. Entre ces deux courbes, celle de la Durance en Embrunais-Briançonnais occupe une position moyenne. Tel est du moins l'aspect général des parties de courbes situées en dessous de l'ordonnée $y = 2500$ m., parties les plus intéressantes en ce qui concerne notamment les conditions du peuplement. L'écart des courbes est maximum pour l'ordonnée $y = 1800$ m. : c'est ainsi que 18 % seulement du sol du Queyras se trouve situé en dessous de cette altitude contre 26 % pour le Haut-Embrunais - Briançonnais et 35 % pour l'Ubaye. Dans les hautes altitudes, les courbes se rapprochent et le Briançonnais, grâce au massif du Pelvoux, l'emporte finalement pour l'étendue relative des surfaces situées au-dessus de 2900 mètres.

Le planimétrage de l'aire enveloppée par les courbes hypsométriques permet de construire des rectangles ayant même base et

²⁰ BLANCHARD (57) ; ONDE (9), p. 77 sqq. et (68) ; DE MARTONNE (65) ; DEMANGEOT (49).

mêmes surfaces qu'elles, rectangles dont la hauteur ne sera autre que l'altitude moyenne. Les chiffres obtenus sont de 2035 m. pour le bassin de l'Ubaye; 2130 m. pour celui de la Durance en amont de Montdauphin; 2190 m. pour le bassin du Guil (2220 m. même en déduisant le sous-bassin du Chagne - Rif Bel).

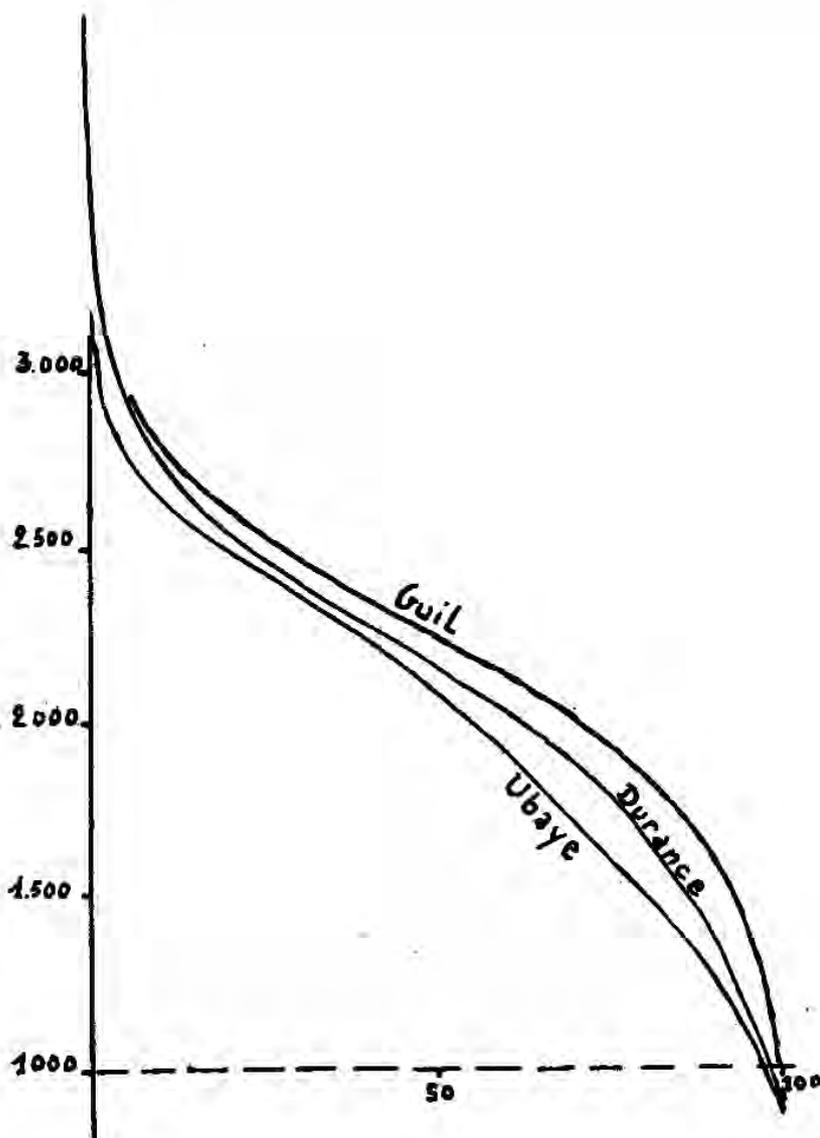
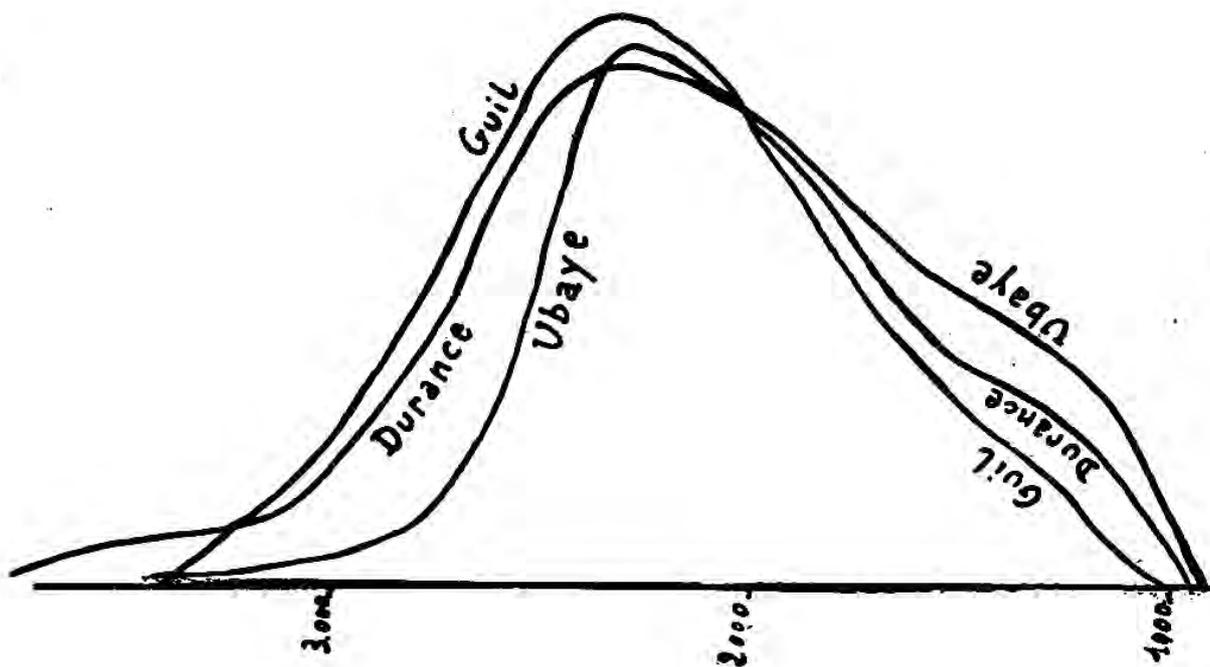
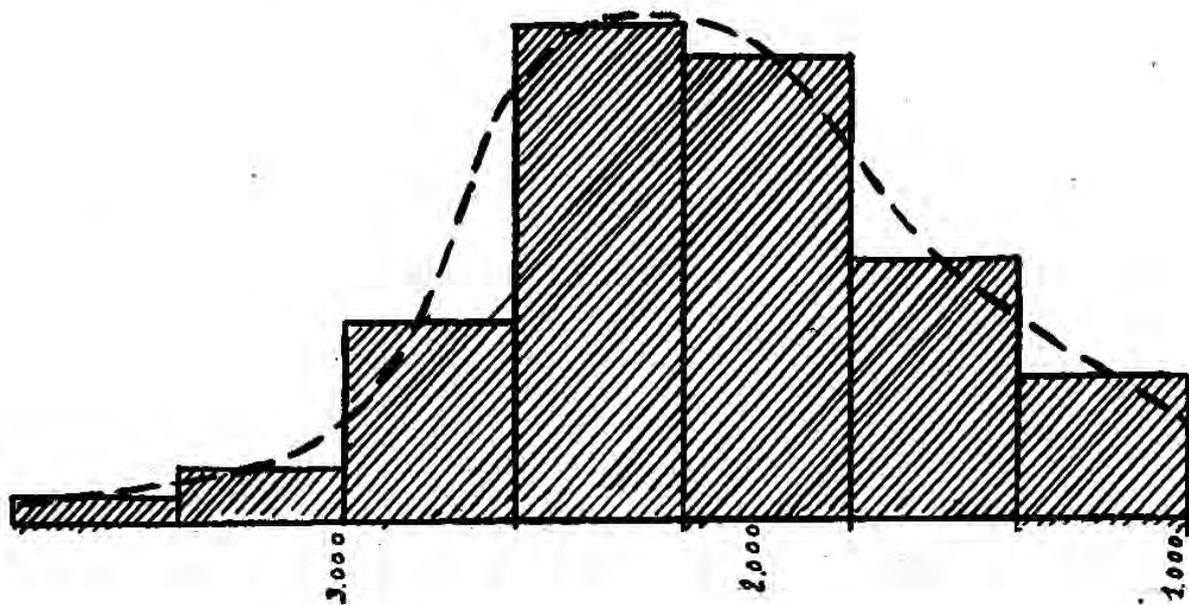


Fig. 23. — Courbes hypsométriques des bassins de la Durance, du Guil (au-dessus de leur confluent) et de l'Ubaye (au-dessus de 900 m.)

Ordonnées : altitudes.

Abscisses : pourcentage de la surface de chaque bassin versant.



B

Fig. 24. — Courbes de répartition des altitudes.

A

A, principe de la construction.

B, bassins de la Durance, du Guil et de l'Ubaye (limités comme fig. 27).

Un autre procédé permettant d'exprimer graphiquement la répartition des zones d'altitude consisterait à porter sur la droite d'un axe vertical gradué en altitude des rectangles dont les petits côtés seraient limités par les altitudes limites des zones considérées et les surfaces proportionnelles aux surfaces de ces zones (fig. 24 A). Il est clair que si l'on considère des zones d'altitude d'amplitude de plus en plus faible, le graphique obtenu tend vers une courbe qui sera la *courbe de répartition des altitudes*. On voit nettement (fig. 24 B) que le Guil, la Durance et l'Ubaye se classent dans cet ordre par rang d'altitude décroissante des bassins. Mais ces courbes de répartition des altitudes, par les possibilités qu'elles offrent à l'expression graphique des phénomènes d'occupation du sol, intéressent moins en fait la morphologie que la biogéographie ou la géographie humaine.

Tout différents apparaîtront les résultats si nous refaisons maintenant nos calculs en nous limitant aux portions de bassins situées en amont des cotes 1200 de chaque talweg. C'est la Vallouise qui vient derechef en tête avec un volume montagneux considérable, quoique les surfaces situées entre 1200 et 1800 m. s'y montrent relativement plus développées qu'en haute Ubaye par l'effet du surcreusement glaciaire. En dessous se classent par ordre d'altitude moyenne décroissante la haute Ubaye, le Queyras, le Briançonnais. Le pourcentage de la surface du sol situé au-dessus de 2500 m. est en effet maintenant de 54 % pour la Vallouise, 38 % pour la haute Ubaye, 33 % pour le Queyras, 22 % pour le Briançonnais²¹. Quant aux altitudes moyennes, elles sont de 2540 m. pour la Vallouise, 2335 m. pour la haute Ubaye, 2200 pour le Guil²², 2130 m. pour la Durance (fig. 25).

Ces nouveaux chiffres sont certes plus instructifs que les premiers. Ils soulignent avec netteté l'énorme prééminence de la Vallouise. C'est évidemment la structure qui en est cause, avec l'apparition du tréfonds cristallin dans le Pelvoux. Quant aux trois vallées proprement intra-alpines, c'est l'Ubaye qui vient nettement en tête pour l'altitude moyenne de sa section supérieure : BLANCHARD y reconnaissait dès 1919 « la région la plus élevée des Alpes françaises du Sud »²³. Cette altitude moyenne remarquablement élevée

²¹ Nous employons pour la commodité les expressions Briançonnais, Queyras, Vallouise, etc. Rappelons qu'il s'agit, dans cet alinéa, des portions de bassins versants de la Durance, du Guil, de la Gyronde, situées en amont de la cote 1200 m. des talwegs.

²² DEMANGEOT (49, p. 557) oppose les chiffres de 2234 m. pour la haute Ubaye et de 2251 m. pour le Haut-Queyras. Ce dernier chiffre est trop fort parce qu'il correspond à une limite aval trop élevée (confluent Guil-Aigue Blanche : 1380 m.). Nous ramenons l'altitude moyenne du Queyras à 2200 m. en descendant cette limite aval à 1200 m. Notre procédé de calcul, plus rationnel, accuse encore mieux la différence d'altitude moyenne entre l'Ubaye et le Queyras, différence déjà longuement commentée par DEMANGEOT.

²³ BLANCHARD (57). Il est à vrai dire délicat de comparer morphométriquement haute Ubaye et Vallouise qui n'ont point des étendues du même ordre de grandeur,

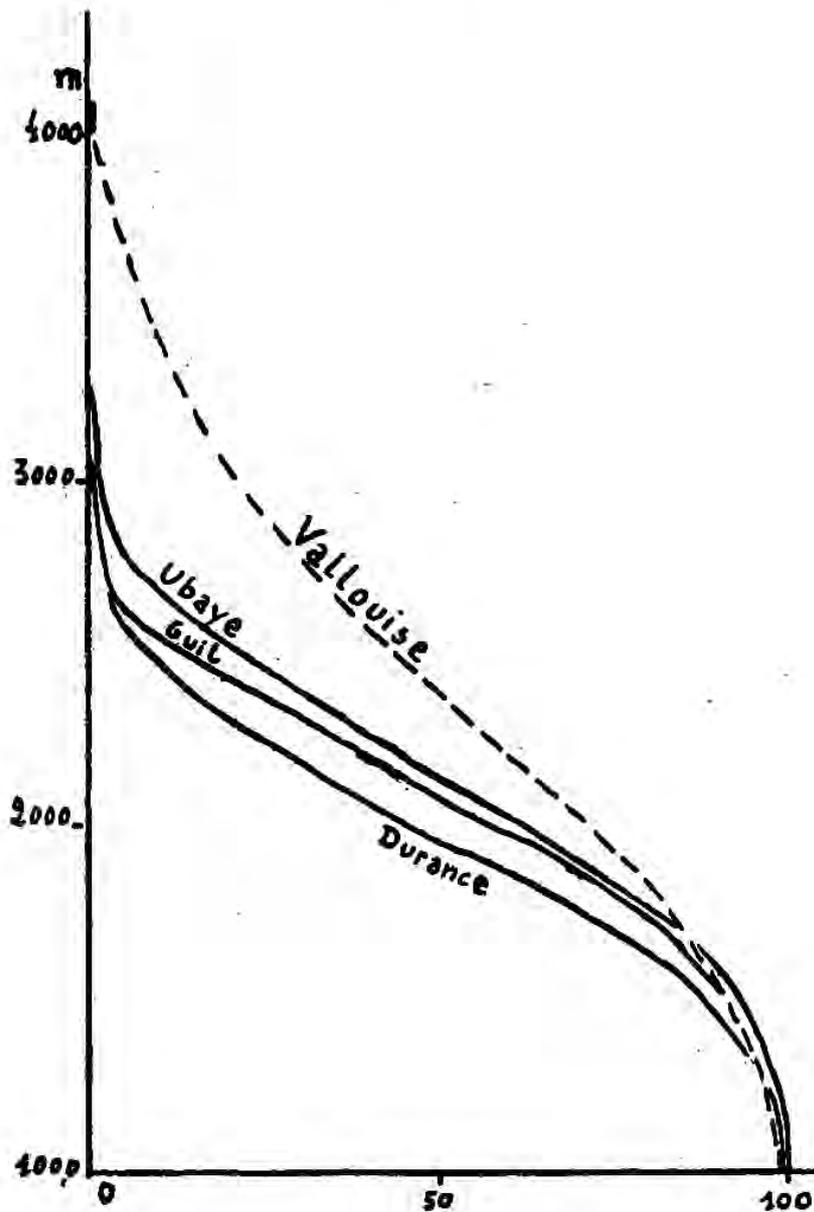


Fig. 25. — Courbes hypsométriques
des bassins de la Durance, du Guil et de l'Ubaye.
Courbes limitées aux portions de bassins situées au-dessus de 1200 m.

question de méthode posée déjà par DEMANGELOT (49, note 60, p. 558). Si l'on cherche à comparer des bassins de *superficies égales* le bassin total de la Gyrone (241 kms²) se trouve comparable à celui de l'Ubaye en amont de l'Ubayette (196 kms²). Les altitudes moyennes correspondantes sont respectivement de 2310 et 2350 m. *L'avantage reste donc encore à la haute Ubaye.* Il faudrait ne comparer que les tronçons tout à fait supérieurs des vallées pour voir la Vallouise l'emporter.

de la haute Ubaye s'explique à la fois par le long tracé de ce cours d'eau qui élève considérablement les niveaux de base locaux en amont et par le relèvement du tréfonds cristallin aux approches du Mercantour. Le Queyras se classe maintenant au troisième rang; le Briançonnais (*sensu stricto*) au dernier, constituant le groupe de vallées le plus bas et le mieux aéré de toutes les hautes Alpes du Sud : une fois de plus nous entrevoyons là les conditions exceptionnellement favorables du site humain de Briançon.

Il serait intéressant de calculer l'altitude moyenne pour des unités géographiques encore plus petites que chacune de nos grandes vallées. De tels calculs permettraient de rechercher en particulier s'il existe une relation entre l'altitude moyenne et la structure, comme nous en avons découvert une entre la structure et la pente moyenne. Nous avons publié nous-même²⁴ les résultats d'une analyse altimétrique du bassin de la Durance en amont de Saint-Clément et de l'Ubaye en amont de Jausiers : nous en résumons ci-dessous les résultats dans le tableau XVIII. J. DEMANGEOT a apporté depuis sur la haute Ubaye des résultats beaucoup plus détaillés²⁵. Malheureusement, de tels calculs sont partiellement viciés par deux faits contre lesquels il convient de bien mettre en garde le lecteur : le premier est que, dans toute étude statistique, la signification des moyennes perd de sa valeur au fur et à mesure que s'amenuise l'étendue du champ d'observation; le second est que l'on ne peut pas, nous l'avons vu, comparer raisonnablement l'altitude moyenne de deux régions n'ayant pas la même limite inférieure. On remédie en partie à ce dernier vice de calcul en introduisant les notions d'altitude moyenne *relative* ou mieux encore, comme le propose DEMANGEOT, d'*encaissement moyen*²⁶.

²⁴ PÉGUY (69) et (70).

²⁵ DEMANGEOT (49), p. 556.

²⁶ L'*altitude moyenne relative* est la différence entre l'altitude moyenne d'un tronçon de vallée et le point le plus bas de ce tronçon. L'*encaissement moyen* est, pour ce même tronçon, la différence entre l'altitude moyenne et un niveau de base moyen obtenu graphiquement à partir du profil en long du talweg principal.

TABLEAU XVIII

Altitudes moyennes.

Zones structurales	Vallées	Altitudes moyennes (mèt.)	Niveau de base moyen (mèt.)	Encaissement moyen (mèt.)
schistes lustrés et « zone intermédiaire »	Cerveyrette	2290	1830	460
	Guil en amont de Château-Queyras	2265	1800	465
	Ubaye en amont de La Barge	2625	2190	435
zone briannonnaise : A. Trias	Clarée en aval de Névache	2020	1380	640
	Durance, R.D., Briançon à La Bessée ..	2025	1140	885
	Guil en aval de Château-Queyras	1910	1160	750
	Ubaye entre La Barge et Serennes	2480	1680	800
	B. Houiller	Clarée en amont de Névache	2335	1890
	Guisane en aval du Monétier	1895	1335	560
Massif du Pelvoux	Guisane, R.D., en amont du Monétier	2390	1630	760
	Gyronde en amont des Claux	2700	1610	1090
Nummulitique autochtone	Fournel	2020	1710	310
	Biaysse	2170	1570	600
Flysch de l'Embrunais-Ubaye	Durance entre La Roche et Montdauphin.	1760	905	855
	Ubaye entre Serennes et Jausiers	2140	1335	805
	Ubayette	2240	1840	400
autochtone et Flysch	Ubaye entre Jausiers et Ubaye	1860	1010	850
	Bachelard	2110	1620	490

Ce tableau appelle quelques commentaires. On constate d'abord qu'il n'y a aucun rapport immédiat entre la structure et l'altitude moyenne. Le Houiller possède ainsi des altitudes moyennes de 1895 m. dans la basse Guisane et de 2335 m. dans la haute Clarée; les schistes lustrés de 2265 m. dans le Queyras et de 2625 m. en haute Ubaye. Ces exemples montrent que l'influence de la structure sur l'altitude moyenne est fréquemment masquée par celle, dominante, de la position de la région considérée par rapport au système

de drainage hydrographique. Cela est si vrai qu'en exceptant le seul massif cristallin du Pelvoux, l'altitude moyenne des vallées augmente partout régulièrement au fur et à mesure que l'on se rapproche de la ligne de partage des eaux et sans tenir grand compte, semble-t-il, de la structure. C'est ainsi que les altitudes moyennes des vallées des affluents de gauche du Guil augmentent régulièrement de l'Ouest vers l'Est : Chagne : 1910 m.; — Rif-Bel : 2160 m. — Cristillan : 2290 m. — Aigue Agnelle : 2330 m. Tout au long de l'Ubaye, l'altitude augmente également d'une zone tectonique à l'autre : Flysch : 2140 m. — zone axiale : 2480 m. — zone intermédiaire et schistes lustrés : 2625 m.²⁷.

Cette conclusion, à laquelle nous étions déjà parvenu dans un travail précédent, n'a point été admise par DEMANGEOT. Ce dernier, considérant comme deux zones distinctes la zone du col du Tronchet (= « zone intermédiaire » de BLANCHET) et celle des schistes lustrés, leur attribue les altitudes moyennes respectives de 2475 et 2678 m. Comme DEMANGEOT donne par ailleurs 2500 m. d'altitude moyenne à la zone briançonnaise, il en déduit que celle-ci domine de 25 mètres à l'Est la zone du col du Tronchet et qu'« elle mérite vraiment d'être appelée zone axiale par le géographe ». En fait, nous croyons que c'est pousser l'analyse trop loin que d'individualiser morphométriquement la zone du col du Tronchet en Ubaye : nous savons déjà qu'une moyenne perd forcément de sa signification quand se restreint par trop la base sur laquelle on la calcule. Jointe à la zone des schistes lustrés, celle du col du Tronchet forme un bloc qui l'emporte nettement en altitude moyenne sur la zone axiale. Même si l'on acceptait d'ailleurs les chiffres de DEMANGEOT, la différence de 25 mètres invoquée nous paraîtrait trop minime pour avoir une grande portée. Partout ailleurs le calcul a jusqu'ici montré que l'altitude moyenne des zones tectoniques s'élevait d'une manière continue vers l'arête frontière, évoquant pour H. ONDE « l'image d'un escalier cyclopéen dont les marches irrégulières s'empileraient de la Combe de Savoie à la frontière italienne », le synclinal autochtone, en Maurienne - Tarentaise, avec ses 1581 m. dépassant même en effet, malgré ses terrains tendres mais grâce à une position plus interne, les massifs centraux (1572 m.)²⁸.

²⁷ Nos chiffres diffèrent légèrement — une vingtaine de mètres au plus — de ceux de DEMANGEOT (49, p. 559). Cela peut provenir d'erreurs inévitables dans ces sortes de mesures, et aussi, croyons-nous, de divergences de détail dans les délimitations de nos zones : nous nous sommes moins attaché à suivre avec rigueur les affleurements géologiques qu'à laisser en entier dans l'une ou l'autre des zones les petits bassins versants élémentaires.

²⁸ ONDE (9), p. 78.

C'est pour éliminer en partie cette influence de la position de la zone étudiée et du niveau de base local qu'il est préférable de faire appel à la notion d'*altitude moyenne relative* ou à celle d'*encaissement moyen* qui figure à la colonne 5 du tableau précédent. Cet encaissement moyen dépend de quatre facteurs.

a) L'encaissement moyen est d'autant plus grand que la roche dans laquelle est creusée la vallée est plus dure. Dans les roches dures en effet, le talweg s'enfonce en trait de scie tandis qu'en terrains tendres, une grande partie de l'énergie érosive est employée très tôt à l'adoucissement des versants. Les valeurs moyennes de l'encaissement, calculées pour chaque grand type de terrain, sont les suivantes : granite : 925 m. - Mésozoïque briançonnais : 770 m. - Mésozoïque autochtone : 750 m. - Flysch : 590 m. - Houiller : 550 m. - schistes lustrés : 450 m. On voit tout de suite que ce classement, tout en laissant en tête le granite et le Mésozoïque briançonnais où dominent calcaires et quartzites et qui sont incontestablement les terrains les plus durs de notre domaine, diffère considérablement dans le détail de celui auquel nous avait mené l'analyse des pentes. C'est précisément que le facteur structural se combine ici avec des facteurs étrangers.

b) Dans un même terrain, l'encaissement s'accroît vers l'aval²⁹. La Clarée traverse par exemple le Trias briançonnais entre Névache et La Vachette avec un encaissement moyen de 640 m. Quand la Durance reperce à nouveau les mêmes roches en aval du bassin de Briançon, l'encaissement moyen s'élève à 885 m. Dans le Houiller, l'encaissement moyen de la haute Clarée est de 445 m.; celui de la basse Guisane s'élève dans les mêmes terrains à 560 m. Dans le Flysch, l'encaissement de l'Ubayette n'est que de 400 m.; celui de l'Ubaye, entre Serennes et Jausiers, s'élève à 800 m. Nous comprenons dès lors les principales anomalies du classement des encaissements moyens effectué à l'alinéa précédent en fonction de la seule structure : les schistes lustrés, qui ne se rencontrent que dans les sections amont des vallées, ont un encaissement moyen (450 m.) rendu très faible par cette position même, qui ajoute ses effets à ceux de la nature du sol pour engendrer la mollesse bien connue du paysage. Par contre, le Mésozoïque autochtone limité aux sections d'aval (Bas-Embrunais, bassin de Barcelonnette) possède un

²⁹ Dans les limites de notre étude. Si nous poussions nos investigations plus à l'aval vers la moyenne, puis la basse Durance, il est clair que nous verrions l'encaissement moyen de la vallée passer par un maximum pour décroître ensuite.

encaissement moyen (750 m.) beaucoup plus fort que ne le voudrait la faible dureté des « terres noires ».

c) L'encaissement moyen se trouve considérablement augmenté dans les vallées qui ont été le siège d'une érosion glaciaire intense. Dans des conditions par ailleurs identiques, la Biaysse possède un encaissement presque double de celui du Fournel, autrefois moins englacé. C'est à l'intensité de l'érosion glaciaire que la Vallouise doit, seule de toutes nos vallées, d'avoir un encaissement moyen supérieur à 1000 mètres.

d) Enfin les mouvements récents du sol ne sont évidemment pas sans influence sur l'encaissement : celui-ci se trouve accru par un soulèvement, diminué au contraire par un affaissement. On pourrait invoquer partiellement cette raison pour expliquer que l'Ubaye, dans la traversée de la zone briançonnaise, ait un encaissement supérieur à celui de la zone homologue du Queyras ³⁰.

Quelques points de méthode se dégagent de ce commentaire des altitudes moyennes. C'est d'abord que cette notion n'a de signification rigoureuse que si on prend soin de la calculer pour des zones de même ordre d'étendue et ayant le même niveau de base relatif (cette dernière condition se trouvant automatiquement réalisée quand on calcule les altitudes moyennes de deux bassins confluent). A défaut de niveaux de base identiques on doit comparer entre eux les seuls *encaissements moyens*³¹. Cet encaissement moyen est fonction de la structure, mais aussi de la position de la région étudiée relativement au réseau hydrographique, de l'intensité plus ou moins grande de l'érosion glaciaire, des mouvements récents enfin. C'est dire que le commentaire morphologique des altitudes moyennes est chose beaucoup plus délicate qu'on était tenté de le croire à première vue. Quand il s'agira de mettre en lumière les effets de la structure, ce sera donc de préférence à l'étude de la pente moyenne que le géographe devra s'attacher ³². Les deux notions se combinent d'ailleurs dans les expressions synthétiques de l'« aération » dont nous allons maintenant aborder l'étude.

³⁰ DEMANGEOT exagère cet effet quand il attribue des encaissements moyens de 471 m. au Haut-Queyras et de 594 m. à la haute Ubaye. En limitant comme il le fait ces zones respectivement à Ville-Vieille et Jausiers, on se trouve en face d'un Haut-Queyras purement schisteux tandis que l'on englobe dans la haute Ubaye toute la zone triasique briançonnaise, ce qui accroît forcément l'encaissement moyen de l'ensemble. En comparant les deux vallées par unités géologiques on trouve que dans les schistes lustrés le Queyras l'emporte pour l'encaissement moyen sur l'Ubaye, tandis que c'est l'inverse pour la zone briançonnaise. Tout se passe comme si le Viso d'une part, le Mercantour de l'autre, continuant leurs mouvements de surrection, accroissaient l'encaissement des régions avoisinantes.

³¹ Si au lieu de comparer l'altitude moyenne au niveau de base local, on la comparait à l'altitude des sommets on obtiendrait une nouvelle notion : l'*indice d'articulation* de DE MARTONNE (DE MARTONNE, 65). A l'expérience cette notion, judicieuse pour caractériser de vastes unités (Massif Central, Pyrénées, etc.), ne nous a pas paru applicable à des domaines de calcul peu étendus comme le sont les nôtres.

³² Il va sans dire que si l'altitude moyenne n'est pas en relation directe avec la structure, elle retrouve à d'autres points de vue toute sa signification : c'est elle qui conditionne en premier lieu la glaciation des massifs, c'est elle surtout qui détermine les possibilités de l'occupation humaine.

Conclusions de l'analyse morphométrique. Les diagrammes clinographiques. La notion d'« aération ». — Au lecteur qui aura eu la patience de suivre jusqu'ici nos calculs, l'analyse morphométrique aura justifié d'un double intérêt. D'une part, par différentes méthodes aboutissant à des résultats dans l'ensemble concordants, nous avons été amené à chiffrer la résistance à l'érosion des différentes roches du sol. C'est ce que l'on pourrait appeler la *morphométrie génétique*. D'autre part, nous sommes parvenu à concrétiser par des expressions graphiques ou numériques les traits dominants du relief de chaque vallée : c'est là la *morphométrie descriptive* dont H. ONDE avait tiré avant nous le grand parti que l'on sait et qui constitue aujourd'hui la préface obligée de toute étude climatique, hydrologique, biogéographique, humaine.

Le lecteur qui sera resté étranger à la technique même de ces laborieuses analyses pour n'en retenir que les enseignements descriptifs nous saura gré d'en regrouper ici l'essentiel : les *profils réduits* nous ont montré que l'Ubaye coulait au-dessus du Guil, le Guil lui-même au-dessus de la Durance, ce qui vaut déjà à cette dernière vallée d'être humainement favorisée. Les *courbes hydrodynamiques* nous ont montré les riches confluences de la Durance vers 1200 m., altitude à laquelle le Guil au contraire doit traverser une gorge aussi peu « aérée » que possible. Les *diagrammes des fonds* opposent encore mieux la pauvreté de la vallée du Guil, surtout aux altitudes de l'habitat permanent, à l'épanouissement de celles de la Durance et de la Guisane dans le bassin de Briançon. Ils nous montrent que l'Ubaye possède dans le bassin de Barcelonnette une réplique altimétrique, sinon structurale, du bassin de Briançon, mais se trouve handicapée à son tour par des gorges situées plus en aval. Les *courbes clinographiques* et le calcul de la *pente moyenne*, intéressants surtout du point de vue de la morphométrie génétique, nous ont montré entre autres l'opposition entre l'amont et l'aval de la vallée du Guil, l'amont étant encore ici favorisé mais malheureusement toujours à une altitude déjà trop élevée pour en bénéficier sur le plan humain. Ils nous ont fait noter aussi la raideur des pentes de la haute Vallouise, la dissymétrie de la haute Guisane et de la haute Ubaye causée dans l'un et l'autre cas par la remontée voisine du tréfonds cristallin. Le calcul enfin de l'*altitude moyenne* et de l'*encaissement moyen* a souligné l'énorme prééminence de la Vallouise, seule vallée de toutes les Alpes du Sud à posséder réellement les caractères et les aspects de la très haute montagne. Derrière elle, c'est la haute Ubaye qui étonne par son altitude moyenne encore considérable, tandis que le Briançonnais,

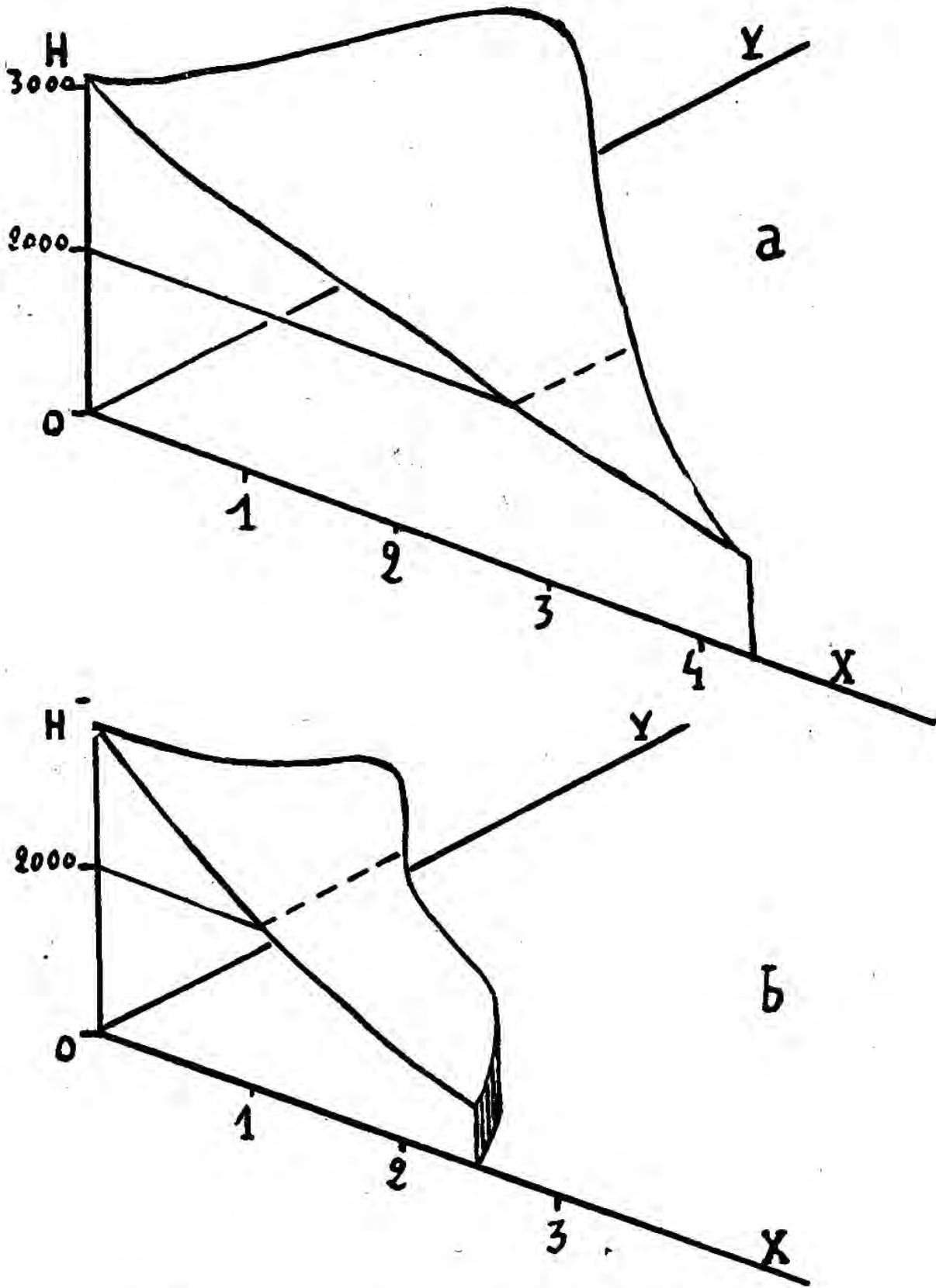


Fig. 26. — Diagrammes clinographiques. Haute (a) et basse (b) Clarée.

au contraire, voit confirmer les remarquables avantages de sa situation par une altitude moyenne relativement fort basse.

Une dernière démarche va nous permettre de réunir comme en un faisceau toutes ces données de morphométrie descriptive : la construction des *diagrammes clinographiques*. Nous avons appelé ainsi ³³ un diagramme à trois dimensions dans lequel on porte sur OH (fig. 26 à 29) les altitudes, sur OX l'écart moyen des isohypses et sur OY le développement de celles-ci. La projection d'un tel diagramme sur le plan HOX n'est autre que la courbe clinographique précédemment étudiée : la figure, très synthétique, exprime en fonction de l'altitude la pente moyenne et le développement des isohypses; elle constitue comme le couronnement de l'analyse morphométrique.

Les enseignements suivants se dégagent de nos figures : la haute Clarée (fig. 26 a) (en amont de Névache) possède des pentes douces dues aux grès houillers, mais la vallée est peu aérée aux altitudes inférieures ou moyennes, l'isohypse de développement maximum se relevant jusqu'à 2600 m. En aval de Névache (fig. 26 b) la vallée a des versants beaucoup moins amples et en pente plus raide. La Guisane en amont du Monétier (fig. 27 a) montre une altitude d'ensemble élevée, une pente raide, des isohypses très développées vers 2500-2400 m. En aval du Monétier (fig. 27 b) nous voyons au contraire une altitude d'ensemble très inférieure, une vallée élargie, une pente qui ne se redresse que dans une zone sommitale très localisée; au-dessous les isohypses gardent des développements sensiblement identiques de 2400 à 1600 m. Le Fournel (fig. 27 c) représente d'une façon presque schématique le cas d'une vallée sans aucune ramification. Les figures 28 a et b illustrent admirablement l'opposition entre les parties amont et aval du bassin du Guil : en amont, pentes douces, très long développement de l'isohypse 2400; en aval, pentes raides, légèrement convexes (indice d'un creusement récent), versants très peu développés. Les figures 29 a et b présentent enfin les diagrammes clinographiques de la haute et de la moyenne Ubaye, respectivement en amont et en aval de Jausiers. La haute Ubaye évoque le Haut-Queyras, avec une pente plus accusée toutefois dans les sections inférieures; la moyenne Ubaye (Bachelard inclus) a au contraire une pente moyenne nettement concave, l'isohypse de développement maximum s'abaissant à 2000 mètres ³⁴.

³³ PÉGUY (70), p. 475.

³⁴ Nous n'avons construit de diagrammes clinographiques ni pour la Vallouise, ni pour la basse Ubaye. Dans la première de ces deux vallées, la raideur même des

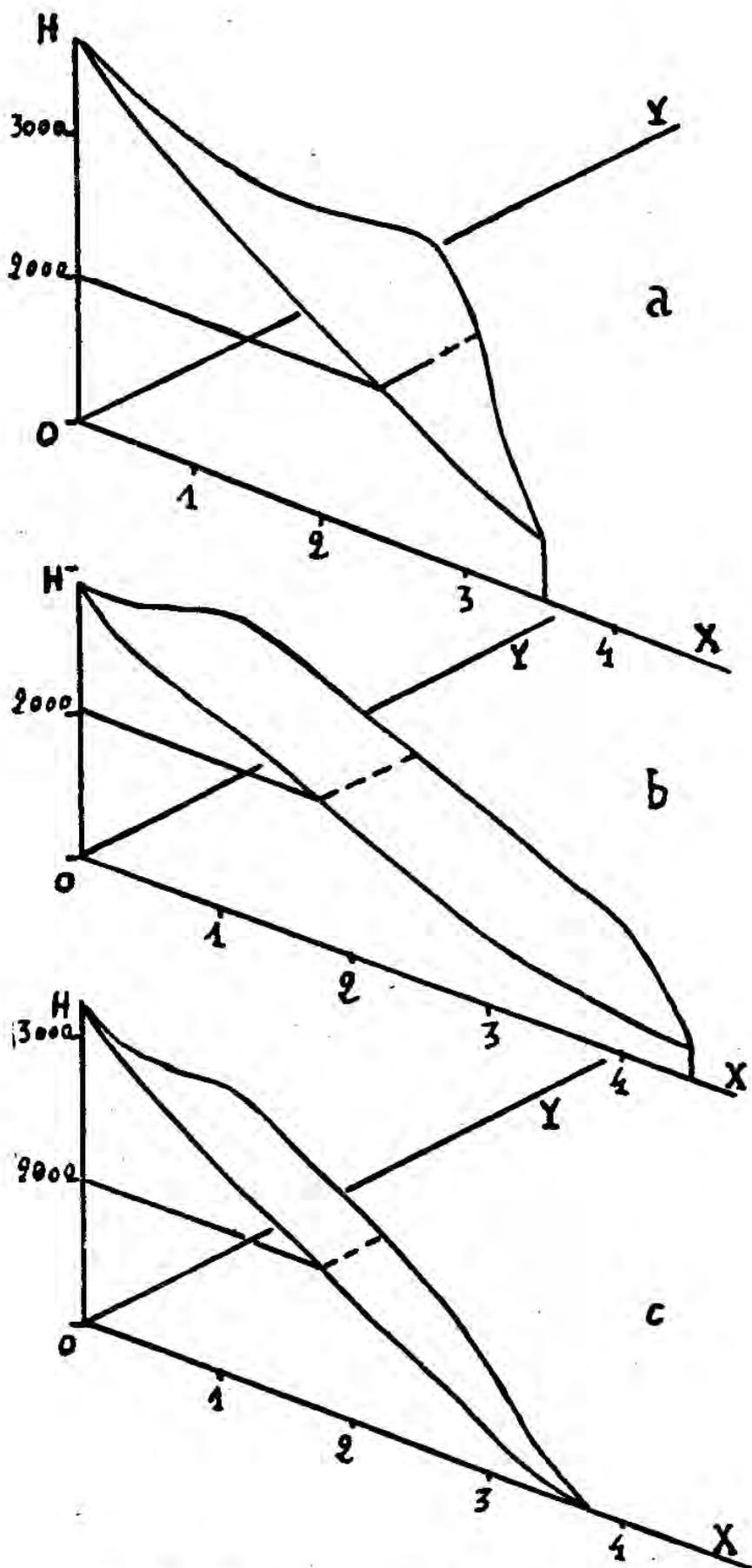


Fig. 27. — Diagrammes clinographiques.
Haute (a) et basse (b) Guisane. Fournel (c).

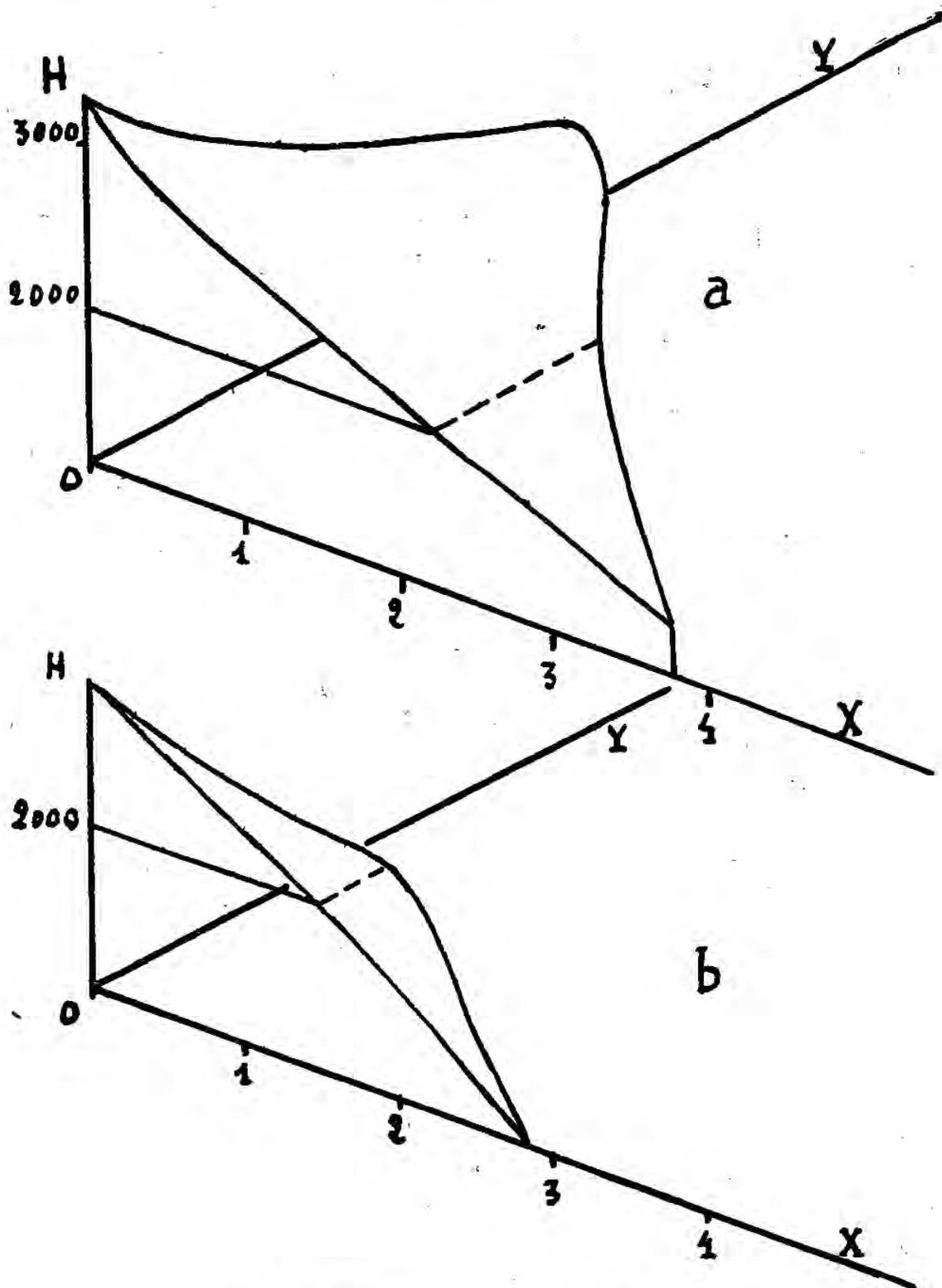


Fig. 28. — Diagrammes clinographiques.
 Guil en amont (a) et en aval (b) de Château-Queyras.

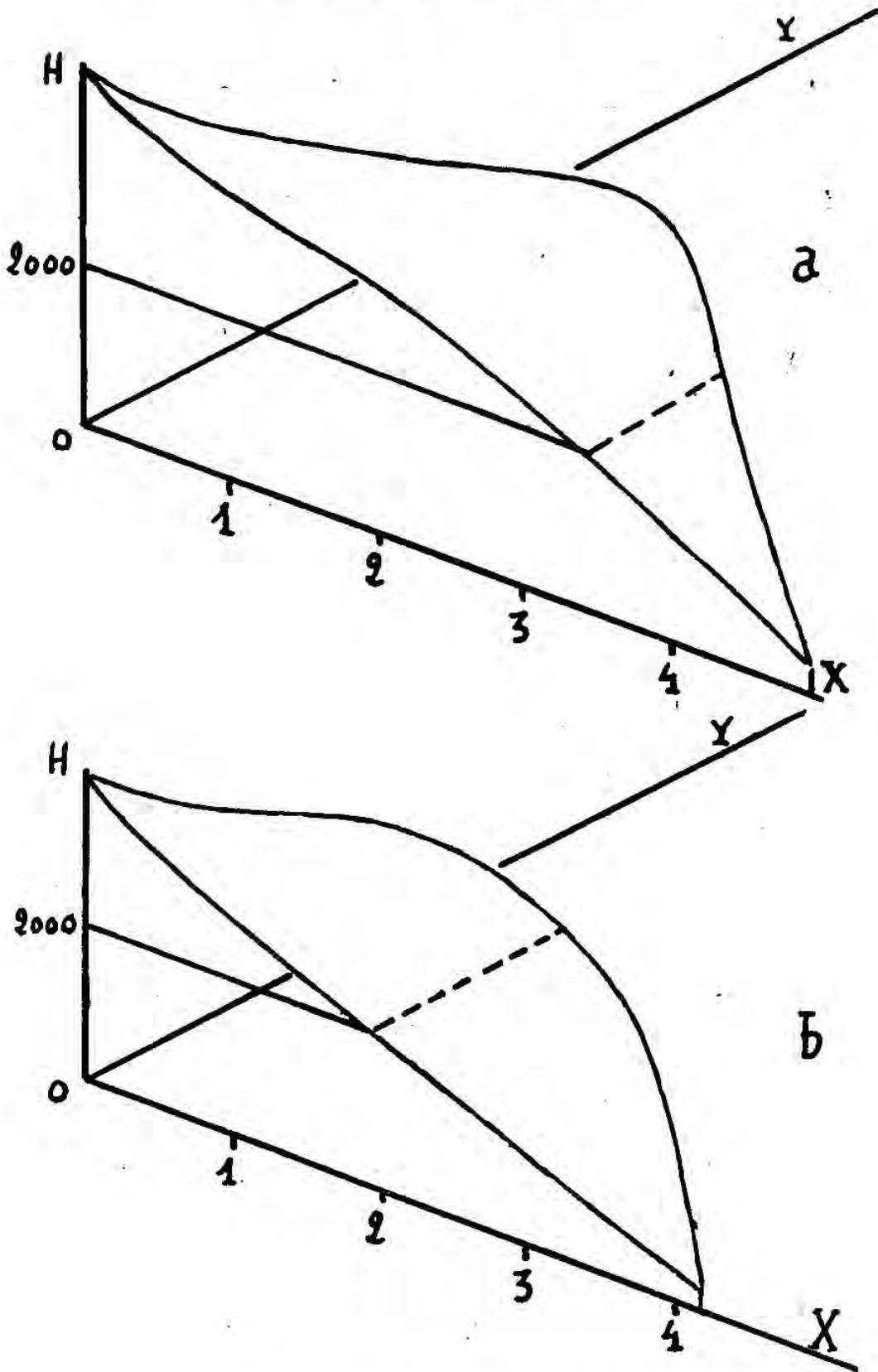


Fig. 29. — Diagrammes clinographiques.

Haute Ubaye (a) ; bassin de Barcelonnette et Bachelard (b).

Tels sont les résultats de l'analyse morphométrique des versants. Ils permettent sans aucun doute de fixer avec plus de précision les caractères physiques de chaque vallée. Mais notre description de la zone intra-alpine des Alpes du Sud resterait encore incomplète si l'on ne consacrait quelques pages à l'étude des hautes crêtes que notre méthode d'investigation, prenant pour cadre la vallée, a permis en quelque sorte d'investir mais non encore d'aborder.

III. — La morphologie sommitale et les cols.

Les crêtes. — Au cours des pages qui précèdent, nous avons successivement commenté le creusement des talwegs et le modelé des versants; il reste, pour achever une description complète du relief, à traiter des crêtes par lesquelles des versants voisins se recourent entre eux. Et ce n'est point simple hasard si, après avoir commencé notre analyse par la localisation et le creusement des grandes vallées, nous la couronnons ainsi par le domaine prestigieux de la haute montagne : cet ordre rationnel n'est que le reflet fidèle de l'évolution même des faits, car en matière de morphologie — et sauf la grosse réserve du problème glaciaire — ce sont toujours les points bas qui conditionnent les points hauts.

Notre méthode consistera ici à déterminer d'abord graphiquement l'*altitude moyenne des crêtes* (fig. 30). La crête frontière sera naturellement la première à attirer notre attention. On peut y distinguer trois secteurs correspondant aux bassins hydrographiques de la Durance, du Guil, de l'Ubaye. Le premier, de la Roche du Chardonnet (arête Sud du Thabor) au Grand Glaisa, n'a que 8 % de son développement au-dessus de 3000 m. et son altitude moyenne s'abaisse à 2570 m. Ces chiffres soulignent à merveille la facilité relative de communication entre les bassins de la haute Durance et de la Doire à travers une arête humainement si perméable qu'elle n'est devenue frontière qu'au XVIII^e siècle, quand un traité désas-

pentés et la fréquence sur la carte du figuré « rocher » auraient rendu fort aléatoire la mesure du développement des isohypses. Pour la seconde, nous ne possédons pas de carte en courbes pour la section de vallée située en aval du Martinet tant que n'aura pas paru la feuille (1/50.000) de Seyne.

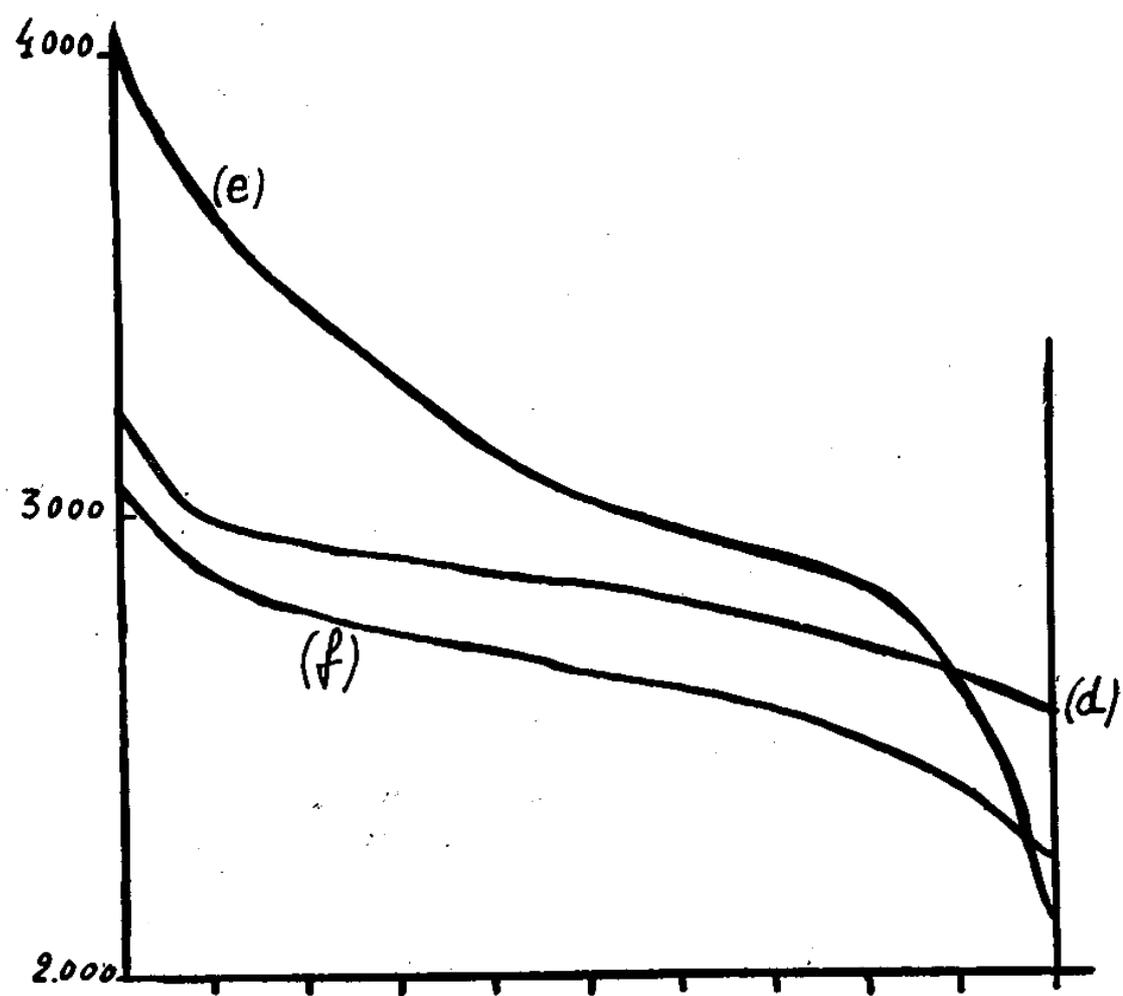
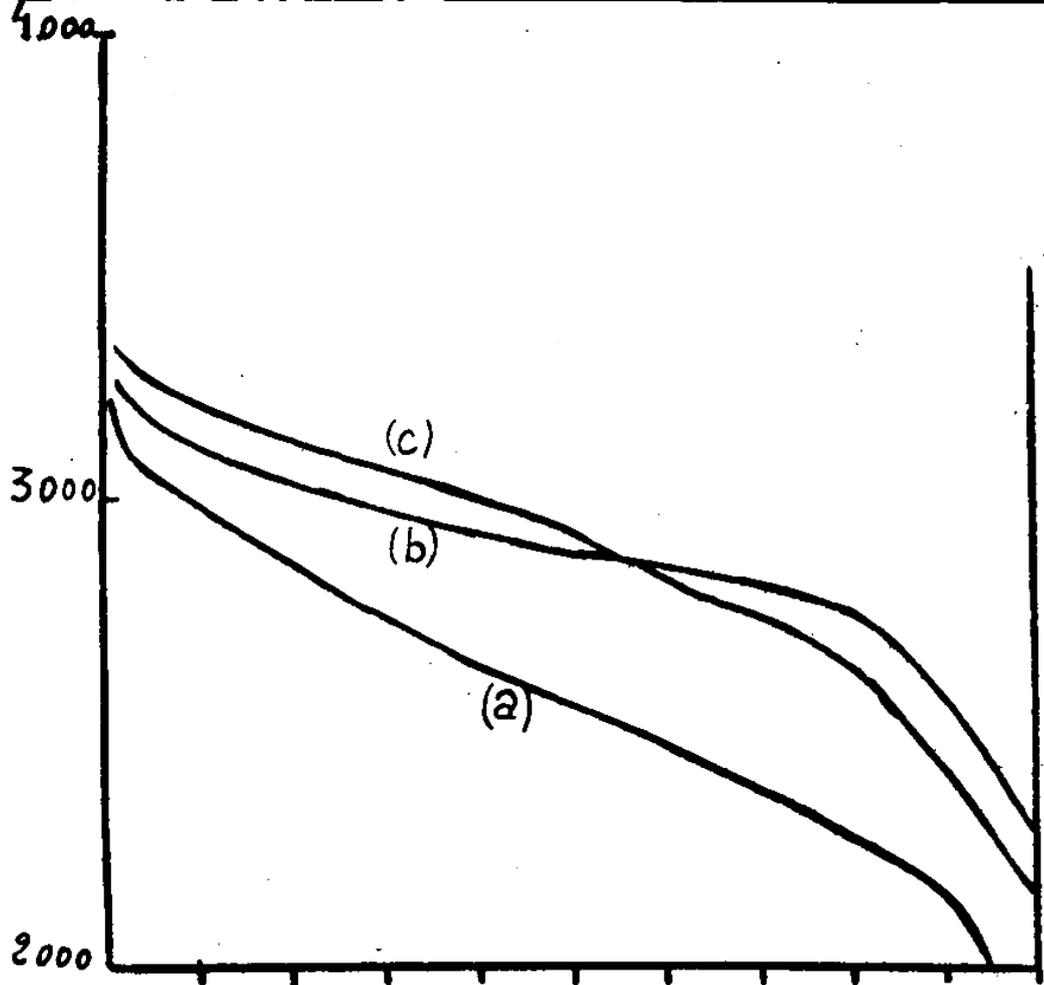


Fig. 30. — Diagramme altimétrique des crêtes.

Crête frontière : (a) en Briançonnais; — (b) en Queyras; — (c) en Ubaye.
 Autres crêtes : (d) entre Arc et haute Durance; — (e) entre Durance et
 Drac-Romanche; — (f) entre Ubaye et Verdon-Var.

treux eut privé le Dauphiné de ses annexes naturelles d'« Outre-Monts ». Le second secteur, du Grand Glaisa à la Tête des Toillies, borde plus au Sud le Queyras. Ici, 27 % de la crête dépassent déjà 3000 m. et l'altitude moyenne s'élève à 2875 m. Pourtant, aucun sommet n'atteint encore 3500 m. (Grande Aiguillette : 3284; Bric Bouchet : 3216 m.)³⁵. Il s'agit donc d'une arête peu dentelée. L'altitude soutenue et la raideur du versant italien expliquent qu'aucun col routier ne la traverse. Le troisième secteur enfin, de la Tête des Toillies à l'Enchastraye, constitue l'arête frontière en bordure de la haute Ubaye, arête puissante dont le point culminant dépasse 3400 m. à l'Aiguille de Chambeyron; 42% de son développement dépassent 3000 m. et l'altitude moyenne s'élève, malgré l'échancrure du col de Larche, à 3115 m. Ces chiffres montrent bien qu'en exceptant seulement ce dernier col (qui est d'ailleurs, structurellement parlant, un col longitudinal), la crête frontière se relève en moyenne de plus de 500 m. du Briançonnais en Ubaye. Le fait peut surprendre à première vue pour qui songe à l'amenuisement, vers le Sud, de l'effort orogénique alpin. Mais cette anomalie n'est qu'apparente : il suffit pour s'en convaincre de considérer l'inégale résistance des roches en jeu. On doit admettre aussi que la haute altitude des crêtes frontières de l'Ubaye résulte du redressement du tréfonds aux approches du Mercantour.

Du côté des bassins français contigus à notre zone, c'est l'influence d'un autre massif ancien, celui du Pelvoux, qui est dominante. Au Nord, entre la Roche du Chardonnet et le Pic des Trois Evêchés, le bassin de la Durance se trouve séparé de celui de l'Arc par une crête assez soutenue dont 9 % seulement du développement dépassent 3000 m., mais dont l'altitude moyenne atteint néanmoins 2840 m. Trois petits massifs se relayent le long de cette crête : Thabor, Cerces et Grand Galibier. Ils jalonnent une section de la limite climatique classique entre Alpes du Nord et Alpes du Sud et, historiquement, un tronçon de la frontière delphino-savoyarde. Vers l'Ouest, le haut bassin de la Durance est séparé de celui de la Romanche-Vénéon par une série de très hautes crêtes qui s'accrochent au point culminant lui-même du massif cristallin, la Barre des Ecrins, et dont l'altitude moyenne, malgré les échancrures du Lautaret et du col d'Arsine, s'élève à 3140 m.; 60 % de cette crête comprise entre les Trois Evêchés et les Bans s'élèvent en effet à plus de 3000 m., 42 % au-dessus de 3400 m. : ce sont là des pourcen-

³⁵ Rappelons que le Viso (3841 m.), investi par l'érosion conquérante du Pô, n'est pas situé sur l'arête frontière.

tages prodigieux³⁶. Au Sud des Bans, et jusqu'à la Tête de Couleau, le bassin de la Durance jouxte le Valgaudemar et le Haut-Champsaur par une crête aux sommets moins renommés, mais dont 53 % du développement dépassent encore 3000 m. et dont l'altitude moyenne s'élève à 3045 mètres³⁷.

Vers le Sud, enfin, l'Ubaye est d'abord contiguë à la Tinée et au Var sur un bref secteur de 23 kms atteignant l'altitude moyenne de 2675 m. Elle est séparée ensuite du bassin bas-durancien — Verdon, Bléone — par une longue arête dont l'altitude moyenne s'élève encore à 2600 mètres³⁸.

Quant aux arêtes intérieures qui séparent le bassin du Guil de ceux de la Durance d'une part et de l'Ubaye de l'autre, elles atteignent respectivement 2810 et 2900 m. : ce sont là des altitudes moyennes inférieures de quelques mètres à peine à celles que nous avons obtenues pour l'arête frontière elle-même. Au Nord et au Sud du Queyras en effet la Pyramide de Rochebrune et la sierra déchiquetée de la Font-Sainte constituent d'imposantes bornes. Vers l'Ouest, les arêtes calcaires du Béal Traversier (2909 m.) et de Pierre-Eyraute (2901 m.) forment une longue muraille qui ne s'infléchit qu'au col de Néal (2537 m.). La Vallouise se trouve isolée du Briançonnais proprement dit par une arête escarpée qui relie la Condamine (2940 m.) à la Tête d'Amont (2818 m.). Il n'y a guère que dans le Briançonnais nord-occidental que les sommets entre Guisane et Clarée (Grand Aréa : 2868 m., Tête Noire : 2917 m.) s'isolent au-dessus des crêtes molles de la zone houillère. On voit donc que dans l'ensemble le relief de nos vallées est fortement cloisonné³⁹.

³⁶ Principaux sommets de l'arête de partage des eaux entre Durance et Romanche : Montagne des Agneaux (3663 m.), Pic de Neige Cordier (3613), Roche Faurio (3730 m.), Barre des Ecrins (4102 m.), Pic Coolidge (3774 m.), l'Ailefroide (3853 m.), Pointe des Bœufs Rouges (3515 m.), Les Bans (3669 m.). De l'arête principale partent vers l'Est trois éperons rocheux : celui du milieu porte les sommets du Pelvoux (Pointe Puisieux : 3946 m.).

³⁷ Principaux sommets : Pic de Bonvoisin (3480 m.), Pointe de Verdonne (3327 m.). Le point culminant de cette sorte d'apophyse méridionale du massif du Pelvoux, le Sirac (3440 m.), se trouve à l'Ouest de la ligne de partage des eaux.

³⁸ Deux points de cette arête dépassent 3000 m. : le Pelat (3052 m.) et le Cémet (3021 m.), tous deux dans la nappe du Flysch externe. — Le petit massif des Séolanes (2903 m.), butte-témoin d'une nappe subbriançonnaise, a été investi par l'érosion du versant Ubaye et se trouve au Nord de l'arête. Entre Blanche du Laverq et Bléone le massif de l'Estrop (qui porte sur sa face nord un minuscule reliquat glaciaire, le plus méridional des Alpes françaises) ne culmine qu'à 2926 m.

³⁹ En combinant les altitudes moyennes des crêtes que nous venons de calculer avec les niveaux de base moyens obtenus précédemment (p. 500), on peut calculer les altitudes moyennes relatives des crêtes, ou *dénivellation moyenne* (qu'il ne faut pas

Les cols. — C'est ce cloisonnement même, aggravé encore par les difficultés de communications le long des gorges d'aval des vallées, qui souligne l'importance des cols. Si l'alpiniste recherche les sommets, les cols sont pour le géographe l'objet de réflexions fécondes. Nos hautes vallées sont en effet, indépendamment des routes de fond, accessibles par huit cols carrossables, soit deux de plus que pour l'ensemble de la Maurienne-Tarentaise⁴⁰. Et en exceptant la seule masse cristalline du Pelvoux, la montagne est sillonnée en tous sens d'un dense réseau de bons muletiers.

Rien de moins semblable entre eux dans le détail que ces cols dont chacun pourrait donner lieu à une riche monographie. Nous ne pouvons ici que dégager les principaux facteurs de leur topographie. Au point de vue *structural* les cols correspondent le plus souvent à des affleurements de roches tendres. Des pointements de gypses et de cargneules du Trias dans les arêtes provoquent la localisation du col des Thuers (au Nord de Névache) et de l'Isoard. Le Houiller briançonnais porte les cols de la Ponsonnière, de Buffère et de Granon entre Clarée et Guisane. Le front des nappes briançonnaises, face au Pelvoux, est jalonné de cols longitudinaux (Eychauda, Pousterle, Anon). Les cols de Vars et de Larche enfin sont logés dans un synclinal de Flysch. Pour cette raison, la majorité des cols, même quand ils font communiquer les deux versants de la chaîne comme celui de Larche, sont structurellement parlant des cols longitudinaux. Les cols proprement transversaux, plus rares, se localisent sur des abaissements d'axes (Allos, Montgenèvre, Arsine, Lautaret).

confondre avec l'encaissement moyen dont il a été question plus haut). Cette altitude moyenne indique de combien la crête domine en moyenne le talweg. Voici les chiffres obtenus :

Clarée-Durance	rive gauche	1000 m.
Guil	— droite	1360 m.
Guil	— gauche	1420 m.
Haute Ubaye	— droite	1360 m.
Haute Ubaye	— gauche	1415 m.

⁴⁰ Cols du Lautaret, du Galibier, du Montgenèvre, de l'Isoard, de Vars, de Larche, de la Cayolle et d'Allos. On peut y ajouter le col frontière de l'Echelle, accessible par route carrossable sur le versant français seulement et la route stratégique, fort mal entretenue, du Parpaillon entre Embrunais et Ubaye. Par ailleurs, les cols du Granon entre Guisane et Clarée et des Granges Communes entre Ubaye et Tinée, possèdent chacun, sur un de leur versant seulement, des routes d'accès à des positions militaires (Fort de l'Olive, Camp des Fourches). Enfin, une route stratégique dite « route des Espagnols » (en raison des républicains espagnols que l'on avait affectés à ce chantier) était en construction en 1940 entre Le Monétier et Vallouise par le col de l'Eychauda.

Pour comparaison, cols routiers de la Maurienne-Tarentaise : Petit Saint-Bernard, Iseran, Mont-Cenis, Galibier, Glandon, Croix de Fer, auxquels il faut ajouter les routes stratégiques (sur versant savoyard seulement) du Fréjus et des Rochilles.

Au point de vue morphologique, qui doit nous retenir davantage, il faut distinguer les *cols de capture*, les *cols de diffluence* et de *transfluence glaciaires*, enfin les *cols d'arête*.

a) Les *cols de capture* correspondent à d'anciens points de rupture du réseau hydrographique. Le plus remarquable est le col de l'Echelle qui fait communiquer la vallée de la Clarée avec la « Vallée Etroite » qui descend sur Bardonnèche. Avec 1766 m. seulement d'altitude, il constitue la plus profonde échancrure de toute la chaîne alpine du col de Tende jusqu'au Brenner. Par un paradoxe curieux, le col s'ouvre en plein calcaire du Trias : indifférence structurale qui dénote une longue évolution du relief. Col de capture typique, le col de l'Echelle forme un véritable berceau suspendu au-dessus du versant italien. Les glaciers ont eu pour effet d'accroître encore ce brusque ressaut auquel le col doit son nom et en même temps de recouvrir de moraine par transfluence le berceau lui-même ⁴¹. Col de capture également que le Montgenèvre qui, à 1855 m. d'altitude, fait communiquer les bassins de la Durance et de la Doire. Jusqu'à une époque relativement récente des glaciers nés sur la face Nord de l'arête Gondran-Chenaillet diffusaient de part et d'autre du col, modelant celui-ci en un large berceau évasé. Bien plus au Sud, le col du Longet, tout au fond de l'Ubaye, possède, malgré une altitude plus forte (2646 m.) une origine tout identique : l'allure fortement dissymétrique de son profil en long témoigne assez de l'ancienne capture. Le col de Vars enfin (2108 m.) entre Chagne et Ubaye, au profil en long nettement dissymétrique aussi, doit appartenir à la même catégorie, encore que la capture soit vraisemblablement à reculer dans un passé assez lointain (fig. 31).

b) Une seconde classe de cols est formée de ceux qui, sans avoir pour origine une capture fluviale préglaciaire ou interglaciaire, ont subi postérieurement la profonde empreinte d'une *diffluence* ou d'une *transfluence glaciaires*. Un bon exemple de ce type de col est fourni par le Lautaret par lequel communiquent à 2058 m. les bassins de la Guisane et de la Romanche ⁴². On devine qu'un glacier

⁴¹ Outre le ressaut rocheux qui rend très malaisé l'accès du col par son versant italien, des considérations stratégiques ont joué chez nos voisins pour interdire la construction d'une voie carrossable.

⁴² Si l'on admet l'hypothèse de STAUB d'un ancien écoulement durancien par le Lautaret, ce col deviendrait dès lors un col de capture à joindre à ceux cités à l'alinéa précédent. Mais cette capture, déduite d'un seul argument géologique (présence de radiolarites dans les terrasses de la basse Isère) ne peut être que fort ancienne et n'a laissé aucune trace dans la topographie du col.

né des cirques Nord du Combeynot difflueait là vers les deux vallées opposées. D'ailleurs, une curieuse réplique du Lautaret, avec une diffluence encore active, nous est fournie à quelques kilomètres de là par le col d'Arsine : grâce à l'altitude un peu plus élevée (2376 m.) et surtout au puissant site d'alimentation glaciaire que constitue la face Nord de l'arête Neige Cordier - Agneaux, le glacier d'Arsine, venant mourir sous une épaisse moraine frontale aux abords mêmes du col, envoie ses eaux de fonte partie vers la Romanche, partie, par le Petit Tabuc, vers la Guisane. Nul doute qu'au Lautaret, les glaciers du Combeynot, à une époque très rapprochée de nous, n'aient présenté un aspect tout analogue. Entre la haute Clarée et la savoyarde Valloirette le curieux col des Rochilles, très bas (2493 m.) avec sa dépression fermée ou dormant deux lacs, présente des traces évidentes d'un englacement récent. Sur l'arête frontière, le col des Thures au voisinage du col de l'Echelle, les cols de Gimont et de Bousson au Sud-Est du Montgenèvre, ont participé par des branches latérales aux transfluences de ces cols principaux; ils y ont gagné, le premier un calibrage en auge et, tous trois, un revêtement morainique de fond. Enfin, un dernier groupe de cols ayant subi fortement l'empreinte glaciaire comprend, à l'Ouest de l'Argentière, les cols de la Pousterle (1755 m.) et d'Anon (1904 m.) qui font respectivement communiquer la basse Vallouise avec le bas Fournel et le bas Fournel avec la basse Biaysse. Ces cols bas, proches du débouché sur la Durance du très important glacier issu de la Vallouise, se sont trouvés largement enfouis sous des bras transfluents de celui-ci.

c) Dans une dernière classe se rangent les cols — les plus nombreux, mais les moins utilisables par l'homme — qui n'ayant jamais été traversés par un écoulement ni fluvial ni glaciaire ont toujours servi de ligne de partage des eaux — ou des glaces. On peut les appeler des « cols d'arête ». Il faut y distinguer d'ailleurs des cols d'arête à modelé dominant fluvial résultant de l'accolement de deux bassins de réception torrentiels, et des cols d'arête à modelé dominant glaciaire résultant de l'accolement de deux cirques opposés; ces derniers quelquefois plus bas, mais d'accès toujours plus malaisé que les premiers.

L'arête frontière ⁴³, outre les sept cols dont nous avons déjà fait mention, se trouve ainsi percée par de nombreuses brèches de moindre importance ⁴⁴ : col de la Chaux d'Acles (2280 m.) entre le

⁴³ Nous gardons ce terme usuel quoique la frontière issue du traité de Paris (1947) s'écarte sensiblement en deux secteurs — Thabor et Mont-Genèvre-Chaberton — de la ligne de partage des eaux.

⁴⁴ Rien de plus délicat que de classer et même de définir un col. On considère souvent comme cols de quelque importance ceux qui sont situés à moins de 2800 m. Cette méthode, simple mais arbitraire, conduit à des appréciations souvent inexactes.

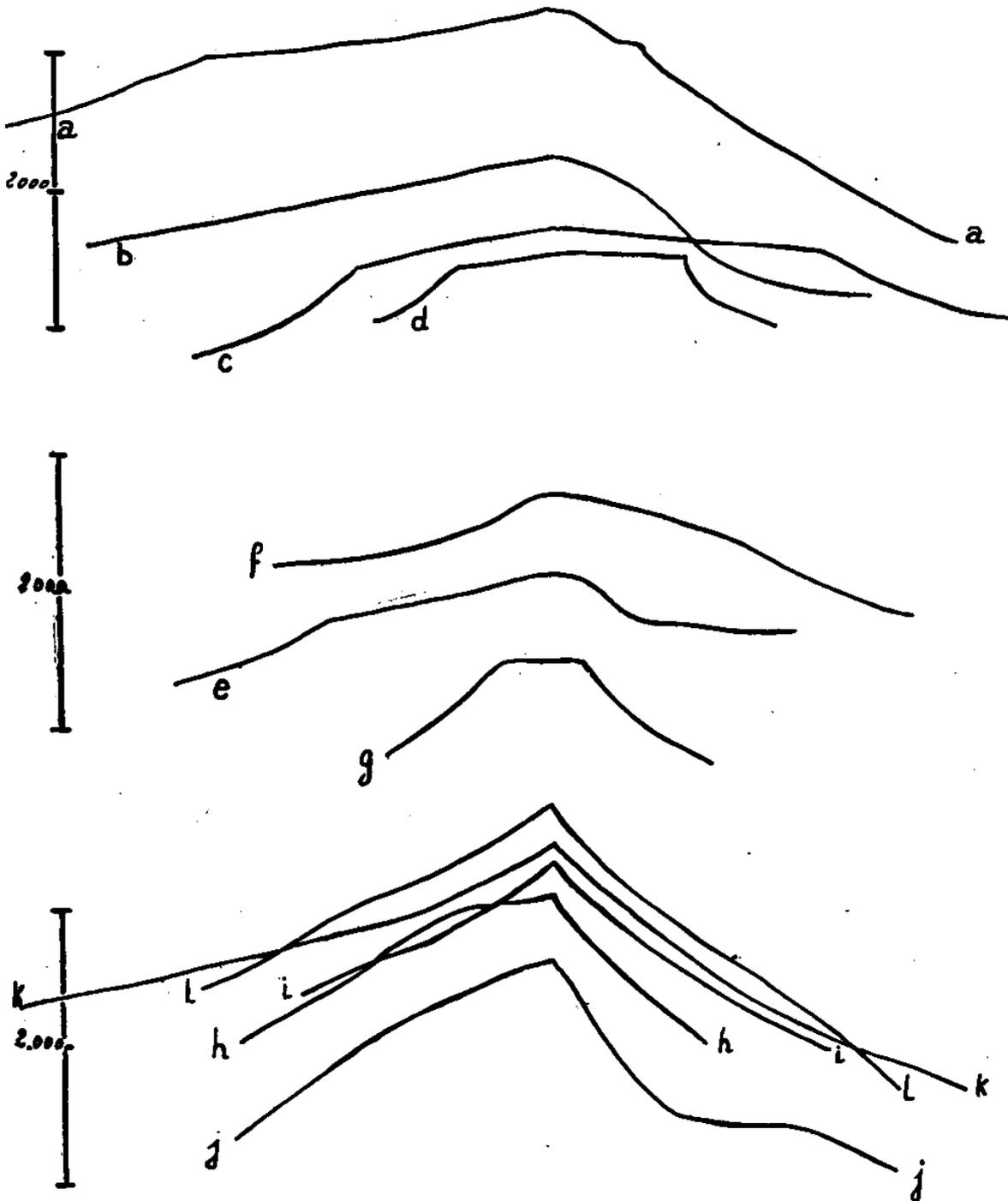


Fig. 31. — Profils longitudinaux des principaux cols.

a, col du Longet; — *b*, col de Vars (versant nord à gauche, sud à droite); — *c*, Montgenèvre; — *d*, col de l'Echelle.

e, col du Lautaret; — *f*, col d'Arsine; — *g*, col de la Pusterle (versant nord à gauche, sud à droite).

h, col de Désertes; — *i*, col de Saint-Martin; — *j*, col Lacroix; — *k*, col Agnel, — *l*, col de Saint-Véran.

Versants ouest à gauche; est à droite.

torrent des Acles et la Vallée Etroite, cols de Désertes (2566 m.) et des Trois Frères Mineurs (2540 m.) entre le torrent des Acles et la Doire Ripaire, col de la Lauze (2536 m.) entre la basse Clarée et la haute Doire. Dans le Queyras, dépourvu, nous le savons déjà, de tout col carrossable, on note le col longitudinal de Thures (2757 m.) qui établit une relation avec le bassin supérieur de la Doire. Les communications avec les bassins de la Germanasque, du Pellice et de la Varaïta s'effectuent respectivement par les cols Saint-Martin (2656 m.), Lacroix (2305 m., col le plus bas du Queyras que l'on a à plusieurs reprises envisagé de rendre carrossable) et Agnel (2744 m.)⁴⁵. Quant aux communications directes entre les bassins du Guil et du Pô supérieur, contigus sur quelques kilomètres seulement de hautes crêtes entre le Granero et le Visoletto, elles sont très difficiles : le point le plus bas de l'arête en question ne s'abaisse qu'à 2914 m. (col de la Traversette); pour y remédier, un marquis de Saluces, dès le xv^e siècle, perça l'arête par un court tunnel accessible aux bêtes de somme, le « Pertuis du Viso ». La haute Ubaye, elle, ne communique avec l'Italie, en dehors du col de Larche, que par quatre cols notables : col de Mary (2637 m.) dans les schistes lustrés; cols de Sautron (2584 m.) et des Monges (2539 m.) entre l'Ubayette et la haute Maira; col du Riéou Brun enfin (2503 m.) dans le prolongement de la dépression anticlinale d'Oronaye. Tous ces cols ont un profil longitudinal dissymétrique, la pente s'en trouvant toujours plus raide sur le versant italien. Cette dissymétrie est surtout marquée sur les cols transversaux (Désertes, Lacroix); elle est accentuée encore, dans les cas des cols Agnel et de Saint-Véran, par la capture d'une ancienne haute Ubaye par la Varaïta de Chenal. Elle est minima au contraire dans les sillons longitudinaux que la frontière prend en écharpe : cols de Mary ou de Riéou Brun (fig. 31).

Au Nord, l'arête bordière de la Savoie entre la Roche du Char-donnet (Thabor) et les Trois Evêchés correspond à une très ancienne ligne de partage des eaux qui n'a jamais connu ni renversement du drainage hydrographique, ni même, — sauf peut-être aux Rochilles,

A altitudes égales, les conditions d'accès et d'enneigement de deux cols peuvent différer du tout au tout. Il faut tenir compte aussi de la fréquence et du groupement des cols : un col de 2600 m. sera négligé et pourra n'avoir même pas de nom s'il y a à 2 kms de là un passage à 2200 m. Au contraire, dans une longue arête se maintenant à plus de 3000 m., une échancrure située à 2900 m. sera, par la force des choses, un passage obligé entre les deux versants.

⁴⁵ Le col de Saint-Véran (2850 m.), qui mène de ce village à Chenal (Chianale) sur la Varaïta, est une doublure du col Agnel.

— importante diffluence glaciaire. Aussi ne trouvons-nous là que des cols élevés, très caractéristiques du type « col d'arête ». Le plus bas (en dehors des Rochilles) est le col du Galibier (2593 m.) (*sic*) ouvert dans les gypses du Trias affleurant là au front des nappes briançonnaises. Ce col n'a qu'un intérêt d'ailleurs purement topographique : débouchant au Nord dans des terrains à affouillement très instables (« les Gypières ») il s'est vu déserté par le trafic au profit d'un collet plus élevé (2645 m.) portant un excellent chemin muletier et sous lequel la route actuelle passe en tunnel. C'est ce collet séparé du col topographique par une butte gypseuse (2677 m.) portant la table d'orientation qui est appelé usuellement, mais assez improprement, « col du Galibier ». Au delà des Rochilles, au-dessus de la Neuvachette et de la Neuvache, la crête n'a plus que des échancrures insignifiantes : cols de la Madeleine (2775 m.) et de Névache (2805 m.).

Vis-à-vis des bassins de la Romanche et du Drac, les choses se présentent tout autrement : l'intense érosion glaciaire qui avait favorisé là les grands cols de basse altitude — Lautaret et Arsine — a desservi par contre les hauts passages : les cols d'altitude moyenne — 2500 à 3000 m. — sont pratiquement inexistants; les cols élevés — plus de 3000 m. — sont de simples accolements de cirques glaciaires, infranchissables sans l'aide de la technique alpine. Les hauts passages du massif du Combeynot (col du Fontenil : 2964; Brèche du Vallon de la Route : 2914 m.) constituent de bons exemples de ces brèches d'accolement de cirques. La Vallouise et le haut Vénéon ne communiquent que par de rares passages glaciaires : col des Ecrins (3367 m.), col de la Temple (3322 m.), col du Sélé (3278 m.). Les cols qui mènent en Valgaudemar, pour être un peu moins hauts (col du Sellar : 3088 m., col du Loup : 3112 m.), n'en sont pas d'accès plus aisé. Ce n'est qu'à l'extrême Sud que s'ouvrent dans notre arête deux cols de moins de 3000 m. : Pas de la Cavale (2735 m.) entre Fournel et Drac de Champoléon⁴⁶, col de Freissinières (2782 m.) entre Biaysse et Drac d'Orcières.

A la limite méridionale de notre domaine la crête se trouve abaissée en de nombreux points par des recoupements de bassins

⁴⁶ Par un sentier en courbe de niveau entre le Pas de la Cavale et le col de l'Aup Martin, une communication facile s'établit entre Champsaur et Vallouise. Du col d'Arsine à ce Pas de la Cavale (qu'il ne faut point confondre avec le col du Clot des Cavales, entre haute Romanche et Vénéon), c'est sur un développement de 34 kms que l'arête entre les bassins de la Durance et de l'Isère ne s'abaisse nulle part en dessous de 3000 m.

torrentiels. L'Ubayette et la haute Tinée communiquent ainsi par le Pas de la Cavale (nom fréquent comme on le voit dans la région, 2671 m.) dont le versant Nord a une topographie glaciaire (cirque du Lauzanier). La haute Tinée communique encore avec l'Ubaye par le col des Granges Communes (2505 m.) et avec le Bachelard par le col de la Moutière (2446 m.), de topographie purement torrentielle ceux-là. Entre Bachelard et Var une courte arête s'abaisse à 2327 m. au col de la Cayolle. Entre Bachelard et Verdon l'arête de Flysch gréseux descend à 2413 m. au col du Talon (entre Fours Saint-Laurent et Allos) et surtout à 2243 m. au large ensellement du col d'Allos : tous ces cols sont de simples abaissements d'arête par recoupement de l'érosion torrentielle sur les deux versants. Plus à l'Ouest, le bassin de la Blanche du Laverq ne communique avec celui de la Bléone que par le Pas de la Sèche (2787 m.), passage élevé présentant sur son versant Nord des traces de morphologie glaciaire, et par le col de la Pierre (2423 m.).

L'arête séparant le Queyras du bassin de Briançon s'abaisse aux cols de Malrif (2857 m.), de Péas (2629 m.), d'Isoard (2355 m.), des Ourdeis (2420 m.) et des Ayes (2480 m.). Ces trois derniers, mettant en communications faciles Briançon avec Arvieux et Château-Queyras, ont joué autrefois un rôle considérable : par eux le Queyras s'est trouvé historiquement rattaché au Briançonnais tandis qu'il débouchait des plus malaisément vers l'Embrunais, par les gorges du bas Guil. Entre Queyras et haute Ubaye, par contre, les cols sont pour ainsi dire inexistants. L'arête ne s'abaisse momentanément, au-dessus du Cristillan (col Tronchet : 2656 m. et col Girardin : 2701 m.) grâce aux schistes lustrés, que pour se relever aussitôt dans le massif triasique de la Font-Sainte. Les cols de Serennes (2674 m.) et de Vars (2108 m.), ce dernier déjà cité, établissent grâce au Flysch des communications plus aisées entre Haut-Embrunais et bassin de Saint-Paul.



Une conclusion se dégage avec netteté de cette longue énumération : c'est l'heureuse fortune de Briançon qui se trouve situé à un véritable carrefour de cols : PETIOT, puis BLANCHARD⁴⁷ ont justement insisté sur le rôle des cols dans la formation historique du

⁴⁷ Cf. PETIOT (Daniel ROPS), Briançon, esquisse de géographie urbaine, *R. G. A.*, 1921, et BLANCHARD (2), p. 178.

Briançonnais. Le Lautaret, le Galibier, le Montgenèvre et l'Isoard donnent à la ville quatre débouchés routiers sur les vallées voisines. En y ajoutant les cols d'Arsine, des Rochilles, de l'Echelle, des Ayes qui rivalisaient avec les précédents avant l'ère des routes carrossables, c'est au total un système de huit cols principaux, situés tous à moins de 2600 m. qui convergent vers Briançon. On comprend qu'à travers trois au moins de ces cols, le Montgenèvre vers l'« Outre-Monts », l'Isoard et les Ayes vers le Queyras, l'influence commerciale et politique de la « plus haute ville d'Europe » ait autrefois largement rayonné hors de son bassin géographique.

Rien d'équivalent ne se retrouve au Sud où le Haut-Embrunais n'est qu'un couloir sans communication à l'Ouest avec le Champsaur et communiquant fort mal à l'Est, jusqu'à une époque toute récente, avec le Queyras lui-même. Seul le col de Vars permettait un dégagement vers le Sud. L'Ubaye en amont de Saint-Paul est un vrai cul-de-sac. Il faut descendre jusqu'au bassin de Barcelonnette pour trouver, au débouché des cols de la Cayolle et d'Allos, des conditions topographiques rappelant (en bien plus médiocre) celles du bassin de Briançon. Ainsi est-ce la disposition des cols qui a conditionné, dans nos hautes vallées, l'existence d'une petite vie urbaine grâce à laquelle la France doit de compter deux sous-préfectures à plus de 1000 mètres d'altitude.

(à suivre)

HAUTE DURANCE ET UBAYE

par Ch. P. PÉGUY

(suite)

Climat, végétation, eaux, glaciers

CHAPITRE IV

LE CLIMAT

I. — La circulation atmosphérique.

Le développement que nous consacrerons aux vents sera volontairement bref : il ne nous a pas été matériellement possible d'ajouter grand'chose dans ce domaine aux observations de BÉNÉVENT. De plus, il nous a paru que le vent — du moins dans nos régions — ne constituait guère un fait géographique que dans la mesure où il conditionne les températures ou les précipitations, et c'est surtout en fonction de ces deux phénomènes que nous aurons à étudier la circulation atmosphérique.

Du vent lui-même nous avons quelques données concernant les fréquences de ses directions, mais aucune relative à sa force. Rien de plus simple d'ailleurs dans ses grandes lignes que cette circulation de l'atmosphère dans les Alpes du Sud : une « dorsale » de hautes pressions prend en effet le plus souvent en écharpe les Alpes françaises, très légèrement au Nord de la zone que nous étudions ici. Vers le Sud la pression s'abaisse en général vers la Méditerranée où une « dépression satellite » a fréquemment son centre entre les côtes de Provence et de Corse. De fait, à Gap, les vents du Nord soufflent 457 fois sur 1.000 par type de temps anti-cyclonique et encore 328 fois sur 1.000 par type cyclonique¹.

¹ BÉNÉVENT (101), p. 14, et VEYRET (41), p. 225.

Or cette circulation caractéristique à dominance de « bise » que l'on observe de Saint-Bonnet à Digne et de Sisteron à Guillestre se déforme singulièrement en amont de ce point : à Briançon on note en effet en toute saison une prédominance écrasante des vents d'Est : c'est la fameuse « Lombarde » :

TABLEAU XIX

Briançon. — Fréquence des vents (1910, 1911, 1912, d'apr. Bénévent).



Au cours des années 1936 et 1937 la Lombarde a été observée plus de 150 fois à La Vachette². Nous avons essayé, en consultant les bulletins quotidiens de l'O.N.M. des jours de Lombarde pour ces deux années, de dégager les situations barométriques caractéristiques donnant naissance à ce vent : au terme de cette longue analyse, nous avons malheureusement abouti à un échec total. On peut songer à incriminer tout d'abord l'imprécision des observations locales : il peut être très difficile de distinguer à Briançon un vent d'Est franc d'un vent du Nord-Est, voire du Nord, dévié par les obstacles du relief. Mais il est vraisemblable aussi que la véritable Lombarde puisse être provoquée par des situations barométriques très différentes les unes des autres. Le 27 septembre 1937 un couloir de basses pressions s'étendait de l'Islande au large des côtes d'Espagne, attirant le vent émis par un anticyclone situé sur le Sud de la Scandinavie et l'Europe centrale : toute la partie orientale de notre pays se trouve alors soumise aux vents d'Est et Briançon n'y saurait faillir. Un cas voisin est celui d'un cyclone se déplaçant des Açores vers la péninsule ibérique et attirant toujours l'air de l'Europe centrale (11, 12, 13 avril 1936). Mais on observe encore des vents d'Est dans des situations barométriques beaucoup plus paradoxales et inverses, si l'on peut dire, des précédentes : du 16 au 20 juin 1937 le vent se maintenait à Briançon du Nord-Est ou de l'Est avec un

² Observations détaillées communiquées par M. DUBOIS-CHABERT, secrétaire de la Commission météorologique des Hautes-Alpes, auquel nous devons de bien vifs remerciements. Le chiffre est laissé volontairement imprécis, et pêche sans doute par défaut, par suite de légères lacunes dans les observations.

anticyclone au large de l'Irlande et un couloir de basses pressions s'étendant de la Scandinavie à l'Italie centrale. Parfois (22 septembre 1937) les basses pressions de Scandinavie et d'Italie forment deux aires limitées séparées par une dorsale, situation qui doit renforcer notre vent. Enfin la Lombarde peut n'être que l'aspect local du mouvement giratoire de l'air autour d'une « dépression satellite » centrée sur les Alpes du Sud³ : tel est le cas du 12 décembre 1937 où le vent du Nord-Est à Briançon coïncidait avec un vent d'Ouest à Nice. On comprend mieux devant cette complication les résultats déconcertants auxquels aboutissent les enquêtes orales concernant la Lombarde : suivant la région et votre interlocuteur elle vous sera présentée comme un vent sec ou pluvieux⁴, comme un vent d'hiver ou d'été. Il semble bien que le caractère du vent se modifie du Nord au Sud : plutôt sèche en Tarentaise la Lombarde s'humidifie en Ubaye où elle se confond, par suite de l'orientation de la crête, avec le « marin » du Sud-Est.

A cet écoulement de l'air en fonction des grands centres d'action atmosphériques dont nous venons de tracer une image complexe et encore bien incomplète se superpose un écoulement local moins intense et de mécanisme fort simple : il s'agit des deux courants diurnes qui font monter chaque jour l'air du bas pays vers les sommets surchauffés et chaque nuit glisser l'air refroidi vers les vallées : ce sont les *brises* de vallées. La brise montante est sensible vers 11 heures à Embrun et en basse Ubaye, à midi à Château-Queyras et Jausiers, à 13 heures sur l'arête frontière. Si la Lombarde ne vient point la contrarier, elle atteint son maximum de force vers 14-15 heures pour mollir en fin de journée. Quant à la brise descendante de nuit, plus faible et à vrai dire moins bien observable, elle se renforce quelquefois vers le lever du soleil. En Vallouise les glaciers soufflent au petit jour de l'air refroidi vers le Pré de Madame Carle. De ces deux brises, la montante paraît surtout fréquente l'été et la descendante l'hiver quand la Lombarde vient la renforcer (tableau XX).

³ Cf. BÉNÉVENT (99).

⁴ Dans le cas étudié ci-dessus du 27 septembre 1937, on a observé 11 mm. de pluie à Briançon. Beaucoup plus souvent, le vent accumule un rouleau de nuages sur la crête frontière sans provoquer de précipitations au-delà.

TABLEAU XX

*Fréquence des vents d'Ouest et d'Est à Barcelonnette
(d'après Bénévent).*



II. — Températures et insolation.

A. La température.

Les documents thermométriques dont nous disposons pour notre domaine s'avèrent dès l'abord des plus médiocres. *Un* poste sérieux en tout et pour tout : celui de Barcelonnette. BÉNÉVENT utilise en outre les résultats de Briançon, mais non sans faire remarquer que les températures y sont certainement trop élevées de 1° à 2°, l'abri d'avant 1914 se trouvant situé au pied des murs de la citadelle, dans un endroit trop chaud. Des observations militaires ont fourni également à notre prédécesseur une documentation abondante, mais souvent erronée et aussi mal coordonnée que possible dont il n'a retenu en définitive que quatre postes : Roche-la-Croix (1900 m.) et Viraysse-baraquements (2500 m.) en Ubaye, Aiguilles (1460 m.) en Queyras, Fort de l'Olive (2250 m.) au-dessus de la Clarée. A cette documentation ancienne, toute rapportée par BÉNÉVENT à la période 1878-1916, on rattache vraiment mal les résultats sporadiques des postes récents dus à l'initiative des Eaux et Forêts : Embrun (depuis 1933), Freissinières-Pallons, Pelvoux, Briançon (sur un nouvel emplacement), Le Monétier depuis 1936. Névache, de la même promotion, présente des lacunes rédhibitoires. Pour l'Ubaye, en dehors de Barcelonnette, nous ne connaissons de postes en service (La Condamine, Serennes, Fours) que depuis 1942! On comprend d'emblée que l'étude de la température en montagne, qui n'a pas la même portée pratique (par exemple pour l'hydroélectricité) que celle des précipitations, n'a point provoqué, au même titre que cette dernière, l'intérêt des milieux compétents.

En présence de cette situation nous tâcherons du moins de tirer parti au maximum de notre documentation en la soumettant à une

critique mathématique assez serrée. Et nous compléterons ultérieurement les indications fournies par les thermomètres eux-mêmes (qui n'expriment jamais que la température *de l'air et à l'ombre*) par des considérations de nature toute différente mais qui contribueront, nous espérons le montrer, à préciser l'allure thermique du climat intra-alpin méridional.

1° Un fait doit dominer tout notre commentaire : c'est que *les maxima et minima diurnes sont les seules réalités qui soient mesurées par nos thermomètres*. En l'absence complète de thermomètres enregistreurs, c'est en effet d'après les maxima et les minima que l'on doit se résigner à calculer les moyennes diurnes en utilisant une formule empirique due à ANGOT⁵. Par ailleurs, ce sont bien les

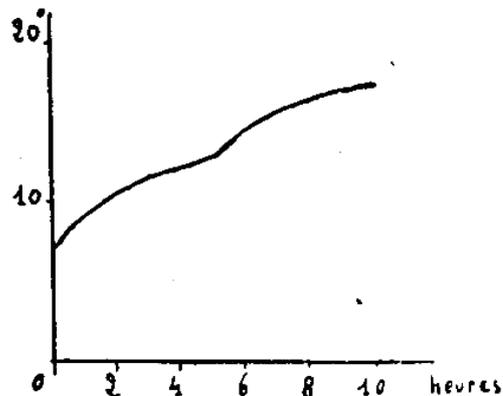


Fig. 32. — Variation de l'amplitude diurne en fonction de la durée d'insolation. Briançon 1936-39.

maxima et les minima qui constituent les caractéristiques thermiques originales d'un climat, et non les insaisissables moyennes. Ce sont les maxima de juin qui font les chaleurs de l'été comme ce sont les minima de janvier qui trahissent les rigueurs de l'hiver, tandis que les moyennes diurnes apparaissent au contraire comme dépourvues tout à la fois de précision et de signification pratique.

Dans ces conditions, le premier fait qui doit retenir notre attention est assurément *l'amplitude diurne* de la température. Cette amplitude s'avère à Briançon assez faible : 12 à 13° contre 13°5 à

⁵ $t = \frac{M + m}{2} + \alpha$ dans laquelle α exprime une correction, toujours négative, qui varie de $-0^{\circ}61$ pour septembre à $-0^{\circ}35$ pour janvier.

Chamonix, 14°3 à Gap, 15°5 à Barcelonnette. VEYRET y voit fort justement⁶ un trait « méridional et continental à la fois » qui culminerait, si l'on peut dire, en Ubaye. On constate, comme il fallait s'y attendre, que cette amplitude varie en sens inverse de la nébulosité. Nous ne connaissons à dire vrai pratiquement pas cette dernière, mais on peut suppléer à cette lacune en faisant appel à la durée d'insolation que nous serons amené à étudier plus loin (cf. p. 166). La figure 32 qui repose sur un dépouillement de trois années (sept. 1936 à août 1939) montre que l'amplitude diurne croît avec l'insolation, de 7° en moyenne pour les jours d'insolation

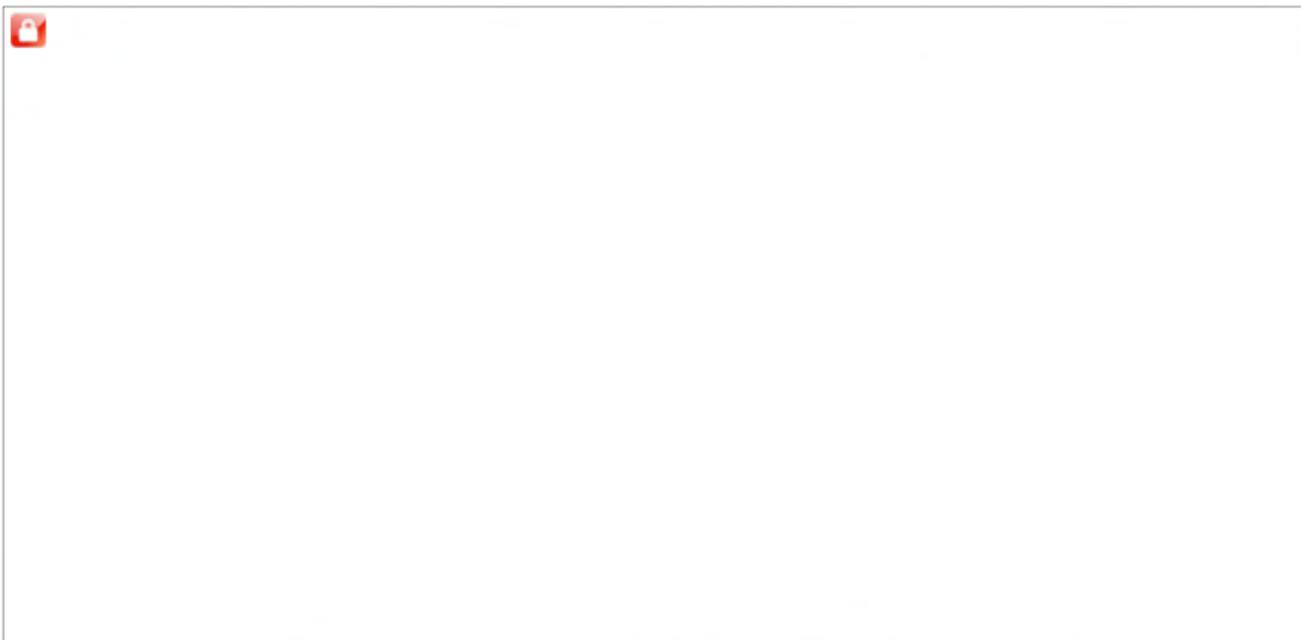


Fig. 33. — Variation annuelle de l'amplitude diurne.
Moyennes mensuelles : Barcelonnette, Gap, Briançon 1878-1916, d'après BÉNÉVENT.

nulle (qui supposent une nébulosité voisine de 10) à plus de 17° pour les jours dont l'insolation dépasse 10 heures. On comprend mieux dès lors que cette amplitude diurne subisse une variation saisonnière des plus nettes : elle croît partout de janvier à juillet pour décroître d'août à décembre (fig. 33).

2° En second lieu, les maxima comme les minima peuvent varier entre deux jours consécutifs d'une façon capricieuse selon que se succèdent des « types de temps » chauds ou froids. Le

⁶ P. VEYRET (41), p. 239.

phénomène est banal au point de masquer ordinairement le mouvement saisonnier normal de la température⁷. Nous touchons là la notion d'« instabilité » de la température. Le dépouillement des mesures quotidiennes, travail long et fastidieux que nous n'avons entrepris que pour trois ans (septembre 1936 à août 1939) et le seul poste de Briançon, permet de construire des *courbes d'instabilité* (fig. 34) indiquant la fréquence des écarts entre les minima, les maxima et les moyennes diurnes de deux jours consécutifs. On note ainsi par exemple que des hausses égales ou supérieures à 5°

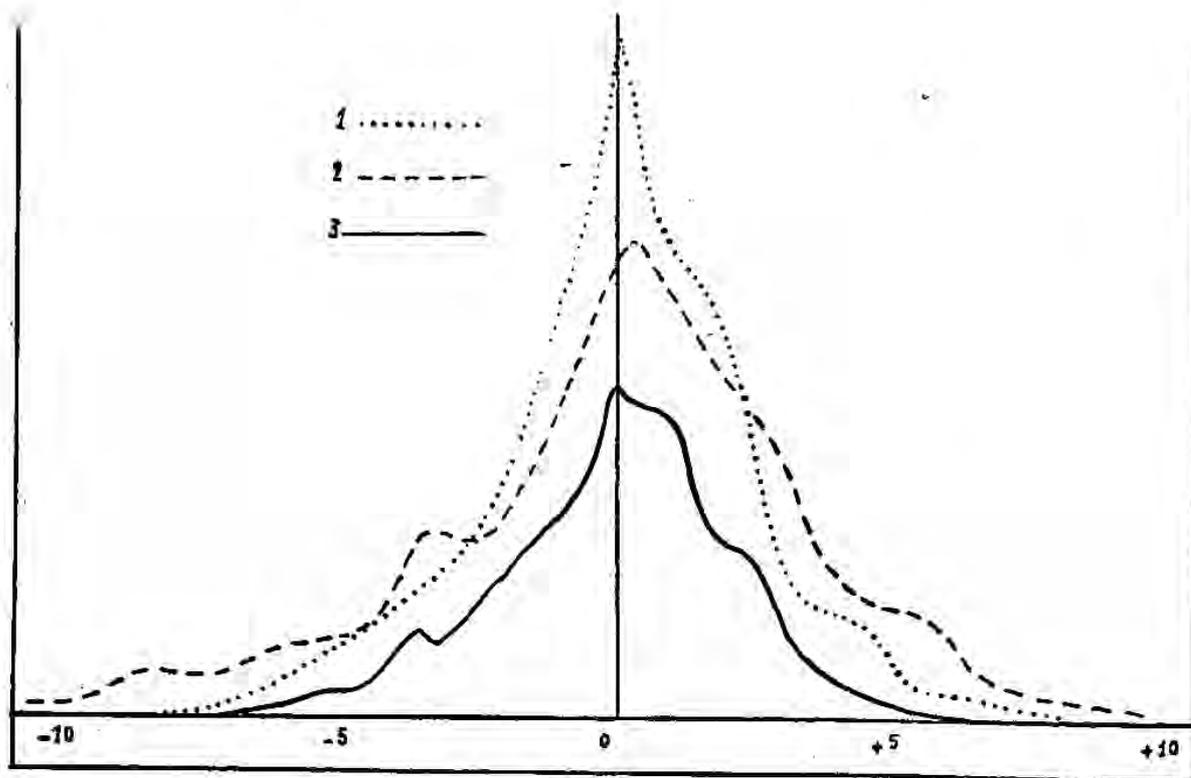


Fig. 34. — Instabilité diurne de la température.
Briançon 1936-39.

- 1) Fréquence des écarts entre deux minima consécutifs.
- 2) Fréquence des écarts entre deux maxima consécutifs.
- 3) Fréquence des écarts entre deux moyennes diurnes consécutives.

⁷ C'est ainsi que mars est un mois pendant lequel la température doit s'accroître normalement. Or un examen de l'instabilité diurne de mars 1939 montre qu'il y a eu en ce mois 16 jours effectivement plus chauds que la veille, mais par contre 15 plus froids. On a même vu la moyenne diurne s'abaisser en deux jours de +3°3 le 8 à -4°3 le 10. On trouverait inversement des exemples de réchauffements exceptionnels en novembre.

ont été observées 73 fois en trois ans entre deux maxima consécutifs, contre 40 fois entre deux minima et 11 fois seulement entre deux moyennes diurnes consécutives : ceci provient de ce que les maxima et les minima varient fréquemment en sens contraires (par suite par exemple d'une variation de la nébulosité) ce qui n'affecte que peu, et parfois pas du tout, la moyenne ⁸. Quant à la dissymétrie qui apparaît sur la courbe d'instabilité de la moyenne diurne, elle souligne que les hausses et baisses de la température obéissent à des mécanismes tout différents : les hausses, plus fréquentes que les baisses, mais d'ampleur moindre que celles-ci, semblent correspondre essentiellement à des échauffements progressifs par insolation, tandis que les baisses, légèrement moins nombreuses mais en moyenne plus considérables, se font par « à-coups » sous l'influence de coups de vents froids du Nord. C'est ainsi que les baisses de température égales ou supérieures à -4° se révèlent deux fois plus nombreuses que les hausses égales ou supérieures à $+4^{\circ}$ et que l'on a pu observer 5 fois en trois ans des chutes de plus de 7° entre les moyennes de deux jours consécutifs, tandis que le record de la hausse s'élevait péniblement à $6^{\circ}5$.

Parallèlement aux calculs de fréquence l'instabilité de la température peut d'ailleurs s'exprimer plus sommairement par la moyenne des *valeurs absolues* des écarts thermiques entre deux jours consécutifs. On constate ainsi à nouveau que les maxima sont beaucoup plus instables ($I_m = 2^{\circ}62$) que les minima ($I'_m = 1^{\circ}87$). Quant à l'instabilité moyenne de la moyenne diurne elle s'établit plus bas encore, par suite des compensations qui s'établissent dans les variations des extrêmes, à $1^{\circ}81$. L'allure dissymétrique enfin de l'échauffement et du refroidissement se traduit par les chiffres suivants : tandis que la moyenne des écarts positifs entre les moyennes diurnes de deux jours consécutifs n'est que de $+1^{\circ}65$ pendant les périodes de réchauffement, la moyenne des écarts négatifs correspondant aux périodes de refroidissement s'abaisse à $-1^{\circ}98$.

De telles moyennes inciteraient volontiers à des comparaisons régionales. Nous avons dû nous borner à calculer, à titre de référence, l'instabilité moyenne de Gap pour la même période de

⁸ Exemple remarquable du 17 au 18 juin 1937 :

	minima	maxima	moyenne
	—	—	—
17 juin	7°1	17°9	12°5
18 juin	4°	21°	12°5
Ecart	-3°1	+3°1	0

temps : celle-ci n'est que de 1°54, nettement inférieure par conséquent à celle de Briançon. Cette comparaison suffit à souligner le caractère nettement instable de la température dans cette dernière ville, caractère qui apparaît effectivement au visiteur comme un de ses traits les plus originaux. Sans doute est-ce là avant tout l'effet d'une altitude déjà élevée.

Egalement tentante serait la recherche des variations saisonnières de l'instabilité moyenne. Une période d'observations de trois ans apparaît malheureusement ici comme bien insuffisante. Les chiffres que nous donnons toutefois ci-dessous laissent apparaître qu'à Briançon comme à Gap décembre est le mois le plus « instable », c'est-à-dire celui des plus grands contrastes entre des jours déjà froids et des jours encore chauds.

TABLEAU XXI

Instabilité de la température. — Moyennes mensuelles.

	J	F	M	A	M	J	
Briançon :							
— maxima	2°60	2°69	2°20	2°73	2°80	2°63	
— minima	2°34	2°08	2°08	1°58	1°58	1°84	
— moyennes diurnes ...	2°03	1°76	1°67	1°76	1°76	1°80	
Gap :							
— moyennes diurnes ...	1°50	1°30	1°69	1°62	1°50	1°51	
	J	A	S	O	N	D	Année
Briançon :							
— maxima	2°62	2°30	2°79	2°73	2°70	2°65	2°62
— minima	2°02	1°44	2°03	1°44	1°47	2°61	1°87
— moyennes diurnes ...	2°04	1°58	1°92	1°66	1°63	2°11	1°81
Gap :							
— moyennes diurnes ...	1°63	1°41	1°45	1°43	1°53	1°95	1°54

3° La troisième variation de la température est la variation saisonnière. Nous rechercherons d'abord comment varient les maxima et les minima moyens pour n'aborder qu'ensuite la variation des moyennes mensuelles qui constitue à proprement parler le « régime thermique ». La figure 35 indique, pour Barcelonnette et Briançon, d'après BÉNÉVENT (1878-1916), comment varient chaque mois les extrêmes diurnes. Les deux traits pleins figurent les maxima et les minima moyens, leur écart se trouvant exprimer l'amplitude diurne moyenne qui est comme on le voit bien plus



élevée à Barcelonnette qu'à Briançon. Les traits pointillés figurent les maxima et minima absolus moyens⁹, l'écart entre ces traits pointillés et les traits pleins voisins trahissant l'instabilité des maxima et des minima.

Mais ce « régime des extrêmes », pour instructif qu'il soit, doit être complété à son tour par un dépouillement statistique des grands froids et des grandes chaleurs. Les premiers se signalent par des minima inférieurs à -10° (22 par an en moyenne à Briançon). Les *jours sans dégel*, pendant lesquels les maxima diurnes ne remontent pas au-dessus de 0° , sont au nombre de 17. Quant aux *jours de gel* qui caractérisent des froids pouvant être beaucoup moins rigoureux, ils s'établissent aux environs de 170 par an à Barcelonnette et 190 à Briançon ; plus de la moitié de l'année.

TABLEAU XXII

Jours de gel.

	J	F	M	A	M	J	
Gap (1878-88)	27,1	23	18,2	4,4	1,3	0,1	
Barcelonnette (id.)	29	27,2	25,8	13,3	3,5	0,5	
Briançon (1910-14)	30,2	26,4	26	12	3,2	»	
— (1936-39)	31	27	29	21	7	0,7	
	J	A	S	O	N	D	Année
Gap (1878-88)	»	»	»	8	16	26,3	124,7
Barcelonnette (id.)	0,2	»	0,1	15,2	25,5	29,7	170
Briançon (1910-14)	»	»	1,2	5,4	23,8	29,4	157,6 ¹⁰
— (1936-39)	»	»	1,3	15,3	26,7	30,8	189,8

De pareils chiffres n'ont rien de surprenant pour des postes dont les minima moyens sont inférieurs à -6° pour les trois mois d'hiver. Encore l'altitude de Barcelonnette et de Briançon reste-t-elle relativement modérée : sitôt que l'on s'élève dans les hautes vallées la rigueur de l'hiver devient implacable. Au Moné-

⁹ Moyenne des maxima (et minima) absolus des mois de janvier 1900, janvier 1901, janvier 1902, etc...

¹⁰ Le chiffre donné par BÉNÉVENT pour Briançon pèche certainement par défaut : nous savons déjà que le thermomètre était placé avant 1914 de façon défectueuse et la période 1910-1914 s'avère de plus partout comme anormalement chaude. Notre prédécesseur estimait déjà que les fréquences de gel données par lui devaient être insuffisantes de quelque 15 %, ce qui nous amène à estimer à 190 environ la fréquence annuelle normale des jours de gel à Briançon.

tier, qui n'est certes pas un des sites les plus défavorisés, la moyenne des minima absolus approche de -20° pour janvier et s'abaisse encore à $-17^{\circ}5$ pour février (moyenne 1936-41). La gelée nocturne persistante s'étend jusqu'au 15 avril à Vallouise, jusqu'à la fin de ce mois au Monétier, jusqu'aux premiers jours de mai à Molines et Saint-Véran. Et plus tard encore, les « gelées hors saison » cessent presque de passer pour exceptionnelles : alors que juillet et août n'ont jamais connu de gelées à Briançon, on doit compter normalement sur au moins une nuit de gel pour chacun des mois d'été au-dessus de 1500 mètres.

Quant aux jours très chauds, on peut les caractériser soit par des maxima supérieurs à 30° (3 par an en moyenne à Briançon), soit par des minima supérieurs à 10° (10 par an, moyenne 1936-39). A Barcelonnette, le thermomètre dépasse 30° tous les ans en juillet, presque tous les ans en août, un an sur deux en juin et septembre. Ce sont là des chiffres nettement plus modestes que ceux de Gap où l'on voit le thermomètre grimper à plus de 30° plus de vingt jours en moyenne par an. Avec l'altitude, cette fréquence des jours très chauds continue de diminuer, quoique assez lentement : les maxima absolus de juillet dépassent encore 30° deux ans sur trois au Monétier et à Pelvoux. Il faut sans doute s'approcher de 1800 m. pour voir, dans nos régions, les jours les plus chauds ne jamais atteindre 30° ¹¹.

Ayant ainsi étudié l'allure saisonnière des maxima et des minima — qui sont véritablement les « constituantes » de la température moyenne — nous sommes à même d'étudier les variations de celle-ci. Rappelons toutefois encore que les procédés mêmes de calcul que nous devons employer font que rien n'apparaîtra dans les régimes moyens que l'on n'ait pu observer déjà sur les régimes extrêmes : c'est en partie pour sacrifier à la tradition que nous terminerons ce développement par une étude sommaire de quelques régimes moyens.

La figure 36 construite d'après les données numériques de BÉNÉVENT exprime les régimes thermiques vrais de Briançon et de Barcelonnette. Il s'agit de régimes à tendance continentale très marquée, surtout à Barcelonnette où l'amplitude vraie annuelle approche de 20° ($19^{\circ}9$). Trait continental encore à Barcelonnette qu'une moyenne d'octobre ($6^{\circ}91$) plus basse que celle d'avril ($7^{\circ}21$), alors que c'est l'inverse à Briançon comme à Gap; et le phénomène

¹¹ Maxima maximorum pour la période 1936-1941 : Guillestre : $34^{\circ}5$; Château-Queyras : 32° ; Abriès : $27^{\circ}5$.

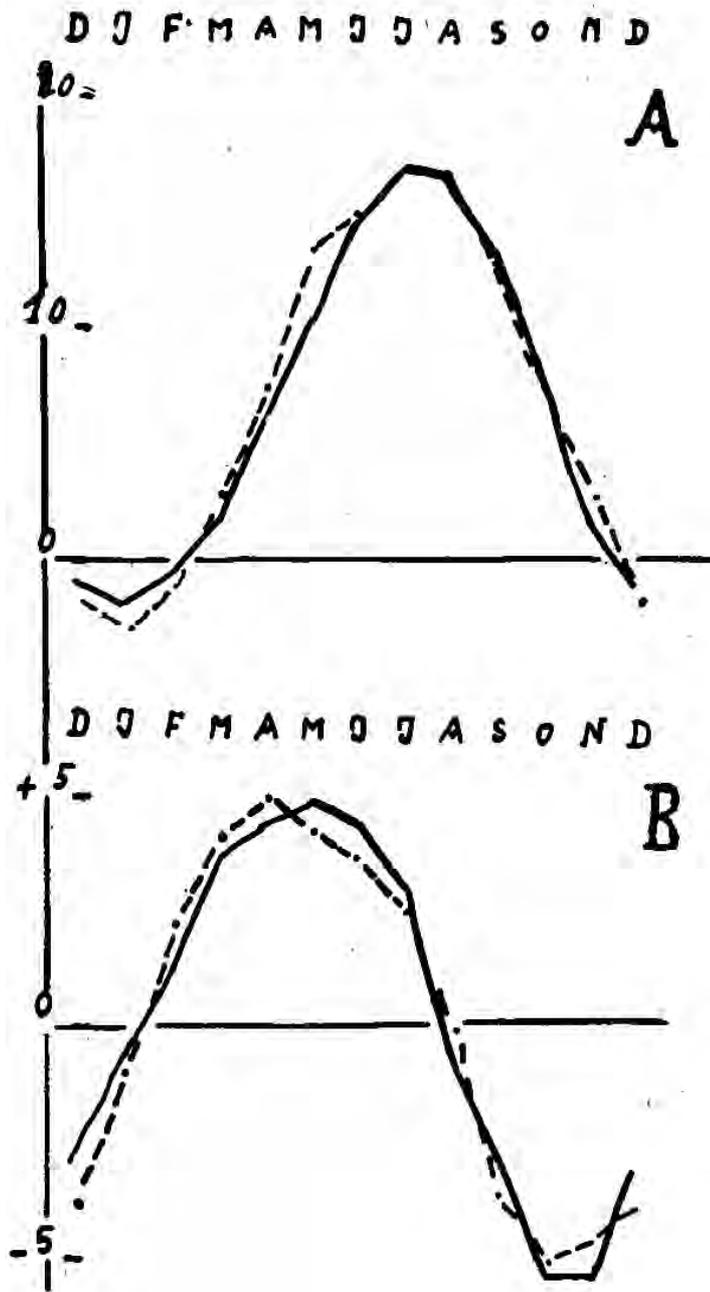


Fig. 36.

A, Régimes thermiques vrais : Barcelonnette (tireté) et Briançon (trait plein) (1878-1916, BÉNÉVENT).

B, Accroissement de la température moyenne d'un mois par rapport à celle du mois précédent (mêmes postes).

TABLEAU XXIII

Températures. — Moyennes mensuelles ¹².

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
Abrès, 1522 m.	-3,7	-0,9	+0,9	3,7	7,8	11,2	12,6	12,3	9,6	5,3	1	-4,7	4,6
Barcelonnette, 1124 m.	-3,4	-1,4	2,3	7,2	11	14,4	16,5	16	12,1	6,9	2	-2,1	6,8
Briançon, 1298 m.	-2,1	-1,1	1,3	5,3	9,9	14	16,9	16,1	12,9	7,3	1,8	-1,2	6,8
Briançon	-2,5	-1,2	0,9	4,4	8,4	12,8	16,5	15,4	11,8	5,6	2,4	-2,6	6
Château-Queyras, 1370 m.	-4	-1,5	1	4,1	8,1	12,6	14,4	14	10,3	4,8	0,4	-5,5	4,9
Ceilac, 1640 m.	-2,4	-0,7	1,1	3,9	7,7	12,9	15,1	14,2	9,7	5,9	2,7	-2,3	5,7
Embrun, 850 m.	-1,8	0,8	3,4	7,1	10,5	14,4	16,6	15,8	12,9	7,9	3,3	-2	7,2
Freissinières, 1160 m.	-0,8	1,3	3,5	7	11	15,1	16,3	16,1	12,4	7,5	3,5	-1,5	7,6
Guillestre, 1000 m.	-0,6	1,5	4,5	7,8	11,7	16,4	18,3	18	14,4	8,3	4,4	-1,1	8,6
Monétier, 1480 m.	-2,7	-1,8	0,2	3	7,1	11,4	13,6	13,5	10	4,9	1	-3,8	4,7
Vars, 1580 m.	-3,2	-2,3	-0,5	2,1	5,8	11,1	13,1	12,4	8,8	3,7	0,4	-4,6	4,6

¹² Les moyennes 1936-1941 ont subi l'effet d'un hiver anormal (1940-1941) qui débuta très brutalement pour s'atténuer dès janvier, ce qui eut pour résultat d'avancer partout les minima en décembre. Une telle anomalie n'est point d'ailleurs d'une rareté extrême; il semble bien que dans nos régions décembre soit, une année peut-être sur cinq, effectivement plus froid que janvier. On ne s'attardera pas par ailleurs à noter que les chiffres récents de Briançon semblent dénoter un refroidissement par rapport à ceux de BÉNÉVENT : on en connaît la raison. Les chiffres de Freissinières - Pallons semblent également trop forts pour l'altitude.

serait certainement plus marqué si la fonte des neiges, par l'énergie solaire qu'elle absorbe, ne venait retarder la montée du thermomètre au printemps. Sur la même figure nous avons porté l'accroissement de la température par rapport à la moyenne du mois précédent : on y voit souligné, mieux que sur le graphique du régime proprement dit, que cet accroissement mensuel est maximum pour Barcelonnette dès avril (7°21 contre 2°34 pour mars, soit un accroissement de 4°87) tandis qu'il ne culmine qu'en mai à Briançon (9°96 contre 5°31 en avril : accroissement de 4°65). Quant à la chute de la température mensuelle, elle dépasse 5° entre septembre et octobre tant à Briançon qu'à Barcelonnette (5°54 et 5°17). On voit que le refroidissement de l'automne est partout plus rapide que l'échauffement printanier. Voici d'ailleurs les chiffres détaillés (voir tableau XXIII).

Une correction adéquate appliquée mois par mois aux chiffres ci-dessus permet le calcul des températures « réduites au niveau de la mer ». Le tableau ci-dessous (tableau XXIV) indique que tout le bassin supérieur de la Durance possède des températures ramenées au niveau de la mer voisines de +1° en janvier et de 22° à 23° en juillet. L'amplitude de ces valeurs réduites atteint ainsi des valeurs nettement continentales.

TABLEAU XXIV

	Altit. m.		Températures vraies				Températures réduites			
			Jv	Jt	Amp.	M	Jv	Jt	Amp.	M
Barcelonnette	1134	1878-1916	-3,3	16,5	19,9	6,8	1,2	23,5	22,3	13
Roche-la-Croix	1900	id.	-6,6	10,7	17,3	1,2	1	22,3	21,3	11,6
Virayse Bqu.	2520	id.	-8,7	9,3	18	-1,1	1,4	24,7	23,3	12,8
Embrun	850	1933-41	-2	16,6	18,7	7,2	1,3	21,8	20,4	12,3
Aiguilles	1460	1878-1916	-4,9	14,8	19,7	4,5	0,9	23,7	22,8	12,5
Briançon	1300	id.	-2,1	16,9	19	6,7	3,1	24,8	21,7	13,9
Monétier	1471	1936-41	-3,8	13,6	17,4	4,7	1,4	22,6	21,2	13,6
Fort de l'Olive	2250	1878-1916	-8,2	10,2	18,4	0	0,8	23,9	23,1	12,4

Il n'y a pas lieu, croyons-nous, de s'attarder au commentaire de ces chiffres. L'intérêt des températures réduites est de permettre la construction d'isothermes : notre région n'est ni assez étendue, ni assez riche en observations pour qu'on puisse y songer. La seule impression d'ensemble qu'on puisse garder est que partout, en Briançonnais comme en Embrunais ou en Ubaye, la moyenne annuelle s'abaisse à 0° pour une altitude de 2200-2300 m. On sait

que ce n'est guère moins haut que s'établit l'altitude moyenne de nos vallées : c'est donc sur près de la moitié de leur surface que sévissent des températures annuelles de type polaire.

4° Il convient de signaler en dernier lieu les variations importantes que la température est susceptible de subir d'une année à l'autre. Le tableau XXV indique, pour Barcelonnette et Embrun, les moyennes mensuelles et annuelles les plus fortes et les plus faibles observées au cours de la période considérée : leur différence exprime la *variabilité*¹³. On voit que c'est février qui offre partout la plus forte variabilité : quelquefois glacial, plus froid même que janvier, il est certaines années au contraire déjà printanier.

TABLEAU XXV

Variabilité mensuelle.

Barcelonnette 1898-1913 :													
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
A.	0,4	2,4	5,3	12,3	15,1	16,8	20,2	19,7	15,6	11	6,3	0,8	8,97
B.	-5,8	-6,1	-0,8	6	9,8	13,5	15,5	14,6	10,3	5,3	0,1	-5,3	7,29
V.	6,2	8,5	6,1	6,3	5,3	3,3	4,7	5,1	5,3	5,7	6,2	6,1	1,68
Embrun 1933-41 :													
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
A.	0,5	4,5	5,7	10,1	13,5	16,8	18,6	19,3	15,2	10,1	6,7	0,4	9,4
B.	-5	-2,6	0,6	4,7	7,9	12,2	14,4	13,9	10,8	6,3	1,8	-4,3	6,3
V.	5,5	7,1	5,1	5,4	5,6	4,6	4,2	5,4	4,4	3,8	4,9	4,7	3,1

(A = moyenne la plus élevée et B = moyenne la plus basse de la période considérée.
V = variabilité du mois.)

Il est significatif que l'écart entre les moyennes annuelles extrêmes soit beaucoup plus faible qu'entre les moyennes mensuelles. Cela signifie qu'on peut difficilement parler d'« années chaudes » ou d'« années froides ». Le plus souvent les anomalies de température ne s'établissent guère que sur une ou deux saisons avant de s'inverser : à un été chaud succédera plus normalement un hiver froid qu'un hiver tiède. On comprend que par le jeu de ces compensations l'instabilité annuelle reste très inférieure à l'instabilité mensuelle. Cette remarque doit nous inciter à renoncer

¹³ Une forte *instabilité* mensuelle exprime que le mois considéré voit voisiner des jours très chauds et des jours très froids. Une forte *variabilité* signifie que d'une année à l'autre ce mois est susceptible d'être tantôt chaud, tantôt froid. Il importe de bien distinguer ces deux processus très différents de la dispersion des mesures diurnes par rapport aux moyennes mensuelles.

d'emblée aux recherches concernant les variations de température à longue périodicité (celles qui pourraient être liées, par exemple, aux taches solaires). Notre documentation serait d'ailleurs très insuffisante pour des recherches de cette nature.

B. Les réalités thermiques. L'insolation et ses effets.

On a remarqué depuis longtemps que le thermomètre sous abri — dont nous avons jusqu'ici utilisé exclusivement les mesures — ne constituait encore qu'un instrument très imparfait d'investigation thermique de l'atmosphère. La température de l'air *au repos* et à l'ombre mesurée en effet par cet appareil reste très conventionnelle : à température égale, l'organisme humain éprouve des sensations très différentes suivant que l'on se trouve exposé au soleil ou à l'ombre, en air agité ou calme. On doit supposer que le soleil et le vent ont également sur la végétation une action spécifique qui échappe aux mesures thermométriques usuelles : on comprend dès lors l'échec partiel auquel s'est heurté BÉNÉVENT, quand, essayant d'opposer les adrets aux ubacs par les seules mesures des températures sous abri (ou des thermomètres-frondes), notre prédécesseur ne trouva qu'un écart thermique de 1°6 entre Méolans et Revel (Ubaye) et de 0°38 seulement entre Risoul et Eygliers (Haut-Embrunais) ¹⁴. Il est évident, pour le moins expérimenté des observateurs, que ces chiffres, le second surtout, ne traduisent que très insuffisamment l'opposition thermique des deux versants.

Pour mieux souligner cette influence spécifique de l'insolation ou du vent nous avons eu recours à l'usage du *catathermomètre*. On sait que cet appareil fort simple n'est rien d'autre qu'un thermomètre dont le réservoir a été noirci. Chauffé à 45° il est ensuite exposé soit aux rayons du soleil, soit au vent ¹⁵ tandis que l'on compte le nombre de secondes que le thermomètre met à descendre de 45° à 35°. On constate que pour une même température ambiante les durées de refroidissement peuvent être très différentes : c'est ainsi que pour une température ambiante de + 3° les durées de refroidissement observées ont varié de 7 secondes à 22 secondes. Cela signifie que l'énergie calorifique nécessaire au maintien à une température voisine de 40° d'un corps plongé dans de l'air à + 3°, varie du simple au triple selon que ce corps se trouve par ailleurs soumis ou non à la radiation solaire ou au brassage de l'air. Voilà qui souligne l'insuffisance en géographie biologique de la notion usuelle de température.

Pour donner une signification approchée, mais concrète, aux mesures catathermométriques nous avons imaginé d'étalonner l'instrument à l'ombre et en air calme.

¹⁴ BÉNÉVENT (104, p. 105). Il s'agit de moyennes mensuelles.

¹⁵ Le procédé le plus pratique pour chauffer l'instrument est de plonger le réservoir dans de l'eau chaude. Mais il est essentiel de l'essuyer rapidement et complètement, faute de quoi l'évaporation à la surface du réservoir accroîtrait la vitesse du refroidissement qui deviendrait de plus fonction de l'état hydrométrique de l'air ambiant.

On dresse à cet effet (fig. 37) un graphique portant en abscisses les températures de l'air et en ordonnées les durées de refroidissement correspondantes. Une telle courbe définit pour chaque durée de refroidissement mesurée ce que nous appellerons la « température virtuelle » : c'est la température qui serait nécessaire pour provoquer, sous abri, un refroidissement de même durée que le refroidissement observé. Deux exemples préciseront le sens très simple de ce langage : l'instrument que nous avons utilisé descendait de 45° à 35° en 30 sec., en air calme et à l'ombre, pour une température ambiante de + 11°. Mais le 29 décembre 1943, à 13 h., le catathermomètre placé en plein soleil mettait cette même durée de 30 sec. à descendre l'intervalle 45° - 35° cependant que la température sous abri n'était que de + 5°. C'est-à-dire qu'un corps exposé ce jour-là au soleil dans de l'air à + 5° se trouvait placé en réalité dans les mêmes conditions thermiques qu'un autre corps placé à l'ombre dans de l'air calme à + 11°. Nous dirons que la *température virtuelle* au soleil était de 11°, la différence $11° - 5° = 6°$ pouvant servir à exprimer grossièrement l'influence bienfaisante du soleil ce jour-là sur la thermorégulation biologique. — Voici maintenant le cas inverse d'une *température virtuelle* considérablement abaissée par le vent : le 5 janvier 1944 le catathermomètre, placé dans un vent violent au débouché de la vallée de la Guisane, s'abaissait en 7 sec. seulement de 45° à 35°. La température ambiante était de - 3°. Or il aurait fallu, si l'on se fie à l'extrapolation de notre courbe d'étalonnage, une température égale, si ce n'est inférieure, à - 20° pour produire en air calme un refroidissement aussi rapide de l'instrument. Tout se passe ainsi comme si une température de - 3° par grand vent semblait assimilable, en ce qui concerne la thermorégulation biologique, à une température de - 20° en air complètement calme. Nous dirons que la *température virtuelle* était, lors de cette expérience, de - 20°, la différence $- 3° - 20° = 17°$ pouvant être retenue pour exprimer grossièrement l'influence néfaste du vent.

Les quelques dizaines d'expériences de cette nature que nous avons pu effectuer nous ont permis d'évaluer que la « température virtuelle » était en moyenne à Briançon, au soleil, supérieure de 6° à la température réelle à l'ombre¹⁶ tandis qu'elle s'abaissait en moyenne, les jours de vent, d'une dizaine de degrés par rapport à la température réelle mesurée sous abri. Par ailleurs, l'emploi du catathermomètre apporte une aide précieuse à l'étude des phénomènes thermiques qui accompagnent le lever et le coucher du soleil : nous avons souvent vu à Briançon, en une heure d'intervalle, la « température virtuelle » s'abaisser de 10° à 12° à la fin d'une belle journée. Or ce refroidissement vespéral, que ne soulignent pas les mesures usuelles du thermomètre sous abri, est un des traits les plus originaux du climat de montagne.

Le phénomène même du refroidissement d'un corps soumis aux différents agents atmosphériques est beaucoup trop complexe et variable pour qu'on puisse ici pousser plus loin cette analyse : le catathermomètre ne peut guère être pour le géographe autre chose qu'un instrument de sondage. Mais ces sondages, en nous révélant au moins qualitativement les deux facteurs principaux du refroidissement, nous ont montré tout l'intérêt qui s'attache, surtout en montagne, à compléter les indications thermométriques usuelles par l'examen de l'insolation et du brassage atmosphérique.

¹⁶ Ce chiffre doit être supérieur à celui que l'on obtiendrait en plaine : quelques expériences de comparaison nous ont donné à Saint-Germain-du-Val (Sarthe) des températures virtuelles au soleil supérieures en moyenne de 3° seulement aux températures à l'ombre. Ces résultats confirmeraient, s'il en était besoin, l'action dominante du soleil en montagne. On comprend mieux alors que l'exposition joue dans nos hautes vallées un rôle qu'elle n'a pas plus bas.

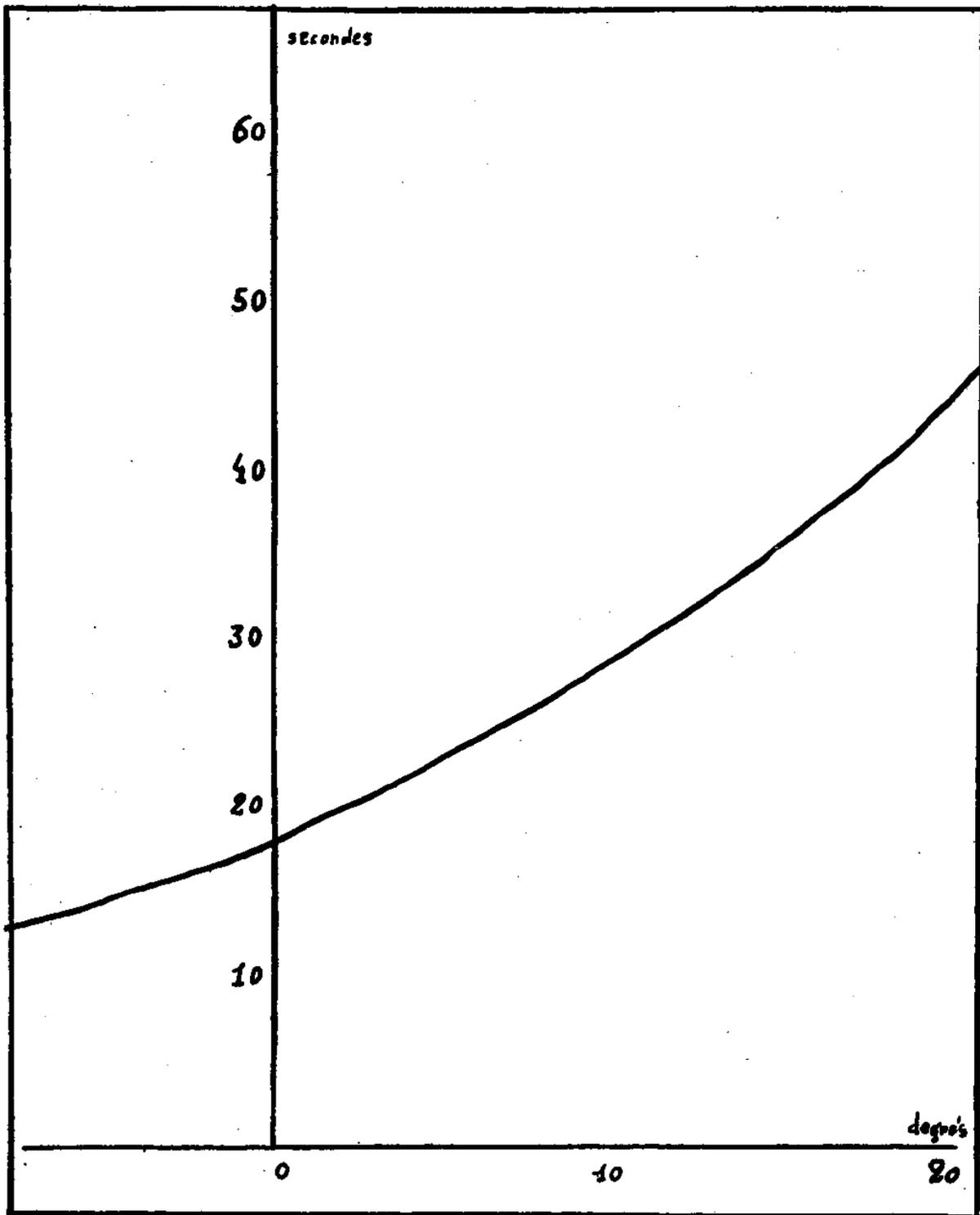


Fig. 37. — Courbe d'étalonnage d'un catathermomètre.

Axe horizontal : température ambiante en degrés centigrades à l'ombre.

Axe vertical : durée moyenne du refroidissement en secondes.

L'insolation théorique. — L'énergie solaire peut se mesurer, comme on le sait, d'une façon directe par l'emploi des actinomètres. Ces appareils mesurent le nombre de calories reçues en une minute par une surface de 1 cm² placée perpendiculairement aux radiations. Des calculs appropriés permettent d'en déduire l'énergie reçue par une surface horizontale pour une hauteur donnée du soleil au-dessus de l'horizon. Il s'agit malheureusement là de mesures délicates, effectuées à de rares occasions par de seuls spécialistes : nous en retiendrons seulement que Briançon semble détenir le record de France de la radiation solaire : le 25 juillet 1926 à 11 h. 42, cette radiation aurait atteint 1,426 cal/min/cm², la seconde valeur connue ayant été atteinte à Cavalaire (Var) avec 1,381 cal/min/cm²¹⁷. Il y a dans cette supériorité du Briançonnais sur la côte méditerranéenne elle-même, en ce qui concerne l'intensité de l'énergie solaire, une indication évidemment précieuse pour le géographe.

Mais celui-ci s'intéressera plus encore aux valeurs très variables qu'imposent à la *durée* de l'insolation les conditions locales du relief. PEUCKERT a le premier abordé ce problème de l'ombre portée des montagnes dont PERS a donné depuis une solution exhaustive¹⁸. Nous résumerons ici, d'après la seconde de ces méthodes, les données relatives à l'insolation de cinq points du bassin supérieur de la Durance. L'inconvénient majeur d'une étude de cette sorte est d'être en effet essentiellement discontinue : qu'on la déduise de constructions graphiques effectuées sur des cartes précises ou qu'on l'évalue photographiquement, comme l'a imaginé PERS avec une sagace ingéniosité, la durée de l'insolation reste une donnée toute locale qu'un déplacement de quelques centaines de mètres suffit quelquefois à modifier du tout au tout. Mais ne serait-ce que pour mieux souligner la variabilité locale du climat de montagne, il nous a paru essentiel de mesurer les données d'insolation de quelques points judicieusement choisis.

¹⁷ D'après NOGIER. *L'Avenir médical*, déc. 1926, p. 230. Il s'agit de mesures faites à l'actinomètre de Michelson. Pour comparaison : à Davos (1600 m.) la moyenne des maxima de juillet s'élèverait à 1,51 (PIÉRY, *Traité de climatologie biologique et médicale*, p. 170 sqq.).

¹⁸ PEUCKERT. *Der Bergschatten. Die Einschränkung solarklimatologischer Faktoren durch ein Bergprofil und ihre graphische Ermittlung*. Verh 12 D. Geographentages Iena, 1897, p. 226-252.

R. PERS. Influence des obstacles, montagnes ou bâtiments, sur la durée possible d'insolation. *Compte-rendu du Congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences*, 1933, p. 212, et surtout :

R. PERS (113). Cet ouvrage contient une bibliographie exhaustive de la question.

Pour chacun de ces sites nous avons construit d'abord un tour d'horizon panoramique en projection cylindrique d'axe vertical. Ce tour d'horizon a été ensuite reporté avec les déformations voulues sur un canevas (fig. 38) formé des lignes d'azimuts égaux et d'égaux hauteurs au-dessus de l'horizon telles qu'elles apparaissent dans les « hélioramas » de Pers. La figure obtenue est donc, sous réserve d'une moins grande rigueur de détails, assimilable à ces derniers. Sur une telle figure, très voisine d'une projection de Lambert sur le plan de l'équateur, la marche apparente du soleil est toujours représentée par un arc de cercle : on en a figuré les trajectoires correspondant aux solstices et aux équinoxes, toute autre trajectoire correspondant à une date quelconque pouvant se construire facilement par repérage d'un de ses points sur le « cercle annuel ». Enfin, les arcs horaires sont tous de 15° ce qui simplifie considérablement la lecture des heures de lever et de coucher.

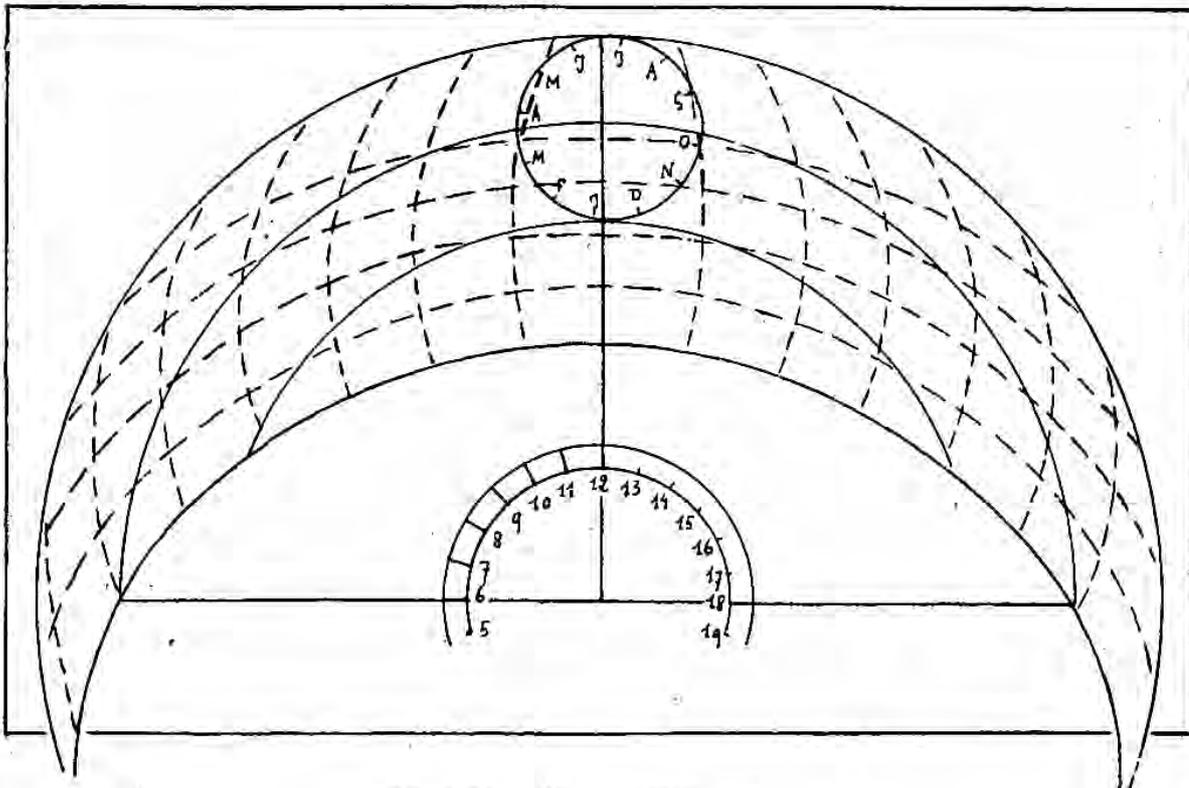


Fig. 38. — Canevas hélioramique.

Voici d'abord les cas d'Eyglers et de Risoul (fig. 39 et 40) qui avaient, comme nous l'avons vu, déjà servi de stations de référence à Bénévent pour l'étude des climats d'adret et d'ubac. Eyglers reçoit en plein hiver 7 h. 40 encore de soleil, de 8 h. 30 à 16 h. 10 environ. Cet ensoleillement prolongé provient de ce que le soleil s'enlève dans le creux du Rif-Bel pour plonger le soir, au Sud-Est, dans la vallée de la Durance vers Châteauroux. De l'hiver au printemps le gain de l'insolation reste assez limité le soir — moins d'une heure —, le soleil venant buter sur les pentes de Clotinaille et de Fouran: le matin, par contre, elle gagne près de deux heures, le soleil se levant maintenant vers 6 h. 40 dans l'échancrure de Ceillac. De l'équinoxe à l'été, l'inverse se produit : le gain ne dépasse guère une demi-heure le matin, le soleil ayant grand peine à émerger des roides pentes qui bordent au Nord les gorges du Guil; mais le soir, c'est plus d'une heure et demie de gagnée en trois mois quand la trajectoire solaire arrive à coiffer la masse de la Tête de Vautisse.

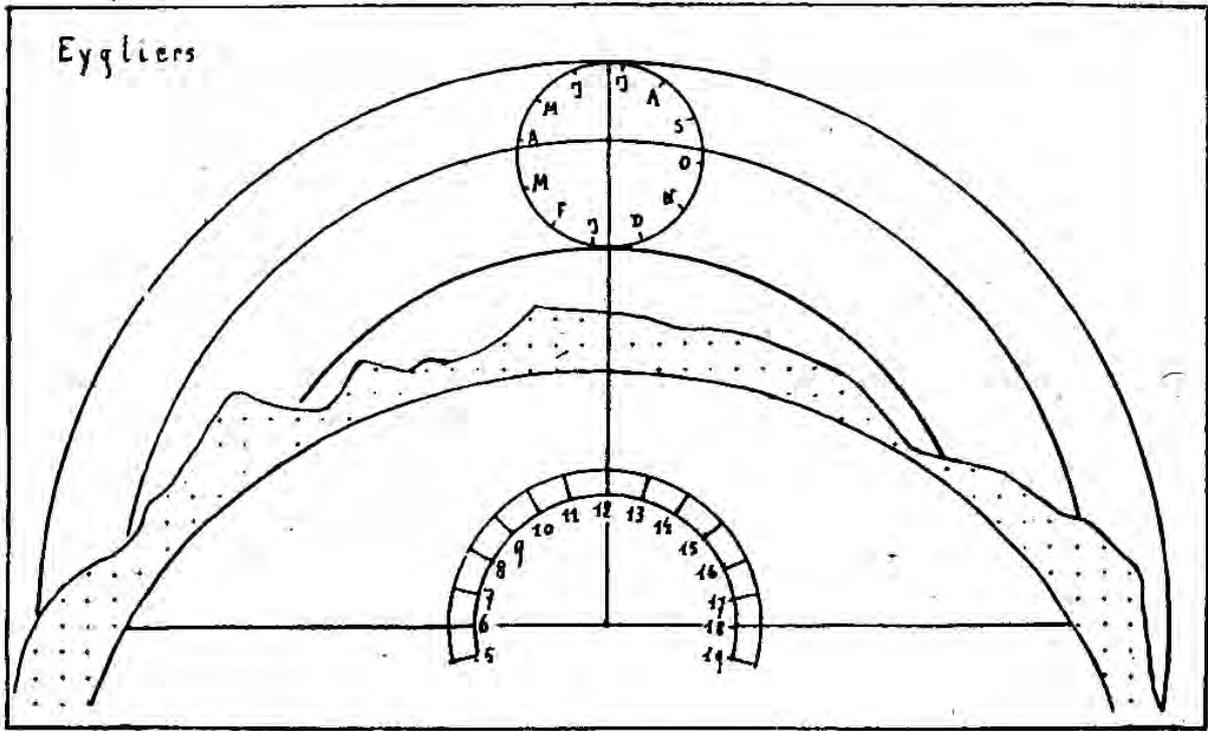


Fig. 39. — Héliorama d'Eygliers.

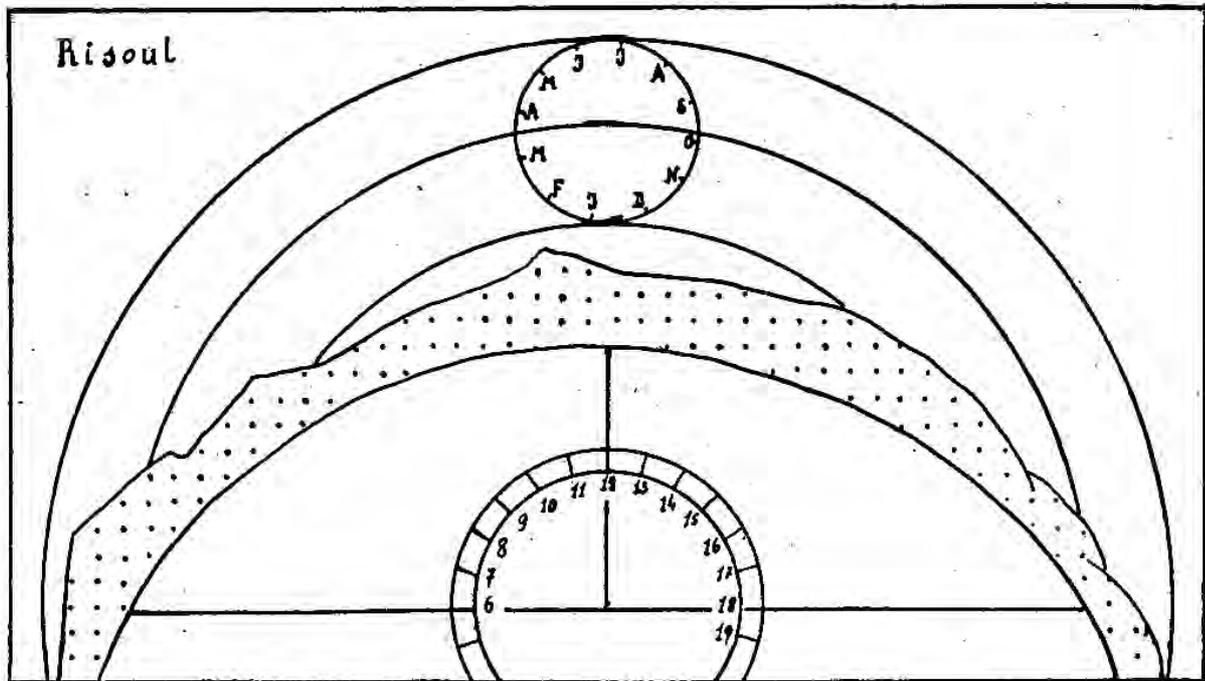


Fig. 40. — Héliorama de Risoul.

En définitive l'insolation s'élève à 10 h. 20 à l'équinoxe et à 12 h. 30 au solstice d'été. A Risoul, la nouvelle position du village par rapport aux vallées de la Durance et du Guil modifie complètement les données du problème : si l'hiver l'insolation de cet ubac est nettement plus brève qu'à Eygliers — 6 heures seulement — dès l'équinoxe l'égalité s'établit pratiquement avec l'adret — 10 heures — et l'été l'avantage passe même à l'ubac avec 13 h. 40 d'insolation au solstice, soit une bonne heure de plus qu'à Eygliers. Ce fait, déjà soupçonné par Bénévent, explique en partie que la moyenne annuelle ne trahisse entre nos deux stations qu'un écart minime de 0°38, la moyenne de juillet étant même un peu plus basse à Eygliers qu'à Risoul.

Bien autrement défavorisé que l'ubac de Risoul va nous apparaître le site des Violins (fig. 41). Il s'agit d'un de ces fonds de vallées très encaissés que le soleil

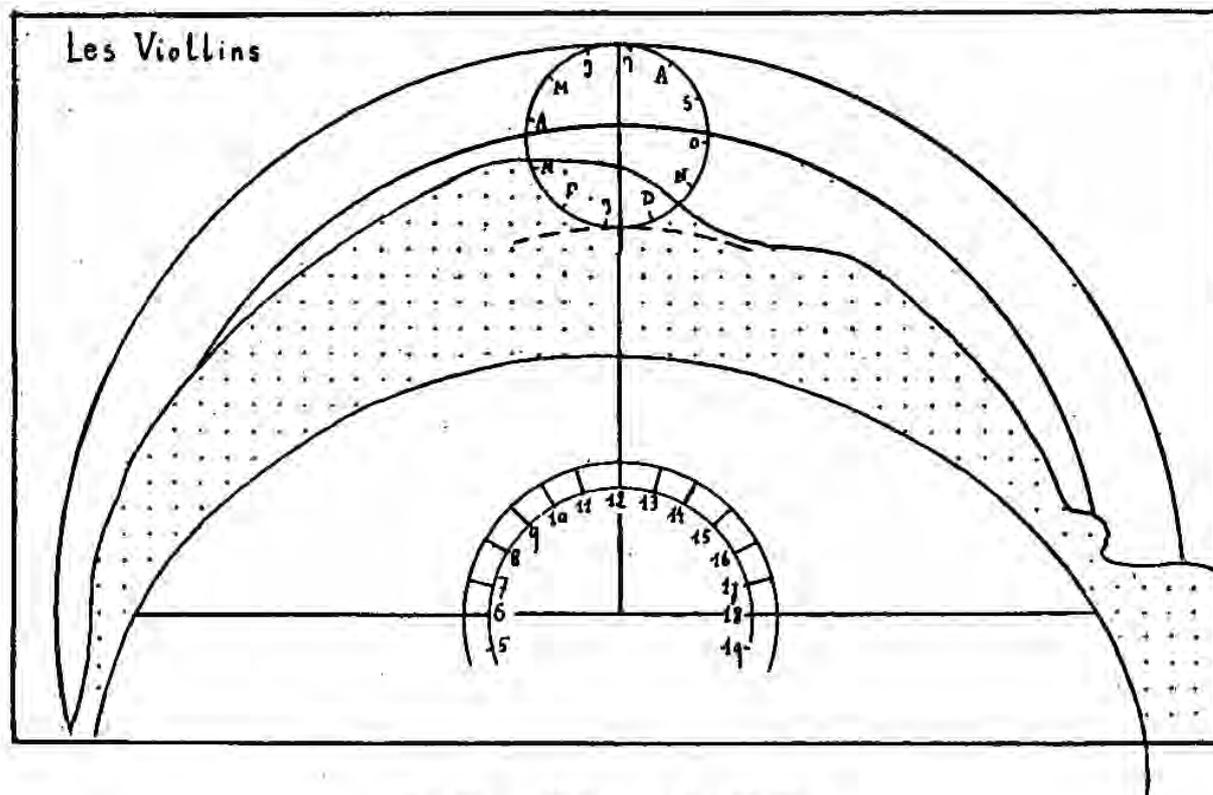


Fig. 41. — Héliorama des Violins.

déserte chaque hiver. La vallée s'oriente Ouest-Est : au Sud les flancs de l'auge s'enlèvent avec une telle raideur dans les épaisses assises du Flysch gréseux que le soleil reste complètement masqué, même à midi, du 20 novembre au 22 janvier¹⁹. Et quand on le voit réapparaître, ce n'est encore que pour effectuer jusqu'à la fin de février une brève apparition d'une heure, puis de deux au début de l'après-midi par la brèche du Riou de Laval. Puis brusquement, en quelques jours, la trajectoire

¹⁹ Méolans, en Ubaye, droit à l'ubac des Séolanes, constitue un site plus connu d'ombre portée permanente hivernale. Malheureusement, faute de posséder une carte suffisante pour la section ouest du tour d'horizon (feuille Seyne 1/50.000 non encore publiée), nous n'avons pas pu faire pour ce site une étude complète de l'insolation.

solaire parvient à coiffer toute la masse montagneuse : le 20 mars, nous comptons déjà 9 heures entre le lever et le coucher du soleil. Cette insolation équinoxiale est ici grandement favorisée par l'orientation Ouest-Est de la vallée. Mais de là à l'été le gain est à nouveau faible, la raideur des versants jouant cette fois de nouveau contre l'insolation, principalement l'après-midi où le soleil, venant buter contre l'arête rectiligne de Dormillouse, disparaît le 21 juin moins d'une heure plus tard que le 21 mars.

Deux sites remarquables d'habitat nous ont encore tenté pour une analyse de cette nature : Saint-Véran et Briançon (fig. 42 et 43). Le premier est un adret déjà élevé (2000 à 2050 m.), au cœur des montagnes puissamment aérées des schistes lustrés. L'insolation n'y tombe jamais au-dessous de 7 heures l'hiver. Peu importe que celle de l'été (12 h. 30) ne soit point exceptionnelle : nous comprendrons dans

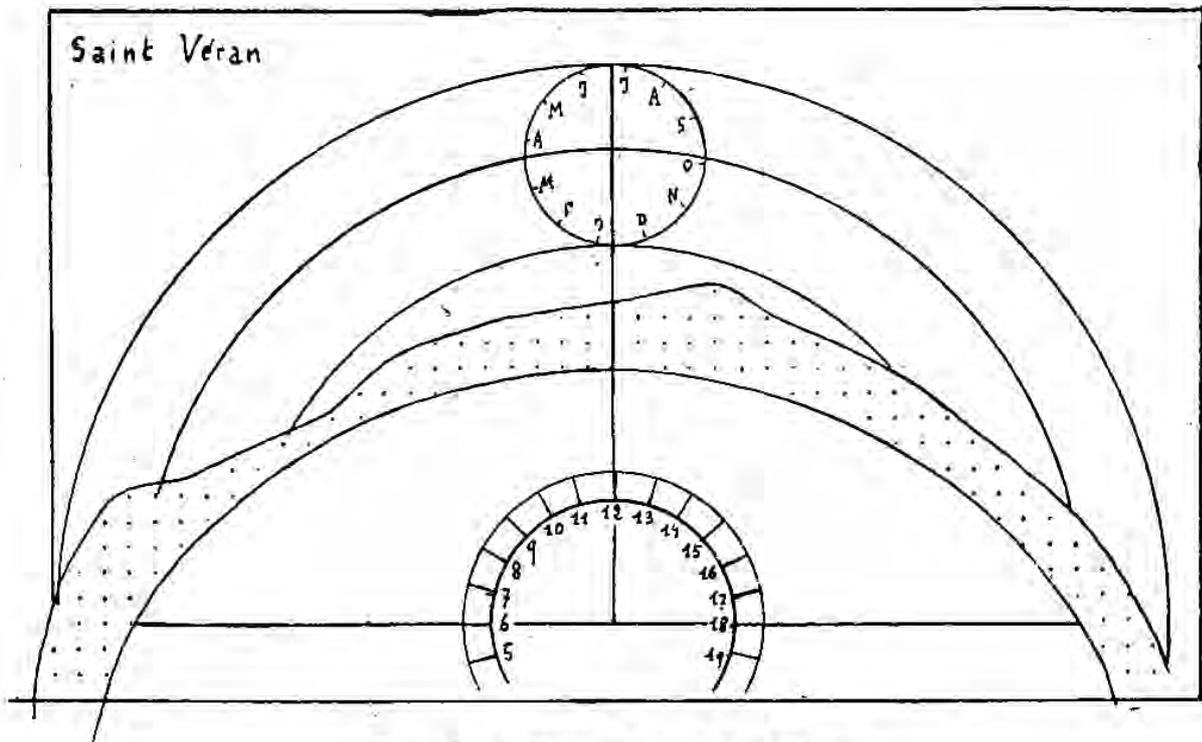


Fig. 42. — Héliorama de Saint-Véran.

un moment pourquoi les conditions favorables de l'insolation hivernale suffisent à expliquer l'existence d'un site d'habitat permanent légitimement célèbre. Briançon enfin montre lui aussi plus de 7 heures d'insolation en plein hiver, plus de 10 aux équinoxes, plus de 13 en été. Cette énorme insolation estivale est une caractéristique remarquable du climat de Briançon : elle s'explique (comme à Risoul) par l'étoilement des vallées, le soir surtout, de la fin mai à août, quand la trajectoire solaire « coiffe » le Prorel pour aller plonger, loin vers le Nord, dans la vallée de la Guisane ²⁰.

²⁰ Les durées d'insolation que nous donnons pour Briançon sont celles du Fort du Château, tout au sommet de la Ville-Haute. L'insolation se trouve être sensiblement plus brève à Sainte-Catherine.

Ces résultats, quelque intéressants qu'ils soient, encourent un grave reproche : celui de mesurer en heures — c'est-à-dire en unités de temps — le phénomène énergétique qu'est l'insolation. Or les effets physiques d'une heure d'insolation sont évidemment très différents selon que le soleil est bas sur l'horizon ou déjà proche du zénith : il n'est donc pas rationnel de les additionner pour exprimer la durée totale de l'insolation diurne. De plus l'évaluation même très approchée de l'énergie solaire reçue par la surface du sol suppose que l'on fasse intervenir la pente de cette surface : l'ensemble des conditions géographiques qui opposent l'adret à l'ubac dépend plus encore en effet des conditions locales de l'exposition que des conditions panoramiques de l'insolation ²¹.

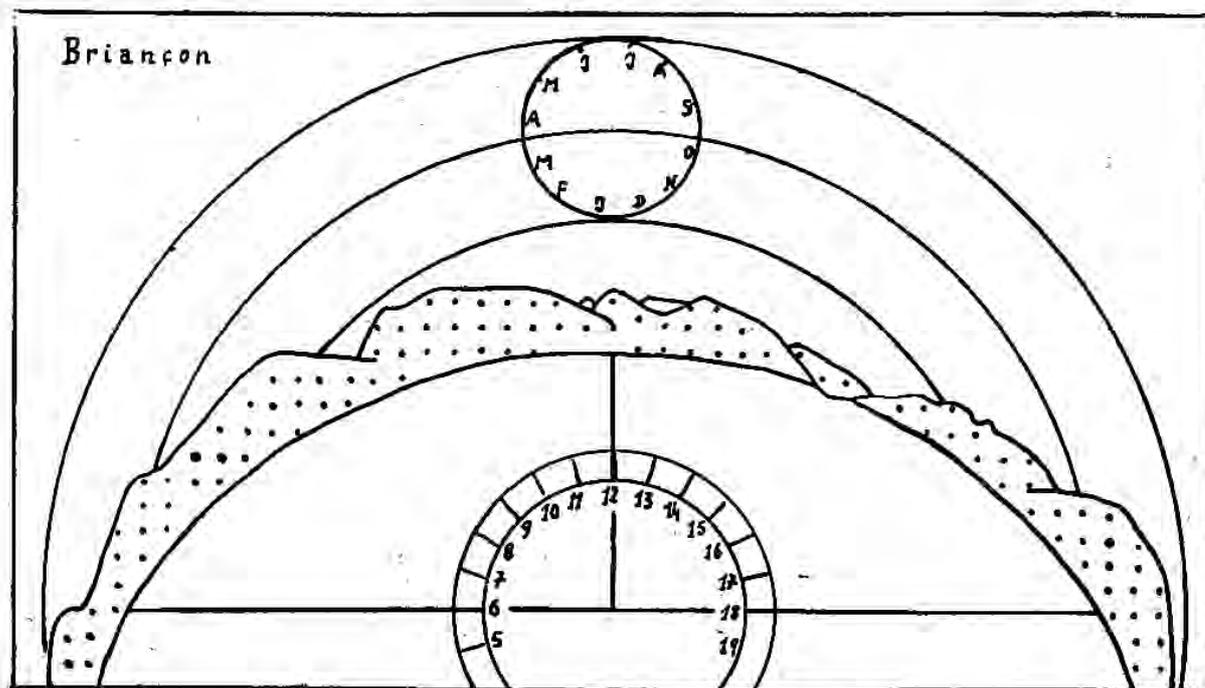


Fig. 43. — Héliorama de Briançon.

Aussi apparaît-il nécessaire de compléter l'étude des « durées d'insolation » par le calcul de l'énergie théorique maxima que peut recevoir chaque jour 1 cm² du sol dans quelques sites d'observation, compte tenu à la fois de l'écran panoramique et de la pente, mais en supposant une nébulosité nulle. Le tableau XXVI qui donne ces indications a pu être construit facilement grâce aux « héliocycles » de Pers ²². Aux sites déjà étudiés nous avons ajouté celui des Meyriès (commune de Château-Ville-Vieille), cas particulièrement remarquable d'un adret franc, orienté plein Sud.

²¹ Nous savons déjà que l'été l'ubac est souvent plus longtemps ensoleillé que l'adret : il n'en reste pas moins visiblement l'ubac. P. VEYRET (11, p. 249) avait déjà souligné à juste titre l'importance « de l'angle que la pente du sol fait avec les rayons du soleil et surtout avec les plus efficaces, les rayons méridiens », mais notre prédécesseur n'a point tiré tout le parti possible de cette remarque judicieuse.

²² R. PERS (113) et en outre : Calcul du flux d'insolation sur une surface ou une pente. *La Météo*, oct. 1935, p. 430.

TABLEAU XXVI

		A	B	C		Flux solaire diurne théorique
Les Viollins	SE.	0	390	690	cal/cm ²	
St-Véran, Eygliers, Briançon ..	SO.	200	450	680	—	A = solstice d'hiver.
Briançon	horizont.	90	370	720	—	B = équinoxes.
Les Meyriès	S.	250	560	720	—	C = solstice d'été.

Ces calculs, qui peuvent paraître vains au profane, ont le grand mérite de préciser numériquement deux faits dont on n'avait guère, il y a dix ans à peine, qu'une connaissance très incomplète : l'un est que l'énergie solaire reçue en un point est au moins le triple et en moyenne 8 fois plus grande l'été que l'hiver. L'autre est que cette énergie varie considérablement l'hiver d'un point à un autre tandis qu'elle tend au contraire à s'égaliser l'été. On comprend que ce soit en fonction de l'insolation hivernale que s'établissent les sites d'habitat humain.

L'insolation réelle. La nébulosité. — Tous les chiffres précédents sont des « maxima théoriques » correspondant à une nébulosité nulle. Il serait infiniment préférable de pouvoir calculer le flux solaire réel en tenant compte de la nébulosité ou des heures d'insolation réelles mesurées avec un héliographe. Les observations de cette nature vont malheureusement se révéler insuffisantes. BÉNÉVENT résume en un tableau la nébulosité moyenne saisonnière pour Briançon²³. Nous avons nous-même calculé les moyennes mensuelles de l'insolation réelle pour ce même poste au cours des années 1934-38 (tableau XXVII). La figure 44 en montre la variation ainsi que le rapport qui s'en établit avec l'insolation théorique maxima²⁴. Si nous multiplions les flux solaires maxima théoriques

²³ Hiver : 5,5; — printemps : 6,4; — été : 5,8; — automne : 5,9. Noter que le minimum absolu d'hiver trahit des influences continentales : nous ne sommes pas loin des Alpes du Nord.

²⁴ L'idéal serait de connaître évidemment la variation diurne de la nébulosité : que l'apparition du soleil soit en effet retardée de deux heures par un nuage coiffant les massifs frontaliers ou que l'insolation méridienne soit brutalement interrompue pour cette même durée de deux heures par un écran nuageux, ne revient nullement au même : la perte de calories est beaucoup plus grande dans le second cas. Malheureusement, aucune donnée ne permet de serrer d'aussi près la réalité. Si l'on tient à combiner quand même, comme nous l'avons tenté ci-dessus, l'action topographique de l'écran panoramique avec l'action atmosphérique des écrans nuageux pour se faire une idée synthétique de la variation saisonnière du flux solaire, on doit se résigner à prendre pour hypothèse que la nébulosité reste grossièrement égale à elle-même à toutes les heures du jour.

TABLEAU XXVII

Briançon (1934-38).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Insolation maxima théorique	7,1	7,8	8,8	10,8	11,9	12,6	12,4	11,3	9,5	8	7,1	6,8
Insolation réelle moyenne	3,7	5,1	4,5	6	6,1	7,8	8,4	7,5	5,7	4,5	3,7	3
Rapport d'insolation	0,52	0,65	0,51	0,55	0,51	0,62	0,68	0,66	0,60	0,56	0,5	0,44
Flux solaire réel quotidien :												
a) plan horizontal	65	137	173	200	305	440	450	345	240	157	95	44
b) versant 30° SO	125	215	220	285	305	420	430	360	285	225	155	97

N. B. — Insulations mesurées en heures et dixièmes. — Flux solaire quotidien en calories-gr. par cm².

du tableau XXVI par ce rapport des heures d'insolations effectives à celles de l'insolation maxima théorique, nous obtiendrons une bonne évaluation du flux réel moyen frappant une surface donnée. Le tableau XXVII donne les valeurs moyennes mensuelles de cette évaluation pour Briançon (1934-38). Nous avons distingué comme plus haut le cas d'une surface horizontale et celui d'une surface inclinée à 30° vers le SO., ce qui correspond à peu près à l'adret de la basse Guisane.

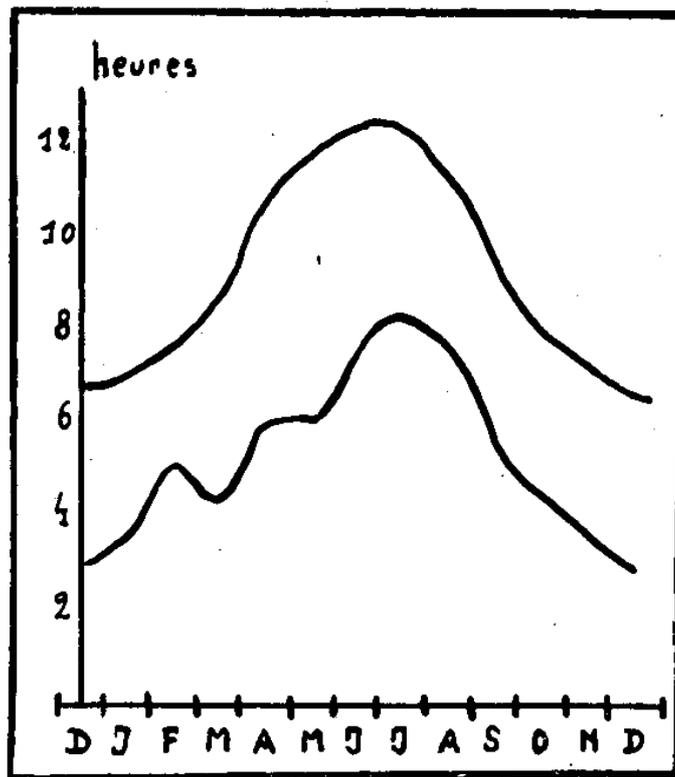


Fig. 44. — Insolation théorique et insolation réelle.
Briançon. Moyennes mensuelles 1934-1938.

Ces chiffres pèchent certainement par défaut : les nuages, bien loin de pouvoir être assimilés à un écran opaque, laissent filtrer de l'énergie thermique, voire même en diffusent. Mais ce facteur d'erreur ne semble pas devoir varier selon les saisons ni selon l'exposition. La marge d'incertitude qui subsiste donc dans l'évaluation du phénomène ne porte en rien préjudice aux conclusions que nous pourrions en tirer relativement aux contrastes locaux ou saisonniers de l'énergie solaire reçue par un versant topographique.

Les effets thermiques du brassage de l'air. — L'étude des phénomènes thermiques complexes resterait incomplète si on n'évoquait à nouveau les effets du vent. C'est d'abord l'agent le plus actif de la variation de la température : on a vu à Briançon du 8 au 9 avril 1912 la température s'abaisser de 12°8 en 24 heures sous l'effet d'un coup de vent du Nord. Plus rarement, la Lombarde peut s'accompagner d'un effet de foehn : le 7 février 1912 la température de Briançon dépassait de 0°2 celle de Turin alors que,

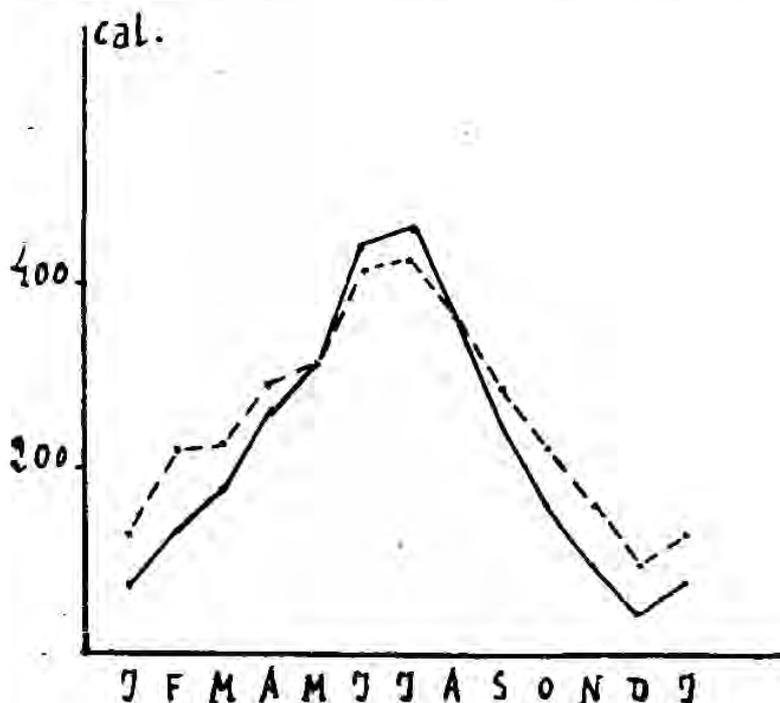


Fig. 45. — Variation saisonnière du flux réel.
Nombre de calories reçues effectivement en moyenne par jour et par surface de 1 cm² à Briançon (moyennes 1934-1938).

En trait plein : flux sur une surface horizontale.
En tireté : flux sur un adret 30° S.O.

compte tenu de la dénivellation, elle aurait dû y être inférieure de 5°6²⁵. Mais plus encore que par ces effets statiques décelables au thermomètre, le vent agit par le brassage de l'air qui modifie du tout au tout les conditions de la thermorégulation. Plus de 60 jours par an le vent à Briançon semble assurer un brassage de l'air suffi-

²⁵ BÉNÉVENT (104), p. 69.

sant pour faire descendre la température virtuelle lue au catathermomètre de 10° en dessous de la température réelle. Quatre ou cinq jours par an, l'écart doit dépasser 20°. Pour défavorables que paraissent ces conditions, Briançon est cependant bien moins venteux que Gap : l'hiver gapençais, moins long, est en réalité bien plus pénible à supporter que celui de Briançon par suite de la cinglante « bise » qui descend du Bayard... Vers les sommets, la température virtuelle s'abaisse très vite au fur et à mesure que s'accroît le brassage de l'air : à Serre-Chevallier (2480 m.), le 29 janvier 1944 à 14 heures, par un vent assez fort, notre catathermomètre est descendu de 45 à 35° en 7 secondes pour une température ambiante de +3°. A cette température, en air calme, les expériences d'étalonnage donnaient un refroidissement trois fois plus lent (20,5°). C'est donc bien le vent qui est le grand responsable de l'impression de froid ressentie par l'alpiniste sur les sommets.

**

Cette longue analyse nous a montré d'abord comment les températures moyennes devaient être décomposées en leurs éléments constituants de façon à dégager les notions d'amplitude, d'instabilité, de variabilité. Nous avons reconnu ensuite que ces mesures, si nombreuses qu'on les suppose et si sagace qu'on imagine leur commentaire, restaient insuffisantes à caractériser les réalités thermiques concrètes d'un climat : celles-ci dépendent moins en fait de la température à l'ombre que des conditions annexes de l'insolation, de la nébulosité, du brassage de l'air. Il reste à dégager de cette longue discussion de méthode quelques traits géographiques.

Ce sera d'abord le rôle tyrannique du relief, le contraste si souvent décrit, mais incomplètement analysé le plus souvent entre l'adret et l'ubac. Entre les deux, l'écart de température n'atteint guère qu'un degré ; mais l'adret bénéficie d'une insolation souvent plus longue et toujours plus riche en calories. Il est en général à l'abri de la bise qui cingle du Nord : toutes conditions qui lui assurent une « température virtuelle » — lue au catathermomètre ou ressentie par l'organisme — bien plus élevée que celle de l'ubac. Il se trouve plus favorisé même que le fond de la vallée dont la surface horizontale capte moins bien, surtout l'hiver, les radiations solaires et qui se trouve de plus sujet aux inversions de température. Aussi ne faut-il pas s'étonner de voir partout, ou peut s'en faut, un contraste aussi riche être souligné par la végétation et

l'habitat. En basse Ubaye, Méolans s'oppose à sa voisine Revel avec des densités de population de respectivement 3,5 et 9,5 h/km² (1936). En Queyras, c'est au pied des adrets que sont situés tous les villages sans exception et c'est en plein versant que s'accroche Saint-Véran à plus de 2000 m. Pour des raisons d'inertie thermique faciles à deviner (le moment le plus chaud de la journée n'étant pas à midi) c'est vers le SO. que s'orientent les plus beaux adrets : Saint-Véran, Molines, villages de la vallée de la Guisane. Dans les vallées d'orientation Nord-Sud même le versant opposé au couchant est bien plus favorisé que celui que le soleil éclaire dès son lever : les magnifiques vergers de La Roche-de-Rame et de Saint-Crépin occupent de véritables adrets dont l'ubac serait à Champcella. Dans le bassin du Chagne, c'est face à l'Ouest encore que s'étagent les trois hameaux de Vars.

Mais cette tyrannie du relief n'exerce pas également ses rigueurs en toutes les saisons. C'est l'hiver que l'insolation varie le plus d'un point à un autre, en durée comme en énergie : de 0 à 8 heures (le soleil restant complètement caché au solstice pour certains sites) et de 0 à 250 cal/cm²/jour pour les adrets les plus favorisés. C'est l'hiver encore que le vent réservera ses effets les plus nocifs sur ce que nous avons appelé la « température virtuelle ». Par contre, les écarts de température entre le jour et la nuit resteront faibles. L'été, les contrastes thermiques s'établissent d'une façon tout à fait opposée : l'insolation varie peu d'un point à un autre (12 h. 30 à 14 h.). Par un paradoxe qui n'est qu'apparent, l'ubac peut même devenir quelquefois plus ensoleillé et un peu plus chaud (quelques dixièmes de degré) que l'adret. L'opposition normale se rétablit si l'on envisage les flux solaires quotidiens (maxima théoriques de 450 cal/cm²/jour pour l'ubac et de 720 pour l'adret, pour des pentes de 30°), mais le rapport de ces deux flux n'est guère que de 1 à 1,6. Chose plus remarquable, si l'adret reste en été favorisé par rapport à l'ubac, il ne l'est pratiquement plus par rapport à une surface horizontale. Tout se passe comme si l'hiver tendait à exacerber les contrastes thermiques entre les versants, tandis que l'été aurait au contraire pour effet de niveler ceux-ci. Mais par contre, c'est l'été, rappelons-le, que la température se montre, en un même point, la plus capricieuse par suite de la très forte amplitude diurne.

III. — Les précipitations.

A. Les moyennes brutes annuelles. Leur répartition.

L'étude des précipitations, dans l'ouvrage de M. BÉNÉVENT, repose sur les moyennes trentenaires de la période 1881-1910 calculées par notre prédécesseur, en ce qui concerne notre région, pour cinq postes (six en y incluant Embrun) :

TABLEAU XXVIII

	Altitude	1881-1910		Altitude	1881-1910
Aiguilles	1452 m.	990 mm.	Embrun	860 m.	715 mm.
Barcelonnette ..	1134 m.	701 mm.	Lautaret	2058 m.	1261 mm.
Briançon	1300 m.	587 mm.	Montgenèvre ...	1856 m.	837 mm.

Depuis cette date, le nombre des pluviomètres établis dans notre champ d'études s'est élevé à 19, 22 même en y incluant les stations voisines d'Embrun, Seyne et Allos. A cela s'ajoutent encore 5 totalisateurs (dont 4 dans le massif du Pelvoux) et deux postes exclusivement nivométriques donnant des indications sur les seules précipitations d'hiver. Malheureusement, ce luxe d'installations pluviométriques dont le nombre brut a sextuplé depuis BÉNÉVENT n'est guère encore qu'une façade. La plupart des postes récents ne donnent que des indications sporadiques antérieurement à 1930 : à Seyne seulement les observations remontent sans lacunes importantes à 1926. A l'intérieur même de la période décennale 1932-41, la plus homogène, presque tous les postes sont lacunaires pour les derniers mois de 1939 par suite de la mobilisation de leurs observateurs. Chose plus grave, des postes ont été fréquemment supprimés ou déplacés : les observations de Vallouise s'arrêtent ainsi en mai 1936 : le mois suivant, un nouveau poste entrait en fonctionnement à Pelvoux. Enfin, il ne nous est même pas loisible d'extrapoler correctement les indications fournies par ces postes récents

à périodes d'observations trop courtes, faute d'avoir conservé un nombre suffisant de postes de base où les observations auraient été poursuivies de façon indiscutable sur des périodes de très longues durées. Au Lautaret et au Montgenèvre en effet les observations n'ont pas été poursuivies après la guerre de 1914, et cet abandon des deux pluviomètres les plus élevés n'a été qu'imparfaitement compensé par l'établissement, à partir de 1924, de quelques totalisateurs. L'ancien poste militaire d'Aiguilles est maintenant remplacé par celui des Eaux et Forêts d'Abriès. A Briançon même, le pluviomètre a subi des vicissitudes identiques à celles signalées au paragraphe précédent pour le thermomètre. En définitive, des six postes utilisés par BÉNÉVENT, il en reste deux — Barcelonnette et Embrun — donnant des indications comparables pour l'ensemble des deux périodes trentenaires 1881-1910 et 1911-1940. Cela reste assez maigre ²⁶.

Dans le tableau suivant (tableau XXIX), nous nous sommes cependant efforcé de restituer par le calcul les moyennes probables des années 1911-13 et 1915-41 (l'année 1914 étant incomplète pour tous les postes). Nous ne cherchons pas à dissimuler l'incertitude de tels chiffres qui dérivent parfois d'extrapolations très hardies : mais il nous a semblé cependant intéressant d'essayer d'obtenir des moyennes trentenaires faisant suite à celles de BÉNÉVENT ²⁷. Des moyennes climatiques ne sont en effet comparables entre elles que si elles portent sur des durées identiques. A ces moyennes trentenaires parfois incertaines nous avons juxtaposé les moyennes décennales 1932-41 pour lesquelles au contraire la part des interpolations est réduite au minimum : en général quelques mois, jamais une année entière consécutive ²⁸.

²⁶ Les stations italiennes voisines ne sont guère d'un grand secours en ce qui concerne l'interpolation des observations de nos postes. La plupart des postes italiens n'ont en effet d'observations *publiées* — les seules qui nous aient été accessibles — que pour la période 1913-1925.

²⁷ E. BÉNÉVENT lui-même a pour certains postes extrapolé ses moyennes 1881-1910 d'après les observations effectives de 10 ou 12 ans. Les chiffres que nous présentons pour la période 1911-1941 sont donc en tout état de cause parfaitement comparables aux siens comme exactitude probable.

²⁸ Nous avons remplacé les postes qui se sont succédé à Pelvoux et Vallouise par un poste fictif ayant pour altitude et pour précipitations les moyennes arithmétiques des altitudes et des précipitations de ces deux postes, soit 1175 m. et 930 mm.

TABLEAU XXIX

Précipitations annuelles.

	1	2	3		1	2	3
	alt.	1911-41	1932-41		alt.	1911-41	1932-41
<i>Durance :</i>				<i>Ubaye :</i>			
Abriès	1552	827	845	Barcelonnette ...	1134	756	802
Arvieux	1553	782	778	La Condamine ..	1286	750	794
Briançon	1300	694	723	Fours	1680	1.070	1.060
Ceillac	1650	801	816	Le Lauzet	910	910	939
Château-Queyras .	1370	768	786	Meyronnes	1599	814	871
Guillestre	980	690	703	St-Barthélemy ..	1200	1.157	1.180
Monétier	1471	919	932	Serennes	1531	806	867
Névache	1645	770	767				
Pallons	1160	801	812	<i>Postes voisins :</i>			
Pelvoux-Vallouise .	1175	865	975	Embrun	860	698	706
Vars	1646	773	790	Seyne	1300	914	958
				Allos	1425	1.162	1.214

(Colonne 1 = altitude en mètres; colonnes 2 et 3 = précipitations en mm.)

Les différences notables que l'on observe entre les chiffres des colonnes 2 et 3, comme entre ceux des périodes 1911-41 et 1881-1910 pour les postes déjà utilisés par BÉNÉVENT, trahissent la grande variabilité annuelle de ces climats, notion sur laquelle il importerait d'insister pour étayer les développements qui vont suivre. Nous nous contenterons d'entrer dans quelques détails relatifs au poste de Barcelonnette pour lequel nous possédons une bonne suite continue d'observations

La figure 46 indique la variation des *moyennes lustrales*: le tracé de la courbe permet de constater d'une part l'existence de cycles de 10-13 ans provoquant l'alternance irrégulière d'années sèches et humides, d'autre part un indéniable relèvement d'ensemble de la pluviosité²⁹ schématisé sur la figure par un tireté. Ce relèvement explique que la moyenne de la dernière période décennale soit partout sensiblement supérieure à celle de la dernière période tren-

²⁹ Indépendamment de son intérêt scientifique propre, le problème des cycles de pluviosité annuelle est d'une importance capitale pour la critique des moyennes: si l'on pouvait reconnaître l'existence d'un cycle, par exemple de 30 ans, dans la pluviosité, une moyenne de 30 années se trouverait donner une plus fidèle image des choses qu'une de 40 ou de 45. Si l'on admet au contraire que la distribution des totaux annuels se fait selon les lois du hasard, les moyennes deviennent d'autant plus significatives qu'elles portent sur une plus longue période d'années consécutives.

tenaire. Quant à la comparaison de la pluviosité actuelle avec celle de la période étudiée par BÉNÉVENT (1881-1910), elle confirme partout où on peut la faire (sauf à Embrun) la tendance à l'accroissement des précipitations. A Briançon, le fait s'est sans doute trouvé exagéré par le mauvais emplacement de l'ancien poste.

*

Même si nous disposions d'observations continues, sans interpolation aucune pour l'ensemble de nos 22 postes, et ceci pour une

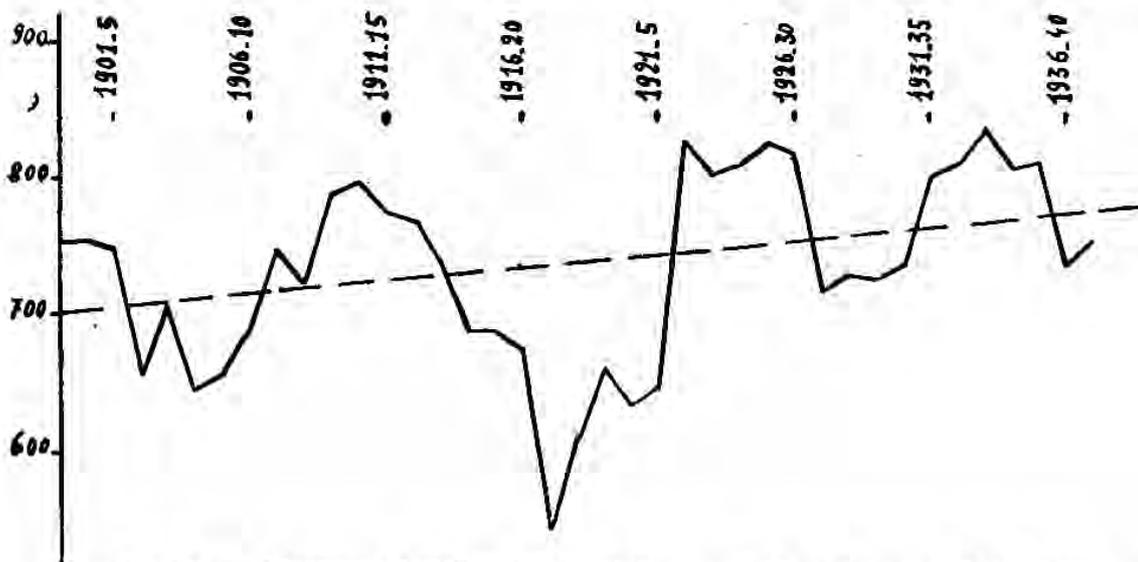


Fig. 46. — Moyennes lustrales des précipitations à Barcelonnette (1901-1940).

période d'une durée suffisante, nos connaissances sur la pluviosité moyenne du bassin supérieur de la Durance laisseraient encore beaucoup à désirer, faute d'une bonne répartition en altitude de nos pluviomètres. Ceux-ci s'échelonnent en effet de 860 m. (Embrun) à 1680 m. (Fours) sur une zone altimétrique qui n'atteint que le quart de la surface totale: les trois quarts de notre champ d'étude, situés à plus de 1700 m. d'altitude, échappent ainsi à toute observation pluviométrique directe.

Or on doit s'attendre à ce qu'ici, comme partout en montagne, l'altitude soit le facteur dominant du total pluviométrique annuel. Déjà, dans les limites encore très restreintes de la zone des pluviomètres, la comparaison des chiffres que nous venons de donner plus haut permettait de constater l'existence d'un gradient nette-

ment positif. On observe ainsi un gradient de 0,49 mm/m. entre Briançon et le Montgenèvre, de 0,52 mm/m. entre Barcelonnette et Fours. La valeur moyenne du gradient doit bien en effet osciller autour de 0,50 mm/m.³⁰ Mais les valeurs aberrantes abondent aussi : le gradient s'abaisse à 0,17 mm/m. entre Guillestre et Ceillac, à 0,13 mm/m. entre Guillestre et Vars; il s'élève au contraire à 0,73 entre le Lauzet et Saint-Barthélemy, à 1,25 entre Briançon et Le Monétier. Ces dernières observations permettent bien de constater que les précipitations tendent partout à croître avec l'altitude: elles ne permettent pas de donner une loi à cette progression, encore moins d'extrapoler vers les crêtes les valeurs des précipitations.

Pour arriver à quelques notions précises sur cette question des précipitations en haute altitude, de grands efforts ont pourtant été faits, on le sait, un peu partout au cours de ces dernières années³¹. Ces efforts reposent soit sur l'installation de pluviomètres totalisateurs dans les zones de la montagne qui ne sont accessibles que l'été aux observateurs, soit sur l'emploi de méthodes mathématiques tendant à déduire les précipitations de l'écoulement fluvial. En fait, les résultats obtenus par ces deux méthodes doivent sans cesse être confrontés entre eux.

Les totalisateurs ont été établis par l'Administration des Eaux et Forêts au nombre de cinq : quatre à proximité des glaciers du massif du Pelvoux, le cinquième au col de la Cayolle. Densité bien insuffisante en comparaison de ce qui a été réalisé ailleurs³². Les observations n'ont pu encore porter que sur une période très limitée; voici les résultats obtenus :

TABLEAU XXX

Précipitations recueillies par les totalisateurs.

Totalisateurs	Alt.	Périodes d'observations	Moyennes
Glacier du Monétier	2640 m.	1925-26 et 1928-29	2.325 mm.
Glacier Blanc	2520 m.	1927-29	1.960 mm.
Glacier Noir	2410 m.	1924-29	3.685 mm.
Glacier des Bans	2360 m.	1925-29	3.180 mm.
Col de la Cayolle	2326 m.	1926-33	1.560 mm.

³⁰ 0,53 en moyenne selon BÉNEVENT; 0,40 selon H. ONDE (9, p. 377, note 16).

³¹ Ces considérations, que certains pourraient croire en effet purement spéculatives, intéressent au premier chef l'industrie hydroélectrique.

³² Le bassin du Rhône en amont de Gletsch, celui de la haute Saaser Wisp possèdent un totalisateur pour 3 ou 4 kmq. (O. Lütschg. Zur Hydrologie des

Il est à peine besoin de souligner le caractère énorme de ces précipitations, principalement au totalisateur du glacier Noir pour lequel une comparaison avec les postes de Vallouise-Pelvoux ferait ressortir un gradient de l'ordre de 2 mm/m.

Quant aux résultats déduits de mesures hydrologiques, ils méritent de retenir plus longtemps notre attention. On sait que l'indice pluviométrique P d'un bassin peut se déduire de son indice d'écoulement E ³³, exprimés tous deux en mm. en conjecturant soit leur rapport ($\frac{E}{P} = Q$, « coefficient d'écoulement »), soit leur différence ($P - E = D$, « déficit d'écoulement »). Nous nous en tiendrons ici à cette seconde méthode³⁴.

En considérant que l'indice pluviométrique d'un bassin doit correspondre en gros à la pluviosité normale correspondant à l'altitude moyenne de ce bassin, hypothèse qui ne doit pas s'écarter beaucoup de la réalité, on se rend compte déjà de l'accroissement rapide des précipitations dans les sections supérieures des bassins : c'est ainsi que l'indice pluviométrique s'élève vraisemblablement de 1.100 mm. pour la Durance en amont de La Bessée à 1.380 mm. pour la Guisane; sur le Guil de 900 mm. pour l'amont de Montdauphin à 1.120 pour celui d'Abriès. L'Ubaye seule présente une exception à cette règle: la pluviosité moyenne augmente en effet ici vers l'aval par suite des fortes anomalies positives des précipitations sur le massif du Morgon et le bassin de la Blanche du Laverq.

Mais on peut pousser beaucoup plus loin les choses en tentant

Hochgebirges der Schweizer Alpen. in C.R. Congrès géol. Paris (Colin), 1931, pp. 378-407.) cf. : PARDÉ (143), p. 50. Notre domaine manque également de totalisateurs très élevés, comme celui de la Levaana en Savoie.

³³ On sait que cet indice d'écoulement s'obtient très facilement en multipliant le débit relatif q exprimé en litres/seconde par kmq. de bassin par le coefficient numérique 31,55.

³⁴ Cette seconde méthode est en effet généralement préférée aujourd'hui du fait que D varie dans des limites moindres que Q et peut être conjecturé, au moins dans nos régions, avec des risques d'erreurs bien moindres. La première méthode (évaluation des précipitations, fondée sur les coefficients d'écoulement) avait toutefois été employée par M. PARDÉ (143, tableau 146) et avait mené notre prédécesseur à des résultats sensiblement plus élevés que ceux que nous proposons aujourd'hui.

Dans un second ouvrage (143, pp. 44-45), M. PARDÉ tend à se rallier à la méthode de la conjecture du déficit tout en notant « qu'à plusieurs points de vue, le déficit d'écoulement est plus variable dans un pays donné que certains auteurs l'ont prétendu ». Il reste que, dans un bassin montagneux où les précipitations dépassent 1 mètre et où la température moyenne annuelle est de l'ordre de 5°, le déficit doit être pratiquement indépendant de la quantité d'eau tombée, ce qui légitime le choix de cette seconde méthode.

Des formules serrant la réalité d'encore plus près ont été proposées par WUNDT. Nous aurons à les utiliser au cours du chapitre V de cet ouvrage (ci-dessous, p.

d'évaluer le *gradient moyen*, résultat qui permettrait de supputer les précipitations des plus hautes crêtes elles-mêmes ³⁵.

Nous montrerons d'abord le principe de la méthode à employer dans le cas concret du bassin de la Gyrone. Les trois données à utiliser sont d'une part la distribution altimétrique du bassin exprimée par la courbe hypsométrique, d'autre part l'indice d'écoulement du bassin (E_m), en dernier lieu la moyenne des précipitations recueillies dans un pluviomètre situé au point le plus bas du bassin (P_o). Voici dans le cas qui nous intéresse le détail de ces données numériques :

Pourcentage relatif des zones altimétriques :

978 - 1600 m. : 1 %	2000 - 2500 m. : 25 %
1000 - 1500 m. : 12 %	2500 - 3000 m. : 22 %
1500 - 2000 m. : 23 %	3000 - 4000 m. : 17 %
$E_m = 1160$ mm. ³⁶	$P_o = 690$ mm. ³⁷

Il est clair que si nous supposons un gradient nul ($\gamma = 0$) les précipitations resteraient sur l'ensemble du bassin égales à celles du point le plus bas, si bien que l'on aurait :

$$P_m = P_o \text{ (ici : 690 mm.)}$$

Supposons maintenant que le gradient soit positif et constant sur l'ensemble du bassin (hypothèse la plus simple puisque aucune observation directe n'est venue encore nous assurer de l'existence d'un niveau d'*optimum pluvial*).

Pour $\gamma = 0,5$ on aurait :

Altitude moyenne de la zone	Précipitations moyennes	Pourcentage de la surface	Volume d'eau relatif
989	695	1	7
1250	825	12	99
1750	1.075	23	247
2250	1.325	25	331
2750	1.575	22	346
3400	1.900	17	323
soit $P_m = 1.353$ mm.			1.353

Pour $\gamma = 1$:

Altitude moyenne de la zone	Précipitations moyennes	Pourcentage de la surface	Volume d'eau relatif
989	701	1	7
1250	962	12	116
1750	1.462	23	351
2250	1.962	25	447
2750	2.462	22	545
3400	3.112	17	531
soit $P_m = 1.997$ mm.			1.997

³⁵ Cf. : BÉNÉVENT (102, p. 75) et H. ONDE (9, pp. 377-78). Nos deux devanciers ont toutefois présenté leurs méthodes d'évaluation hydrologique du gradient sous une forme purement arithmétique dont l'emploi suppose de nombreux tâtonnements. Nous croyons que la forme graphique donnée aux calculs présentés ici les simplifie beaucoup et permet surtout de préciser l'ordre de grandeur des erreurs possibles. Il s'agit là d'ailleurs de détails, les deux méthodes restant identiques quant à leurs fondements.

³⁶ Moyennes 1904-1914 et 1933-1938.

³⁷ Interpolation d'après Guillestre, Vallouise et Briançon.

On conçoit dès lors qu'à toute valeur prise par le gradient corresponde un indice pluviométrique P_m déterminé. Inversement, il suffit de conjecturer P_m ($P_m = E_m + D_m$) pour pouvoir — en connaissant par ailleurs P_0 et la courbe hypsométrique du bassin — déterminer mathématiquement le gradient moyen correspondant.

Représentons en effet graphiquement γ_m en fonction de P_m pour le bassin considéré, P_0 étant également connu (fig. 47), la courbe obtenue est une droite. Pour $P_m = 1.475$ ($E_m = 1160$; $D_m = 315$) on lit $\gamma_m = 0,59$. Telle doit être la valeur la plus probable du gradient considéré. Il implique vers l'altitude de 4000 m. (Ecrins) des précipitations annuelles de l'ordre de 2.700 mm.³⁸

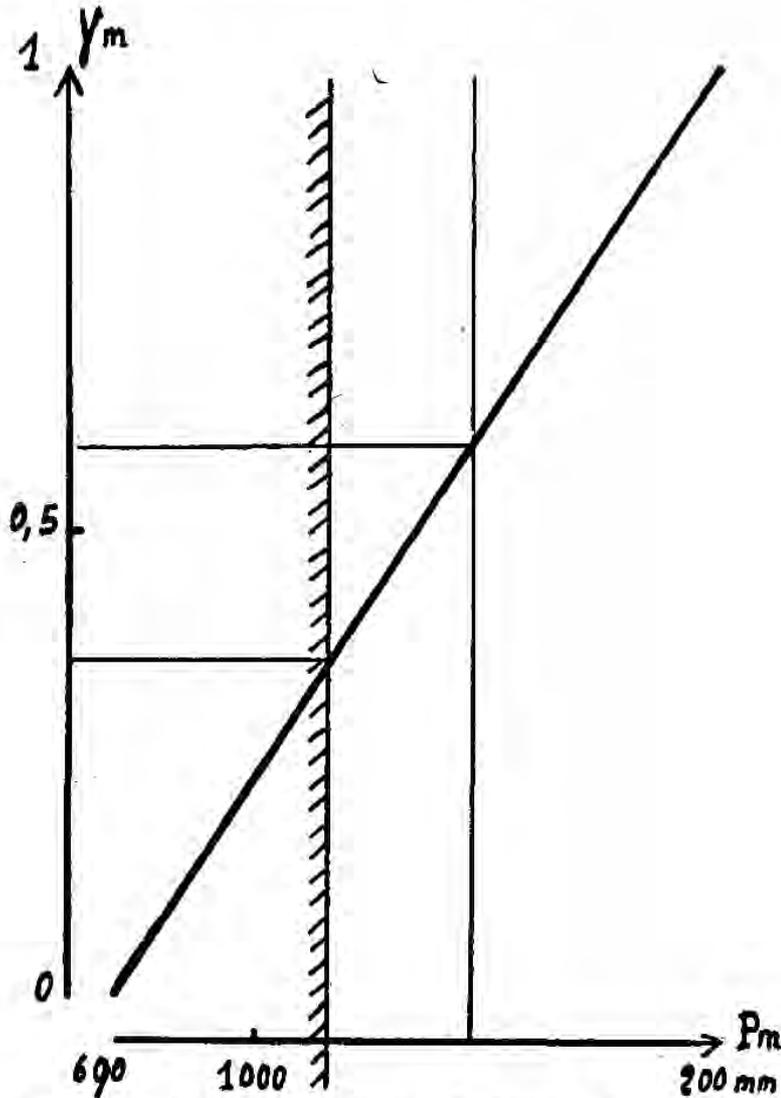


Fig. 47. — Indice pluviométrique d'un bassin donné pour des précipitations de base connues et en fonction d'un gradient hypothétique. Bassin de la Gyronde. Indice pluviométrique sur l'axe horizontal, gradient sur l'axe vertical.

³⁸ Sur la figure la droite $D = 0$ correspond à un déficit d'écoulement nul (indice pluviométrique égal à l'indice d'écoulement). On voit que même cette hypothèse

En généralisant pour l'ensemble des sections de bassins situés en amont des derniers pluviomètres la méthode que nous venons d'exposer, nous avons obtenu les résultats que résume le tableau suivant :

TABLEAU XXXI

Evaluation hydrologique du gradient moyen dans quelques bassins.

	E_m	D_m	P_m	P_o	γ_m	C	P
Guisane (amont du Monctier).	1100	310	1410	919	0,60	3000	2200
Clarée (amont de Névache).	970	300	1270	770	0,70	3200	1850
Gyronde (amont de Vallouise).	1240	300	1540	840	0,65	4100	2700
Guil (amont d'Abriès).	790	330	1120	827	0,38	3300	1500
Ubaye (amont de Barcelonnette).	640	335	975	756	0,25	3400	1330
Ubayette	690	340	1030	750	0,32	3100	1325
Bachelard	950	360	1295	756	0,50	3000	1700
Verdon (amont d'Allos).	1090	360	1450	1162	0,42	2900	1780

(E_m : indice d'écoulement du bassin; D_m : déficit d'écoulement conjecturé; P_m : indice pluviométrique; P_o : précipitations à la base; γ_m : gradient moyen; C : altitudes des points culminants des bassins; P : précipitations probables aux crêtes.)

implique la nécessité d'un gradient positif égal à 0,36. C'est dire que le gradient dont la valeur la plus probable est de 0,58 est au minimum de 0,36. Il faut tenir compte d'ailleurs que sur des périodes d'observations trop courtes une fonte anormale du glacier pourrait provoquer un déficit anormalement bas, voire négatif. Une autre complication est aussi introduite par la possibilité de « condensations occultes » sur les surfaces glaciaires. Ce sont là des problèmes dont nous ne cherchons pas à cacher la complexité.

Par ailleurs, le totalisateur du glacier Blanc et plus encore celui du glacier Noir ont donné des résultats encore très supérieurs à ceux que le calcul hydrologique vient de nous amener à considérer comme probables. Mais les observations en question restent à nos yeux trop incomplètes pour qu'on puisse y chercher autre chose qu'un ordre de grandeur du phénomène. Les totalisateurs peuvent parfaitement recueillir plus d'eau qu'il n'en est tombé quand le vent soulève la neige du sol. H. ONDE s'est heurté à la même difficulté que nous ici à propos du totalisateur des sources de l'Isère qui donne 2.674 mm. pour 2500 m. seulement d'altitude, chiffre qui conduirait à un gradient inadmissible (9, p. 379, note 18).

L'ensemble de ces calculs nous permet enfin de proposer la courbe suivante comme représentant les précipitations moyennes de l'ensemble du bassin supérieur de la Durance, Ubaye comprise, en fonction de l'altitude (fig. 48). C'est en nous reportant à cette courbe que nous pourrions déterminer plus loin les « anomalies pluviométriques » — positives ou négatives — de chacun de nos postes.

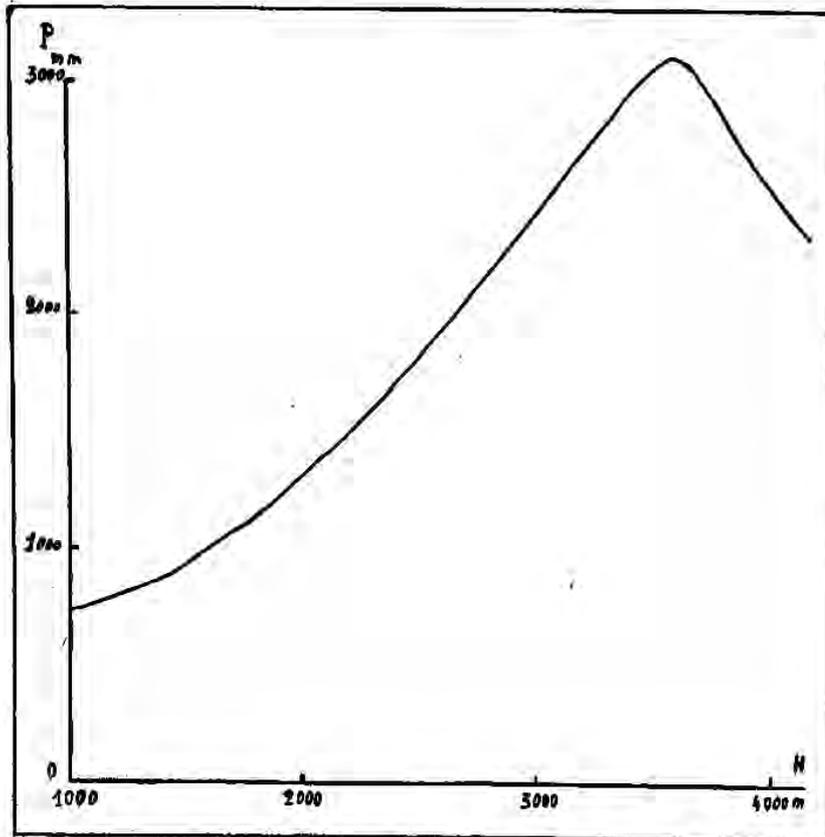


Fig. 48. — Variation moyenne des précipitations en fonction de l'altitude.

Nous avons été amené à placer l'« optimum » pluvial vers 3700 m, avec 3.050 mm.

Le lecteur qui aura suivi jusqu'ici notre raisonnement n'aura pas manqué d'être frappé par ce fait que les évaluations hydrologiques des précipitations — qui suppléent presque seules à l'absence de mesures directes sur les trois quarts de la surface que nous avons à étudier — reposent en définitive sur la conjecture du déficit d'écoulement (D). Il convient donc, au terme de ce développement, de rechercher avec quelle précision ce déficit peut être conjecturé et quelles seront les répercussions éventuelles, sur l'ensemble de nos calculs, des erreurs probables affectant cette conjecture. Nous avons été amené, à la suite de PARDÉ et de COUTAGNE, à forger l'hypothèse d'un déficit décroissant avec l'altitude, et ceci plus rapidement dans les Alpes du Sud que dans celles du Nord. On comprend que seule une série

d'approximations successives ait permis de conjecturer pour chaque bassin un déficit d'écoulement vraisemblable qui satisfasse à la fois aux classements en altitude et en latitude du bassin considéré et se raccorde, par ailleurs, aux données de la pluviométrie directe. Nous ne croyons pas que les conjectures de déficit auxquelles nous nous sommes ralié dans le tableau XXXI (col. 2 : D_m) puissent être sujettes, dans l'avenir, à des rectifications considérables.

En tout état de cause, les différentes formules empiriques que l'on peut utiliser conduisent, dans l'évaluation du déficit d'écoulement, à des écarts de l'ordre de 60 mm. pour des bassins d'une altitude moyenne de 2000 m. et de 20 mm. seulement pour des bassins d'une altitude moyenne de 2500 m. L'indice d'écoulement étant supposé connu avec une précision absolue, c'est avec cette même marge d'erreur de 60 à 20 mm. que peut être conjecturé l'indice pluviométrique moyen (P_m) du bassin. En nous reportant maintenant au graphique (fig. 47) on constatera qu'à deux indices d'écoulement moyen d'abscisses P_a et P_b distants de 60 mm. correspondent deux gradients γ_a et γ_b distants de 0,00 mm.^h Les valeurs réelles du gradient se situant autour de 0,50 mm., c'est donc à un cinquième près que les calculs à base hydrologique permettent d'évaluer le gradient moyen d'un versant. Des pluviomètres de vallée établis à 1500 mètres permettent ainsi, conjugués avec des jaugeages que l'on suppose parfaits, de supputer les précipitations jusqu'à 3000 mètres avec une précision absolue de l'ordre de 150 mm. Cette précision croît d'ailleurs au fur et à mesure que s'élève l'altitude moyenne des bassins étudiés puisque le déficit diminue avec l'altitude. C'est donc avec de légitimes raisons que nous nous en sommes remis à ces calculs à base hydrologique pour supputer la valeur des précipitations aux étages supérieurs de nos vallées.

Quelle sera, d'après ces données, l'allure générale de la répartition géographique des précipitations annuelles dans notre domaine? Il ne saurait être question de l'exprimer par une carte d'isohyètes: si nombreux et bien répartis que soient nos pluviomètres et malgré l'appoint précieux des renseignements fournis par les mesures hydrologiques, il serait bien téméraire de prétendre cartographier les nuances infinies que doit revêtir la pluviosité tout au long d'un versant alpin. Il faudra se résigner à ne jamais connaître avec certitude quels seront les points les plus arrosés et les moins arrosés d'un bassin de haute montagne. Néanmoins, une indication générale s'impose avec trop d'évidence pour être trompeuse: le bassin supérieur de la Durance correspond dans l'ensemble à une zone de pluviosité anormalement faible.

Une première expression de cette réalité nous est fournie, avec une éloquente simplicité, par la figure 49. On y voit que les pluviomètres recevant moins de 800 mm. par an³⁹ se localisent sur la Durance en amont d'Embrun, en moyenne Ubaye et en Maurienne. La station la moins arrosée est Guillestre (703 mm. pour 1932-1941 et, par extrapolation, 690 mm. pour l'ensemble de la période 1911-1941) qui précède de peu Briançon (respectivement 723 et

³⁹ Pour l'établissement de cette figure, les totaux ont été reportés indifféremment aux moyennes trentenaires 1881-1910 ou 1911-1941 (1914 exclus).

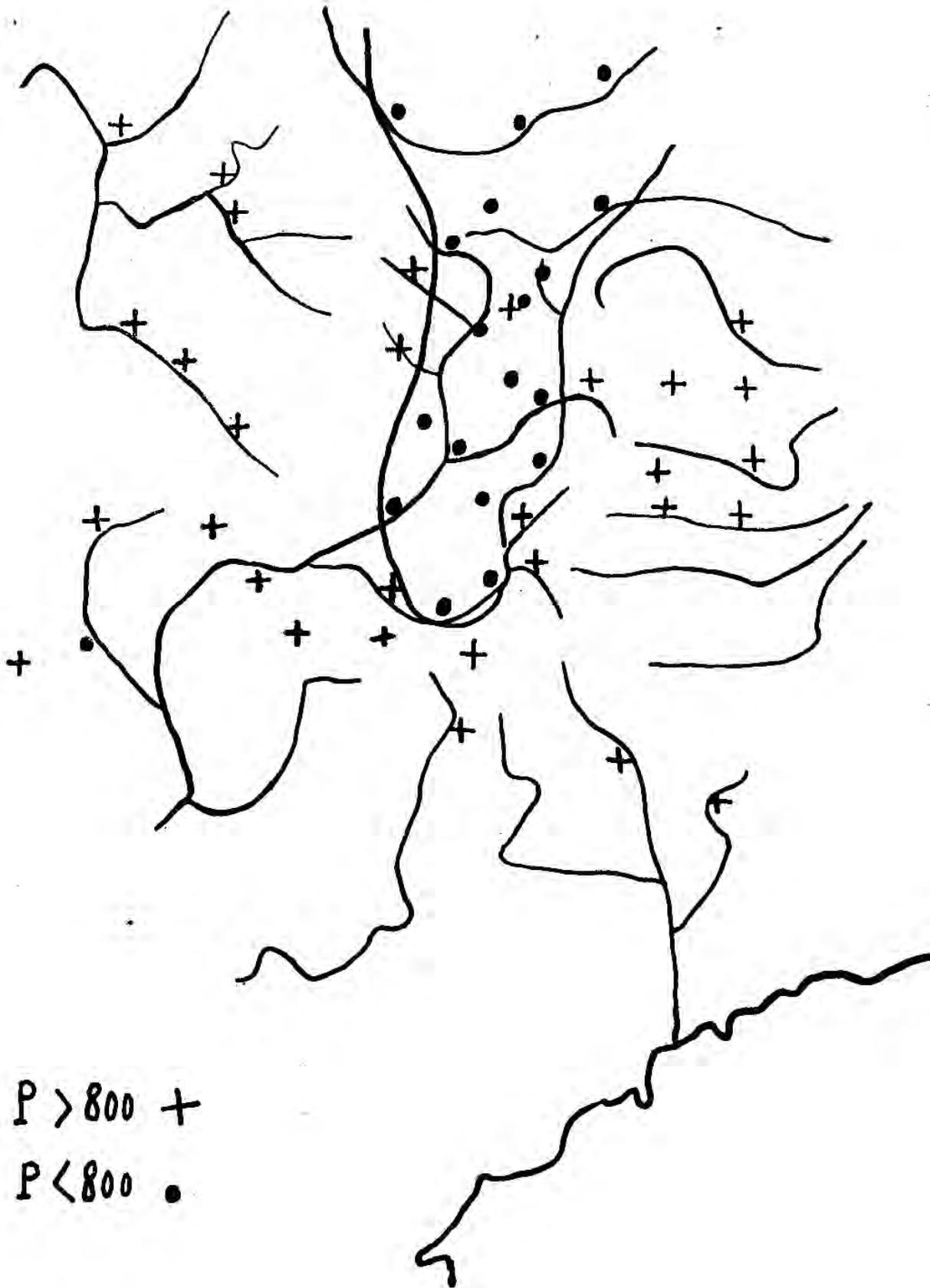


Fig. 49. — Esquisse de la répartition géographique des précipitations dans les hautes Alpes du Sud.

Les pluviomètres — tous de vallées — recevant moins de 800 mm. par an se localisent tous sur la haute Durance ou dans le bassin de Barcelonnette.

694 mm.). Il est vraisemblable que le pôle absolu de la sécheresse dans les Alpes du Sud se situe quelque part entre ces deux stations, probablement vers La Roche-de-Rame, avec des précipitations de l'ordre de 680 mm. Il est en tout cas remarquable qu'en s'écartant de ce Haut-Embrunais on voit les précipitations augmenter dans toutes les directions : non seulement vers l'amont, — ce qui est une conséquence normale de l'altitude croissante —, mais aussi vers l'aval : la pluviosité croît en effet de Guillestre à Embrun (de 690 à 698 mm. pour la période 1911-1941), elle croît encore d'Embrun à Remollon (de 715 à 835 mm. pour 1881-1910). *Ainsi Remollon se trouve-t-il plus humide que Névache, situé pourtant 1000 mètres plus haut et 80 kilomètres plus au Nord*⁴⁰. Rien ne souligne peut-être mieux le contraste pluviométrique entre les zones externes et internes des Alpes. Anomalie identique encore sur l'Ubaye où le Lauzet est nettement plus arrosé que Barcelonnette (1932-1941 : 939 mm. contre 802).

Pour préciser davantage la nature de ce phénomène en éliminant l'influence souveraine de l'altitude sur les précipitations, nous avons imaginé de calculer les « anomalies » de chaque pluviomètre, c'est-à-dire l'écart entre la pluviosité moyenne réelle qui y est observée et la pluviosité normale pour l'altitude du poste lue sur la courbe (fig. 50). Nous avons cartographié ces anomalies sur la figure 50⁴¹. La figure souligne d'abord les précipitations prodigieuses qui s'abattent au pied du versant piémontais : Villard-Pérouse, à 500 m. d'altitude seulement, reçoit 1.435 mm. (moyennes 1913-1925). En France, des pluies anormalement élevées pour l'altitude s'abattent sur le Pelvoux et le Champsaur. Cette zone d'anomalie positive projette une apophyse au Sud vers la basse Ubaye et le haut Verdon : Le Lauzet (939 mm. pour 1932-1941), Saint-Barthélemy (1.180 mm. id.) et Allos (1.214 id.) reçoivent respectivement plus d'eau que la moyenne des postes situés à des altitudes analogues. Entre ces deux

⁴⁰ Sans doute fondons-nous cette remarque sur des moyennes se rapportant à des périodes différentes (Névache : 1932-1941 ; Remollon : 1881-1910). Mais le fait n'en est que plus remarquable puisque les moyennes de 1932-1941 sont partout plus fortes que celles de BÉNÉVENT.

⁴¹ Ce calcul des « anomalies pluviométriques » a pour effet d'éliminer des mesures l'influence de l'altitude brute comme le fait, pour la température, le calcul des « températures ramenées au niveau de la mer », qui servent de base à la construction des isothermes. Nous ne dissimulons pas la grosse part d'arbitraire que notre connaissance insuffisante du gradient introduit dans le calcul de ces anomalies. Mais le procédé inverse qui consiste à construire des cartes de précipitations vraies en extrapolant jusqu'aux crêtes les données fournies par les pluviomètres de vallées (comme l'a fait GAUSSEN pour les cartes de l'Atlas de France) ne nous paraît guère moins critiquable.

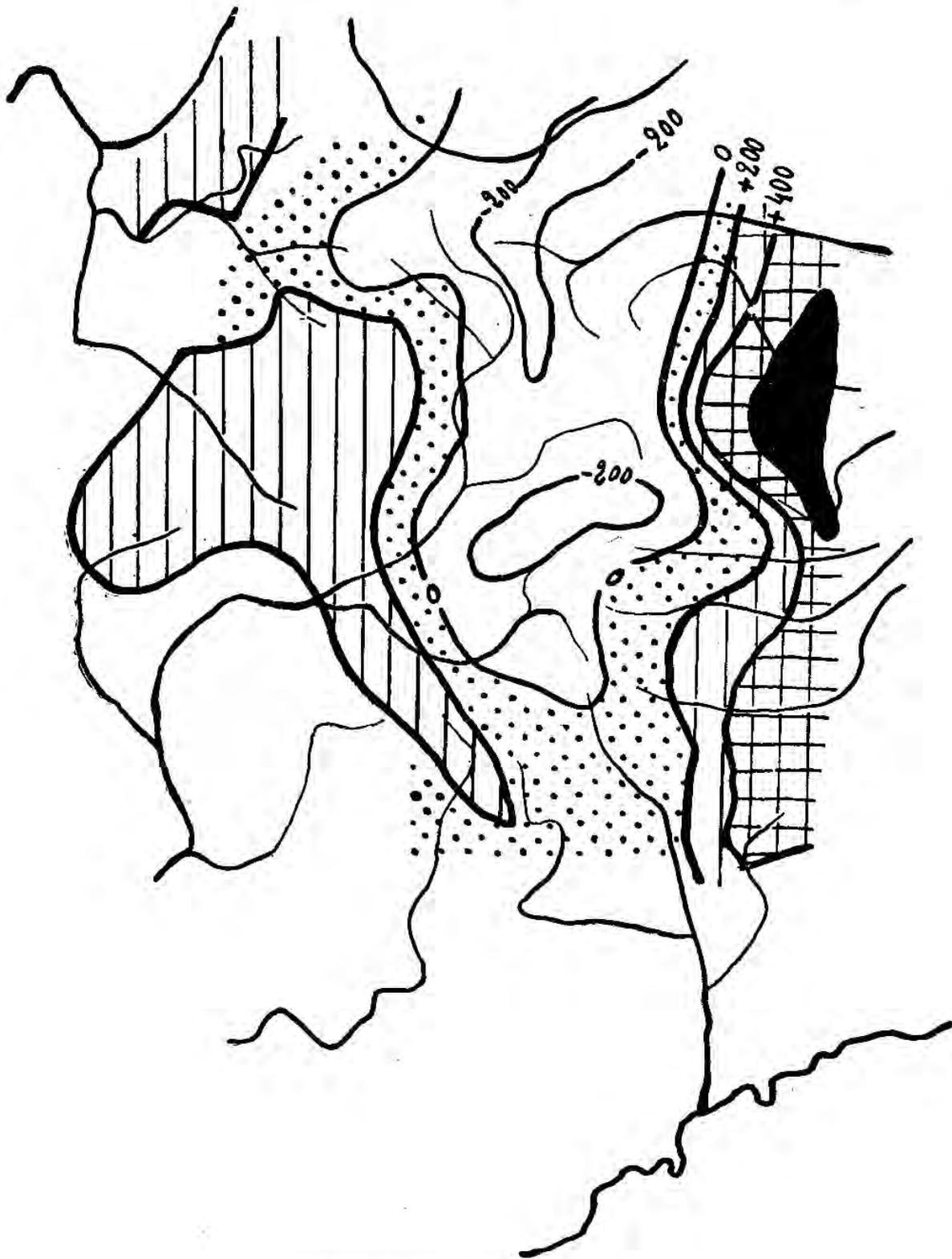


Fig. 50. — Anomalies pluviométriques.

secteurs arrosés qui tendent à se refermer vers le Sud s'interpose la zone sèche de la haute Durance: l'anomalie pluviométrique, nulle dès Barcelonnette et Embrun, continue de décroître encore vers les crêtes. Et les points les plus secs de notre domaine, *compte tenu de l'altitude*, se répartissent en deux secteurs de part et d'autre du Guil : au Sud, Vars (1931-1941) : 790 mm. pour 1646 m.; Ceillac : 816 mm. pour 1650 m.; peut-être Saint-Véran⁴². — Au Nord, le Briançonnais oriental avec le Montgenèvre (837 mm. pour 1856 m. selon BÉNÉVENT) et Névache (1932-1941 : 770 mm. pour 1645 m.).

Tels sont, sommairement résumés, les résultats d'une étude de la pluviosité annuelle dans la zone intra-alpine des Alpes françaises du Sud. Ils soulignent la sécheresse tout à fait exceptionnelle de la chaîne frontière au Nord de l'Ubaye. Mais des indications tirées ainsi des seuls totaux annuels expriment d'une façon bien insuffisante l'humidité ou l'aridité d'un climat. A précipitations totales égales un pays peut paraître humide ou sec selon la répartition saisonnière des pluies, selon leur intensité, selon les conditions thermiques de l'évaporation: tels sont les nouveaux domaines où doivent se porter maintenant nos investigations.

B. Les régimes moyens.

On sait depuis BÉNÉVENT que les régimes pluviométriques des Alpes françaises trahissent essentiellement la combinaison de deux influences contradictoires : une influence continentale provoquant des précipitations de saison chaude; une influence méditerranéenne amenant au contraire des précipitations de saison froide. Cette combinaison détermine dans la plus grande partie des Alpes un régime pluviométrique à quatre saisons nettement tranchées : printemps et automne humides (le maximum principal étant normalement celui d'automne), été et hiver secs (le minimum principal étant le plus souvent encore dans notre zone celui d'hiver).

⁴² Un pluviomètre installé par l'Administration des Eaux et Forêts à Saint-Véran n'a recueilli pour la période 1932-1941 qu'une moyenne de 747 mm.: pour une altitude de 2000 m. le chiffre a paru gravement insuffisant et les observations sont notées comme « suspectes » dans les documents conservés à la Commission météorologique des Hautes-Alpes. Sans nier la possibilité d'erreurs systématiques, il est quand même curieux de constater que cette erreur se soit produite en plein cœur d'une zone de fortes anomalies négatives. Le chiffre de 747 mm., dont nous n'avons pas cru en définitive devoir faire état, n'est guère plus invraisemblable après tout à Saint-Véran que les 641 mm. recueillis à Clavières (Italie) par 1760 m. d'altitude pour la moyenne 1913-1925. Sans accorder un crédit total à des chiffres probablement erronés dans le détail, on doit en retenir cependant l'extrême degré de sécheresse de ces montagnes de la zone frontière.

Pluie mensuelle en millimètres.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Abriès	48,1	52,5	74,2	81,2	87,2	78	57,4	52,3	85,5	89,3	84,5	61,4
Arvieux (1886-41)	77,2	60	59	63,4	49,6	67,9	70,7	44	92,1	54,2	55,9	40
Briançon (Cézanne)	36,9	17,4	61,9	71,9	67,1	40,6	30,1	44,1	54,7	79,5	30,5	29,7
— (Bénévent)	32	36	42	50	58	53	40	42	53	76	59	46
— (1932-41)	43,8	51,4	45,6	74,3	54,3	61,6	51,5	52	81,1	74,4	88,2	49
C'eillac	51	42,2	61,6	74,1	71,1	83,8	65	62,9	96,6	77,8	74,5	56,6
Château-Queyras	46,2	45,6	64,7	73,2	68,2	75,5	58,5	48,8	77,6	76	89,7	62,5
Guillestre	42,3	41,9	58,9	63,7	56	67,3	50,3	44,1	77	62,4	85,4	54,3
Montier	74,2	67,2	68,4	86	66	67,3	59,8	54,9	105,4	86,5	103,3	83,9
Névache	50,4	57,4	59,2	64,2	60,4	59,5	48,2	52,3	92,6	60,7	103,7	58,7
Pallons	62,7	50,1	70,4	80	62,4	65,3	62	48,7	88,1	74	92,9	68,5
Pelvoux-Vallouise	84,3	54,8	90,2	94,7	79,7	66,4	52,3	48,7	96,1	92,1	124,4	91,8
Vars	46,6	43,4	53,1	64,7	68,1	86,3	68,4	56,3	88	75,9	79	59,8
Barcelonnette (Angot)	38	35	51	65	75	64	44	50	71	100	71	43
— (Bénévent)	30	33	50	61	63	53	48	57	71	104	76	54
— (1898-1913)	30	44	63	50	65	68	47	51	61	100	87	54
— (1921-30)	27,2	53,1	56,9	69,7	81,4	46,2	53,2	50	46,3	112,9	97,6	48,5
— (1931-42)	53	41	62	78	72	72	58	48	86	68	95	64
La Condamine (1934-42)	54	45	75	65	78	68	76	47	63	64	76	67
Fours	52	39	64	98	97	92	57	74	139	110	123	63
Le Lauzet	55	47	67	78	98	94	79	72	99	87	103	60
Meyronnes (1931-38)	56	52	64	67	85,4	78	50	63	111	73	102	57
Saint-Barthélemy (1931-39)	77	59,5	100,5	94,5	110	104	73,5	90,5	126	114	128	88,5
Serrenes	58,6	51,5	69,1	80,3	76,9	81,1	69,6	50,7	95,6	77,6	90,7	65,8
Embrun (Bénévent)	39	47	48	48	61	65	54	61	69	96	74	53
Embrun (1932-41)	42	36	54	60	63	71	55	51	69	69	73	63
Seyne (1926-42)	54	44	71	74	103	80	58	58	89	113	121	64
Allos	81	61	96	103	104	106	53	74	124	112	140	93
Lanzo	19	73	178	122	162	82	92	107	89	138	65	31
Fenestrelle	7	45	61	96	137	62	58	90	72	97	47	39
Bobbio Pellice	9	67	89	166	151	98	34	51	91	98	47	39
Rora	12	79	139	252	203	129	70	84	145	190	87	78
Vindio	27	59	54	90	99	65	35	44	75	71	67	59

N. B. — Moyennes décennales 1932-41 pour les postes français pour lesquels il n'est pas indiqué de dates d'observations. Pour les postes italiens : moyennes 1918-1925.

Nous donnons ci-joint (tableaux XXXII à XXXIV) pour tous les postes que nous avons pu utiliser la moyenne des pluies mensuelles en mm., les coefficients pluviométriques relatifs mensuels⁴³ et saisonniers⁴⁴. Quelques postes piémontais donnent des points de comparaison des plus instructifs.

Le problème essentiel soulevé par les régimes qu'expriment ces chiffres est de déterminer comment les influences méditerranéennes et continentales se combinent dans le détail. Peut-on dire par exemple que le régime pluviométrique de Briançon est déjà plus proche de celui de Nice que de celui de Chamonix ? L'affermissement des traits méditerranéens du climat se fait-il régulièrement de Maurienne en Briançonnais, du Briançonnais en Ubaye ? On devine aisément l'intérêt de telles questions.

Trois procédés d'investigation vont nous permettre d'y répondre en serrant la réalité de plus en plus près.

1° Une première méthode — imaginée voici plus de vingt ans par E. BÉNÉVENT — consiste à classer les régimes pluviométriques d'après l'ordre de pluviosité décroissante des saisons⁴⁵. On constate

⁴³ Rappelons que les *coefficients mensuels* ont pour objet d'exprimer si les précipitations du mois sont inférieures, égales ou supérieures à ce qu'elles seraient dans l'hypothèse de précipitations réparties uniformément sur tous les jours de l'année (un mois relativement sec étant celui dont le coefficient sera inférieur à l'unité, etc.).

Les formules à appliquer sont $q = \frac{p}{0,085 P}$; $q' = \frac{p'}{0,082 P}$; $q'' = \frac{p''}{0,077 P}$ (p , p' , p'' = précipitations du mois; P = précipitations annuelles) selon que les mois envisagés ont respectivement 31, 30 ou 28 jours (faute d'impression dans H. ONDE, 9, p. 390, note 1, ligne 3 : lire 82 au lieu de 87).

L'intérêt des coefficients relatifs est double : d'une part éliminer les perturbations créées par l'inégale longueur des mois. C'est ainsi que février à Guillestre (moyenne 41,9 pour 28 jours) est en réalité plus pluvieux que janvier (moyenne 42,3 mm. pour 31 jours) : c'est ce qu'indiquent les coefficients relatifs qui sont de 0,71 pour janvier et de 0,77 pour février. D'autre part permettre de comparer deux stations dont les totaux annuels sont très différents : c'est ainsi que Briançon pour octobre et Saint-Barthélemy pour juillet ont des précipitations moyennes sensiblement identiques (74,4 et 73,5 mm.). Mais 74,4 mm. représentent pour Briançon la moyenne d'un mois déjà *relativement* pluvieux ($q = 1,21$), tandis qu'à Saint-Barthélemy, dont le total annuel atteint 1.164 mm., une moyenne mensuelle de 73,5 caractérise un mois encore *relativement* sec ($q = 0,74$). Ces deux exemples (on pourrait en multiplier de semblables d'après nos tableaux) illustrent l'intérêt qui s'attache au calcul des coefficients pluviométriques relatifs.

⁴⁴ Les coefficients relatifs saisonniers sont les moyennes arithmétiques des trois coefficients mensuels des trimestres considérés (hiver : décembre, janvier, février ; printemps : mars, avril, mai ; été : juin, juillet, août ; automne : septembre, octobre, novembre).

⁴⁵ Cette méthode, que nous appellerons méthode de l'« indicatif saisonnier », a été utilisée dans leurs thèses par H. ONDE et P. VEYRET et surtout pour la France entière par MUSSET : La distribution des pluies en France selon les saisons. *Annales de Géographie*, 1943, pp. 264-283.

TABLEAU XXXIII

Coefficients pluviométriques relatifs.

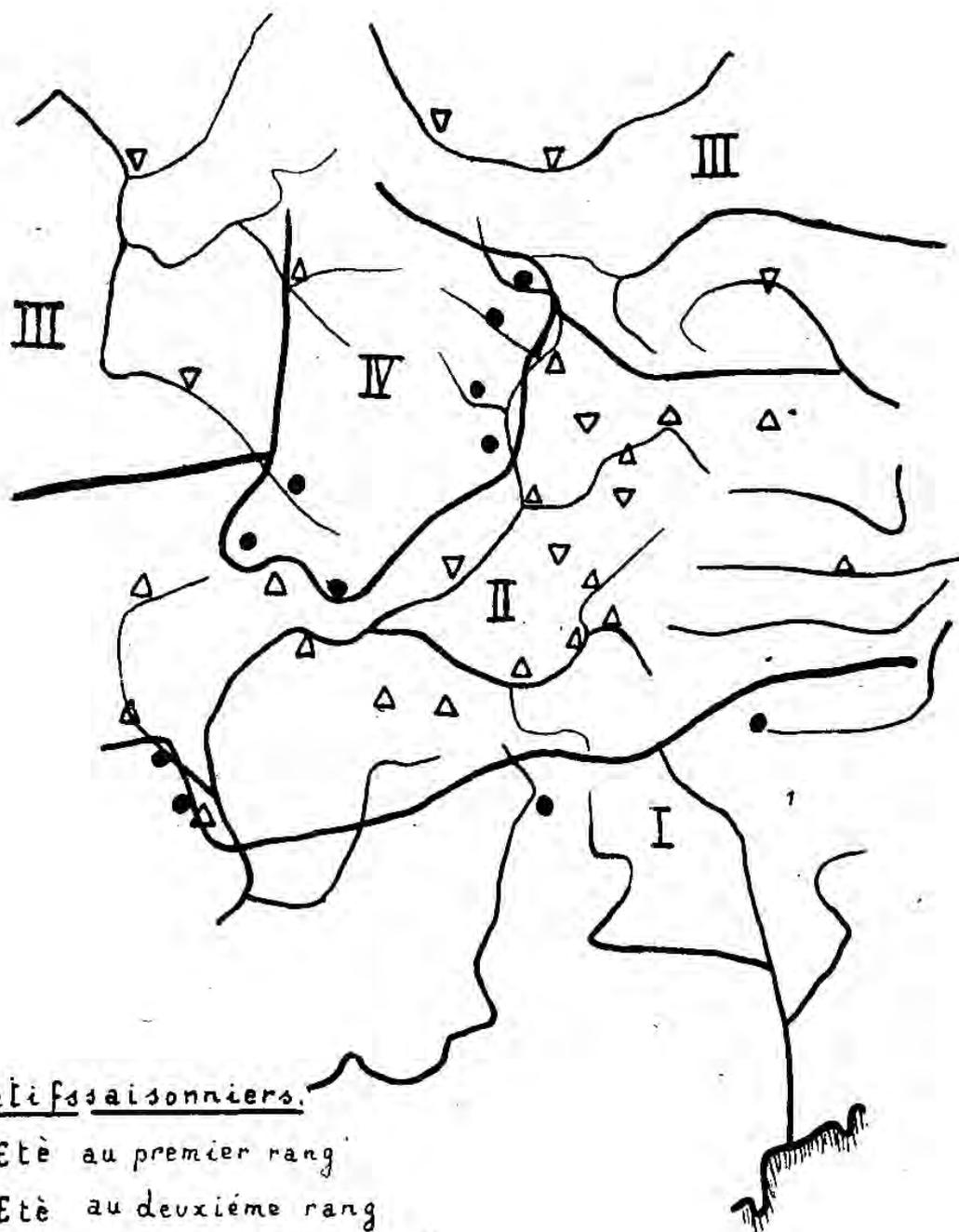
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Abrès	0 67	0 81	1 03	1 17	1 22	1 05	0 80	0 73	1 23	1 25	1 21	0 85
Arvioux (1936-41)	1 25	1 06	0 94	1 05	0 79	1 14	1 12	0 70	1 52	0 86	0 92	0 64
Briançon (Cézanne)	0 78	0 41	1 20	1 55	1 40	0 87	0 64	0 92	1 17	1 66	0 67	0 63
— (Bénévent)	0 65	0 76	0 84	1 04	1 15	1 10	0 82	0 84	1 10	1 51	1 22	0 92
— (1932-41)	0 71	0 92	0 78	1 25	0 88	1 03	0 83	0 81	1 35	1 21	1 41	0 79
Ceillac	0 74	0 68	0 88	1 11	1 02	1 26	0 93	0 90	1 45	1 13	1 11	0 82
Château-Queyras	0 68	0 75	0 97	1 12	1 02	1 15	0 87	0 72	1 19	1 13	1 46	0 94
Guillestre	0 71	0 77	0 98	1 11	0 93	1 16	0 84	0 74	1 33	1 04	1 48	0 91
Monétier	0 94	0 94	0 87	1 13	0 83	0 88	0 75	0 60	1 38	1 09	1 47	1 06
Névache	0 78	0 98	0 92	1 04	0 94	0 78	0 75	0 81	1 49	0 94	1 66	0 91
Pallons	0 89	0 80	1 01	1 08	0 89	0 97	0 89	0 69	1 31	1 05	1 38	0 88
Pelvoux-Vallouise	1 02	0 73	1 00	1 18	0 96	0 83	0 63	0 58	1 20	1 11	1 56	1 11
Vars	0 70	0 74	0 78	1 00	1 02	1 32	1 02	0 84	1 35	1 13	1 21	0 89
Barcelonnette (Angot)	0 63	0 65	0 85	1 08	1 25	1 11	0 73	0 83	1 23	1 67	1 23	0 72
— (Bénévent)	0 50	0 61	0 84	1 06	1 06	0 91	0 81	0 96	1 25	1 74	1 32	0 90
— (1898-1913)	0 63	0 78	1 02	0 84	1 05	1 14	0 76	0 83	1 02	1 61	1 45	0 87
— (1921-30)	0 47	0 92	0 80	1 13	1 28	0 76	0 85	0 79	0 75	1 80	1 59	0 76
— (1931-42)	0 77	0 72	0 91	1 19	1 06	1 09	0 85	0 70	1 31	1 01	1 45	0 94
I ^a Condamine (1934-42)	0 82	0 75	1 14	1 02	1 18	1 07	1 16	0 71	0 99	0 98	1 18	1 02
Fours (1931-42)	0 61	0 50	0 75	1 18	1 14	1 11	0 67	0 86	1 68	1 28	1 48	0 74
Le Lauzet	0 69	0 65	0 84	1 01	1 23	1 21	0 99	0 90	1 29	1 09	1 34	0 75
Meyronnes (1931-38)	0 75	0 78	0 87	0 94	1 16	1 10	0 80	0 85	1 56	0 99	1 43	0 77
Saint-Barthélemy (1931-39)	0 78	0 66	1 01	0 99	1 11	1 09	0 74	0 91	1 32	1 15	1 34	0 89
Sereunes	0 79	0 77	0 94	1 13	1 04	1 14	0 94	0 68	1 35	1 05	1 28	0 80
Embrun (Bénévent)	0 65	0 85	0 79	0 82	1 00	1 11	0 89	1 00	1 18	1 68	1 26	0 87
Embrun	0 69	0 85	0 89	1 03	1 06	1 12	0 91	0 84	1 19	1 14	1 23	1 04
Seyne (1926-42)	0 68	0 61	0 90	0 97	1 31	1 05	0 74	0 75	1 17	1 43	1 59	0 82
Allos (1931-42)	0 82	0 68	0 99	1 09	1 06	1 12	0 57	0 75	1 30	1 14	1 55	0 94
Lanzo	0 19	0 82	1 82	1 29	1 65	0 86	0 94	1 09	0 94	1 40	0 68	0 31
Fenestrelle	0 10	0 72	0 89	1 44	1 98	0 93	0 84	1 31	1 08	1 41	0 71	0 56
Bobbio Pellice	0 12	0 94	1 13	2 21	1 67	1 30	0 43	0 65	1 22	1 26	0 55	0 54
Rora	0 10	0 72	1 15	2 16	1 68	1 11	0 53	0 70	1 25	1 15	0 75	0 65
Vinadio	0 42	1 01	0 84	1 60	1 54	1 05	0 54	0 68	1 21	1 10	1 08	0 92

alors qu'entre le régime continental de Chamonix, où l'été se trouve être la saison la plus humide (« indicatif saisonnier » : EAPH) et le régime méditerranéen de Nice où l'été est devenu au contraire la saison sèche par excellence (APHE), s'intercalent des régimes de transition, encore voisins du régime continental si l'été n'occupe que le second rang (AEPH), proches déjà du régime méditerranéen s'il est relégué au troisième (APEH). Cette méthode, qui a pour elle le mérite d'une grande simplicité, a permis à BÉNÉVENT de distinguer, comme on le sait, quatre grands types de régimes pluviométriques dans les Alpes françaises, soit du Nord au Sud un régime continental, un « régime de transition à tendance continentale », un « régime de transition à tendance méditerranéenne » et, pour finir, les nuances d'altitude du régime méditerranéen proprement dit.

C'est selon cette méthode dont nous venons de rappeler le principe qu'a été établie notre figure 51. Un signe *ad hoc* y indique pour chaque station le rang tenu par l'été dans l'« indicatif saisonnier ». On voit d'emblée que presque tout le bassin supérieur de la Durance appartient à la « zone de transition à tendance méditerranéenne ». 14 stations sur 22 y ont comme indicatif APEH. C'est dire que l'été est dans notre domaine une saison sèche, mais moins sèche toutefois que l'hiver. Dès le Galibier l'été a sans doute cessé d'être une saison humide; mais ce n'est qu'au Sud du col d'Allos qu'il s'imposera définitivement comme saison sèche principale. Ainsi la haute Durance forme-t-elle bien une unité climatique dont les limites s'harmonisent remarquablement avec les limites mêmes du bassin. Une grave anomalie toutefois : les quatre stations du Briançonnais occidental — Névache, Le Monétier, Vallouise, Pallons — présentent l'indicatif typiquement méditerranéen APHE. On objectera — et c'est malheureusement vrai — que nous ne possédons pour ces quatre stations que des moyennes décennales, bien insuffisantes pour caractériser un régime moyen indiscutable. Nous avons cru cependant devoir isoler sur notre carte ce groupe de stations pseudo-méditerranéennes ⁴⁶.

2° La méthode précédente n'est encore que purement qualitative : donner un ordre de « classement » des saisons, c'est n'indiquer souvent que bien imparfaitement l'importance relative de chacune

⁴⁶ L'été semble effectivement plus sec que l'hiver sur tout le pourtour du Pelvoux (Chorges, col Bayard, Saint-Bonnet, Bourg-d'Oisans). P. VEYRET (41, p. 263) n'a peut-être pas assez souligné ce paradoxe que la station du col Bayard, juste au contact des Alpes du Nord, présente un des régimes les plus « méditerranéens » de toutes les Alpes du Sud.



Indicatifs saisonniers.

- Etè au premier rang
- ▽ Etè au deuxième rang
- △ Etè au troisième rang
- Etè au quatrième rang

Fig. 51. — Indicatifs saisonniers.

TABLEAU XXXIV

Coefficients pluviométriques saisonniers.

	H	P	E	A	Indicatif
Abriès (1932-41)	0,78	1,14	0,86	1,22	APEH
Arvieux (1936-41)	0,98	0,93	0,99	1,10	AEHP
Briançon (Cézanne)	0,61	1,41	0,81	1,17	PAEH
— (Bénévent)	0,78	1,01	0,93	1,28	APEH
— (1932-41)	0,82	0,94	0,89	1,35	APEH
Ceillac (1932-41)	0,74	1,00	1,03	1,23	AEPH
Château-Queyras (1932-41)	0,79	1,03	0,91	1,27	APEH
Guillestre (1932-41)	0,80	1,01	0,91	1,28	APEH
Le Monétier (1932-41)	0,98	0,94	0,77	1,31	AHPE
Névache (1932-41)	0,89	0,97	0,78	1,36	APHE
Pallons (1932-41)	0,89	0,99	0,85	1,25	APHE
Pelvoux-Vallouise (1932-41)	0,95	1,08	0,68	1,29	APHE
Vars (1932-41)	0,78	0,83	1,06	1,23	AEPH
Barcelonnette (Angot)	0,67	1,06	0,89	1,38	APEH
— (Bénévent)	0,67	0,99	0,90	1,44	APEH
— (Arnaud 1898-1913) ..	0,76	0,97	0,91	1,36	APEH
— Arnaud (1921-30)	0,72	1,10	0,80	1,38	APEH
— (E et F 1931-42)	0,81	1,05	0,88	1,26	APEH
La Condamine (1934-42)	0,86	1,11	0,98	1,05	PAEH
Fours (1931-42)	0,62	1,02	0,88	1,48	APEH
Le Lauzet (1932-41)	0,70	1,03	1,03	1,24	AP/EH
Meyronnes (1931-38)	0,77	0,99	0,91	1,33	APEH
Saint-Barthélemy (1931-36)	0,78	1,04	0,91	1,27	APEH
Serennes (1932-41)	0,82	1,04	0,92	1,22	APEH
Embrun (Bénévent)	0,79	0,87	1,00	1,34	AEPH
— (1932-41)	0,86	0,99	0,96	1,19	APEH
Seyne (1926-42)	0,70	1,06	0,84	1,40	APEH
Allos (1931-42)	0,81	1,05	0,81	1,33	APE/H

d'elles. Ici interviennent heureusement les coefficients relatifs saisonniers. Ces derniers confirment d'abord l'amollissement au Sud du Galibier des pluies continentales d'été: le coefficient relatif de cette saison qui culminait à 1,31 à Chamonix et dépassait encore l'unité partout en Maurienne (Modane: 1,04) s'abaisse en effet presque partout en dessous de l'unité au Sud du Galibier⁴⁷. Mais les coefficients saisonniers confirment aussi que cette sécheresse de l'été reste encore moins marquée que celle de l'hiver (Briançon 1932-1941: été, 0,89; hiver, 0,82 — Barcelonnette 1931-1942: été, 0,98;

⁴⁷ Exceptions — mal explicables à nos yeux — : Ceillac, Vars, le Lauzet. N'oublions jamais, dans tout ce commentaire, que des moyennes de 10 ans sont bien insuffisantes, surtout dans nos régions, pour déterminer sans risque d'erreur les régimes pluviométriques.

hiver, 0,81 — Le Lauzet 1932-1941 : été, 1,03; hiver, 0,70). L'enseignement est identique des coefficients relatifs mensuels: Briançon: juillet, 0,83; janvier 0,71 — Barcelonnette : juillet, 0,85; janvier, 0,77 — Le Lauzet : juillet, 0,99; janvier, 0,69). Les précipitations de juillet et d'août à Briançon comme à Barcelonnette dépassent encore le double des précipitations de ces mêmes mois à Nice. Il faut, répétons-le, aller au Sud du col d'Allos pour voir s'établir l'été réellement méditerranéen: à Allos même le coefficient saisonnier de l'été tombe à 0,81 et surtout le coefficient mensuel de juillet s'effondre à 0,57 contre 0,68 pour février relégué au rang de minimum secondaire. Ainsi l'examen des coefficients relatifs de l'été confirme-t-il pleinement pour tout l'espace compris entre les cols du Galibier et d'Allos, la leçon tirée déjà des « indicateurs saisonniers ». Si l'on retient la relation $E < H$ des précipitations d'été aux précipitations d'hiver comme caractéristique d'un régime réellement méditerranéen, on voit que celui-ci n'apparaît guère qu'au Sud de l'Ubaye⁴⁸. Mais les indicateurs saisonniers nous confirment également le caractère pseudo-méditerranéen des pluies de bordure du Pelvoux : si l'on se fie aux moyennes de la période décennale 1932-1941, l'été de Vallouise ($E = 0,68$) est relativement plus sec que celui de Sisteron (1881-1910 : $E = 0,77$) tandis que l'hiver du Monétier ($H = 0,98$) est pratiquement aussi humide — en pourcentage des précipitations totales — que celui de Nice ($H = 0,99$).

Non moins intéressante se révèle l'étude des coefficients relatifs de l'automne. Les pluies de cette saison qui absorbent à Nice plus de 40 % du total annuel représentent encore, dans le champ de notre étude, de 27 à 36 % de ce total, ce qui assure à notre région un coefficient relatif de l'automne supérieur à 1,20: il ne s'abaisse en dessous de cette valeur que dans les Alpes du Nord d'une part, sur le versant piémontais de l'autre. Cet automne pluvieux est donc un excellent critère cartographique du climat des Alpes françaises du Sud.

Le printemps enfin est, en ce qui concerne notre analyse, la saison la moins riche en enseignements. Néanmoins les abords de la crête frontière connaissent l'effet des influences « piémontaises » qui accroissent la pluviosité de cette saison. Le printemps est devenu pour une station la saison la plus pluvieuse (La Condamine : $P = 1,11$; indicatif : PAEH). Ailleurs, il se rapproche du premier rang sans l'atteindre (Abriès : $P = 1,14$ contre $A = 1,22$).

⁴⁸ Sur le versant piémontais, la station la plus septentrionale offrant la relation $E < H$ est Vinadio, sur la haute Stura, à peu près à la même altitude qu'Allos.

Dans un pareil cas l'examen quantitatif des coefficients saisonniers doit compléter évidemment la simple indication des indicatifs.

3° Quel que soit l'intérêt des remarques précédentes — où nous n'avons fait que préciser grâce à des observations nouvelles les indications déjà fournies par E. BÉNÉVENT — nous avons cru que l'analyse des régimes pluviométriques des Alpes du Sud méritait d'être reprise sur d'autres bases que sur l'examen des moyennes — absolues ou relatives — saisonnières. La division de l'année en quatre périodes égales constitue, semble-t-il, un point de départ à la fois arbitraire et sommaire. De plus les procédés arithmétiques employés jusqu'ici ne permettent de considérer chaque saison qu'isolément, ou dans son rapport avec une autre saison : ils ne permettent pas d'exprimer simplement l'allure générale du régime. Aussi avons-nous cru devoir rechercher d'autres méthodes, assez complètes pour permettre la comparaison des régimes mensuels (et non plus seulement des régimes saisonniers), assez synthétiques toutefois pour aboutir à des expressions numériques simples, directement cartographiables.

La méthode à laquelle nous nous sommes arrêté repose sur l'emploi du coefficient statistique de « corrélation » dit « coefficient de PEARSON ». Nous avons évalué par cette méthode la corrélation existant entre le régime pluviométrique moyen de chacune des stations étudiées et ceux de Nice et de Chamonix, choisis respectivement comme type de régimes méditerranéen et continental ⁴⁹.

L'emploi de cette méthode suppose d'abord le calcul des écarts à la moyenne (c'est-à-dire ici à l'unité) des coefficients pluviométriques relatifs moyens des 12 mois de l'année. Soient a_1, a_2, \dots, a_{12} ces écarts pour la station étudiée et b_1, b_2, \dots, b_{12} ces écarts pour la station de référence. Le « coefficient de corrélation » entre les deux stations est donné par la formule :

$$H = \frac{\Sigma a \cdot b}{\sqrt{\Sigma a^2} \sqrt{\Sigma b^2}} \quad 50$$

⁴⁹ Nous n'ignorons pas que l'emploi de ces deux postes, de Nice principalement comme station méditerranéenne de référence, n'est pas à l'abri des critiques. Il faut en effet se rappeler que la véritable caractéristique d'un régime méditerranéen franc est le maximum *d'hiver* (Jérusalem, Alger, etc.). Si à Nice l'hiver est moins pluvieux que l'automne, c'est sous l'effet des influences continentales qui, grâce aux Alpes, atteignent la côte au cœur de l'hiver. Détail à garder à l'esprit quand on se réfère précisément à Nice pour rechercher les traits « méditerranéens » du climat des Alpes du Sud.

⁵⁰ Il serait ici hors de propos et de notre compétence de discuter la signification de la formule de PEARSON. Quelques applications numériques suffisent cependant à montrer au profane que :

1) si a et b sont très fréquemment de signes contraires (ce qui suppose des régimes « inverses », les mois pluvieux de la station étudiée correspondant aux mois

Le tableau suivant, qui résume les résultats numériques essentiels obtenus à l'aide de cette méthode, en souligne du même coup la portée :

TABLEAU XXXV

	H_c	H_n		H_c	H_n
Chamonix	+ 1	— 0,23	Barcelonnette	+ 0,29	+ 0,70
Modane	+ 0,74	+ 0,38	Allos	+ 0,013	+ 0,78
Briançon	+ 0,39	+ 0,63	Orpierre	+ 0,1	+ 0,85
Embrun	+ 0,56	+ 0,66	Sisteron	— 0,09	+ 0,80
Gap	+ 0,30	+ 0,69	Nice	— 0,23	+ 1

H_c , corrélation du régime avec celui de Chamonix.

H_n , corrélation du régime avec celui de Nice.

Quiconque a parcouru le bassin de la Durance ne manquera pas d'être frappé par le caractère très expressif de ces chiffres : ils soulignent d'abord le changement assez brusque du régime entre Modane et Briançon : la corrélation avec Chamonix s'effondre (de + 0,74 à + 0,39) tandis que le rapprochement avec Nice s'affirme, H_n passant de 0,38 à 0,63. Le Galibier est bien une frontière climatique. On remarque ensuite que les influences méditerranéennes remontent loin vers le Nord grâce à l'ensellement durancien et viennent buter au contraire, plus à l'Est, contre les hauts sommets des Alpes maritimes ou de l'Ubaye : Sisteron est plus typiquement méditerranéen qu'Allos. Enfin, la forte corrélation d'Embrun avec Chamonix ($H_c = 0,56$) constitue une anomalie curieuse. Le coefficient de PEARSON traduit ici en chiffres remarquablement nets une analogie déjà pressentie par VEYRET⁵¹. Nous croyons qu'il s'agit là d'un fait local dû à la topographie en cuvette du bassin d'Embrun.

secs de la station de référence et vice versa), ab sera négatif, et par suite H négatif et proche de -1 ;

2) si a et b sont aussi fréquemment de même signe que de signes contraires (régimes indépendants l'un de l'autre), ab sera très petit, donc H lui-même, positif ou négatif, de valeur absolue très petite ;

3) si a et b sont très fréquemment de même signe mais avec des valeurs absolues encore très différentes, le dénominateur de la fraction croîtra beaucoup plus vite que le numérateur, H sera positif, mais encore proche de 0 ;

4) si a et b sont toujours de même signe et avec des valeurs absolues très voisines, H sera positif et se rapprochera de l'unité.

⁵¹ P. VEYRET (41, pp. 268-269).

En tout cas, on ne retrouve pas cette allure continentale du régime ni en Ubaye, ni en Briançonnais.

La figure 52, construite avec quelques autres postes que ceux figurant au tableau XXXV, indique la corrélation des régimes pluviométriques avec celui de Nice ⁵². Le tracé des courbes souligne la remarquable unité d'ensemble de ce que l'on est tenté d'appeler le régime pluviométrique « durancien », tandis qu'au delà du Galibier ou vers la plaine du Pô les influences méditerranéennes se dégradent beaucoup plus rapidement ⁵³.

Il semble donc bien que la méthode que nous proposons ici soit susceptible d'apporter une contribution utile à l'analyse théorique de la dégradation d'un climat. Nous serions tenté pour notre part, en reprenant les expressions mêmes créées par E. BÉNÉVENT, mais avec des significations peut-être plus précises, de distinguer dans l'ensemble des Alpes françaises quatre domaines pluviométriques caractérisés comme suit :

Zone continentale : coefficient de corrélation du régime pluviométrique avec celui de Chamonix voisin de l'unité — avec celui de Nice : négatif. Aucune influence méditerranéenne.

Zone de transition à tendance continentale : coefficients de corrélation du régime pluviométrique avec ceux de Chamonix et de Nice tous deux positifs, le premier étant supérieur au second : il y a bien à la fois influence continentale et influence méditerranéenne, la première l'emportant sur la seconde.

Zone de transition à tendance méditerranéenne : coefficient de corrélation du régime pluviométrique avec ceux de Chamonix et de Nice tous deux positifs, le second étant supérieur au premier : il y a toujours influence continentale et influence méditerranéenne mais se combinant cette fois au profit de la seconde.

⁵² Les corrélations des régimes avec celui de Chamonix que nous n'avons pas cartographiées s'ordonneraient moins régulièrement. L'influence locale du relief serait ici prédominante. Nous avons déjà signalé la corrélation anormalement forte d'Embrun avec Chamonix. Inversement les postes de la bordure du Pelvoux (Le Monétier, Vallouise) présentent avec Chamonix des corrélations minimales, voire négatives.

⁵³ A distances égales de la mer, le régime méditerranéen se dégrade beaucoup plus vite vers la plaine du Pô que dans le bassin de la Durance. La valeur H_n du coefficient de corrélation avec le régime de Nice s'abaisse en effet à 0,21 dès Vinadio et à 0,06 à Fenestrelle.

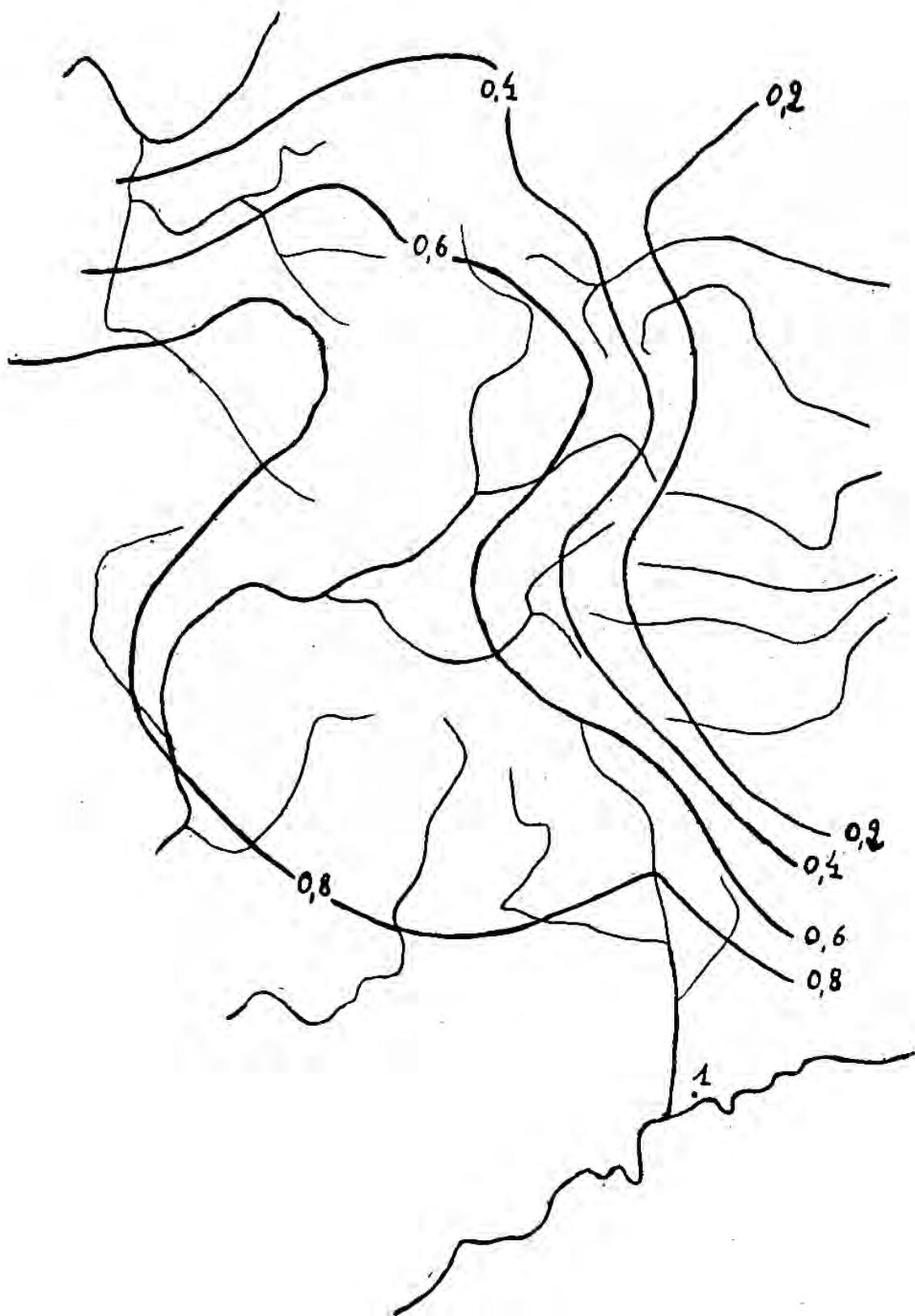


Fig. 52. — Corrélation des régimes pluviométriques des Alpes du Sud avec celui de Nice.

Zone méditerranéenne : coefficient de corrélation du régime pluviométrique avec celui de Chamonix négatif — les influences continentales sont ici inexistantes —. Mais le coefficient de corrélation avec le régime de Nice devient par contre voisin de l'unité.

Plus simplement :

<i>Zone continentale</i> :	$H_c \neq 1$	$H_n < 0$
<i>Zone de transition à tendance continentale</i> :	$1 > H_c > H_n > 0$	
<i>Zone de transition à tendance méditerranéenne</i> :	$0 < H_c < H_n < 1$	
<i>Zone méditerranéenne</i> :	$H_c < 0$	$H_n \neq 1$

**

Il est temps de conclure, c'est-à-dire de dégager les enseignements de ces trois méthodes d'analyses — indicatifs saisonniers, coefficients relatifs, coefficients de corrélation — pour caractériser les types de régimes pluviométriques de la haute Durance.

La première impression qui s'en dégage est celle d'une grande homogénéité du régime pluviométrique durancien : 14 stations sur 22 ont en effet pour « indicatif saisonnier » APEH. Mais une étude plus fouillée révèle à qui l'entreprend des nuances plus complexes et ces nuances, au lieu de s'ordonner du Sud au Nord comme on s'y attendrait, s'ordonnent de l'Ouest à l'Est. Car c'est de l'Ouest à l'Est, de la moyenne Durance ou du Pelvoux à la plaine du Pô, que s'effectue dans nos régions le passage d'une zone subméditerranéenne à une zone déjà continentale (fig. 53). Nous nous permettons de souligner l'originalité d'une telle affirmation : tandis que les régimes pluviométriques de Briançon et de Barcelonnette sont pratiquement identiques, ceux de Vallouise et d'Abriès diffèrent très sensiblement.

a) Les stations les plus proches du Pelvoux se caractérisent en effet par un été remarquablement sec. A Pelvoux-Vallouise août reçoit en moyenne 48,7 mm. (coefficient relatif 0,58) contre 54,8 mm. pour février (coefficient 0,73). Au Monétier la moyenne d'août s'abaisse à 54,9 mm. contre 74,2 mm. pour janvier qui est ici le cœur du minimum secondaire d'hiver. A Névache enfin, le phéno-

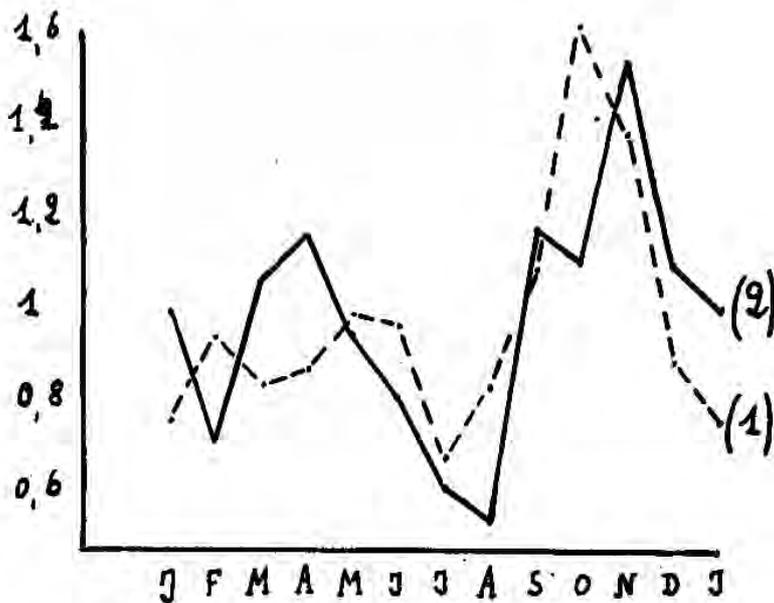
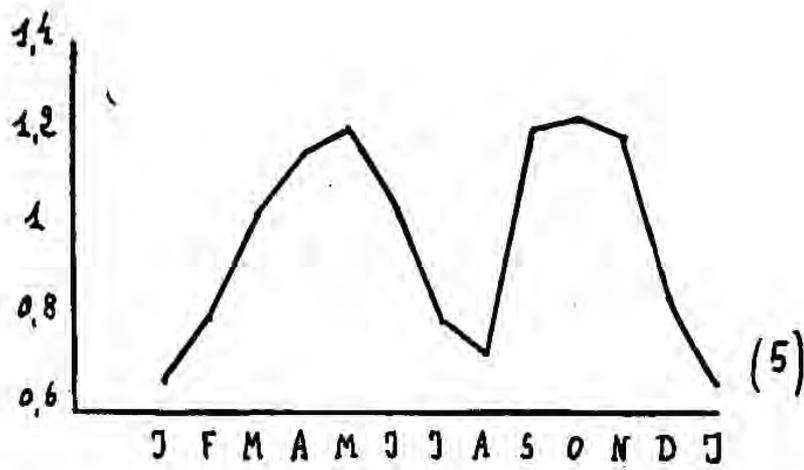


Fig. 53. — Régimes pluviométriques des hautes Alpes du Sud (coefficients relatifs, moyennes mensuelles 1931-1940).

A. Type occidental (Pelvoux), (1) : Saint-Bonnet. — (2) : Vallouise.

La saison la plus sèche est l'été, la plus humide l'automne, les influences méditerranéennes sont évidentes.

B. Type central : (3) : Briançon. — (4) : Barcelonnette.

Hiver et été également secs; le printemps tend à devenir aussi pluvieux que l'automne; allure désordonnée du régime dans le détail (notamment dédoublement du maximum d'automne en deux pointes de septembre et novembre).

C. Type oriental : (5) : Abriès.

L'hiver est devenu la saison sèche principale; les deux saisons humides sont devenues rigoureusement équivalentes. On sent l'approche du climat padan (au-delà de l'arête frontière, le maximum de printemps deviendrait vite prépondérant).

mène, beaucoup moins marqué, est cependant sensible encore : juillet, 48,2 mm.; janvier, 50,4 mm. Les coefficients saisonniers confirment l'impression laissée par les minima mensuels : Pelvoux-Vallouise, $E = 0,68$ contre $H = 0,95$; — Monétier, $E = 0,77$ contre $H = 0,98$; — Névache enfin, $E = 0,78$ contre $H = 0,89$ ⁵⁴. Il s'agit donc bien là d'un régime très original caractérisé par l'indicatif saisonnier APHE et par des coefficients relatifs moyens d'environ :

$$H = 0,94 \quad P = 1,00 \quad E = 0,74 \quad A = 1,32$$

C'est bien là un climat pseudo-méditerranéen comme le souligne le coefficient de corrélation du régime de Vallouise avec celui de Nice qui s'élève en effet à 0,71.

Cette allure pseudo-méditerranéenne des précipitations semble bien liée à la proximité du Pelvoux. On la retrouve en effet avec une nuance de précocité en plus, jusqu'à Bourg-d'Oisans (juin, 66 mm.; décembre, 98 mm. — coefficients saisonniers : été, 0,87; hiver, 1,00) comme à Saint-Bonnet (été, 0,84; hiver, 0,87) et au col Bayard (juillet, 54 mm.; février, 67 mm.).

On peut s'étonner qu'une nuance aussi originale du climat alpin ait pu échapper aux analyses minutieuses de BÉNÉVENT. Deux hypothèses se présentent à l'esprit pour l'expliquer. Ou bien il s'agit là d'une anomalie très localisée qui est en quelque sorte passée entre les mailles du réseau assez lâche de stations utilisé par notre prédécesseur. Celui-ci n'a pu utiliser en effet d'observations ni à Névache, ni au Monétier, ni à Vallouise, ni au Bayard. Ou bien cette allure pseudo-méditerranéenne des régimes de bordure de l'Oisans est un fait récent qui ne s'est affirmé que sur les moyennes 1932-1941. Nous inclinerions pour une explication au moins partielle de cette nature en invoquant les observations de Bourg-d'Oisans. La période 1932-1941 a vu en effet les mois d'été s'affirmer plus secs pour cette station et les mois d'hiver par contre plus humides que pour la période 1881-1910⁵⁵. Peut-être n'est-ce que par suite d'une période

⁵⁴ Ce n'est donc pas un hasard si Vallouise, le Monétier et Névache sont devenus les trois grands foyers de tourisme de résidence d'été du Briançonnais.

D'une façon plus générale, il pourra être intéressant pour le touriste de connaître les précipitations moyennes totales des deux mois de la « saison », juillet et août. La station la plus favorisée est à ce point de vue Guillestre (94,4 mm. pour l'ensemble des deux mois). Viennent ensuite Névache (100,5 mm.) — fait d'autant plus remarquable que cette station est déjà fort élevée —; Pelvoux-Vallouise (101 mm.); Briançon (103,2 mm.); Barcelonnette (106 mm.). Les stations les plus arrosées, pour juillet-août, se localisent en basse Ubaye: Saint-Barthélemy (164 mm.); le Lauzet (151 mm.) (tous ces chiffres provenant des moyennes décennales 1932-1941).

⁵⁵ D'après Jean MERCIER. Les précipitations dans l'Isère de 1910 à 1940. *R.G.A.*, 1942, IV, p. 775.

d'observations fâcheusement brève que les stations du type « Valloise » présentent ces régimes de type « pseudo-méditerranéen » que nous leur avons reconnus ?

b) Plus à l'Est, le gros de nos stations, de Briançon à Barcelonnette, possède un climat de transition mieux équilibré où les influences méditerranéennes restent cependant encore bien marquées. Ces postes présentent en effet l'indicatif saisonnier APEH avec une moyenne des coefficients relatifs s'établissant comme suit :

$$H = 0,77 \quad P = 1,03 \quad E = 0,91 \quad A = 1,29$$

Le minimum principal d'hiver trahit comme on le voit la persistance vers le Sud en cette saison d'influences « continentales » tenaces, tandis que le minimum secondaire d'été projette loin vers le Nord un trait essentiel du climat méditerranéen : trait d'autant plus remarquable — et remarqué — que c'est en cette saison que la montagne reçoit ses plus nombreux visiteurs. Le degré relatif des influences continentales et méditerranéennes s'exprime par les coefficients de corrélation des régimes pluviométriques avec ceux de Chamonix et de Nice, coefficients dont les valeurs moyennes sont pour ce groupe de postes :

$$H_n = 0,41 \quad H_n = 0,66$$

Il s'agit donc bien d'un « régime de transition à tendance méditerranéenne ».

c) Tout à fait au voisinage de la frontière enfin, en Queyras notamment, le régime des pluies se modifie à nouveau sous l'influence du maximum padan de printemps. Le coefficient relatif de cette saison, qui atteignait seulement ou dépassait à peine l'unité dans les régimes du type précédent, atteint ici des valeurs bien plus élevées. Le rapport $\frac{P}{A}$ des pluies de printemps aux pluies d'automne s'élève tout au long du Guil :

$$\frac{P}{A} : \text{Guillestre} : 0,78 \quad \text{Arvieux} : 0,85 \quad \text{Abriès} : 0,94$$

et dépasse même localement l'unité en haute Ubaye (La Condamine $\frac{P}{A} = 1,05$)⁵⁶. Les pointes mensuelles des deux saisons pluvieuses

⁵⁶ Ce rapport $\frac{P}{A}$ atteint sur le versant padan 1,35 à Fenestrelle, 1,66 à Bobbio Pellice (moyenne 1921-1925). Le maximum de printemps, trait dominant de la pluviométrie piémontaise, ne fait donc que s'esquisser en France.

culminent au même niveau (Abriès : mai = 87,6 mm.; octobre = 89,3 mm. — Vars : juin = 86,3 mm.; septembre = 88 mm. — moyennes 1932-1941). Nous avons donc là affaire à un sous-type de climat que l'on pourra qualifier de « Queyrassin » et qui se caractérisera bien par les coefficients relatifs saisonniers suivants (moyenne arithmétique des coefficients saisonniers des postes) :

$$H = 0,84 \quad P = 1,03 \quad E = 0,96 \quad A = 1,17$$

Par ailleurs, le coefficient de corrélation entre les régimes d'Abriès et de Bobbio Pellice, de part et d'autre du col Lacroix, est de 0,68 : coefficient supérieur à celui existant par exemple entre les régimes de Castellamonte et du Mont Cenis (0,59). Le Montgenèvre par contre, s'il faut en croire les chiffres de BÉNEVENT, posséderait encore un régime de type nettement durancien, très proche de celui de Briançon. Ces régimes de cols semblent résulter avant tout de la topographie faîtière locale.

C. La variabilité des régimes.

Conclusions de l'étude pluviométrique.

L'étude que nous venons de faire des régimes moyens, déjà passionnante en elle-même, reste une initiation bien pauvre à l'incroyable complexité du climat alpin. On connaît la formule fameuse de BÉNEVENT : « L'année moyenne est précisément celle qui ne se réalise jamais ». Nulle part — nous espérons le montrer — il ne faut se méfier autant des « moyennes » pluviométriques que dans le bassin supérieur de la Durance.

Prenons d'abord conscience du fait sur quelques exemples concrets en nous bornant en premier lieu à la recherche de quelques totaux mensuels anormalement écartés pour deux années consécutives. Le Monétier a reçu en mars 1936 26 mm. de pluie, en mars 1937 209,6 mm. pour retomber en mars 1938 à 7,3 mm. La même station offre des anomalies aussi surprenantes pour les précipitations d'octobre :

octobre 1933	octobre 1934	octobre 1935	octobre 1936	octobre 1937
199,8 mm.	4 mm.	133,5 mm.	17,8 mm.	115,6 mm.

Voici maintenant le cas de la succession d'un hiver sec (1936-37) à un hiver humide (1935-36) :

	Le Monétier			Briançon		
	nov.	déc.	janv.	nov.	déc.	janv.
1935-36	228 mm.	249 mm.	211 mm.	181 mm.	143 mm.	86 mm.
1936-37	127 mm.	38 mm.	102 mm.	74 mm.	29 mm.	30 mm.

Aucun mois, aucune saison n'échappe à ces sautes en apparence déconcertantes : en plein été, août 1935 donnait 134,4 mm. à Briançon et 168 mm. au Monétier contre respectivement 10,5 mm. et 17,6 mm. pour ces deux mêmes stations en août 1936 ! A Barcelonnette, ARNAUD avait recueilli en août 1905 105 mm. de pluie : l'année suivante ce même mois devait s'écouler sans aucune précipitation ! Cette variabilité extrême des régimes se retrouve d'ailleurs loin vers le Sud, dans les Basses-Alpes : à Vergons, août 1929 reçut 146 mm. de pluie contre 0 pour août 1930 ; à Mélan, janvier 1935 6 mm. et janvier 1936 211 mm. Et nous n'avons eu aucune peine à choisir ces exemples entre plusieurs dizaines d'autres aussi significatifs.

Si l'on dépasse le cadre de l'instabilité entre deux années consécutives, on peut se faire une première idée de la variabilité d'ensemble des précipitations par le tableau suivant dont nous empruntons le principe à ANGOT. Il s'agit des précipitations à Barcelonnette, seule station qui nous offre une période assez longue d'observations (1898-1913 et 1920-1942) pour cette sorte de recherche (tab. XXXVI).

On voit qu'à Barcelonnette comme à Gap tous les mois sont susceptibles de grandes averses comme de sécheresse prolongée. Mai seul est un mois très relativement constant avec un écart extrême relatif de 1,5 seulement.

Mais un tel tableau, tout instructif qu'il soit déjà, ne nous renseigne encore que sur les rapports réciproques existant entre les phénomènes moyens et extrêmes. Une analyse vraiment complète de la variabilité des précipitations exige la construction de *tableaux de fréquence*. Le travail d'analyse consiste ici à compter le nombre d'années pour lesquelles les totaux d'un mois déterminé sont compris entre des limites données. Dans le tableau XXXVII (*fréquence brute des précipitations mensuelles*) on a choisi des limites caractéristiques distantes de 10 en 10 mm. de précipitations. Les fréquences sont exprimées en pourcentage : 22 % des

TABLEAU XXXVI

Variabilité des précipitations mensuelles à Barcelonnette.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Moyennes (1898-1913 et 1920-1942)	41	45	62	64	72	63	52	58	65	93	93	56	704 mm.
Maximum (Ma)	127	160	157	125	130	135	182	152	168	278	285	220	1.175 mm.
Minimum (Mi)	0	0	0	5	20	9	7	0	0	1	5	0	228 mm.
Rapport $\frac{Ma}{Mi}$	∞	∞	∞	25	6,5	15	19	∞	28	278	57	∞	5,1
Ecart extrême absolu (Ma - Mi)	127	160	157	120	110	126	125	132	162	277	228	220	947 mm.
Ecart extrême relatif $\frac{Ma - Mi}{M}$	3,1	3,5	2,5	1,9	1,5	2	2,4	2,3	2,5	3	2,5	3,9	1,24

(Tableau identique dans P. VEYRET, 44, p. 258, concernant la variabilité des précipitations mensuelles à Gap.)

années ont ainsi, d'après notre tableau, un mois de janvier recevant moins de 10 mm. de pluies, 18 % un mois de janvier recevant entre 10 et 20 mm., etc...

Si l'on soumet à un tel classement non plus les chiffres bruts des totaux mensuels, mais le rapport de chaque total mensuel avec la normale du mois considéré, on obtient un tableau, beaucoup plus suggestif, de la *fréquence relative des précipitations mensuelles* (tableau XXXVIII). On construit assez facilement un tel tableau en choisissant comme limites caractéristiques en vue du classement non plus des valeurs constantes en mm., mais des pourcentages des précipitations normales qui déterminent des écarts relatifs caractéristiques.

Un exemple numérique précisera aux yeux du lecteur la marche de calcul suivie. Soit à classer les totaux pluviométriques mensuels de février (toujours à Barcelonnette). La pluviosité moyenne de ce mois pour la période étudiée est de 45 mm. Les écarts relatifs caractéristiques s'établissent comme suit :

Pourcentage des précipitations à la normale	70	80	90	100	110	120	130
Écarts relatifs	- 30	- 20	- 10	0	+ 10	+ 20	+ 30
Limites caractéristiques en mm.	31,5	36	40,5	45	49,5	54	58,5

Si nous comptons les années pour lesquelles les précipitations de février ont été comprises entre 31,5 et 40,5 mm., nous en trouvons trois sur un total de 38 années analysées, soit 8 %. Nous dirons que la *probabilité des pluies de février comprises entre les pourcentages limites caractéristiques 70 % et 90 %* (ou entre les écarts relatifs caractéristiques - 30 % et - 10 %) *est de 0,08*, valeur que nous lisons effectivement tableau XXXVIII, colonne 6, pour février.

On a complété le tableau par trois colonnes : deux rappellent les *écarts moyens relatifs et absolus* de chaque mois, l'écart moyen relatif étant le quotient de l'écart moyen absolu par la normale, le tout exprimé en mm. Dire par exemple que l'écart absolu moyen de janvier a été de ± 32 mm., cela veut dire que les précipitations observées pendant les 38 mois de janvier de la période considérée se sont écartées en moyenne de 32 mm. de la normale de ce mois, en l'espèce 41 mm. Le quotient de 32 par 41 donne l'écart moyen relatif : 78 %. Enfin on a fait figurer dans une dernière colonne, sous la dénomination de « précipitations caractéristiques probables », une valeur des précipitations telle que les précipitations mesurées aient été effectivement inférieures à cette valeur pendant une moitié des années considérées et supérieures pendant l'autre moitié. Cela revient à dire que les précipitations d'un mois donné d'une année quelconque ont une chance sur deux de se situer en-dessous et une chance sur deux de se situer au-dessus des précipitations caractéristiques probables ⁵⁷.

Nos tableaux XXXVII et XXXVIII appellent les commentaires suivants :

1) Les précipitations mensuelles proches de la moyenne (celles comprises par exemple entre les pourcentages 90 % et 110 % de la normale) *ne constituent pas les totaux les plus fréquents*. Les ma-

⁵⁷ Ces « précipitations caractéristiques probables » peuvent s'appeler plus simplement « précipitations médianes ».

Les tableaux de fréquence peuvent évidemment se traduire graphiquement : voir à titre d'exemple la fig. 54 ci-dessous.

TABEAU XXXVIII

Fréquence relative des précipitations mensuelles à Barcelonnette.
(Périodes 1898-1913 et 1921-42.)

Moynne	Rapport des précipitations mensuelles aux moyennes mensuelles :												Ecart moyen relatif	Ecart moyen absolu	Précipitations caractéristiques probables											
	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230				250	270	290	310	330	350	370	390	410		
J	41	13	13	18	8	10	8	0	8	8	3	0	8	0	3	0	5	0	0	0	0	0	0	±78	±32	35
F	45	10	13	8	24	8	5	0	5	3	8	5	0	0	3	0	0	5	0	3	0	0	0	±76	±34	28
M	62	10	11	10	5	13	8	8	13	5	3	3	5	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	±58	±36	56
A	64	3	6	10	8	26	13	8	10	5	3	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	±41	±26	56
M	72	0	3	8	8	31	21	10	8	8	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	±29	±21	65
J	63	0	10	10	16	5	13	19	16	5	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	±41	±26	64
J	52	0	8	13	14	14	13	8	8	16	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	±51	±26	47
A	58	3	8	26	11	11	8	8	5	10	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	±49	±28	46
S	65	3	8	16	3	26	3	16	3	4	3	3	8	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	±54	±35	56
O	93	3	10	16	10	8	8	18	10	0	5	3	3	3	3	0	0	3	0	0	0	0	0	±53	±49	90
N	93	3	16	8	20	3	13	5	8	5	10	0	3	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	±57	±53	84
D	56	13	10	10	5	16	5	13	8	5	0	3	3	0	3	3	0	0	0	0	0	0	3	±64	±36	47

thématiciens diraient que la valeur *dominante* est souvent distincte de la valeur *moyenne*. Un exemple particulièrement frappant nous en est fourni par la fréquence des pluies de février : la probabilité de voir les précipitations de février être comprises entre les pourcentages relatifs 90 % et 110 % (ou si l'on veut la probabilité de pluies proches de la moyenne, comprises entre 40,5 et 49,5 mm., la moyenne étant ici de 45 mm.) n'est que de 5 %. Au contraire, la probabilité de précipitations comprises entre les pourcentages relatifs 50 % et 70 %, soit ici entre 22,5 et 31,5 mm., c'est-à-dire de pluies très inférieures à la normale, s'élève à 24 %. Il est donc presque cinq fois plus fréquent de voir à Barcelonnette un mois de février deux fois plus sec que la « moyenne » que d'en trouver un conforme à celle-ci. L'importance d'un tel fait nous semble devoir mériter les calculs assez longs nécessaires en l'espèce pour arriver aux résultats numériques que nous proposons. En nuancant quelque peu la formule de BÉNÉVENT que nous rappelions à l'instant, mais en appuyant maintenant notre assertion sur des évaluations numériques rigoureuses, nous pourrions écrire qu'une *moyenne mensuelle, dans les hautes Alpes du Sud, ne correspond pas en général aux totaux de précipitations les plus fréquents*. Et c'est par une impropriété de termes consacrée, hélas, par l'usage que l'on considère comme *normale* la valeur *moyenne* d'un élément du climat. En fait, des précipitations moyennes (qu'il s'agisse de chiffres mensuels ou annuels) ne sont fréquemment pas les précipitations normales, c'est-à-dire celles qu'on serait en droit de voir se réaliser le plus souvent possible. L'année « moyenne » peut même être une année nettement exceptionnelle.

2) Pour tous les mois, sauf juin, les précipitations caractéristiques probables sont inférieures à la moyenne mensuelle. Cela signifie que ces moyennes sont artificiellement gonflées par des averses puissantes, mais qui restent assez peu fréquentes. C'est le cas par exemple des 220 mm. recueillis en décembre 1935 : un tel chiffre est assez élevé pour majorer à lui seul de 4 mm. une moyenne de 38 ans et de 16 mm. une moyenne décennale : il reste trop isolé pourtant pour participer effectivement à la physionomie climatique normale de décembre.

3) Enfin, la variabilité des précipitations, que nous avons évaluée par les calculs des écarts moyens relatifs et absolus, varie considérablement selon les mois. Mai est un mois homogène — nous nous en étions aperçu dès l'examen sommaire du tableau XXXVI ci-dessus — dont les précipitations ne se sont en moyenne écartées

en 38 ans que de ± 21 mm. de la moyenne 72 mm. (écart relatif : ± 29 %). Ce sont janvier et février qui offrent par contre les écarts les plus fantastiques. En 38 années d'observations on a noté 8 mois de février ayant reçu moins de 10 mm. d'eau et 4 par contre en ayant reçu plus de 100. Le calcul donne un écart moyen absolu de ± 34 mm., soit un écart relatif de ± 76 %.

Notre figure 54 est un diagramme de classement des pluies de septembre. On a porté sur l'axe horizontal les limites caractéristiques des précipitations en mm., sur l'axe vertical le nombre des années où ces précipitations ont été observées. Chaque rectangle a ainsi une hauteur (et par suite une surface) proportionnelle au nombre d'années pendant lesquelles les pluies recueillies en février ont été comprises entre les limites indiquées. L'originalité amusante de la figure est que la moyenne des

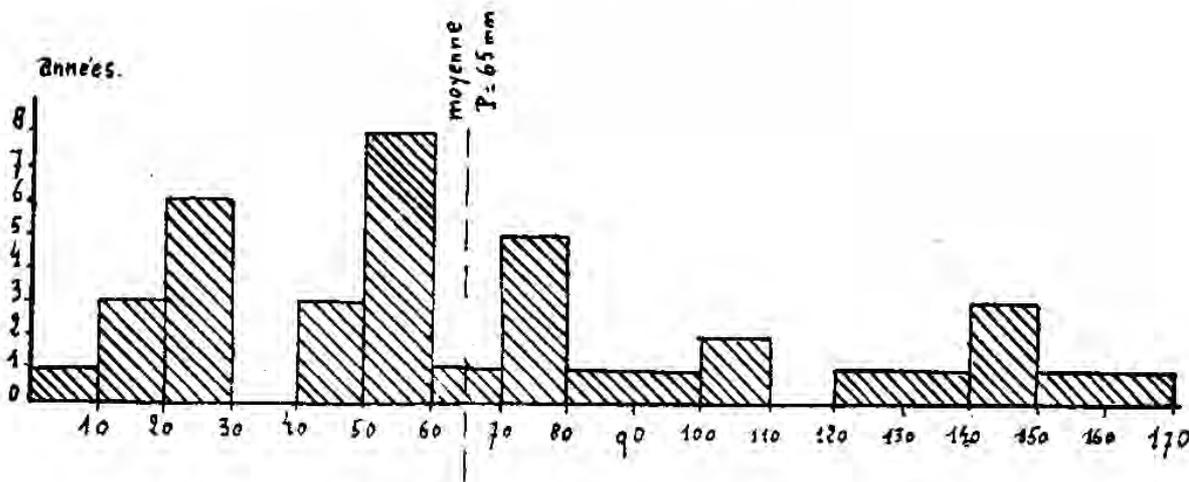


Fig. 54. — Diagramme de classement des totaux pluviométriques de septembre à Barcelonnette (1898-1913 et 1921-1942).

précipitations de septembre est, pour l'ensemble de la période, de 65 mm. Or il n'y a eu qu'une année sur 38 pour laquelle les pluies de septembre aient été effectivement comprises entre 60 et 70 mm. ! Voilà qui illustre les réserves que nous faisons plus haut sur la signification des moyennes en pluviométrie !

Ces remarques nous permettent de proposer le remplacement des graphiques usuels de régimes moyens par des *graphiques de régimes caractéristiques probables*, miroirs plus fidèles à nos yeux, dans ces régions de climat instable, de la réalité sans cesse changeante des choses de l'atmosphère. Nous présentons un tel graphique (fig. 55) pour Barcelonnette (1898-1913 et 1921-1942), seul poste toujours pour lequel un pareil travail soit réalisable. Le trait fort indique pour chaque mois les précipitations caractéristiques probables (celles que l'on a chance de voir dépasser une année sur

deux); le pointillé est un report du régime moyen, précédemment établi. Quant aux deux traits fins situés en dessus et en dessous, ils expriment les valeurs maxima et minima des précipitations mensuelles qui ne sont en moyenne dépassées qu'une année sur dix. Nous appellerons ces courbes graphiques de *régimes caractéristiques décimaux*. On lit ainsi directement sur la figure que les précipitations d'octobre ont une chance sur deux d'être supérieures à 90 mm., une chance sur deux inversement d'être inférieures à cette valeur. Un an sur dix en moyenne les pluies d'octobre dépassent 200 mm.; un an sur dix par contre elles peuvent également s'abaisser en dessous de 22 mm.

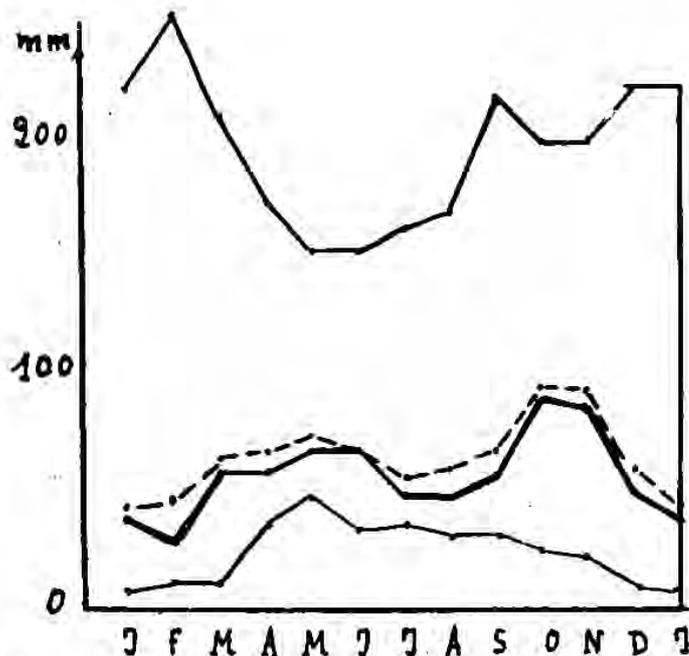


Fig. 55. — Régimes pluviométriques caractéristiques probables et caractéristiques décimaux. Barcelonnette 1898-1913 et 1921-1942. *En tireté* : régime moyen.

Le « balancement » des climats. Années méditerranéennes et années continentales. — Cette notion de « fréquence » d'un total pluviométrique sur lequel nous avons cru devoir insister plus qu'il n'est coutume, en raison de la variabilité vraiment extraordinaire des régimes auxquels nous avons affaire, n'est encore malgré tout qu'une notion purement statistique. Il nous reste à tenter d'expliquer cette variabilité et à rechercher notamment si elle n'obéit pas, dans le temps, à certains cycles.

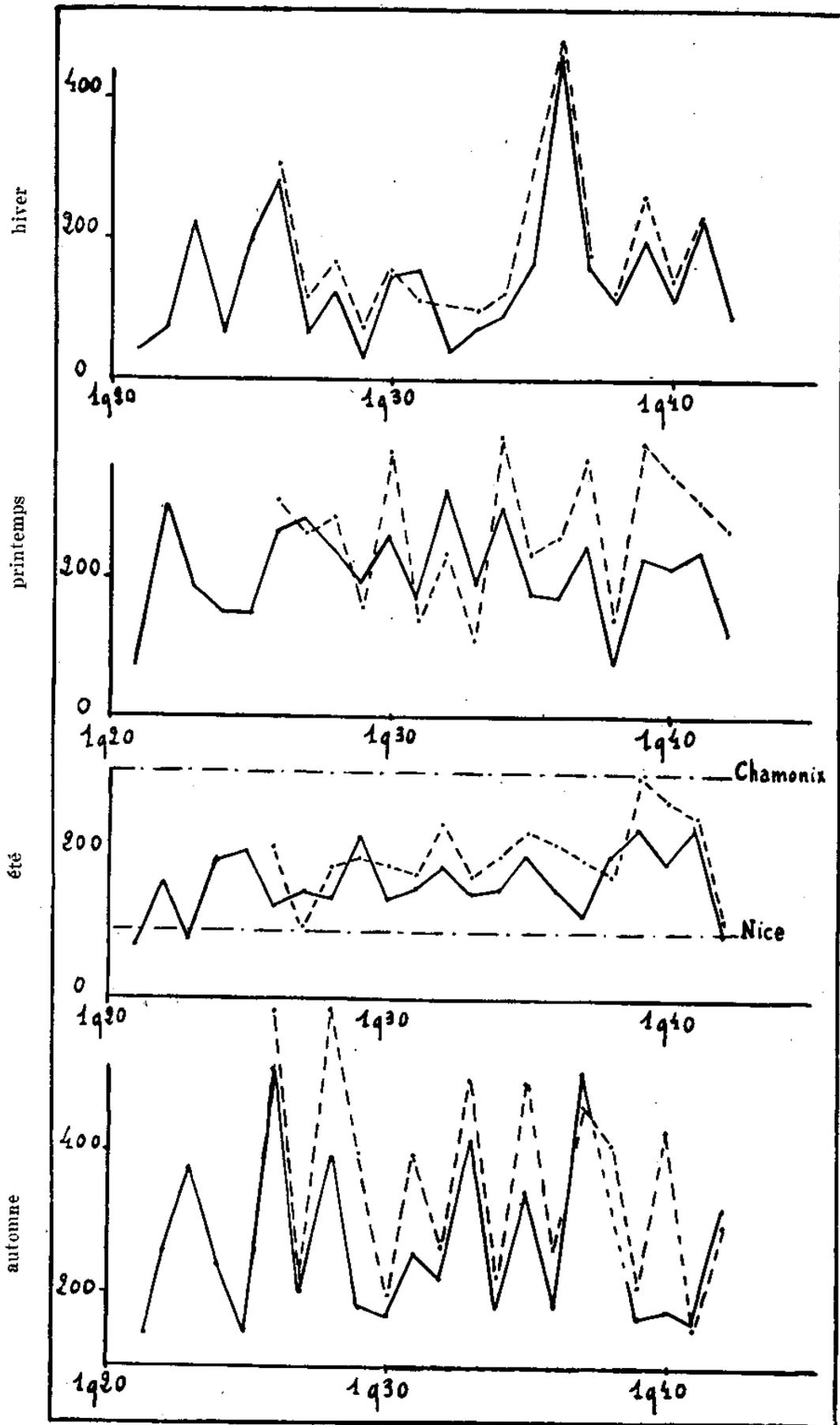


Fig. 56. — Variabilité saisonnière de la pluviosité.
 Trait plein : Barcelonnette. — Tireté : Seyne (depuis 1926).

Nous avons d'abord imaginé dans ce but (fig. 56) d'étudier la variation des pluies de chaque saison au cours de la période 1926-1942. Nous avons joint cette fois aux observations de Barcelonnette celles de Seyne. Sur le graphique de l'été, on a représenté par deux lignes horizontales les précipitations moyennes de cette saison à Chamonix et à Nice : la figure montre avec netteté que l'été de nos régions semble osciller en quelque sorte entre l'été humide continental de Chamonix et l'été sec méditerranéen de Nice : l'été de 1939 à Seyne (situé pourtant légèrement en dehors de notre domaine vers le Sud) fut presque aussi humide que ne l'est en moyenne l'été chamoniard. Inversement les étés de 1921 (dont on connaît la sécheresse générale) et de 1923 à Barcelonnette furent plus secs que la moyenne de l'été niçois. On notera que dans l'ensemble, au cours de ces dernières années, les étés tendaient à devenir plus humides, c'est-à-dire selon nous plus « continentaux ».

L'automne présente une variabilité bien plus grande encore que celle de l'été : notre graphique confirme donc pleinement ce que nous avait déjà appris la table de fréquence de Barcelonnette (moyenne des écarts moyens des trois mois d'été : ± 27 mm.; id. pour les trois mois d'automne : ± 46 mm.). L'examen de la figure révèle que l'on peut poser comme une règle empirique que les automnes secs et pluvieux alternent régulièrement entre eux au moins quatre fois sur cinq. C'est la saison en effet dont le « balancement » est le plus régulier. Dans l'ensemble, les précipitations de l'automne ont en outre tendance à diminuer légèrement, surtout depuis 1926.

L'hiver et le printemps présentent enfin une certaine constance dans les caractères pluviométriques, la seule « pointe » vraiment accusée du graphique soulignant l'hiver exceptionnellement pluvieux de 1935-1936 que nous avons déjà signalé.

Ces graphiques — ceux notamment concernant l'été et l'automne — nous conduisent à penser, comme à l'hypothèse la plus simple, que l'extrême variabilité des régimes pluviométriques des hautes Alpes du Sud pourrait provenir d'influences alternées tantôt continentales, tantôt méditerranéennes, qui domineraient à tour de rôle dans la région. C'est ce que nous avons essayé de mieux mettre en lumière sur la figure 57 : nous avons sélectionné, sur l'ensemble de la période étudiée (38 ans), 10 années de type continental et 10 années de type méditerranéen. Les moyennes arithmétiques de ces deux groupes de dix années déterminent deux régimes aussi différents que possible, l'un d'allure nord-méditerranéenne caractéristique, l'autre de type continental à peine moins accentué.

Par contre, la comparaison de deux périodes décennales ou trentennaires entières, c'est-à-dire formées d'années consécutives, s'est révélée plutôt décevante. Nous présentons (fig. 58) les régimes pluviométriques de Briançon, Embrun et Barcelonnette pour les deux périodes 1881-1910 et 1932-1941. Les traits observés sur la décade la plus proche de nous sont : une augmentation générale des préci-

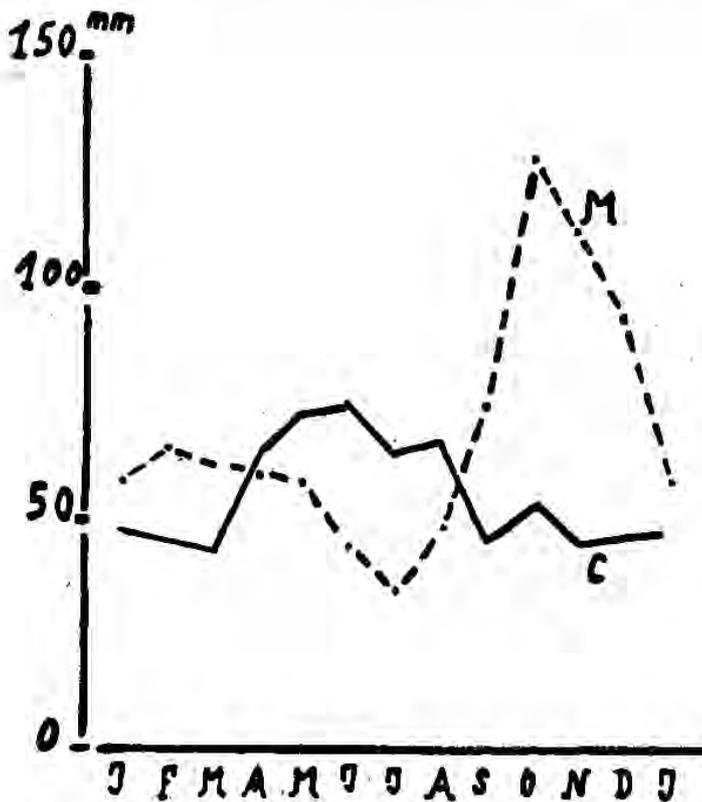


Fig. 57. — Régimes pluviométriques de Barcelonnette.

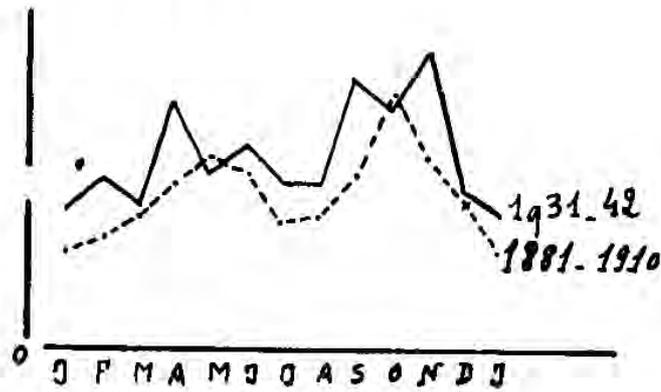
En trait plein : moyenne de 10 années continentales (1899, 1903, 1905, 1906, 1908, 1912, 1925, 1939, 1940, 1941).

En tireté : moyenne de 10 années méditerranéennes (1900, 1902, 1910, 1911, 1923, 1926, 1928, 1936, 1937, 1942).

(L'année va de décembre à novembre.)

pitations en toutes saisons — une tendance à l'égalisation des saisons — une précocité plus grande des maxima et des minima. Mais on ne peut pas dire que les moyennes récentes accusent des caractères plus « continentaux » ou plus « méditerranéens » que celles de BÉNÉVENT. Cela provient tout simplement du fait que l'alternance des influences continentales ou méditerranéennes, que nous avons reconnue avec netteté, se fait selon des cycles irréguliers

Briançon



Barcelonnette

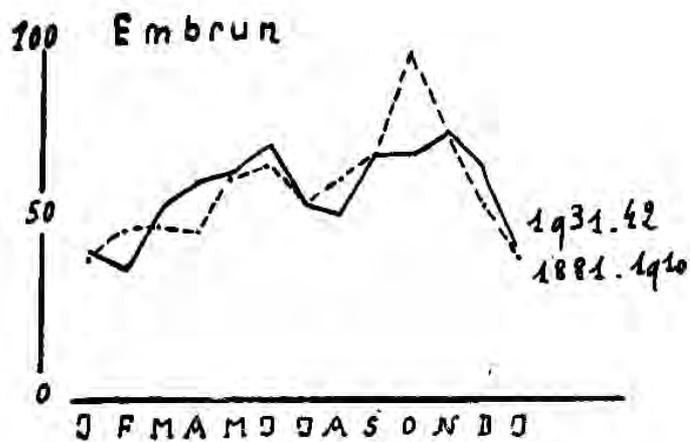
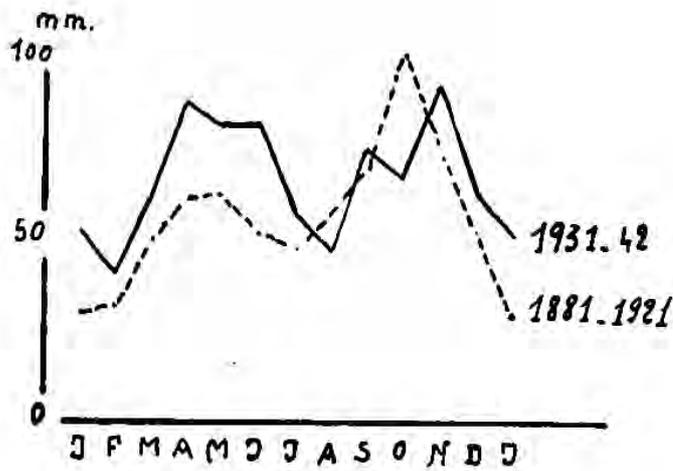


Fig. 58. — Evolution des régimes pluviométriques.

et brefs qui se traduisent mal sur des moyennes de durées déjà assez longues. Par contre, il semble bien que le régime actuel de Barcelonnette traduise une empreinte croissante du maximum piémontais de printemps. Le printemps y est devenu en effet en 1931-1942 aussi pluvieux que l'automne, ce qui n'était nullement le cas pour la période 1881-1910.

L'intensité des précipitations. — L'étude du régime pluviométrique, même compte tenu de sa variabilité annuelle, reste insuffisante malgré tout à serrer dans toute sa complexité la réalité des précipitations : une dernière étape de notre analyse reste à franchir qui comprend l'examen de leur fréquence et de leur intensité. Le nombre annuel des *jours de pluie* (moyennes 1932-1941) varie pour nos postes de 87 pour Embrun à 100 pour Vallouise⁵⁸; l'intensité moyenne de la pluie variant, elle, de 8 mm. (Briançon) à 10,5 mm. (Le Monétier). Près de la moitié des jours de pluie reçoivent d'ailleurs entre 5 et 10 mm. Quant aux précipitations très abondantes, elles sont remarquablement rares : au cours de la décade 1932-1941, les postes du Briançonnais et du Haut-Embrunais n'ont accusé que 12 chutes de pluie supérieures à 50 mm. en 24 heures; une seule chute, pour la même période, dépassa et de peu 100 mm. : 101,2 mm. à Vallouise le 17 novembre 1933. Viennent ensuite les 72,2 mm. reçus à Briançon le 21 novembre 1938. De pareils « records » s'avèrent complètement ridicules non seulement en face des trombes d'eau qui peuvent s'abattre sur les Cévennes, mais même en comparaison des averses des Alpes du Nord⁵⁹. D'origine atlantique ou méditerranéenne les systèmes pluvieux n'atteignent le bassin supérieur de la Durance que dans un état de complet épuisement, et cette absence de grosses averses constitue sans nul doute l'un des traits qui donne au climat sa réputation de sécheresse.

Notre figure 59 exprime, pour Briançon et Vallouise-Pelvoux, la fréquence de l'intensité de la pluie (1936-1938).

Par ailleurs, l'intensité des précipitations présente une légère variation saisonnière qu'indique notre tableau XXXIX et qui ne fait que souligner, s'il en était besoin, l'origine méditerranéenne des grosses averses.

⁵⁸ Il va sans dire que nous ne pouvons connaître la fréquence des précipitations que pour la zone étroite des vallées : les totalisateurs et les procédés hydrauliques d'investigation, qui nous renseignaient tant bien que mal sur la valeur des précipitations annuelles en haute altitude, ne nous sont d'aucun secours ici.

⁵⁹ 160 mm. à Evian le 3 octobre 1888; — 150 mm. à Bozel le 29 novembre 1902 (H. ONDE, 9, p. 403). A Gap, 120 mm. à deux reprises, les 3 et 26 septembre 1928 (P. VEYRET, 11, p. 260).

TABLEAU XXXIX

Nombre de jours de pluie ayant dépassé 50 ou 100 mm. en 24 heures pour l'un au moins des postes de Briançon, Vallouise-Pelvoux et Champcella-Pallons, au cours de la décade 1932-1941⁶⁰.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
50 mm. ...	0	0	0	2	1	0	0	0	2	2	3	0
100 mm. ...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

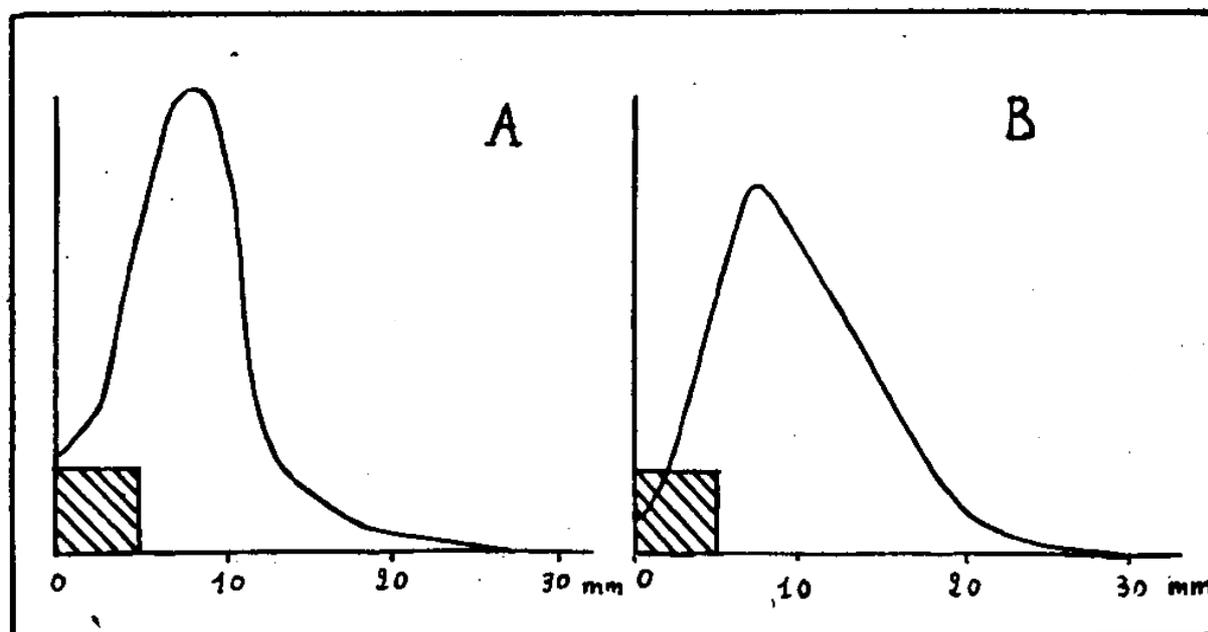


Fig. 59. — Fréquence de l'intensité de la pluie à Briançon (A) et Vallouise-Pelvoux (B) (1932-41).

Le carré hachuré correspond à 10 jours de pluie.

Les types de pluies. — Au terme de cette longue analyse qui nous a mené des moyennes pluviométriques brutes vers des réalités de plus en plus concrètes, il nous resterait à préciser, sur les cartes d'isobares, l'origine des précipitations. Nous avons dépouillé dans ce but les cartes des « bulletins quotidiens » de l'O.N.M. de 1936, 1937 (six mois) et 1938. Reprenant une méthode mise au point il

⁶⁰ Tableau obligeamment établi pour nous par M. DUBOIS-CHABERT, secrétaire de la Commission météorologique des Hautes-Alpes.

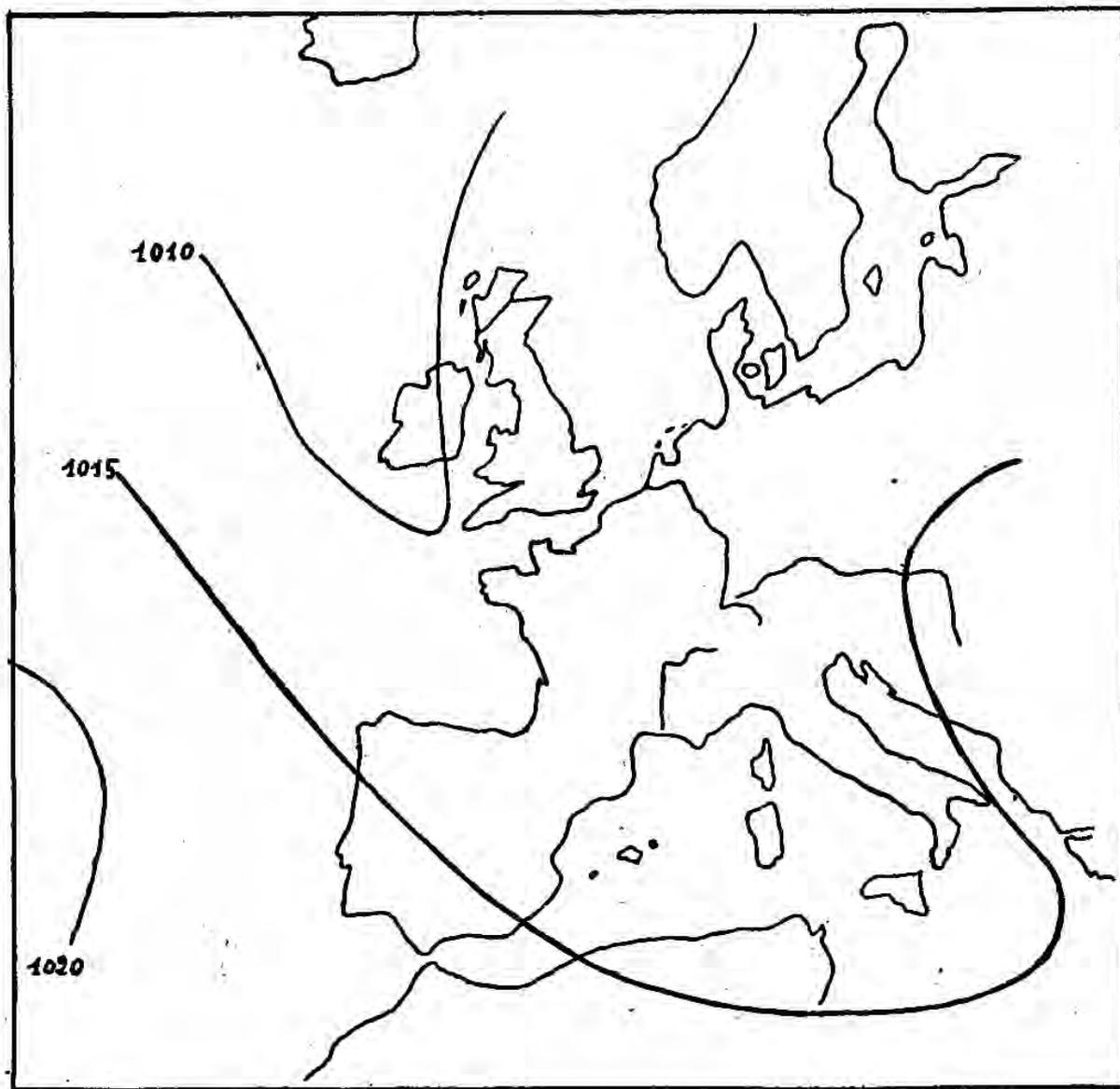


Fig. 60. — Situation barométrique moyenne
correspondant aux veilles de précipitations à Briançon (1936-1938).
Pressions en millibars.

y a déjà quarante ans ⁶¹, nous avons recherché pour ces trois années les journées ayant reçu plus de 3 mm. de pluie dans l'un ou l'autre au moins des pluviomètres de Briançon ou de La Vachette, puis relevé *pour la journée précédente* les pressions d'une vingtaine de postes européens de Reykiawick ou de Punta Delgada à Patras.

⁶¹ THÉVENOT. *Recherches sur la prévision du temps en Algérie*. 1905. — Commenté par J. ROUCH. *Les méthodes de prévision du temps*, Paris (Colin), 1932, p. 235.

Calculant ensuite les valeurs moyennes de toutes ces pressions nous avons pu dresser une carte-type de la distribution barométrique des veilles de pluie à Briançon dont l'allure générale ne paraît pas fortuite (fig. 60) : nos pluies briançonnaises semblent provoquées en effet par l'approche d'une ligne de basses pressions (valeurs moyennes : Reykiawick, 1.005 mb.; Valentia, 1.009 mb.; Brest, 1.011 mb.; Toulon, 1.012 mb.) tandis que les pressions se relèvent à la fois vers l'Europe centrale (Vienne et Varsovie, 1.015 mb.) et vers l'Afrique (Alger, 1.014 mb.; Marrakech, 1.018 mb.). Par ailleurs nous avons établi, pour les mêmes années, les cartes de pressions moyennes de janvier et juillet (fig. 61) : leur rapprochement avec la carte précédente souligne une similitude visible de la carte-type des veilles de précipitations avec la carte moyenne des isobares de janvier; la carte-type différant par contre notablement de la carte moyenne de juillet. Pour qui se rappelle que janvier est le mois des précipitations méditerranéennes les plus pures, l'analyse détaillée des cartes quotidiennes d'isobares semble ainsi souligner curieusement le mécanisme méditerranéen de la majeure partie des précipitations affectant les Alpes françaises du Sud.

Ainsi, l'analyse des régimes pluviométriques moyens nous avait d'abord amené à minimiser les caractères méditerranéens du climat haut-durancien. Dans la plupart de nos stations l'été nous était apparu en effet moins sec que l'hiver, et l'existence de ce minimum principal d'hiver trahissait l'extension vers le Sud d'influences continentales dans un domaine où l'on aurait cru à première vue voir dominer les influences méditerranéennes. Nous avons vu les traits continentaux des régimes s'affirmer en Queyras et même en Ubaye aux approches de la crête frontière. Mais une analyse plus poussée des réalités pluviométriques nous a montré que certaines années un régime typiquement méditerranéen avec maximum principal d'automne et minimum principal d'été s'étendait sur tout notre domaine pour déborder peut-être même sur la Maurienne. L'étude enfin de l'intensité et du mécanisme des précipitations nous montre maintenant que, sans être assez puissante pour imposer au régime moyen ses caractères dominants, une certaine analogie se manifeste néanmoins avec évidence entre les précipitations de Briançon et celles des régions les plus méridionales de notre pays.

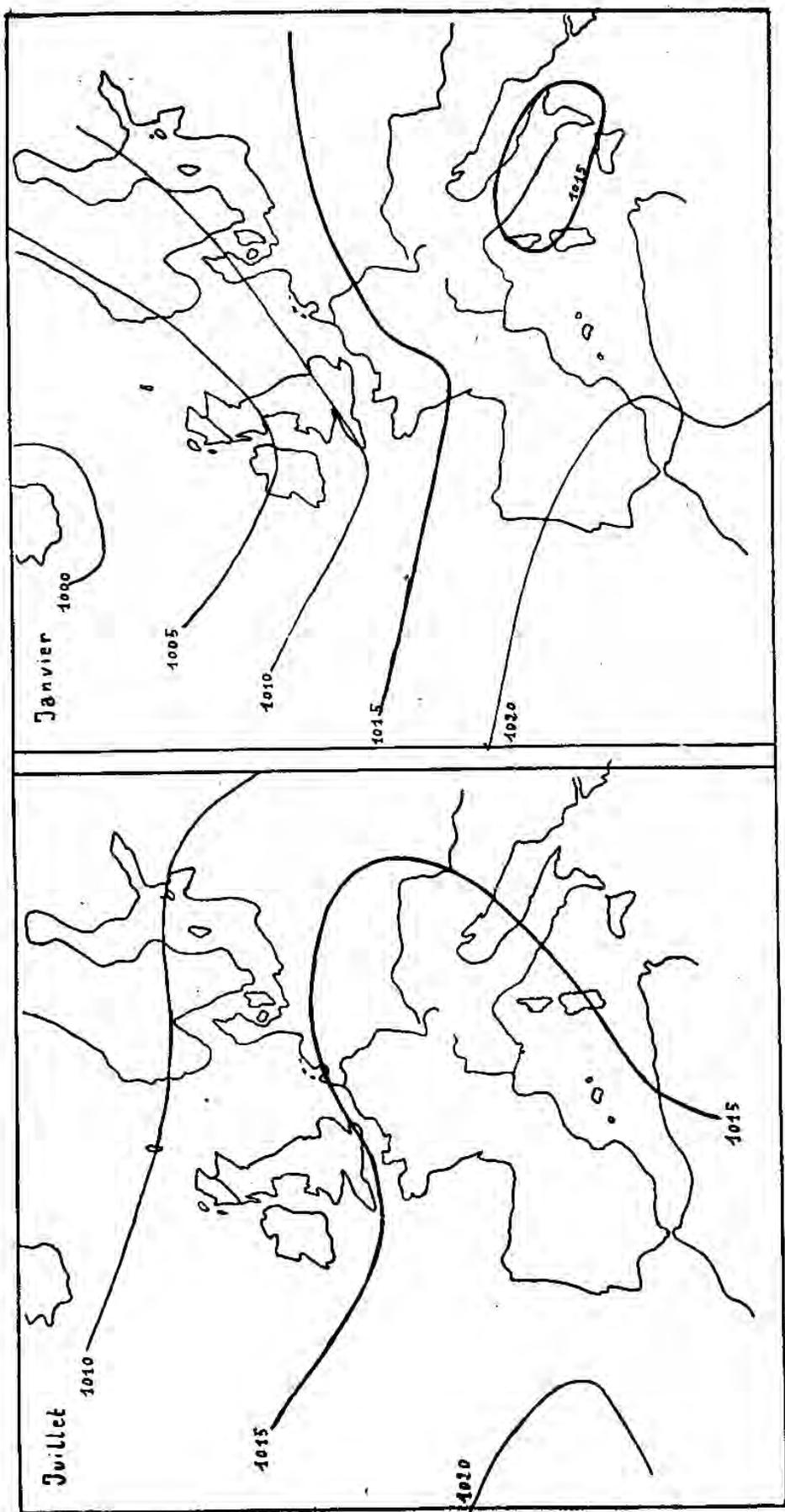


Fig. 61. — Situation barométrique moyenne de juillet (à gauche) et de janvier (à droite) (1936-1938). — Pressions en millibars.

IV. — Les phénomènes thermo-pluviométriques.

Nous venons d'étudier dans les pages qui précèdent, indépendamment l'une de l'autre, la température et la pluie. En fait, les éléments du climat doivent surtout être considérés dans leur interaction. On sait aujourd'hui que les phénomènes physiques (écoulement fluvial) ou biologiques (limites de végétation, habitat même de l'homme) dépendent moins isolément de la température ou de la pluie que de la façon dont ces deux éléments du climat se combinent. Plus spécialement, dans nos régions, c'est en combinant les données de la thermométrie et de la pluviométrie que l'on pourra préciser l'*aridité* des étés ou déterminer, l'hiver, les conditions des *précipitations solides*.

A. La notion d'aridité.

On sait qu'une expression empirique extrêmement simple de cette notion a été établie par DE MARTONNE⁶² et a mérité de devenir classique. L'« indice d'aridité » de cet auteur se calcule par les formules $H = \frac{P}{t + 10}$ pour l'indice annuel, $H' = \frac{12 P'}{t' + 10}$ pour les indices mensuels⁶³. Voici les valeurs obtenues pour quatre de nos stations⁶⁴ (tableau XL) :

⁶² Nous ne sommes pas les premiers à faire remarquer ici que l'expression « indice d'humidité » aurait été plus heureuse pour désigner l'expression numérique imaginée par DE MARTONNE puisque cette expression croît avec les précipitations. A l'échelle mondiale, les climats arides ont un indice inférieur à 20, les climats humides un indice supérieur à 60.

⁶³ P = précipitations annuelles; — P' = précipitations mensuelles; — t = température moyenne annuelle; — t' = température moyenne mensuelle.

⁶⁴ Pour comparaison :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNÉE
Chamonix	136	89	52	41	47	54	46	52	52	70	80	143	72
Laragne	86	45	75	58	49	39	20	18	46	62	105	96	51

TABLEAU XL

Indices d'aridité mensuels et annuels (selon de Martonne).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
Le Monétier	122	98	80	88	46	38	32	28	71	69	122	163	63
Briançon	71	70	49	62	35	33	23	25	81	57	85	80	45
Embrun	61	47	48	41	37	35	25	24	36	46	66	95	41
Barcelonnette	55	47	49	43	36	26	22	26	39	82	76	72	48

Des résultats très voisins seront obtenus par l'emploi d'une autre formule due à l'hydrologue WUNDT⁶⁵. Il s'agit là d'une formule dont l'objet très précis est d'exprimer en fonction de la température moyenne ce que l'on appelle l'indice d'écoulement pluvial ; nous aurons comme telle à l'utiliser au cours du chapitre suivant. Mais il nous a paru que la valeur ainsi conjecturée de cet écoulement était un bon critère de l'humidité ou de l'aridité d'un climat. Nous proposons de donner aux résultats numériques obtenus par l'emploi de cette formule, dans un but d'investigation climatique, le nom d'« excédent pluviométrique »⁶⁶.

Voici les valeurs de cet excédent pour les quatre postes déjà étudiés :

⁶⁵ Voir ci-dessous, chap. V (hydrologie), p. 256. — Dans une première rédaction de notre travail nous avons primitivement utilisé à cette fin une formule de COUTAGNE (citée et commentée par M. PARDÉ, 149, I, p. 141). A l'expérience nous avons été plus satisfait des résultats obtenus par la méthode WUNDT.

⁶⁶ L'emploi de ce nouveau terme, au lieu de celui d'« indice d'écoulement », se justifie à nos yeux par les deux raisons suivantes : d'une part l'indice d'écoulement est calculé par l'hydrologue pour un bassin plus ou moins étendu d'après les températures et précipitations moyennes de ce bassin, tandis que nous cherchons ici à définir un caractère synthétique du climat *en un point* d'après la température et les précipitations de ce point. D'autre part, nous accepterions à titre d'indication climatique précieuse (le cas ne s'en présente point ici) les valeurs négatives fournies éventuellement par la formule (valeurs qui trahiraient des possibilités d'évaporation supérieures aux pluies réelles), tandis que pour l'hydrologue l'indice d'écoulement peut être nul, mais non négatif. Il nous apparaît donc préférable de baptiser ainsi de deux noms différents les résultats obtenus par une même formule selon les points de vue auxquels on se place.

TABLEAU XLI

*Excédents pluviométriques en millimètres*⁶⁷.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Le Monétier ...	56	45	43	55	28	21	14	11	56	53	87	52
Briançon	27	31	33	41	18	16	6	8	31	38	59	31
Embrun	23	17	26	23	21	19	7	6	21	29	42	44
Barcelonnette ...	15	17	23	25	19	9	4	9	24	64	48	34

Comme on le voit, les indications fournies par ces deux méthodes concordent assez nettement. Si nous sommes légèrement tenté de préférer la seconde de ces formules — celle de WUNDT — c'est qu'elle repose sur une base moins empirique que celle de DE MARTONNE.

En tout cas, un fait se dégage de nos deux tableaux avec une remarquable netteté : la grande sécheresse relative de juillet et d'août qui s'accroît de l'amont vers l'aval tout au long de la Durance. A Laragne, pour août, l'« excédent pluviométrique » est pratiquement nul tandis que l'indice d'aridité tombe à 18 : ce sont là les caractéristiques d'un été méditerranéen. Quant aux influences continentales, elles se trahissent sous forme d'un minimum secondaire en janvier-février à Laragne, Barcelonnette et Embrun, minimum qui reculera en avril à Chamonix pour devenir là, avec un indice d'aridité de 41 et un excédent pluviométrique de seulement 23, le minimum principal. Nous retrouvons ainsi sur les *régimes d'aridité* (fig. 62) cette interaction des influences méditerranéennes et continentales que nous avons décelée, après BÉNÉVENT, dans l'examen des régimes pluviométriques; mais ceux-là nous semblent très supérieurs à ceux-ci pour exprimer la réalité saisonnière de l'humidité. On se souvient en effet que les régimes pluviométriques décelaient, dans nos régions, deux minima d'été et d'hiver, celui-ci restant le principal jusqu'à l'Ubaye incluse, ce qui semblait indiquer, loin vers le Sud, une action tenace des influences continentales. Mais si l'on combine avec les chiffres des précipitations ceux des températures, par l'une ou l'autre des formules qui s'offrent à nous, on voit d'emblée l'été redevenir réellement, dans tout notre domaine, la saison sèche par excellence. Ainsi la notion d'aridité, serrant de plus près la réalité des choses que les simples mesures

⁶⁷ Pour comparaison :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Chamonix	37	38	28	23	31	37	35	46	42	58	49	58
Laragne	47	23	61	44	35	25	4	1	33	51	95	54



pluviométriques, incorpore-t-elle bien tout le bassin supérieur de la Durance dans le domaine des Alpes du Sud ⁶⁸.

Cette conclusion rejoint celle que nous avons formulée à la fin de la section précédente de ce chapitre. Pour caractériser la sécheresse d'été du haut bassin durancien qui n'apparaissait qu'imparfaitement sur les régimes moyens, nous avons dû intégrer les données pluviométriques dans la double complexité de la réalité quotidienne et de l'interaction des éléments du climat. A ce prix seulement le climatologue retrouve, en l'étayant sur des chiffres, les premières impressions du simple voyageur de bon sens.

B. La neige.

Les observations nivométriques, effectuées en presque totalité par les soins des Eaux et Forêts, comportent les indications suivantes :

TABLEAU XLII

	Hauteurs de neige (1922-28)				Lame de fusion (en mm.)		
	Altitudes	Hauteurs de neige	Jours de neige	Intensité	Années	Lame de fusion	Coefficient nivométrique
Névache	1645	3560	37,4	95	1923-41	295	0,37
La Vachette	1354	2063	33	62	1923-41	191	0,23 (?)
Le Monétier	1471	3420	36,8	93	1923-41	347	0,37
Cervières	1620	2540	41,2	62	1923-41	250	—
Vallouise	1150	2738	29,3	94	1923-41	281	0,32
Champcella	1160	1525	23,6	65	1923-41	164	0,20
Arvieux	1553	2345	31,7	74	1923-41	290	0,37
Abriès	1552	2247	32	77	1923-41	284	0,35
Vars	1646	2335	27,5	85	1923-41	230	0,31
Ceillac	1650	2850	38,4	74	1923-41	237	0,30
Serennes	1531	2400	36,3	66	1940-43	191	0,25
Meyronnes	1599	1710	35	49	—	—	—
Barcelonnette	1135	1060	21,5	49	1940-43	101	0,14
Fours	1680	3250	39,5	82	—	—	—
Saint-Barthélemy	1209	2152	20,2	74	—	—	—
Le Lauzet	910	664	15,9	42	1940-43	70	0,10
Saint-Vincent	1300	1395	23,2	60	—	—	—
Seyne	—	—	—	—	1935-43	145	0,17
Allos	1425	2375	29,3	81	1935-43	263	0,22

N. B. — Hauteurs de neige d'après R. DE RHAM, 116, p. 189.

⁶⁸ Une étude vraiment complète de l'humidité devrait faire une place, à côté des précipitations, à l'eau incluse dans l'atmosphère sous forme gazeuse. Nous

1) Les hauteurs de neige sont mesurées sur une table *ad hoc* après chaque chute et additionnées les unes aux autres. Nous donnons (tableau XLII) d'après DE RHAM (116, p. 189) ces hauteurs moyennes annuelles pour la zone qui nous intéresse. On constate que la neige y est en général moins abondante que dans les Alpes du Nord où Val d'Isère par exemple atteint une moyenne de 4,50 mètres. A altitudes pratiquement égales, Le Lauzet (Ubaye) est trois fois moins enneigé que Bourg-Saint-Maurice (664 mm. contre 1.855). Il faut dire que l'Ubaye se révèle la moins enneigée des vallées des Alpes françaises (Barcelonnette : 1,06 m.) : vers le Sud l'accroissement des précipitations d'hiver suffit en effet, malgré l'atténuement du climat, à relever l'enneigement (Thorenc, 1250 m. : 1,82 mètre)⁶⁹.

2) La lame de fusion est l'équivalent en eau de la neige tombée. On l'évalue le plus souvent aujourd'hui par pesée sur une « bascule à neige ». En confrontant cette mesure avec l'indice pluviométrique de la station, on détermine aisément le *coefficient de niviosité*, rapport des précipitations solides, exprimées en eau de fusion, aux précipitations totales. C'est encore en Ubaye que ce coefficient est le plus bas : 14 % à Barcelonnette. Il se relève vers le Nord pour atteindre 38 % au Monétier. Les postes de faible altitude traduisent cette même progression sur le mode mineur, le coefficient de niviosité passant de 9 % au Lauzet (Ubaye) à 25 % à La Vachette⁷⁰. Mais vers le Sud, en direction du Verdon et du Var, ce coefficient est à nouveau plus élevé qu'en Ubaye (Allos : 22 %) : l'approche de la Méditerranée se traduit en effet par une augmentation des précipitations de saison froide et, par suite, de la part de la neige dans les précipitations totales. L'accroissement de la lame d'eau de fusion par mètre d'altitude constitue le *gradient nivométrique* qui s'établit aux environs de 0,20 mm/m. en Ubaye, de 0,35 mm/m.

n'avons malheureusement retrouvé trace de mesures psychrométriques que pour les années 1937-1938 à Briançon. Encore les mesures des mois froids sont-elles lacunaires et sujettes à caution par suite du gel. Voici pour les autres mois quelles seraient les moyennes de l'humidité relative pour ces deux années :

	A	M	J	J	A	S	O	N
Humidité relative	0,64	0,70	0,74	0,72	0,74	0,79	0,86	0,81

Quant au *brouillard*, il est pratiquement inexistant : moins d'un jour par an en moyenne à Briançon.

⁶⁹ BÉNÉVENT (101), p. 357.

⁷⁰ Evaluation approximative, faute d'un pluviomètre en cette station exclusivement nivométrique. Nous avons admis que les précipitations totales, compte tenu de l'altitude, devraient dépasser de 30 mm. environ celles de Briançon.

en Briançonnais, avec des variations locales moins heurtées que celles du gradient pluviométrique ⁷¹. Enfin le quotient de la lame de fusion par la hauteur de la neige exprime la *densité* de celle-ci. Cette densité varie, aux altitudes de nos postes, entre 0,09 et 0,12: elle semble donc plus forte que dans les Alpes du Nord ⁷².

3) Les indications précédentes sont en général complétées par celle du *nombre de jours de neige* qui varie essentiellement en fonction de l'altitude (Le Lauzet, 910 m.: 15,9; Cervières, 1620 m.: 41,2). Le quotient de la hauteur annuelle par ce nombre de jours de neige exprime enfin la hauteur moyenne de chaque jour de chute: cette dernière valeur s'appelle l'*intensité* de la neige. Comprise en général entre 90 et 100 mm. pour les hautes stations du Briançonnais, l'intensité de la neige s'abaisse vers l'Ubaye: Barcelonnette: 49 mm.; Le Lauzet: 42 mm.

TABLEAU XLIII

Régimes nivométriques. — Eau de fusion (en mm.).

	Années	O	N	D	J	F	M	A	M
Névache	1923-41	3	39	58	45	68	47	35	?
La Vachette	1923-41	3	26	47	33	31	30	17	4
Le Monétier	1923-41	7	57	80	62	59	45	32	5
Cervièrès	1923-41	5	41	50	39	43	39	25	8
Vallouise-Pelvoux	1923-41	2	43	70	55	44	46	19	2
Champcella	1923-41	3	18	55	61	48	37	14	3
Arvieux	1923-41	3	41	?	42	45	61	32	7
Abriès	1923-41	7	42	50	40	53	55	31	6
Vars	1923-41	5	43	42	30	36	42	32	0
Ceillac	1923-41	6	35	43	31	38	52	28	7
Serennes	1940-43	3	24	34	55	34	27	12	2
Barcelonnette	1940-43	0	8	14	38	?	8	5	0
Fours	1940-43	1	16	17	37	20	22	10	3
Le Lauzet	1940-43	0	1	17	35	12	5	0	0
Seyne	1935-43	2	5	36	53	18	22	9	0
Allos	1935-43	3	19	64	73	48	35	17	4

N. B. — Les moyennes 1940-43 sont données à titre purement indicatif, étant des plus sujettes à caution par leur brièveté même. — Des points d'interrogation remplacent les moyennes par trop entachées d'observations erronées.

⁷¹ « Loin de diminuer avec l'enfoncement dans la masse alpestre, les chutes de neige augmentent sous l'effet de l'action refroidissante de la montagne... (dès lors) le gradient nivométrique s'enfle et varie moins irrégulièrement que le gradient pluviométrique. » (H. ONDE, 9, p. 415.)

⁷² A Val-d'Isère, la densité de la neige ne serait que de 0,07. H. ONDE constatait déjà (9, p. 440) que la neige de Maurienne est plus lourde que celle de Tarentaise. (Certains auteurs, dont H. ONDE, appellent « légèreté spécifique » de la neige l'inverse de sa densité.)

Notre tableau XLIII donne les éléments numériques des *régimes nivométriques*, évalués en lame de fusion. Décembre est en général le mois le plus neigeux, sauf en Ubaye où — si l'on doit se fier à des moyennes dont certaines ne portent que sur trois hivers — ce rang serait dévolu à janvier. Pour les stations situées au-dessus de 1500 m. d'altitude un second maximum apparaît en février, au delà d'un fléchissement marqué de la niviosité en janvier: c'est qu'à cette altitude en effet l'hiver se trouvant uniformément assez froid pour ne plus guère admettre de précipitations que sous forme solide, la température cesse d'être le facteur principal de la niviosité et celle-ci trahit le minimum de janvier de la courbe pluviométrique ⁷³. Ce mécanisme apparaît nettement sur les régimes nivométriques de Névache et de La Vachette, situés dans la même vallée mais à 300 mètres de dénivellation verticale (fig. 63). On comprend mieux d'ailleurs les choses en faisant appel aux coefficients pluviométriques mensuels (tableau XLIV) : vers 1000 mètres d'altitude un seul mois — décembre ou janvier — est assez froid pour recevoir plus de la moitié de ses précipitations sous forme solide : ce sera obligatoirement le mois le plus neigeux. 500 mètres au-dessus au

TABLEAU XLIV

*Coefficients nivométriques mensuels**(pourcentage des précipitations solides aux précipitations totales).*

		O	N	D	J	F	M	A	M
Névache	1923-41	7	45	97	99	82	69	28	?
Le Monétier	1923-41	8	60	84	92	78	76	33	8
Vallouise-Pelvoux	1923-41	3	52	84	87	73	68	18	4
Champcella	1923-41	3	18	55	61	48	37	14	3
Abriès	1923-41	8	50	82	83	100	74	38	7
Vars	1923-41	6	54	68	64	84	79	49	?
Ceillac	1923-41	8	47	75	61	91	84	38	10
Serennes	1940-43	5	28	96	96	100	45	17	4
Barcelonnette	1940-43	0	11	42	60	?	13	9	0
Fours	1940-43	1	23	75	100	75	?	15	3
Le Lauzet	1940-43	0	0	80	52	14	12	0	0
Seyne	1935-43	2	4	47	87	38	33	12	0
Allos	1935-43	3	13	69	90	79	36	17	4

N. B. — Cf. tableau XLIII.

⁷³ BÉNÉVENT (101), p. 379

contraire, à l'altitude de nos derniers postes, et *a fortiori* dans l'immense zone située au-dessus, c'est sur une période de quatre à cinq mois consécutifs que le coefficient nivométrique dépasse 50 % : dès lors, à l'intérieur de la saison froide, c'est le régime pluviométrique qui tend à modeler sur lui le régime nivométrique dont la courbe se déprime en janvier sous l'effet des influences continentales.

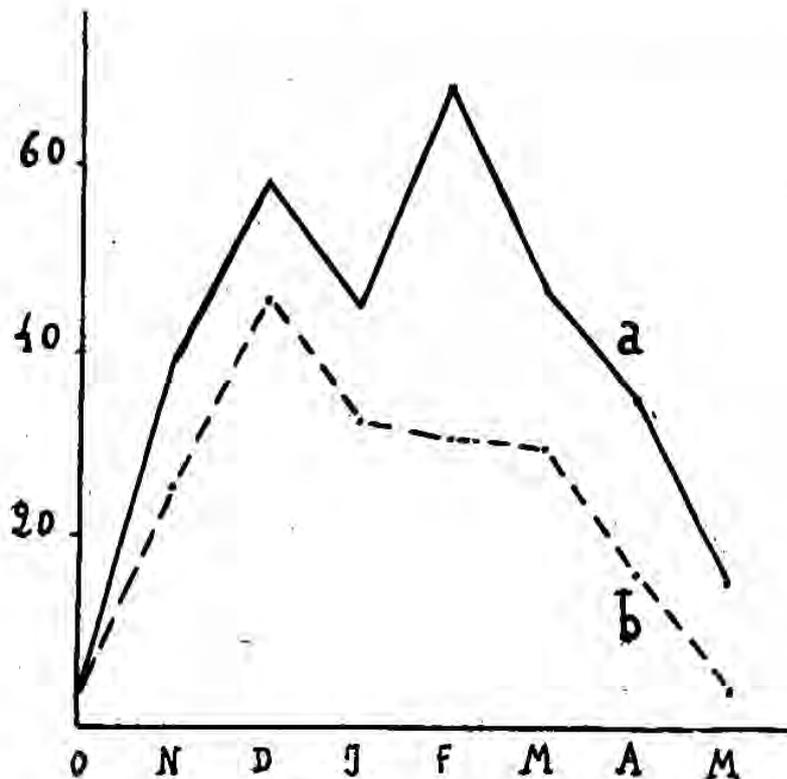


Fig. 63. — Régimes nivométriques.

En ordonnées : eau de fusion en mm.

A Névache (a) : régime calqué sur le régime pluviométrique, la plus grande partie des précipitations tombant tout l'hiver sous forme solide.

A La Vachette (b) : février est déjà trop chaud pour que l'augmentation des précipitations en ce mois se traduise sur la courbe nivométrique autrement que par un simple palier.

Comme la pluie dont elle procède, la neige est sujette à une grande variabilité annuelle. Aiguilles recevait ainsi 1,40 mètre de neige pour l'hiver 1904-1905 et 4,70 mètres — plus de quatre fois plus — l'hiver 1905-1906. Des moyennes que nous avons établies en utilisant la hauteur des lames de fusion pour l'ensemble de la période 1923-1941 il ressort que les écarts d'enneigement entre deux années consécutives sont en moyenne de 45 % de la normale pour

Freissinières-Pallons, de 38 % à 40 % pour les autres postes nivométriques du Briançonnais⁷⁴. Quant aux enneigements extrêmes observés pendant cette période, ils sont entre eux comme de 1 à 3,7 à Cervières, 1 à 3,9 à La Vachette, 1 à 4 à Névache, 1 à 4,3 à Vallouise, 1 à 4,5 au Monétier, 1 à 4,6 à Freissinières. Il faut donc admettre que l'enneigement d'un hiver anormalement neigeux est au moins le quadruple de celui d'un hiver anormalement sec⁷⁵.

Le manteau neigeux. — Ces considérations sur la variabilité de l'enneigement sont à garder en mémoire quand il s'agit d'aborder l'étude de la *durée du manteau neigeux*. Celle-ci croît régulièrement avec l'altitude dans les fonds de vallée, de deux mois et demi en moyenne à Embrun à près de cinq mois aux limites de l'habitat permanent, tant à Névache qu'à Maurin (haute Ubaye) ou qu'à Saint-Véran. Au-dessus, les indications que l'on peut recueillir ont toutes trait à la praticabilité des cols. Dans le Queyras les anciennes migrations saisonnières vers la plaine du Pô s'effectuaient aux dates traditionnelles de la Saint-Michel (29 septembre) pour l'aller et du 15 avril pour le retour : on peut admettre que ce sont là les dates limites d'enneigement du col Lacroix, par 2305 m. d'altitude. L'Isoard, quoique un peu moins élevé (2275 m.), possède sur son versant Nord un enneigement plus persistant que l'on évalue en moyenne à 7 mois et demi. Le Montgenèvre était franchi communément jusqu'en décembre au moyen-âge⁷⁶; mais le Galibier, à 2550 mètres, compte plus de 9 mois d'enneigement et oncque ne venait jadis de Valloire à Briançon entre novembre et avril : en mai et juin la neige était praticable⁷⁷.

Mais il ne s'agit là que de moyennes et celles-ci peuvent être — faut-il le répéter encore — très différentes des réalités saisonnières. L'histoire a conservé le souvenir d'hivers marqués par une absence presque totale de neige : 1629, 1812, 1818, 1819⁷⁸. Plus fréquem-

⁷⁴ Pour l'écart relatif entre deux années consécutives nos stations se classent ainsi entre Moutiers ($e_m = 55,7 \%$) et Val-d'Isère ($e_m = 31,7 \%$) en Tarentaise (cf. H. ONDE, 9, tableau VI, p. 417).

⁷⁵ C'est ce même rapport de 1 à 4 que l'on observe entre les enneigements extrêmes de Val-d'Isère pour la période 1900-1935 (hauteurs de neige : 1924-1925 : 2 m. 30 et 1909-1910 : 9 m. 08; H. ONDE, 9, p. 418).

⁷⁶ Th. SCLAFERT, *Le Haut-Dauphiné au Moyen âge*, p. 628, cite un passage du Montgenèvre le 29 décembre 1441.

⁷⁷ Les dates limites de l'ouverture des cols à la circulation routière ne donnent sur le problème de l'enneigement que des indications très approximatives, car (sans tenir compte des déblaiements possibles) la circulation est encore interdite par des amoncellements de neige dus aux avalanches ou aux vents en contre-bas des cols de 10 à 20 jours après que ceux-ci sont déjà déneigés.

⁷⁸ P. BUFFAULT (177 bis), p. 26.

ment, la neige se fait tardive, ne s'installant pas de façon durable, même sur les sommets, avant janvier. Ce fut le cas, récemment, de l'hiver 1936-1937 : l'auteur de ces lignes, au cours d'une ascension de la Tête de Paneyron (2770 m.), en Ubaye, le 31 décembre 1936, devait rencontrer de très larges plaques déneigées jusqu'aux abords immédiats du sommet. Inversement, certains hivers étonnent par la précocité avec laquelle la montagne se voile de blanc. Le tout sans parler des chutes « hors saison » : le 9 septembre 1938, plus d'un mètre de neige s'abattait sur le Galibier immobilisant une quinzaine d'automobiles. Le lendemain, on pouvait descendre à ski du Galibier jusqu'aux abords du Lauzet et ce n'est qu'au bout de quarante-huit heures que les chasse-neige pouvaient rétablir, tant au Lautaret qu'au Galibier, une circulation prématurément coupée. On voit à ces quelques exemples ce que peuvent être les caprices de l'enneigement dans les hautes Alpes du Sud.

Quant à l'enneigement des sommets, il ne peut faire l'objet que de supputations mathématiques plus ou moins vraisemblables. En plaçant comme nous l'avons fait l'optimum pluvial vers 3600 m. avec 3 mètres de pluie et en admettant un coefficient nivométrique annuel à cette altitude de 0,80, la lame de fusion pourrait atteindre sur les sommets 2,40 ou 2,50 mètres, ce qui implique des chutes totales de neige de l'ordre de 30 mètres⁷⁹. Si une telle appréciation contient évidemment une grosse part d'hypothèse, nous pouvons affirmer par contre que l'enneigement des zones sommitales est beaucoup moins variable d'une année à l'autre que celui des altitudes moyennes ou inférieures : c'est qu'en effet là où le coefficient nivométrique annuel tend vers l'unité, l'enneigement n'est plus guère fonction que des précipitations totales de l'année. Or nous savons que la variabilité annuelle des précipitations est beaucoup plus faible que leur variabilité saisonnière et l'influence des irrégularités thermiques tend de plus en plus en très haute montagne à s'annuler.

Les avalanches. — Elles n'ont point dans notre domaine la triste réputation qu'elles se sont acquise en d'autres lieux, Savoie ou Suisse. Les documents d'archives nous montrent que parmi les causes naturelles qui peuvent être rendues responsables de la destruction et de l'abandon d'anciens sites d'habitat les avalanches

⁷⁹ On sait que BÉNÉVENT estimait à 47 mètres au minimum le total moyen annuel des chutes de neige au sommet du Mont Blanc. ONDE estime, lui, à 43 mètres les chutes de neige de la Haute Tarentaise au niveau de l'optimum.

ne viennent qu'en troisième lieu, loin derrière les laves torrentielles et les incendies. A Molines, l'ancien hameau de Costeroux, en amont de Fontgillarde, fut ainsi sinistré le 13 janvier 1706, le 2 janvier 1728 et dans la nuit du 9 au 10 janvier 1788. La dernière de ces catastrophes a été évoquée par BÉNÉVENT⁸⁰ : 43 maisons furent écrasées, 21 personnes et un nombreux bétail tués. En Queyras encore, janvier 1946 fut marqué par la destruction partielle de l'Echalp (Ristolas). En haute Ubaye, c'est Maurin qui fut enseveli en février 1879 sous une avalanche de poussière qui faisait 8 victimes. Sur les routes, des avalanches ont été signalées aux abords du Lautaret (« La Marionnaise », rive droite du torrent de Roche Noire) et sur les rampes du Montgenèvre. Sauf pour ces derniers cas, il s'agit toujours essentiellement d'avalanches de poudreuse, s'abattant en plein cœur de l'hiver et aussi bien la nuit que le jour.

En haute montagne, toute la gamme des avalanches et des glissements de neige doit se réaliser; si ces phénomènes ont été moins souvent relatés peut-être qu'ailleurs, c'est que la montagne est sans doute moins parcourue dans notre domaine que dans telles autres hautes vallées. De loin en loin, des circonstances accidentelles permettent seules de connaître la date et les circonstances d'une avalanche : le 7 janvier 1939, au Grand-Galibier, une planche de neige ensevelissait ainsi un groupe de huit skieurs.

Si la rareté, au moins relative, des avalanches dans les Alpes du Sud devait être confirmée, plusieurs raisons suffiraient, croyons-nous, à expliquer le fait : un enneigement moins intense que dans les Alpes du Nord, une neige plus lourde et plus stable, une plus forte amplitude diurne de la température qui a pour effet de consolider la neige par des regels successifs. Ajoutons que l'altitude plus élevée atteinte dans les Alpes du Sud par la limite supérieure de la forêt, jointe à l'abaissement des crêtes, diminue l'étendue de la zone où les avalanches prennent normalement naissance.

⁸⁰ BÉNÉVENT (401), p. 408.

CHAPITRE V

LES GLACIERS, LES EAUX, LA VEGETATION

I. — Les glaciers actuels.

Le bassin supérieur de la Durance ne possède sans doute même pas aujourd'hui 30 kilomètres carrés de glaciers¹ : chiffre infime qui met notre rivière des Alpes du Sud au dernier rang, pour l'englacement, des bassins versants alpins² avec un total représentant moins de 7 % de l'ensemble des appareils des Alpes françaises. Un pareil pourcentage résulte évidemment d'abord de la disparition rapide des hautes surfaces au Sud du Galibier : Durance et Ubaye n'ont en amont de leur confluent que 2 % à peine de leurs bassins au-dessus de 3000 m. contre 8 % pour la Maurienne et 5 % pour la Tarentaise. Mais surtout la répartition des masses glaciaires de la haute Durance s'avère des plus irrégulières. Les neuf dixièmes de celles-ci en effet se localisent sur la bordure externe du Pelvoux : 21 kms² pour l'ensemble des glaciers de la Vallouise sur les 241 du bassin versant de la Gyronde à La Bessée (8,5 %). Là se localisent,

¹ 29 ou 30 vraisemblablement si l'on se fie aux plans directeurs qui ne peuvent pécher que par excès. Les difficultés inhérentes à toute évaluation de cette nature s'aggravent dans notre domaine où tant de glaciers sont « moribonds ». Ajoutons aussi que sur les 3,3 kms² du glacier d'Arsine on ne doit guère évaluer à plus d'un km² la surface effectivement drainée vers la Durance par la diffluence du Petit Tabuc : ce glacier doit donc être plutôt rattaché au bassin de la Romanche.

² Arve : 132 kms² ; Arc : 108 kms² ; Drac et Romanche : 106 kms² ; Isère et Doron : 84 kms².

avec le glacier Noir, le glacier Blanc et le Sélé les seuls appareils tant soit peu étendus et correspondant à la conception classique que l'on se fait d'un glacier alpin : collecteurs de cirques, avec esquisse de confluence au glacier Noir, et langue de fusion. A cela s'ajoutent les quelque 6 kms² que totalise l'ensemble des appareils de la rive droite de la Guisane. Mais dès que l'on quitte ce domaine des cimes cristallines du Pelvoux les glaciers se réduisent à quelques résidus de face Nord : Combeynot, Grand Galibier et massif des Cerces en Briançonnais, quelques névés de cirques dans les massifs de l'Aiglière et du Pinier en Haut-Embrunais. Le domaine des schistes lustrés n'est plus, lui, à la fin de l'été qu'un moutonnement de cimes pratiquement vierges de neige : seuls subsistent quelques névés accrochés au flanc Nord de l'arête Pic d'Asti - Grande Aiguillette. Plus au Sud, les sierras triasiques de la Font-Sainte et du Chambeyron abritent encore quelques appareils, limités par la raideur même des escarpements et localisés eux aussi exclusivement sur les faces Nord. Enfin, en remontant jusqu'à son fond la vallée de la Blanche du Laverq, le visiteur égaré loin des grands massifs découvre les derniers vestiges d'un glacier minuscule et visiblement mal en point qui est, dans l'état actuel des choses, le plus méridional des Alpes françaises. Tout ceci revient à dire que le Guil et l'Ubaye, dont les bassins s'étendent en tout sur quelque 1.730 kms² et culminent à 3400 m., ne doivent pas totaliser à eux deux plus de 3 kms² de glaciers.

A vrai dire, on soupçonne fort ici le relief de n'être plus seul en jeu. En Vallouise déjà l'étendue des glaciers restait inférieure à ce qu'elle était en Oisans³ pour une altitude moyenne pourtant analogue. Les comparaisons sont encore plus significatives quand on s'attache à préciser l'aspect des masses glaciaires elles-mêmes : le massif du Chambeyron, qui ne le cède que de 70 mètres pour l'altitude de son point culminant à celui des Grandes Rousses, possède largement dix fois moins de glaciers que ce dernier et le Viso lui-même, rival pour l'altitude de la Grande Casse et presque de la Meije, étonne le visiteur français par la médiocrité de ses appareils (moins de 2 kms² au total).

Neiges persistantes et niveau d'équilibre glaciaire. — On doit donc imaginer que de l'Oisans en Queyras un relèvement très sensible du niveau des neiges persistantes vient s'ajouter à l'abaissement

³ Les glaciers couvrent 8,5 % de la surface du bassin de la Gyrone contre 18 % du bassin versant du Vénéon à Bourg-d'Arud.

des crêtes pour réduire à l'extrême la tranche de relief susceptible de servir de réservoir glaciaire. Il est inutile de souligner l'intérêt qui s'attacherait à préciser un peu le mécanisme d'un tel phénomène. Malheureusement, cette notion de « niveau des neiges persistantes » est une notion géographique des plus obscures, une de ces notions soi-disant classiques qui s'évanouissent sous l'étreinte du chercheur dès que l'on tente de dépasser le cadre des travaux tout à fait élémentaires. On sait en effet qu'il s'agit d' « une limite toute théorique (qui correspond) au lieu des points où cesse la fusion sur une surface supposée horizontale et non protégée du soleil »⁴ — nous ajouterons : mais supposée protégée du vent. Il ne faut pas s'attendre à ce qu'une telle limite soit observable directement sur le terrain : il faut la déduire d'observations relatives aux conditions dans lesquelles s'alimentent les glaciers eux-mêmes. Rappelons brièvement les méthodes qui ont été proposées dans ce but : HESS⁵ fixa ainsi le niveau des neiges persistantes à l'isohypse rectiligne d'un glacier, isohypse qui sépare en effet une zone d'alimentation à courbes concaves vers l'aval d'une zone d'ablation où la fusion plus intense sur les bords se traduit par des courbes progressivement convexes. Si les langues manquent totalement, comme c'est le cas pour les appareils de cirques, l'altitude moyenne du front peut passer pour jalonner approximativement la limite des neiges persistantes. KUROWSKI⁶ estimait que ce niveau correspondait à l'altitude moyenne de l'ensemble de l'appareil, calculée par planimétrie. Un tel procédé exigeant des cartes très précises et restant toujours inexact au passage des arêtes rocheuses, DAINELLI proposa⁷ de fixer plus simplement le niveau des neiges persistantes à la moyenne arithmétique des altitudes du front et du point culminant (soit $Q = \frac{h + h'}{2}$). Ces deux dernières méthodes ont le grand mérite d'introduire la notion d'« équilibre glaciaire », un glacier descendant effectivement d'autant plus bas que son volume au-dessus de la limite des neiges persistantes sera plus saillant⁸.

⁴ H. ONDE (9), p. 441.

⁵ H. HESS, *Die Gletscher*, Braunschweig, 1904.

⁶ KUROWSKI, d'après DE MARTONNE, *Traité de géographie générale*.

⁷ GRECARD, *Les glaciers du Karakoram*, d'après G. DAINELLI (*R. G. A.*, 1929, p.).

⁸ Ajoutons encore que l'équilibre glaciaire n'est pas un équilibre instantané : dans une période de remontée du niveau des neiges persistantes, les appareils les plus réduits accusent les premiers la décrue, tandis que les appareils plus imposants peuvent continuer encore à progresser par suite des réserves accumulées pendant la période précédente.

Ayant repris pour notre compte ces recherches théoriques à l'occasion d'un travail, actuellement en préparation, concernant l'ensemble des Alpes françaises, il nous a paru que l'altitude h jusqu'à laquelle descendait la langue d'un glacier était fonction de trois groupes de facteurs : des *facteurs climatiques* tout d'abord qui se concrétisent dans la notion du niveau des neiges persistantes, terme usuel auquel nous préférons pour notre part celui plus mécanique de *niveau d'équilibre glaciaire* (une analyse plus poussée permettrait d'étudier à son tour ce niveau en fonction des données thermiques et pluviométriques) : — en second lieu des *facteurs topographiques d'alimentation* (essentiellement altitude des crêtes et surface de la zone d'alimentation) ; — en troisième lieu enfin des *facteurs topographiques de fusion* : orientation et pente de la langue. La combinaison de ces différents facteurs est assez complexe pour que, dans un même massif, les fronts glaciaires s'étagent sur plus de 1000 mètres de hauteur, depuis le glacier du Casset qui vient fondre à 1990 m. jusqu'au glacier supérieur des Agneaux qui reste suspendu, sous la Grande Ruine, à 3080 mètres.

C'est par l'étude des facteurs topographiques de fusion que nous avons abordé l'analyse statistique de l'altitude des fronts. Appelons à cet effet H_m la moyenne arithmétique des altitudes h_1, h_2, h_3, \dots auxquelles viennent fondre des glaciers voisins soumis, par hypothèse, à des conditions identiques d'alimentation. L'écart $H_m - h$ que nous appellerons *anomalie de fusion (E)* peut être étudié en fonction de l'orientation et de la pente. On constate (fig. 64) que les glaciers d'adret fondent d'autant plus haut que la pente en est forte : l'anomalie de fusion atteint + 400 m. pour une pente de 0,45. Au delà, elle semble décroître légèrement, ce qui n'a rien d'étonnant puisque nous savons (cf. ci-dessus chap. IV, p.) que l'énergie solaire diminue l'été sur les adrets en trop forte pente. Quant aux glaciers de l'ubac, ils fondent évidemment en dessous de l'altitude moyenne des fronts : leur anomalie de fusion est donc négative et diminue jusqu'à — 120 m. pour une pente de 0,45. Pour une pente supérieure on voit le front du glacier remonter légèrement, paradoxe qui n'est qu'apparent car la diminution de l'épaisseur du glacier, voire sa dislocation en séracs, diminuent sa résistance à la fusion. Toujours est-il que ce ne sont pas les glaciers d'ubac les plus pentus qui viennent fondre le plus bas.

Si l'on recherche ensuite l'influence sur l'altitude du front glaciaire des conditions d'alimentation, on constate que, dans des conditions locales de fusion identiques (exposition et pente de la langue), un glacier descend d'autant plus bas que les cimes qui l'alimentent sont élevées et son bassin d'alimentation étendu. Nous avons ainsi été amené à proposer une formule empirique exprimant la relation entre l'altitude du front d'un glacier et les facteurs locaux qui en conditionnent l'alimentation et la fusion. Cette formule s'écrit :

$$h = k.p (Q + E) - h' \quad (I)$$

dans laquelle expriment :

h : l'altitude du front en mètres ;

k : un coefficient croissant avec l'altitude maxima des massifs. On prendra $k = 2$ pour les massifs culminant à 3000 m., $k = 2,1$ pour ceux culminant à 3500 m., $k = 2,2$ pour ceux culminant à 4000 m. et ainsi de suite ;

p : un coefficient fonction de la surface, très voisin de l'unité pour les appareils les plus petits et décroissant avec la surface d'alimentation pour les glaciers les plus étendus. On admettra environ : $p = 0,9$ pour $S = 5 \text{ kms}^2$; $p = 0,85$ pour $S = 10 \text{ kms}^2$ (S : surface de la zone d'alimentation glaciaire au-dessus de l'altitude Q) ;

Q : le niveau régional d'équilibre glaciaire (= « niveau des neiges persistantes ») ;

E : une correction locale, fonction de l'orientation et de la pente de la langue, lue sur l'abaque de la fig. 64 ;

h' : l'altitude moyenne des crêtes d'alimentation.

Nous appellerons cette formule — ou toute autre plus précise que des recherches ultérieures permettraient d'y substituer — *équation de l'équilibre glaciaire*. Q y concrétise les facteurs climatiques; h' , S et k les facteurs topographiques de l'alimentation, E les facteurs topographiques de la fusion. On voit d'emblée que h diminue, c'est-à-dire que les glaciers fondent de plus en plus bas, au fur et à mesure que S et h' croissent, ou au contraire que Q et E décroissent, ce qui est bien conforme à l'observation.

Nous ne dissimulons point ce qu'une telle formule a nécessairement d'imparfait. Aussi avons-nous tenu à rechercher les erreurs probables qui résultaient de son

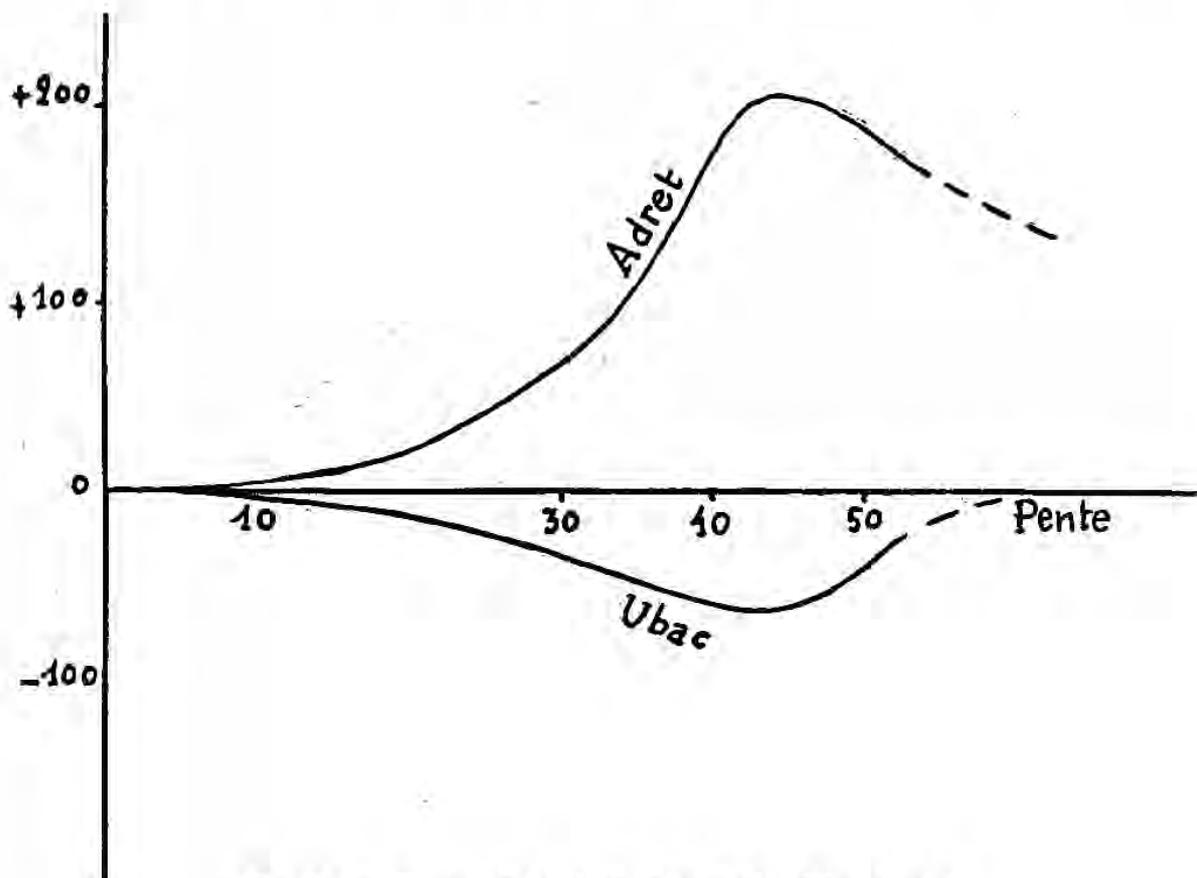


Fig. 64. — Correction locale du niveau d'équilibre glaciaire.

On a porté en ordonnées la moitié des anomalies de fusion.

emploi. En appliquant cette formule à une centaine de glaciers de notre champ d'étude ou des zones voisines du Pelvoux (en prenant les valeurs de Q lues sur la carte fig. 65) nous avons confronté les altitudes ainsi reconstituées par le calcul avec les altitudes réellement observées des fronts glaciaires. Nous avons constaté que l'erreur médiane (celle qui est dépassée dans la moitié des cas) était de ± 57 m. et l'erreur caractéristique $1/5$ (atteinte une fois sur 5 seulement) de ± 115 m. A ceux qui seraient tentés de considérer qu'il s'agit là d'erreurs énormes, nous répondrons que l'imprécision de la lecture des cartes et la complexité des facteurs en jeu permettent difficilement que la réalité puisse être serrée un jour de plus près; et si l'on veut bien se rappeler que les fronts glaciaires s'échelonnent en fait

sur 1100 m. de dénivellation dans le massif du Pelvoux, on voudra bien admettre qu'un procédé d'analyse qui conduit à rendre compte de leur altitude à 50 ou 100 m. près n'est déjà pas dépourvu de tout fondement.

D'ailleurs, l'intérêt d'une telle formule n'est pas de calculer l'altitude h du front en fonction d'un niveau d'équilibre glaciaire Q connu, calcul que nous n'avons entrepris que dans un but de vérification : il est au contraire de déduire Q de h ou, si l'on préfère, de rechercher quelle altitude des neiges persistantes (inobservable, répétons-le, directement) entraînerait la fusion des glaciers à l'altitude à laquelle on observe qu'ils viennent effectivement fondre. A cet effet, il suffit de mettre l'équation (I) sous la forme :

$$Q = \frac{h' + h}{k.p} - E \quad (II)$$

les lettres y conservant les mêmes significations que ci-dessus. Or on constaterait aisément que les erreurs caractéristiques s'abaissent ici à ± 27 m. pour l'erreur médiane et à ± 55 m. pour l'erreur caractéristique $1/5$. Ce qui signifie que notre formule permet d'évaluer le niveau d'équilibre glaciaire (= niveau des neiges persistantes) d'un massif d'après l'observation de ses glaciers avec une chance sur deux de voir l'erreur rester inférieure à 27 m. et quatre chances sur cinq de la voir rester inférieure à 55 m.⁹ De tels résultats nous semblent intéressants. On verra en tout cas que la discussion critique que nous venons d'ébaucher était de rigueur.

TABLEAU XLV

Niveau d'équilibre glaciaire des massifs (Q).

Massifs	Points culminants (m.)	Fronts des glaciers adrets (m.)	ubacs (m.)	Q (m.)
Meije	3982	2640	2500	2800
Grande Ruine	3767	3040-3080	2480	2860
Ecrins	4100	2200-2760	2345	2860
Agneaux	3664	2780-2890	1990-2400	2835 ¹
Pelvoux	3945	2970-2850	2320-2550	2885
Bans	3668	2132	2700	2810
Rouies	3590	2750	2350	2775
Olan	3578	2770-2830	2280	2710
Sirac	3440	2300-2380	2790-2820	2760
Thabor	3204		2760-2840	2940
Combeynot-Galibier	3230		2520-2610	2850
Pinier-Couleau	3120		2560-2710	2870
Asti (Queyras)	3297		3060	3080
Font-Sainte	3370		2720-2840	3015
Chambeyron	3404		2720-3000	3000
Estrop (La Blanche)	2926		2580	2830

(1) Le glacier du Casset étant exclu de cette moyenne (cf. ci-dessous note 9).

⁹ En fait, trois fois seulement notre formule s'est jusqu'ici trouvée gravement en défaut : pour le glacier du Casset qui vient fondre à $h = 1990$ m., ce qui entraînerait $Q = 2000$ m., contre $Q = 2835$ pour la moyenne des autres glaciers du massif des Agneaux (ce qui revient à dire que ce glacier fond beaucoup plus bas qu'on ne s'y attendrait) et, dans les parties de l'Oisans étrangères à notre domaine, les glaciers de la Chauvetane et de la Lavey.

Les variations locales du niveau d'équilibre glaciaire. — L'emploi de notre formule (II) nous a permis de déterminer la position du niveau d'équilibre glaciaire dans les montagnes du bassin supérieur de la Durance et quelques massifs voisins. Les résultats numériques obtenus ont été résumés dans le tableau XLV et la carte fig. 65. On y voit d'emblée que le « *niveau d'équilibre glaciaire se relève de près de 300 m. de l'Ouest à l'Est, de l'Olan au fond du Queyras, de 200 m. encore des montagnes de basse Ubaye au Viso.* Ce relèvement est trop

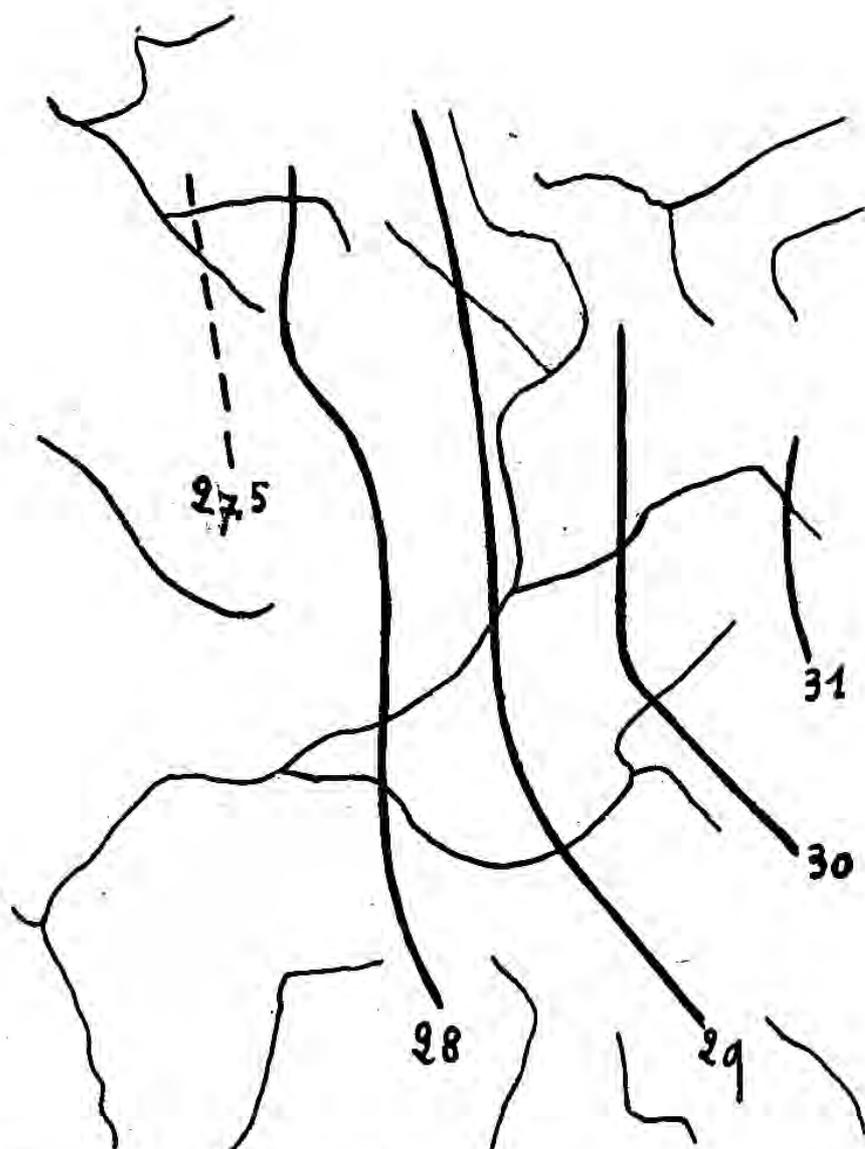


Fig. 65. — Niveau moyen d'équilibre glaciaire (= niveau des neiges persistantes) dans le bassin supérieur de la Durance.

marqué par rapport aux marges d'erreur possibles que nous avons reconnues (± 27 m. pour l'erreur médiane) pour qu'il puisse résulter du seul hasard. On doit donc admettre comme infiniment vraisemblable que les conditions climatiques jouent effectivement à altitudes égales dans le sens d'une disparition progressive des masses glaciaires de l'Ouest vers l'Est, des massifs les plus externes aux massifs les plus internes.

Par contre, la latitude reste sans effet sensible sur les conditions de l'englacement, ce que traduit l'orientation générale Nord-Sud des lignes d'égal niveau d'équilibre glaciaire. C'est-à-dire, pour reprendre l'exemple avec lequel nous avons abordé cette étude, que si le massif du Chambeyron est si pauvre en glaciers, en comparaison de celui des Grandes Rousses, ce n'est nullement parce qu'il jouit d'une position plus méridionale et plus proche de la Méditerranée, mais bien parce qu'il se trouve être plus continental, plus « interne », que le massif dauphinois. Et l'on trouverait sans peine en Maurienne des massifs où le niveau des neiges persistantes remonterait aussi haut que dans le Chambeyron.

Cette orientation des courbes d'égal niveau d'équilibre glaciaire n'est pas pour nous étonner : nous avons vu tout au long du chapitre précédent que la transformation des types de climats se faisait dans notre domaine non pas du Sud au Nord, mais de l'Ouest vers l'Est. Plus précisément, l'abaissement vers l'Ouest du niveau des neiges persistantes semble lié avec évidence à l'extension vers le Pelvoux des précipitations méditerranéennes de saison froide (notre régime « pseudo-méditerranéen »). Le niveau en question remonte au contraire vers le Queyras et l'Ubaye où des influences continentales ont pour effet de diminuer les précipitations solides. De fait, on constate que les précipitations du semestre novembre-avril représentent plus de 56 % du total annuel à Bourg-d'Oisans¹⁰ et à Pelvoux — d'où gros apport de précipitations solides abaissant la limite des neiges persistantes — 53 % encore au Monétier, mais 49 % seulement à Château-Queyras, 48 % à Abriès, 46 % à Meyronnes : ces régions, déjà relativement peu arrosées et par surcroît affectées ainsi d'un léger maximum de saison chaude, ne sauraient abriter d'importantes réserves neigeuses. Par une méprise amusante, le touriste qui remarque la faiblesse fréquente de l'enneigement et l'absence des glaciers en Queyras ou en haute Ubaye invoque souvent la latitude déjà plus

¹⁰ J. MERCIER, Les précipitations dans l'Isère au cours de la période trentenaire 1911-1940, *R. G. A.*, 1942, p. 773-80, 4 fig.

méridionale et la proximité plus grande de la Méditerranée, alors qu'en fait c'est la position plus « continentale » de ces hautes vallées (et par conséquent *moins méditerranéenne*) qui est seule en jeu ¹¹.

Vitesse des glaciers. — Elle n'a fait l'objet de mesures que sur les glaciers Blanc et Noir ¹². Sur le premier, une chaîne de 14 pierres-témoins à la cote initiale 2466 m. rive gauche a accusé de 1935 à 1938 un déplacement moyen annuel de 56 m. par an (maximum annuel : 63 m.) pour une pente moyenne de 0,22. Sur le second la vitesse a été mesurée en deux points : une chaîne rouge (altitude initiale 2291 rive gauche) trahit un écoulement moyen de 15 m. par an pour une pente superficielle moyenne de 0,25, et une chaîne bleue plus élevée (2410 m. rive gauche) un écoulement moyen plus élevé de 19 m. par an, pour une pente superficielle de 0,25 également. Tout ceci ne fait que rappeler que la vitesse d'un glacier décroît vers l'extrémité de la langue, au fur et à mesure que prédomine l'ablation. La zone d'alimentation plus étendue du glacier Noir peut contribuer par ailleurs à accroître la vitesse d'écoulement de ce dernier.

Les oscillations glaciaires. — C'est encore aux deux grands glaciers de la Vallouise qu'il faut se reporter pour essayer de se faire une idée des oscillations glaciaires. Oscillations qui se soldent comme partout pour la période actuelle par une régression générale. Les deux glaciers confluaient en effet encore vers 1866 comme en témoigne la carte au 1/80.000 levée à cette date. Encore le glacier était-il déjà à ce stade en retrait, car le Pré de Madame Carle était un véritable pré au xvi^e siècle avant d'avoir été recouvert par une

¹¹ Il serait intéressant de rapprocher les courbes d'égal niveau de l'équilibre glaciaire de notre carte de la dégradation du régime pluviométrique méditerranéen (chap. IV, fig. 56) : même relèvement des courbes en latitude vers la zone externe.

A Allos, les précipitations du semestre froid redeviennent les principales (0,51) : il doit en résulter certainement une retombée du niveau d'équilibre glaciaire, mais le relief n'est plus nulle part assez élevé (en territoire français du moins) pour être recoupé par lui. A défaut de glaciers, on sait que l'enneigement de la haute Tinée est remarquable et a permis l'installation de stations de sports d'hiver renommées (Auron). Ce n'est donc nullement un paradoxe que d'affirmer qu'un enneigement abondant et un englacement étendu constituent — sous réserve évidemment d'une altitude suffisante — des caractères climatiques typiquement méditerranéens.

¹² *Études glaciologiques*. Années 1935-38. Rapport (dactylographié) de M. REYNAUD, Conservation des Eaux et Forêts de Gap.

crue glaciaire au début du siècle suivant¹³. Depuis le siècle dernier au contraire, le recul s'est accentué avec la disjonction des deux appareils. Les levés effectués en 1925 pour l'établissement des plans directeurs au 1/20.000 situent les fronts des glaciers Blanc et Noir respectivement à 600 et 830 m. (mesurés en projection horizontale) en amont du front commun de 1866. Plus récemment d'ailleurs des levés de haute précision ont été effectués par les soins des Eaux et Forêts (même référence que ci-dessus, note 12). Ils témoignent pour le glacier Blanc d'un recul de 179 m. (en projection horizontale) de 1921 à 1935, soit 12 m. en moyenne par an, suivi d'une avance de 18 m. de 1935 à 1938 (4,50 m. par an). Pour le glacier Noir, on constate une progression légère, mais continue, de 1921 à 1938 (50,60 m., soit 2,80 m. par an). On ne sera pas autrement étonné de voir un des deux glaciers continuer à régresser alors que l'autre avait déjà commencé sa progression, car c'est là la conséquence normale des différences que l'on constate entre l'étendue des deux glaciers et leurs vitesses d'écoulement.

Pour les autres appareils, nous ne pouvons donner que des indications sommaires reposant sur le 1/80.000 levé en 1866. On peut sans doute faire des réserves sur la précision de cette carte, mais il serait d'une méthode vraiment critiquable d'affirmer que les erreurs aient été toutes dans le sens d'une exagération des surfaces glaciaires. Or celles-ci paraissent singulièrement plus développées il y a un siècle qu'aujourd'hui. On notera entre autres que les deux branches du glacier du Monétier se rejoignaient alors à nouveau vers l'aval, isolant complètement en îlot l'arête rocheuse

¹³ On sait qu'une crue glaciaire du XVII^e siècle laissa aussi des traces dans le massif du Mont Blanc et en Maurienne (cf. H. ONDE, 9, p. 494).

On pourrait sans doute rapprocher de cette crue tout un faisceau de témoignages rassemblés par A. ALBERT, relatifs à d'anciens passages de Vallouise en Oisans : — 1709 : « Le col de la Grande Sagne, autrement appelé l'Ailefroide, au-dessus des villages de la Pisse (actuellement Pelvoux), pour les gens de pieds, va à Saint-Christophe près le Bourg-d'Oisans » (Mémoire et explication de toutes les vallées, rivières, ruisseaux, cols et passages du Briançonnais, de l'Embrunais... mms. Bibl. Grenoble) ; — 1752 : « de Vallouise, un chemin qui passe au village de la Pisse... au col de Valfroide... à Saint-Christophe... va joindre la Petite Route à Bourg-d'Oisans. Ce chemin traverse des glaciers et les éboulements l'ont rendu impraticable. Aussi depuis cinquante ans il n'y a peut-être passé personne » (Mémoires militaires de BOURCET, p. 148). — Cf. encore les mémoires de ROCHAS D'AIGLUN. Le tout cité par A. ALBERT, *Le Pays briançonnais, l'Argentière...*, p. 166. Si on ne récuse pas par principe de pareils textes, on doit les interpréter, croyons-nous, comme témoignage d'une crue glaciaire : en période de crue, en effet, les crevasses sont moins béantes, les massifs plus matelasés, les arêtes rocheuses pouvant même venir à disparaître sous des coupoles de neige, toutes choses qui facilitent relativement la circulation. Tous ces témoignages placeraient la crue glaciaire en question dans la seconde moitié du XVII^e siècle.

culminant à la cote 3252 m. : aujourd'hui la branche Nord, qui descend à vrai dire sur un adret très exposé, a remonté jusqu'en haut de son gradin de confluence, et la branche Sud seule, bien abritée du soleil par une longue barre rocheuse, descend assez bas dans la vallée du Tabuc. Un phénomène presque identique s'observe au glacier Sud de l'Ailefroide qui confluaient autrefois largement avec le glacier du Sélé : or le contact entre les deux masses glaciaires ne s'est maintenu aujourd'hui qu'à l'extrême Sud sous le col de l'Ailefroide¹⁴.

En dehors du Pelvoux, le recul des petits appareils est partout très sensible, dans le massif du Chambeyron surtout où il a été étudié par KILIAN¹⁵. Sur le versant italien, notamment au Sud-Est du Brec de l'Homme, subsistent des vestiges glaciaires d'une étonnante fraîcheur : on dirait que les glaces s'en sont retirées de la veille.

II. — Les cours d'eau.

Les débits annuels. — On trouvera dans l'ouvrage monumental de PARDÉ¹⁶ le résultat de mesures hydrologiques effectuées avant 1914 pour une douzaine de postes du bassin supérieur de la Durance (tableau XLVI). Malheureusement, plus encore que pour les observations climatiques, on a souffert ici de fréquents déplacements de postes. C'est ainsi que celui de Briançon, après avoir fonctionné deux ans (1906-07) en amont du confluent de la Guisane, a été reporté de 1912 à 1915 en aval de celui de la Cerveyrette. C'est ainsi qu'à des mesures effectuées de 1904 à 1909 à La Bessée ont succédé de 1910 à 1915 des mesures effectuées à La Roche-de-Rame. Migration vers l'aval encore du poste de Mont-Dauphin établi jusqu'en 1909 en amont du confluent du Guil et transféré ensuite à Saint-Clément. Le résultat est que les séries les plus longues utilisées par notre savant prédécesseur ne dépassent pas onze ans. Postérieurement à 1920, des mesures ont été reprises pour le compte du service des Grandes Forces Hydrauliques sur la Durance, à La Vachette et à Briançon, sur l'Ubaye à Barcelonnette (pont de

¹⁴ Dans le bassin du Vénéon, il faudrait noter de même la confluence, abandonnée aujourd'hui, des glaciers du Says et de la Pilatte.

¹⁵ KILIAN et FLUSIN, Les glaciers de Marinet. *Annales de l'Université de Grenoble*, 1900, p.

¹⁶ PARDÉ (143).

l'Abattoir)¹⁷. Nous en avons extrait des moyennes décennales 1932-1941 comparables aux moyennes climatiques retenues au chapitre précédent. Enfin la Société des Forces Motrices du Guil a fait reprendre les mesures sur cette rivière en les basant sur de nouveaux jaugeages et les a fait poursuivre jusqu'en 1943¹⁸. Nous avons ainsi la chance de posséder pour le « Pont la Pierre » (Maison du Roi), mais pour cette station seulement, une série de mesures portant sur vingt années consécutives.

Il ressort de cet ensemble de mesures encore trop hétérogènes que les débits relatifs restent en moyenne supérieurs à 35 l/sc/km² de bassin pour les torrents descendus des hautes cimes du Pelvoux : Gyronde, Fournel, Biaysse¹⁹. Pour le restant du bassin supérieur de la Durance la moyenne arithmétique de toutes les observations donnerait un débit relatif de 28,5 l/sc/km². Ce module relatif se relève d'ailleurs vers l'aval par suite de l'apport des affluents de droite descendus du Pelvoux (35,5 l/sc/km² à La Roche-de-Rame pour 1910-15) pour retomber ensuite très rapidement vers l'aval (29,7 l/sc/km² à Saint-Clément pour la période 1912-1915, chiffre d'autant plus caractéristique que ces quatre années semblent avoir eu un débit supérieur de 20 % à la normale). C'est que le Guil, au bassin médiocrement arrosé, n'apporte pas à la Durance un volume d'eau proportionné à sa surface de réception : le débit moyen à Pont-la-Pierre, pour la période 1924-1943, n'a été en effet que de 20,4 l/sc/km², ce qui suppose un écoulement annuel moyen de 643 mm. seulement²⁰. L'Ubaye possède enfin des débits relatifs du même ordre (20,2 à Barcelonnette pour 1904-1914) que confirme, vers l'aval, la médiocrité de l'écoulement de la Durance moyenne.

La comparaison de ces modules annuels reposant — sauf pour Pont-la-Pierre — sur des périodes d'observations bien trop courtes, reste très aléatoire par suite de la forte *variabilité annuelle* du débit.

¹⁷ Nous devons communication de ces mesures à l'obligeance de M. MIRANDE, ingénieur au Service des Grandes Forces Hydrauliques.

¹⁸ Les résultats de ces mesures ont fait l'objet d'un très beau mémoire (inédit) de M. P. WYART, qui nous a été aimablement communiqué avec l'autorisation de la Société des Forces Motrices du Guil.

¹⁹ Le « record » serait de 48 l/sc/km² de bassin, soit un écoulement de 1.510 mm., pour la Biaysse à Freissinières, mais cette moyenne — empruntée à PARDÉ (143, tabl. 149) — ne porte que sur une période de quatre ans (1911-1914) qui semble avoir été très supérieure à la normale.

²⁰ D'après P. WYART la comparaison des débits du Guil à Pont-la-Pierre et à La Chapelue donne entre ces deux stations une différence de près de 800 l/sc. que ne justifie pas la différence des bassins versants (475 contre 415 km²). L'hypothèse la plus plausible serait celle d'un cours d'eau souterrain rejoignant le Guil entre les deux stations sous les alluvions du lit (un phénomène du même ordre a été noté depuis longtemps pour la Durance à Serre-Ponçon).

TABLEAU XLVI

Modules et écoulements annuels.

	Années	Débit moyen (m ³)	Débit caractér. moyen (m ³)	Surface du bassin (kms ²)	Module relatif	Indice d'écou- lement mm.
Guisane :						
Monétier	1904-14	3,1		90	34	1080
Briançon	1904-15	6,6	4,1	201	33	1040
Clarée :						
Plampinet	1904-11	3,5	1,9	125	28	885
Durance :						
La Vachette	1932-41	6,1		225	27,1	855
Briançon	1912-15	19,8	12,4	427	46	1450
Briançon	1932-41	14,4		427	34	1060
La Bassée	1904-09	23		904	25,4	802
La Roche	1910-15	34,9	24,2	984	35,4	1100
Montdauphin	1904-09	30	20,4	1197	25	790
Saint-Clément ...	1912-15	57,2	37	1930	29,7	940
Embrun	1904-15	56		2290	24,4	770
Embrun	1904-29	55,3		2290	24,1	761
Cerveyrette :						
Briançon	1912-15	3	2,1	117	25,5	810
Gyr :						
Vallouise	1912-14	4,3	3,4	131	33,3	1040
Onde :						
Vallouise	1904-14	3,5	1,7	75	46,6	1470
Fournel :						
L'Argentière	1910-14	2	1,3	51	39,2	1240
Biaysse						
Freissinières	1911-14	4,5	2,7	94	48	1510
Guil :						
Pont-la-Pierre ...	1924-43	9,8	5,9	473	20,7	653
Ubaye :						
La Condamine ..	1912-14	8,5		358	23,8	750
Barcelonnette	1904-14	10,9	6	549	20,2	630
Barcelonnette	1932-41	12,1		549	22	693
La Bréole	1913-14	25	15,6	1000	25,2	805
Ubayette :						
Gleizolle	1904-14	2,4		110	21,8	600
Bachelard :						
Uvernet	1904-11	3,6		127	28,3	895

Le rapport entre les débits annuels extrêmes s'établit en effet de 1 à 2,2 à Briançon pour 13 années d'observations, de 1 à 2,35 à Pont-la-Pierre (20 années), de 1 à 2,4 à Barcelonnette (20 années non consécutives). L'écart relatif *moyen* des moyennes annuelles à la moyenne globale est respectivement pour ces trois stations de 16 %, 22 % et 20 % et l'écart relatif *médian* (celui que l'on a chance de voir dépasser un an sur deux) de 14 %, 21 % et 17 %. On pourrait songer à entrer dans quelques détails à propos de cette irrégularité des moyennes annuelles en recherchant s'il n'y a pas eu succession plus ou moins régulière d'années abondantes et maigres. Là où les chiffres le permettaient sans trop de fantaisie nous avons établi des coefficients annuels relatifs (= rapports de chaque année à la normale = 100).

TABLEAU XLVII

Coefficients relatifs annuels des débits.

A.	1904	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	1913	1914	1915
Clarée	97	87	73	79	86	80	110	116	127	116	121	122
Guisane ...												
Cerveyrette.												
Ubaye	102	82	65	85	101	64	117	135	146	93	103	?
B.			1932	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940	1941
Durance			86	70	94	94	146	125	86	92	96	117
Guil			104	75	133	85	157	112	78	80	73	114
Ubaye			91	69	102	79	138	107	77	?	100	145

A : 100 = débit moyen de la période 1904-15.

B : 100 = débit moyen de la période 1932-41.

On voit que la période 1910-1914 a vu des moyennes anormalement fortes succéder aux moyennes trop faibles de la période précédente. L'année 1936 a été très remarquable également par la valeur élevée des modules sur tous nos torrents, tandis que 1933 avait vu partout des débits anormalement bas. Mais on constate aussi que ces fluctuations annuelles ne concordent pas jusque dans les détails pour l'ensemble du bassin : le Guil, seul abondant en 1932, est par contre seul maigre en 1940. Aussi, devant ces données trop disparates et l'insuffisance générale des observations de trop longue durée, avons-nous dû renoncer à établir des modules « cor-



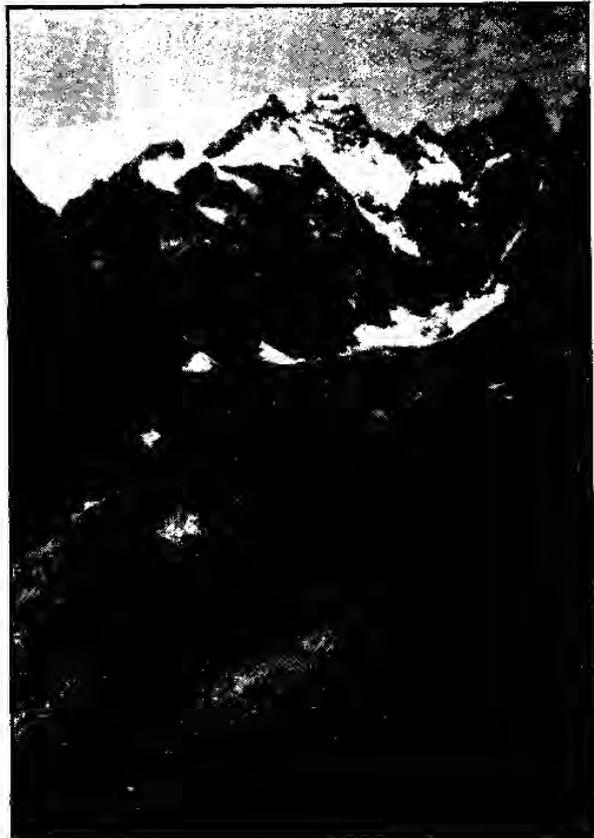
Pl. XIII A. — Séraes sur le Glacier Blanc.



Pl. XIII B. — Le Glacier d'Arsine, vu du Combeynot.
Les eaux de fonte s'écoulent à la fois vers la Guisane (à gauche)
et la Romanche (à droite).



Pl. XIV A. — Glacier de la Momie,
au pied du Pelvoux.



Pl. XIV B. — Glacier Noir.
Toute la partie inférieure de la langue
disparaît sous la moraine de surface.
A droite, moraine latérale bien marquée.

Urbain Péguy.

rigés » qui auraient été ramenés par le calcul à une même période d'observation ²¹.

Si imparfaits que soient ces chiffres, ils trahissent néanmoins sans aucune contestation possible la médiocrité de l'écoulement dans la zone intra-alpine du Sud, en comparaison de celui que l'on observe dans la zone homologue des Alpes françaises du Nord : 39,5 l/sc/kms² pour l'Isère à Montrigon avec un bassin versant de 534 kms²; 42,5 l/sc/kms² plus au Nord encore mais avec un bassin plus grand (1.983 kms²) pour l'Arve à Genève; près de 50 l/sc/kms² enfin pour le Rhône à Brigue (831 kms²). Par contre les modules relatifs iront s'amenuisant encore dans le bassin moyen et inférieur de la Durance (16 l/sc/kms² pour la Durance à Mirabeau, ce qui laisse supposer un écoulement de l'ordre de 12 l/sc/kms² seulement pour les affluents inférieurs). L'hydrologie confirme ainsi les leçons du climat : si le Briançonnais ou le Queyras s'opposent déjà aux Alpes du Nord, ils ne sont guère encore que le vestibule de celles du Sud.

Les régimes. — Nous donnons ci-après (tabl. XLVIII et XLIX) les débits moyens mensuels de la Durance supérieure et de ses affluents. La figure 66 exprime graphiquement les régimes élémentaires qui

TABLEAU L^{21 bis}

Régimes hydrologiques. — Indices d'écoulement mensuels en millimètres.

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Durance :													
La Vachette	1932-41	32	30	33	58	127	202	118	54	49	50	38	35
Gyronde :													
Vallouise	1912-14	27	27	37	67	171	243	216	175	118	77	46	36
Guil :													
Pont-la-Pierre	1924-42	26	26	29	53	135	204	94	51	45	45	41	32
Ubaye :													
Barcelonnette	1932-41	14	13	23	46	111	166	100	36	39	39	26	19

²¹ Nous voudrions aussi souligner que nos mesures de débits restent sur nos rivières très aléatoires quand on ne prend pas soin d'étudier de très près la *variation diurne* due à la fonte qui peut atteindre, au printemps, 45 % de la moyenne diurne. Compte tenu de la durée de l'écoulement, le maigre se trouve en général reporté en fin de matinée et les hautes eaux vers 21 heures (pour le Guil à Pont-la-Pierre). On se rend compte des erreurs énormes que l'on pourrait commettre en évaluant le débit moyen d'après des mesures qui seraient faites une fois par jour à heure fixe.

^{21 bis} Les tableaux XLVIII et XLIX ont dû être reportés aux pages suivantes

TABEAU XLVIII

Régimes hydrologiques — Débits moyens mensuels en m³/sc.

Clairée :	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
Piampinet	1	1	1,1	2,5	8	12,9	6,1	2,9	2,1	2,1	1,3	1,1	3,52
Durance :													
La Vachette	2,7	2,6	2,9	5,1	11,2	17,8	10,5	4,8	4,3	4,4	3,3	3,1	6,1
Briançon	7,4	6,7	8,7	17,4	40,6	50,1	33,2	22,2	16,1	13,7	11,7	8,9	19,7
Briançon	7,3	6,7	7,7	14,4	32,3	49,1	32	16	15,1	14,1	10,7	8,3	17,8
La Besée	9,2	8,5	8,8	18,5	44,2	52,1	36,6	30,4	23,2	18,7	14,6	10,9	23
La Roche-de-Rame	14,4	13	16	30	65,5	85,4	63	32,6	28,8	26,1	19,9	14,5	34,9
Montdauphin	9,8	8,7	9,7	21,5	58,4	77,2	54,3	39,3	27,7	23,8	18,7	12,6	30
Saint-Clément	22	21,1	26,6	49,6	111	140	101,7	73,9	46,9	38,6	34,9	23,4	57,2
Embrun	20,9	19,8	25	47	109	145	94	63	43	41	35	26	56
Embrun	21,6	20,5	24,9	46,1	116	143	88	54,3	42,8	42,6	41,6	26,6	55,3
Gyr :													
Vallouise	1,2	1,2	1,9	3,2	7,6	8,3	3,1	7,7	5,5	3,4	2,2	1,8	4,35
Onde :													
Vallouise	0,8	0,5	0,9	1,9	5,2	10	8,2	5,5	3,5	2,4	1,3	0,9	3,44
Fournel :													
L'Argentière	0,6	0,6	0,8	1,5	3,3	5,4	3,8	2,4	1,6	1,6	1,4	0,9	1,98
Guil :													
Pont-la-Pierre	4	3,9	4,4	7,9	20,8	30,8	14,1	7,7	6,7	6,7	6,1	4,8	9,8
Ubaye :													
La Condamine	2,8	2,4	3,8	7,5	18	25,4	16,5	6,8	5,1	6,2	6	3,5	8,5
Barcelonnette	3,6	3,4	4,2	9,3	22,7	35,7	17,1	7,7	6,1	8,7	7,3	5	10,9
Barcelonnette	3,1	3	5,2	10,6	25,4	38,0	23	8,4	9	9	6,1	4,3	12,1

TABLEAU XLIX

Régimes hydrologiques — Coefficients relatifs mensuels des débits.

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Clarée :													
Plampinet	1904-11	0,29	0,28	0,31	0,71	2,28	3,67	1,74	0,83	0,61	0,60	0,37	0,31
Durance :													
La Vachette	1932-41	0,45	0,44	0,48	0,84	1,85	2,93	1,73	0,79	0,71	0,72	0,55	0,51
Briançon	1912-15	0,37	0,33	0,44	0,88	2,06	2,50	1,68	1,12	0,81	0,68	0,59	0,45
Briançon	1932-41	0,40	0,37	0,43	0,81	1,81	2,76	1,80	0,90	0,85	0,81	0,60	0,46
La Bessée	1904-09	0,40	0,37	0,38	0,81	1,92	2,27	1,60	1,32	1,00	0,82	0,65	0,48
La Roche-de-Rame	1910-15	0,42	0,38	0,47	0,88	1,93	2,51	1,85	0,96	0,85	0,76	0,57	0,42
Montdauphin	1904-09	0,33	0,29	0,32	0,71	1,94	2,57	1,81	1,31	0,92	0,76	0,62	0,42
Saint-Clément	1912-15	0,37	0,37	0,46	0,87	1,94	2,44	1,78	1,25	0,82	0,68	0,61	0,41
Embrun	1904-29	0,39	0,37	0,45	0,83	2,10	2,58	1,59	0,98	0,79	0,77	0,75	0,48
Gyr :													
Vallouise	1912-14	0,28	0,27	0,44	0,74	1,75	1,91	1,87	1,77	1,26	0,78	0,51	0,42
Onde :													
Vallouise	1904-14	0,23	0,23	0,26	0,55	1,51	2,90	2,38	1,60	1,02	0,69	0,37	0,26
Fournel :													
L'Argentière	1910-14	0,32	0,31	0,42	0,75	1,66	2,71	1,85	1,21	0,79	0,83	0,70	0,45
Guil :													
Pont-la-Pierre	1924-42	0,41	0,40	0,45	0,81	2,12	3,14	1,44	0,78	0,69	0,69	0,62	0,49
Ubaye :													
La Condamine	1912-14	0,32	0,27	0,43	0,86	2,09	2,96	1,91	0,78	0,58	0,71	0,69	0,40
Barcelonnette	1904-14	0,33	0,31	0,38	0,85	2,08	3,28	1,57	0,71	0,56	0,80	0,67	0,46
Barcelonnette	1932-41	0,26	0,25	0,43	0,88	2,10	3,14	1,90	0,69	0,74	0,75	0,50	0,36

s'en dégagent. Le Gyr à Vallouise représente le cas unique dans notre domaine d'un régime glaciaire presque pur: le module est dépassé d'avril à septembre, le débit d'août étant même un peu plus élevé encore que celui de mai (7,7 contre 7,6 m³/sc.; moyenne 1912-14). Avec une pointe ainsi étendue sur près de six mois le débit mensuel maximum (juin) n'atteint pas le double du module annuel (8,3 contre 4,35 m³/sc.). On voit bien là l'effet d'une alimenta-

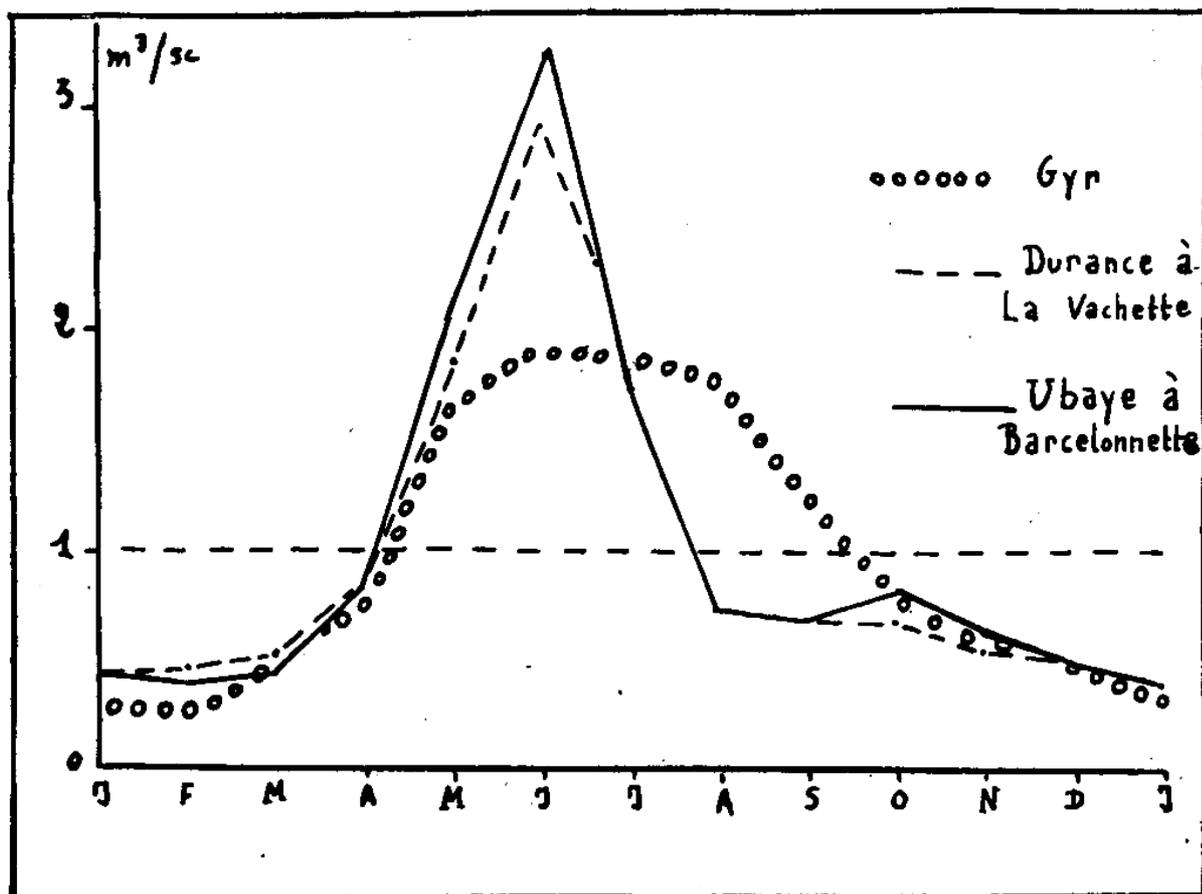


Fig. 66. — Régimes hydrologiques élémentaires.

tion soutenue pendant toute la saison chaude par la fusion des glaciers (glacier Blanc, glacier Noir, Sélé qui totalisent 19,5 kms², soit près du quart de la superficie du bassin). Avec la Durance à La Vachette nous rencontrons le cas d'un cours d'eau dont le bassin est encore très élevé, mais totalement dépourvu de glaciers. Aussi la pointe de fusion y est-elle avancée en saison et plus accentuée, toutes choses caractéristiques du régime nival. Les 17,8 m³/sc. de

moyenne du mois de juin représentent un débit presque triple du module annuel, mais dès août le débit moyen mensuel s'effondre à $4,8 \text{ m}^3$, ne représentant que 0,78 du module. Ensuite, le débit se maintient étale en septembre et octobre par suite des pluies pour tomber finalement à $2,6 \text{ m}^3/\text{sc.}$ (coefficient relatif: 0,44) en février. Avec l'Ubaye enfin, le régime hydrologique est à Barcelonnette

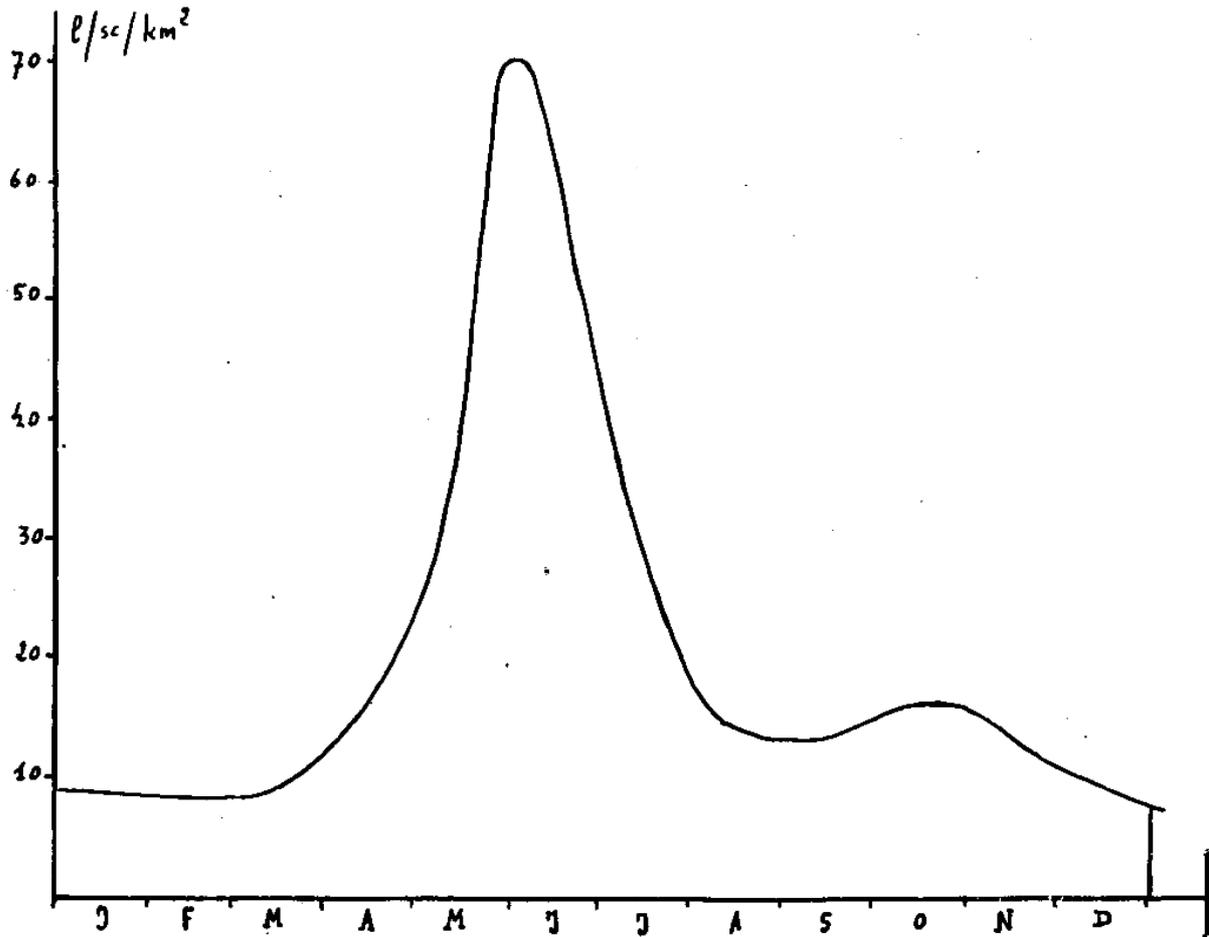


Fig. 67. — Débits moyens journaliers du Guil à Pont-la-Pierre.

presque identique à celui de la Durance à La Vachette, sauf en ce qu'octobre accuse à Barcelonnette une très légère prééminence relative sur septembre (prééminence surtout marquée pour la période 1904-14). Il y a dans cette petite crue — toute relative — ou du moins dans ce long palier de la courbe en octobre l'esquisse d'un régime nival de transition. Par ailleurs, on notera sur notre

figure 66 que toutes les courbes coïncident presque exactement d'octobre à avril; c'est donc par leur allure en saison chaude seulement que les régimes de nos rivières diffèrent selon que la fusion s'y montre plus ou moins précoce et qu'elle s'y complique ou non d'une légère suralimentation pluviale.

Si nous avons omis dans les lignes qui précèdent et sur la figure 66 de mentionner le cas du Guil, c'est que la documentation plus abondante que nous avons sur ce torrent mérite qu'on s'y attarde. La période de 20 années consécutives (1924-43) pendant laquelle les hauteurs d'eau ont été relevées quotidiennement à Pont-la-Pierre permet en effet la construction d'une courbe des *débits moyens journaliers* (fig. 67) qui échappent à la rigidité artificielle des moyennes mensuelles. Il n'est pas sans intérêt de localiser ainsi avec précision la « pointe » moyenne du débit au 2 juin, journée dont le débit moyen atteint 70 l/sc/kms², valeur très sensiblement supérieure aux 64,8 l/sc/kms² atteints par la moyenne mensuelle de juin. Le minimum journalier se situe par contre le 24 février avec 8 l/sc/kms². Mais surtout ces moyennes journalières mettent en évidence un maximum secondaire d'automne, d'origine pluviale (16,5 l/sc/kms² pour le 21 octobre contre 13,8 pour le 4 septembre), maximum secondaire qui n'apparaissait nullement sur les moyennes mensuelles, septembre et octobre s'y égalant rigoureusement avec 14,2 l/sc/kms². Ainsi le Guil possède-t-il déjà en fait un régime nival de transition, la pointe pluviale d'automne n'y apparaissant encore qu'à titre d'ébauche puisque le débit relatif de 16,5 l/sc/kms² du 21 octobre ne représente encore qu'un coefficient relatif de 0,80. On se rend compte que ces moyennes journalières expriment beaucoup plus fidèlement que des mensuelles les réalités très nuancées des régimes hydrologiques. Étant donné que pour le Guil elles révèlent une pointe de crue là où la moyenne mensuelle marquait un simple palier de décrue, nous serions tenté de croire que l'Ubaye — dont la moyenne d'octobre l'emporte légèrement sur celle de septembre — doit présenter, sur sa courbe journalière, un maximum pluvial d'automne encore plus marqué que pour le Guil.

Avec ces régimes élémentaires assez nuancés affectant ses affluents successifs la Durance supérieure possède, pour un bassin encore bien peu étendu, un véritable régime complexe où se combinent des influences multiples. Nous les suivrons (fig. 68) du Briançonnais au Gapençais. A Briançon, régime nival caractéristique : la moyenne de juin approche de 50 m/sc. (en aval du confluent de la Guisane); après un palier d'août à octobre où le débit oscille autour de 15 m/sc. (soit 0,85 du module) le maigre d'hiver

abaisse jusqu'à 6,7 m/sc. (0,37 du module) le débit mensuel moyen de février. Juin et février restent dès lors pour longtemps les deux extrêmes de la courbe: il faut aller à Sisteron pour voir le minimum s'avancer en janvier, le maximum restant en juin²². A Mirabeau encore, juin l'emporte sur mai (331 m/sc. contre 323)²³. Mais cette universalité du maximum de juin n'empêche pas des accidents remarquables d'affecter les deux versants de la courbe, celui d'automne surtout. Dès Mont-Dauphin la courbe se montre plus « aplatie », le débit de juin ne représentant plus que 2,57 du module (contre 2,76 à Briançon et 2,93 à La Vachette). C'est que le débit de mai s'est enflé de la fusion plus précoce des neiges du Haut-Embrunais tandis que celui d'août est gonflé des eaux glaciaires de la Vailhouise. Septembre même n'est guère en dessous du module (0,92 contre 0,71 à La Vachette). A Embrun, l'importance relative du maximum de juin reste la même qu'à Mont-Dauphin (2,58 du module); le coefficient relatif de mai s'élève à 2,10 (contre 1,94 pour Mont-Dauphin), corollaire inévitable de l'abaissement général du relief. Mais surtout, l'apport du Guil à la Durance embrunaise réintroduit le palier d'automne que l'on observait déjà tout à fait à l'amont dans le Briançonnais non glaciaire (coefficients relatifs: La Vachette 1932-41: septembre, 0,71; octobre 0,72; — Embrun 1904-29: octobre, 0,77; novembre 0,75). Au Pont de l'Archidiacre enfin, après l'apport de l'Ubaye et de la Blanche de Seyne, la transformation du régime se précise: la fusion devient de plus en plus précoce (moyennes mensuelles égalant le module dès avril); l'importance relative du maximum de juin s'affaïsse encore (coefficient relatif de 2,19)²⁴; enfin la crue pluviale d'automne de l'Ubaye entraîne sur la Durance elle-même l'existence non d'un simple palier — comme en aval du Guil — mais un très net maximum secondaire (coefficients relatifs: septembre, 0,77; octobre 0,83).

L'étude des régimes gagnerait enfin à être complétée par celle de la variabilité des moyennes mensuelles. Nous donnons ici à titre d'exemple un tableau (LI) résumant sommairement les principales données numériques de cette variabilité pour l'Ubaye à Barcelonnette au cours des périodes décennales 1904-14 et 1932-41. On voit

²² P. VEYRET (41), p. 273, fig. 38.

²³ M. PARDÉ (148), tableau 3.

²⁴ Encore le débit de juin se trouve-t-il soutenu ici par l'effet des quelques pluies continentales qui affectent la région (coefficients pluviométriques relatifs de juin: Embrun 1,12, Le Lauzet 1,21, etc., contre Le Monétier 0,88, Névache 0,78) et qui ajoutent leur eau à celle de la fusion. Sans ces précipitations continentales, le débit de la Durance en juin s'affaïsserait beaucoup plus vite encore vers l'aval.

TABLEAU LI

Régimes hydrologiques — Variabilité des moyennes mensuelles.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
A. Barcelonnette 1904-14 :													
Maximum (Ma)	5,5	5,9	8,2	15,3	39	53,3	25,8	16,3	7,3	12,5	13,5	8,4	16,3
Minimum (Mi)	2,4	1,6	2,7	4,4	9,6	11,8	10	4	3,3	3,3	3,7	3,6	7,1
Rapport — Ma Mi	2,3	3,7	3	3,5	4,1	4,5	2,6	4,1	2,2	3,8	3,6	2,3	2,3
Ecart absolu (Ma—Mi)	3,1	4,3	5,5	10,9	29,4	41,5	15,8	12,3	4	9,2	9,8	4,8	9,2
Ecart relatif	0,64	1,26	1,3	1,18	1,3	1,1	0,92	1,6	0,65	1,06	1,34	0,96	0,87
B. Barcelonnette 1932-41 :													
Maximum (Ma)	4,89	3,6	7,2	16,5	38,4	70,7	53,4	17,2	15,6	16,1	12,5	7,2	17,4
Minimum (Mi)	2,2	2,3	4	6	10,5	15,9	9,3	4,1	3,9	2,8	3,3	1,7	8,3
Rapport — Ma Mi	2,2	1,5	1,8	2,7	3,3	4,4	5,7	4,2	4	5,7	3,8	4,2	2,1
Ecart absolu (Ma—Mi)	2,7	1,2	3,2	10,4	24,3	54,8	44,1	13,1	11,7	13,2	9,2	5,5	9,1
Ecart relatif	0,89	0,41	0,61	0,98	0,96	1,44	1,94	1,56	1,3	1,47	1,51	1,27	0,75
C. Moyennes arithmétiques 1904-14 et 1932-41 :													
Rapport — Ma Mi	2,3	2,6	2,4	3,1	3,7	4,5	4,2	4,1	3,3	4,7	3,7	3,3	2,2
Ecart relatif	0,76	0,85	0,95	1,08	1,13	1,27	1,43	1,58	0,98	1,26	1,41	1,11	0,81

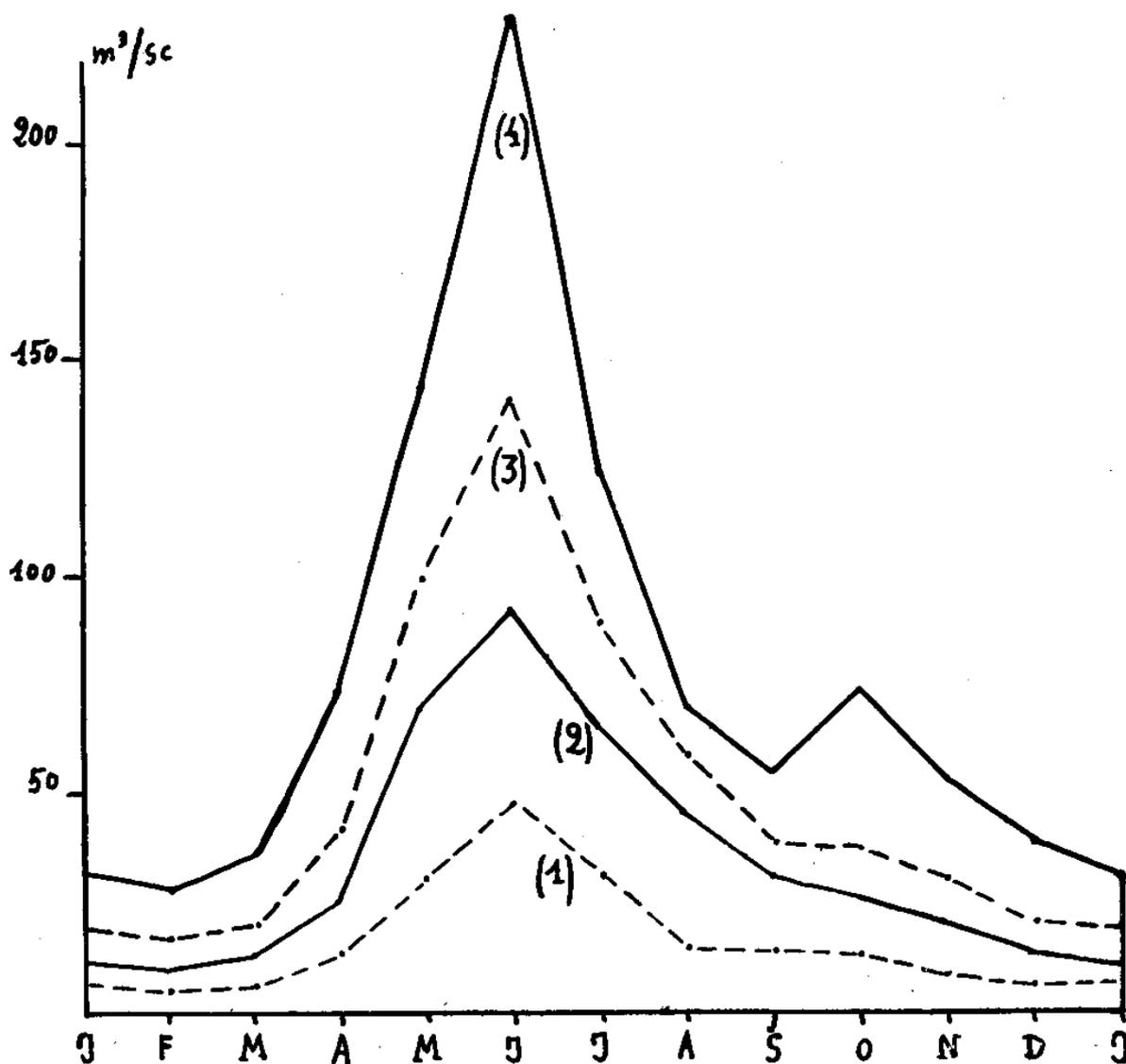


Fig. 68. — Evolution du régime de la Durance.

(1): Briançon. — (2): Montdauphin. — (3): Embrun. — (4): Pont de l'Archidiacre.

que c'est en juillet que l'on risque le plus de voir les débits moyens s'écarter de la moyenne globale, en février au contraire que les moyennes apparaissent les plus stables. Comme les accidents mensuels tendent à se compenser, l'écart relatif de l'année est inférieur à ceux des mois, sauf février et mars.

Rétention et fusion. — Il y aurait un gros intérêt à pénétrer davantage le mécanisme de ces régimes moyens en évaluant pour

chaque mois la part que prennent dans les débits l'écoulement pluvial instantané et la fusion (ou la rétention en période froide). Nous avons effectué ces calculs pour le Guil à Pont-la-Pierre (1924-43) et l'Ubaye à Barcelonnette (1932-41) (tableau LII). On a conjecturé d'abord les précipitations reçues chaque mois par chacun des deux bassins considérés. Connaissant par ailleurs les températures moyennes mensuelles aux altitudes moyennes des

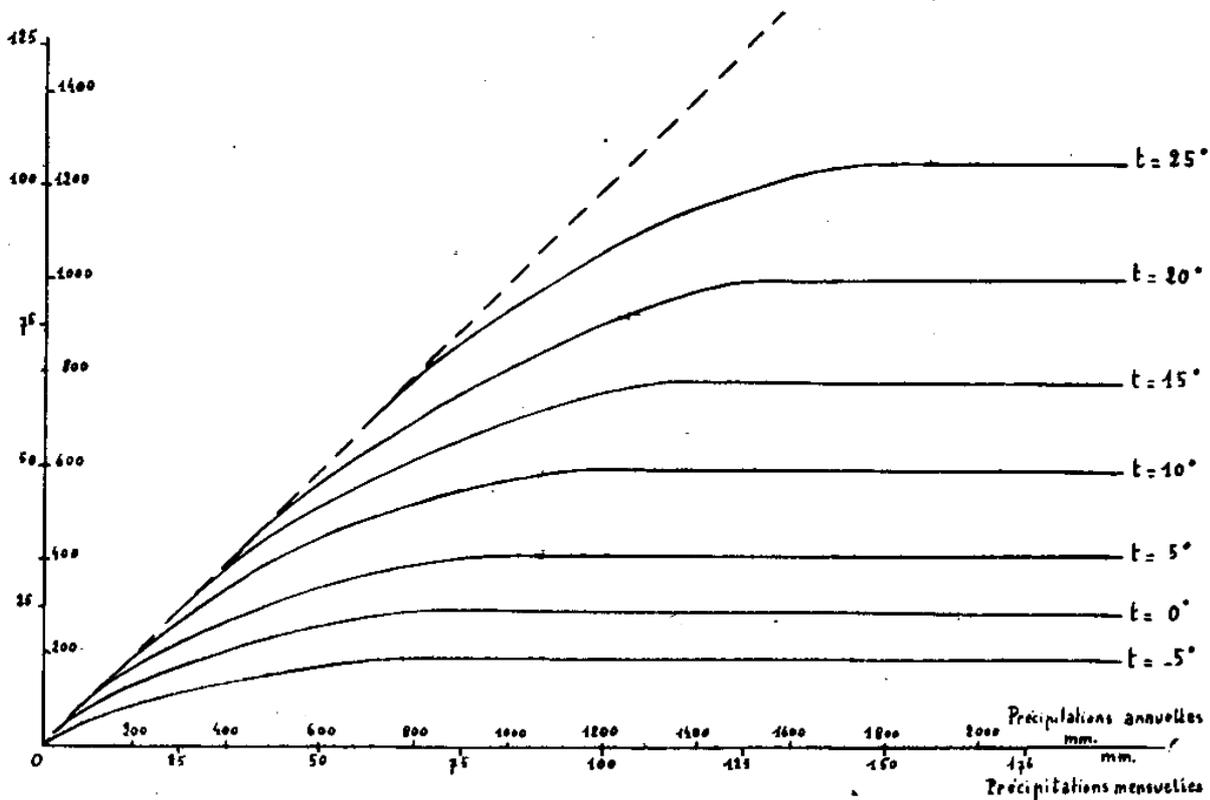


Fig. 69. — Abaque de WUNDT. Déficit d'écoulement en fonction des précipitations et de la température moyenne.

A gauche de l'axe des ordonnées : échelle mensuelle. A droite : échelle annuelle.

bassins on a calculé le déficit probable d'après les abaques de WUNDT (fig. 69). La différence entre ces deux valeurs constitue l'*écoulement théorique* : c'est celui qui se produirait si la pluviosité et l'évaporation étaient, comme en plaine, les seuls facteurs du débit. La comparaison avec cet écoulement théorique de l'écoulement réellement observé met en apparence, chaque mois, soit la *rétention* (si l'écoulement réel est inférieur à l'écoulement calculé),

TABLEAU LII

*Eléments du régime du Guil et de l'Ubaye.
Essai d'évaluation numérique de la rétention et de la fusion.*

A. Guil :	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Indice pluviométrique	55	62	71	86	95	92	75	66	96	101	80	68	
Déficit calculé	9	12	17	20	26	42	44	42	36	22	15	6	
Ecoulement calculé	46	50	54	66	69	50	31	24	60	79	66	62	
Ecoulement réel	23	22	24	44	115	170	78	42	38	38	34	27	
Excédent rétention	23	28	30	22					22	40	31	35	231
Excédent fusion					46	120	47	18					234
Rapport de la fusion au débit total					0,40	0,70	0,60	0,43					
B. Ubaye :													
Indice pluviométrique	63	31	80	88	91	91	78	61	106	83	108	73	
Déficit calculé	12	14	22	27	32	45	50	44	42	28	20	16	
Ecoulement calculé	51	47	58	61	59	46	28	17	64	55	88	58	
Ecoulement réel	14	13	23	40	111	166	100	36	39	39	26	19	
Excédent rétention	37	34	35	15					25	16	62	39	263
Excédent fusion					52	120	72	19					263
Rapport de la fusion au débit total					0,47	0,72	0,72	0,53					

soit la *fusion* dans le cas contraire²⁵. Une dernière démarche consiste à exprimer la part prise dans les débits d'été par l'eau de fusion : 72 % des eaux de l'Ubaye proviennent ainsi en juin et juillet de la fonte des dernières neiges et 53 % encore en août. Pour le Guil, dont le bassin est quelque peu moins élevé, ces pourcentages s'abaissent à 60 % dès juillet et à 43 % en août.

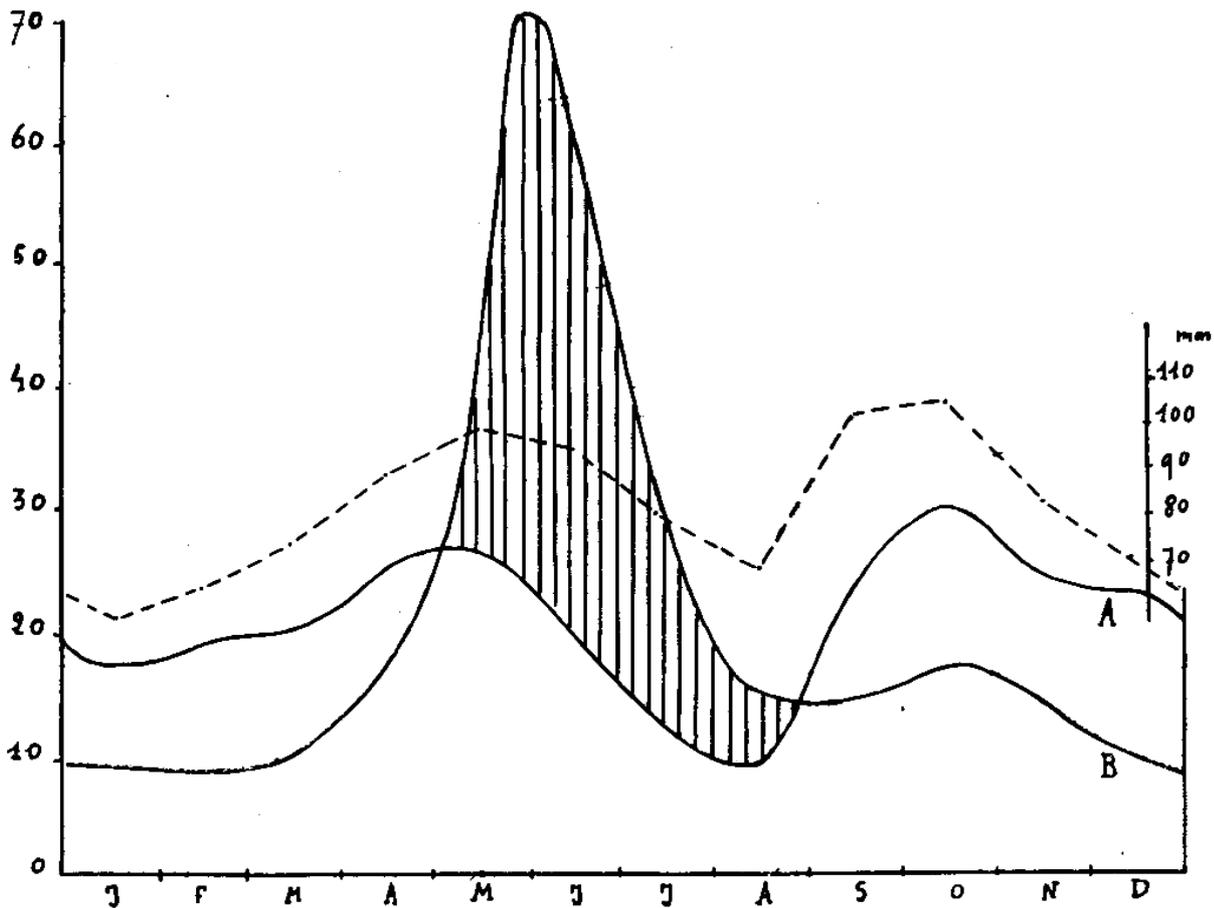


Fig. 70. — Mécanisme du régime du Guil.
Ordonnées : à gauche en débit relatif ; à droite en hauteur d'eau (mm.).

Les figures 70 (pour le Guil) et 71 (pour l'Ubaye) concrétisent d'ailleurs mieux encore qu'un tableau numérique les différents éléments qui se combinent dans les régimes. Les ordonnées étant exprimées en millimètres, la courbe en tireté figure le régime plu-

²⁵ En fait, il y a fusion pendant les heures chaudes de la journée, même en plein hiver, et notre calcul ne peut rendre apparent que l'excédent de la rétention sur la fusion (ou inversement, de la fusion sur la rétention).

viométrique moyen vraisemblable sur l'ensemble du bassin, la courbe pleine A le débit théorique déduit des pluies et de l'évaporation (l'aire comprise entre ces deux premières courbes exprimant le déficit évalué d'après les abaques de WUNDT: on voit d'emblée combien ce déficit est minime en hiver et considérable en été); la courbe pleine B enfin l'écoulement réel: le grisé souligne dès lors

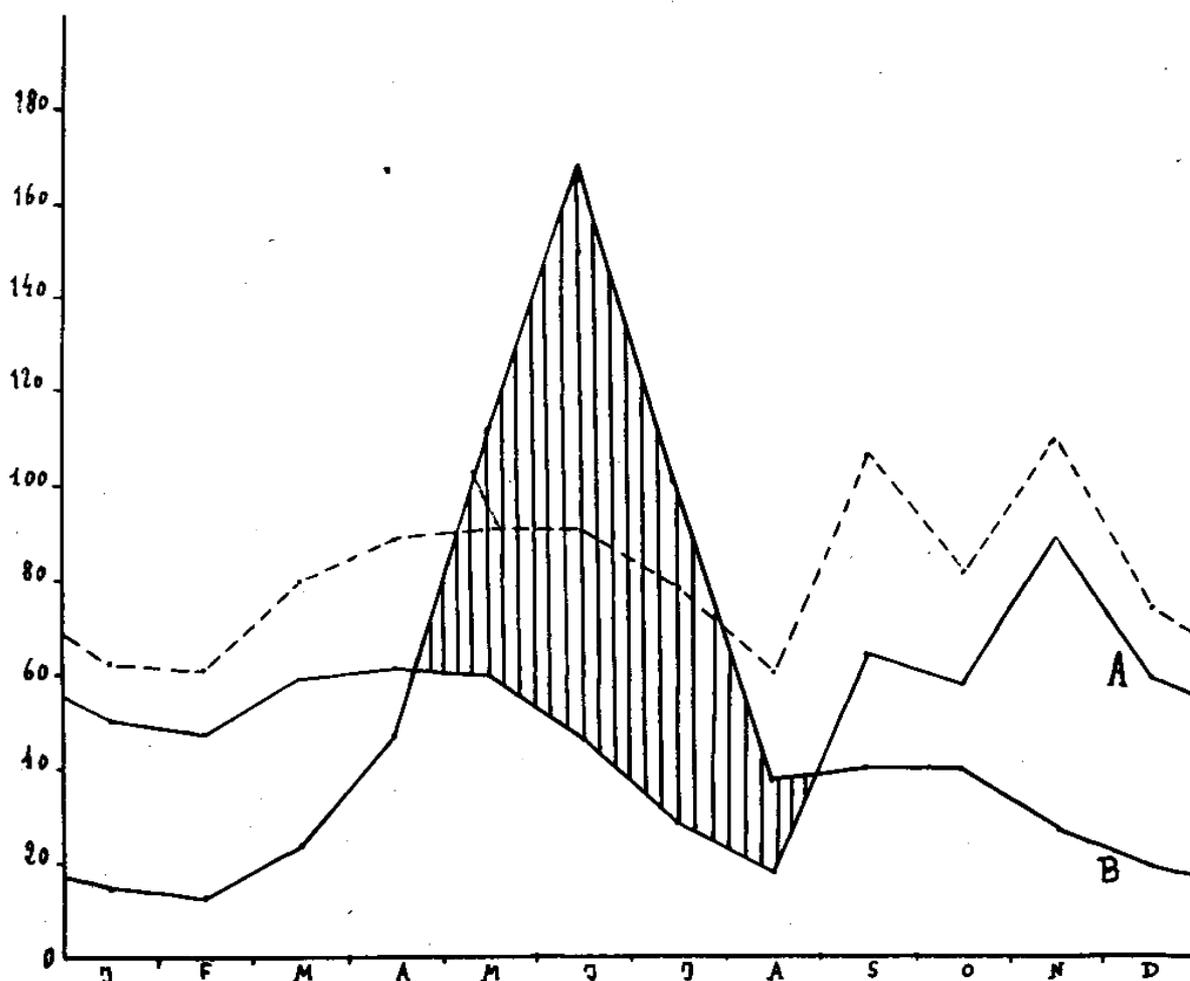


Fig. 71. — Mécanisme du régime de l'Ubaye.
Ordonnées en hauteurs d'eau mensuelles (mm.).

la grosse « pointe de fusion ». Nous avons utilisé pour le Guil la courbe des débits journaliers; pour l'Ubaye, nous avons dû nous contenter de la courbe mensuelle évidemment moins exacte.

On voit avec évidence jusqu'à quel point les gros débits de fusion imposent au régime son caractère dominant, la crue pluviale d'octobre se réduisant par suite de la rétention déjà abondante à un simple palier. On soulignera aussi la brièveté de la période où

domine la fusion: quatre mois — de mai à août — contre huit où la rétention l'emporte. Ramassée sur un temps si court, la fusion entraîne évidemment des débits énormes, débits de 2,2 à 2,5 fois supérieurs à ce que seraient les plus hautes eaux si l'écoulement était uniquement pluvial. Inversement, la rétention abaisse sans aucun doute les débits de février à un taux plus bas que l'aridité n'abaisserait ceux de juillet-août dans un régime soumis exclusivement par hypothèse aux influences des précipitations et de l'évaporation. C'est donc bien la nivation qui constitue le facteur dominant de nos régimes, facteur qui tend essentiellement à accroître l'écart entre les débits extrêmes; le rapport des moyennes mensuelles extrêmes est en effet de 1 à 8 pour le Guil, de 1 à 13 pour l'Ubaye; nos calculs montrent qu'ils ne seraient respectivement, sans la nivation, que de 1 à 3,3 et de 1 à 5,2.

Pour la Gyrone, il ne nous a malheureusement pas paru possible d'effectuer des calculs de cet ordre, à la fois par suite de l'insuffisance de données numériques indiscutables concernant ce torrent et par suite aussi de la complexité plus grande du phénomène: la rétention glaciaire, que l'on devine en grande partie en jeu ici, ne porte pas en effet, comme la nivale, sur un cycle d'une seule année. De plus, les deux rétentions — par glace et par neige — se combinent dans des proportions qu'il serait intéressant, mais vraiment difficile, de préciser. Nous nous sommes contenté de construire pour commenter le régime de la Gyrone à Vallouise un graphique (fig. 72) sur lequel on a porté pour chaque mois l'écoulement observé en fonction de la température moyenne mensuelle. Les douze points obtenus ont ensuite été réunis par une courbe fermée. Pour comparaison, on a construit une courbe identique relative à la Durance à La Vachette, rivière comme on le sait de haute altitude, mais de régime exclusivement nival. On voit en effet sur cette dernière courbe que de février à juin l'écoulement croît avec la température; c'est la phase de fusion: il s'abaisse ensuite rapidement de juin en août et d'août en janvier enfin *l'écoulement reste indépendant de la température*: preuve évidente que la fusion n'entre plus ici en jeu. Pour la Gyrone, au contraire, on voit *l'écoulement dépendre toute l'année de la température*. Toutefois, la branche descendante de la courbe (de juillet à janvier) ne se superpose pas exactement à la branche montante. A température égale, septembre aura ainsi un débit moins fort que mai: c'est la preuve que la fusion des neiges annuelles garde, à côté de celle des glaces, une certaine importance dans le débit. On conçoit en effet que si la fusion glaciaire intervenait seule les deux branches du diagramme de fusion viendraient se superposer. Comme nous sommes encore

assez loin du compte, il conviendrait de donner à un tel régime l'épithète de *nivo-glaciaire*.

Les débits classés. — On sait l'intérêt qui s'attache à compléter l'étude du régime d'un cours d'eau par celle des *débits caractéris-*

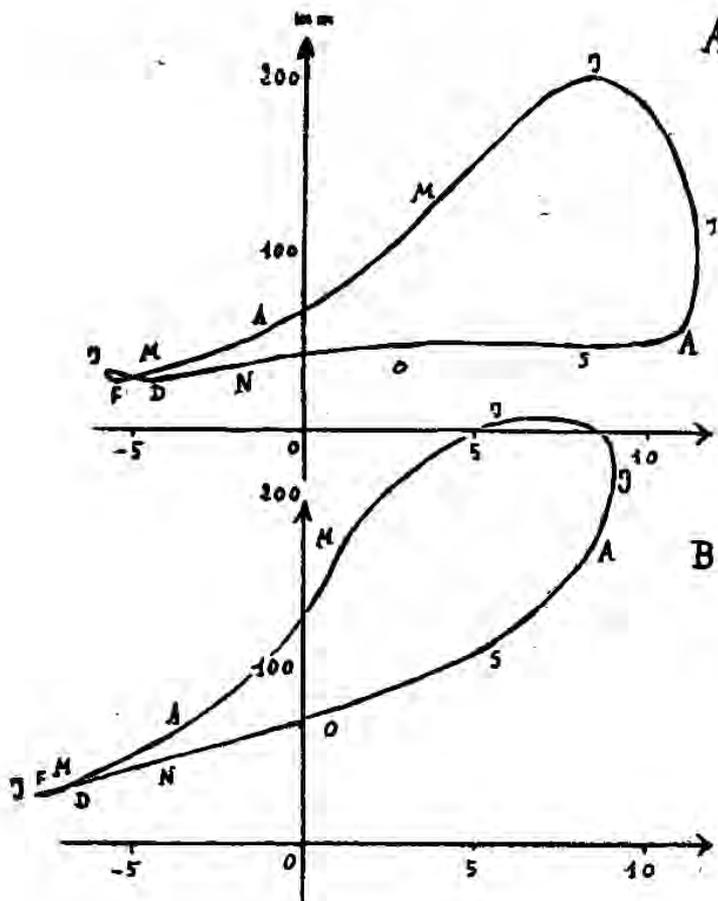


Fig. 72. — Diagrammes de fusion (Durance à La Vachette, Gyronde à Vallouise).

Ecoulement moyen en fonction de la température moyenne mensuelle sur le bassin. *A* : Durance en amont de La Vachette. *B* : Gyronde en amont de Vallouise.

tiques, c'est-à-dire des débits observés régulièrement pendant une certaine durée chaque année. Ces débits sont présentés usuellement sous forme de graphiques de fréquences cumulées, les abscisses allant de 1 à 365 jours et les ordonnées étant exprimées en débits relatifs (en $l/sc/kms^2$), ou mieux encore en coefficients des débits

(rapports des débits caractéristiques au module). Nous possédons une excellente courbe de ces débits classés pour le Guil à Pont-la-Pierre (1924-43); nous avons tenté en outre d'en construire une, très approximative, pour l'Onde à Vallouise (1904-14) d'après les seuls résultats globaux de 132 moyennes mensuelles. Nous avons joint enfin sur notre figure 73 la courbe des débits classés de la Durance à Mirabeau (1892-1933). Les résultats numériques essentiels sont les suivants :

TABLEAU LIII

Débits caractéristiques (exprimés par leur rapport aux modules).

	DC 1	DC 3	DC 6	DC 9
Guil, à Pont-la-Pierre.....	2,8	1,1	0,55	0,45
Onde, à Vallouise.....	2,6 (?)	1,6	0,6	0,28
Vénéon à Bourg-d'Arud (1906-15)...	2,76	1,57	0,59	0,23

Le coefficient 1,1 pour DC 3 du Guil à Pont-la-Pierre (débit caractéristique relatif de 22,2 l/sc/kms pour un module relatif de 20,7 l/sc/kms d'après WYART) surprend un peu par sa faiblesse. Mais les autres chiffres caractérisent assez bien le régime du Guil comme un régime nival de montagne à influences pluviales et celui de l'Onde comme un régime nivo-glaciaire. La comparaison est instructive entre ces débits caractéristiques de l'Onde et ceux du Vénéon à Bourg-d'Arud: les débits sont très voisins de DC 1 à DC 6, mais l'englacement moins poussé du bassin de l'Onde affaiblit la rétention et relève par suite les maigres, d'où DC 9 = 0,28 contre 0,23 pour le Vénéon, 0,16 pour la Wisp à Wisp, etc... Ces indications, si insuffisantes qu'elles soient encore, complètent bien les indications que nous avons tirées directement de l'étude des régimes eux-mêmes.

Mais la grande variabilité que nous avons reconnue aux régimes réagit évidemment sur les débits caractéristiques, susceptibles de varier eux aussi considérablement d'une année à l'autre. Une étude hydrologique qui se voudrait complète devrait analyser dans le détail ces variations. Malheureusement, nous ne pouvions aborder ce problème, faute de mesures suffisantes, que pour le Guil ²⁶. Voici

²⁶ Rappelons que notre courbe de débits classés de l'Onde n'est qu'une courbe approchée déduite de la série des moyennes mensuelles. Elles ne sont évidemment d'aucun secours pour le problème qui nous intéresse maintenant.



Pl. XV A. — Glacier de Séguret Foran
et lac de l'Eychanda.



Pl. XV B. — Une chute de neige « hors
saison » : un chasse-neige en action
sur la route du Galibier le 10 sep-
tembre 1938.

Clichés Péguy.

les limites entre lesquelles ont varié pour ce torrent les débits caractéristiques annuels de 1924 à 1942 (en l/sc/kms²) :

TABLEAU LIV

Variabilité des débits caractéristiques annuels
(Guil à Pont-la-Pierre, 1924-1942).

	DC 10 j.	DC 3	DC 6	DC 9	DC E (355 j.)
Minima (Mi)	28,5	13	9,3	8	5
Maxima (Ma)	130	39,5	20	14	9,5
Rapport $\frac{Ma}{Mi}$	4,57	3,05	2,15	1,75	5,27
Ecart absolu (Ma—Mi) ...	101	26,5	10,7	6	4,5
Ecart relatif	1,23	1,17	0,86	0,63	0,62

On remarquera que l'écart se révèle beaucoup plus grand entre les hautes eaux d'années différentes qu'entre les étiages de ces mêmes années. Nous avons déjà pris une première conscience de ce fait en voyant (ci-dessus tableau LI) que l'écart relatif des moyennes mensuelles croissait de 0,76 en janvier à 1,58 pour août en ce qui concernait l'Ubaye à Barcelonnette. Nous touchons là à la loi bien connue des « effets proportionnels » qui veut qu'une variation de débit produite par une cause accidentelle quelconque soit proportionnelle à ce débit lui-même, ou plutôt à $d - d_0$ (d étant le débit et d_0 le débit d'étiage) ²⁷.

Les crues. — Il résulte de cette grande variabilité des gros débits que les débits maxima atteints pour quelques jours ou quelques heures une ou plusieurs fois par siècle peuvent atteindre des valeurs sans rapport avec les moyennes mensuelles même les plus élevées, ni même avec le DC 10 jours. Si l'on ajoute que ces très gros débits ont des répercussions toutes spéciales sur les faits de géographie humaine, on se convaincra aisément que ces phénomènes, pour exceptionnels qu'ils soient, méritent de retenir toute notre attention.

²⁷ Un bon exemple de l'énorme variabilité de certains débits caractéristiques nous est donné par le rapprochement des chiffres suivants :

Guil à Pont-la-Pierre...	DC 10 jours	1933	28,5 l/sc/km ²
— — —	—	1934	128 l/sc/km ²

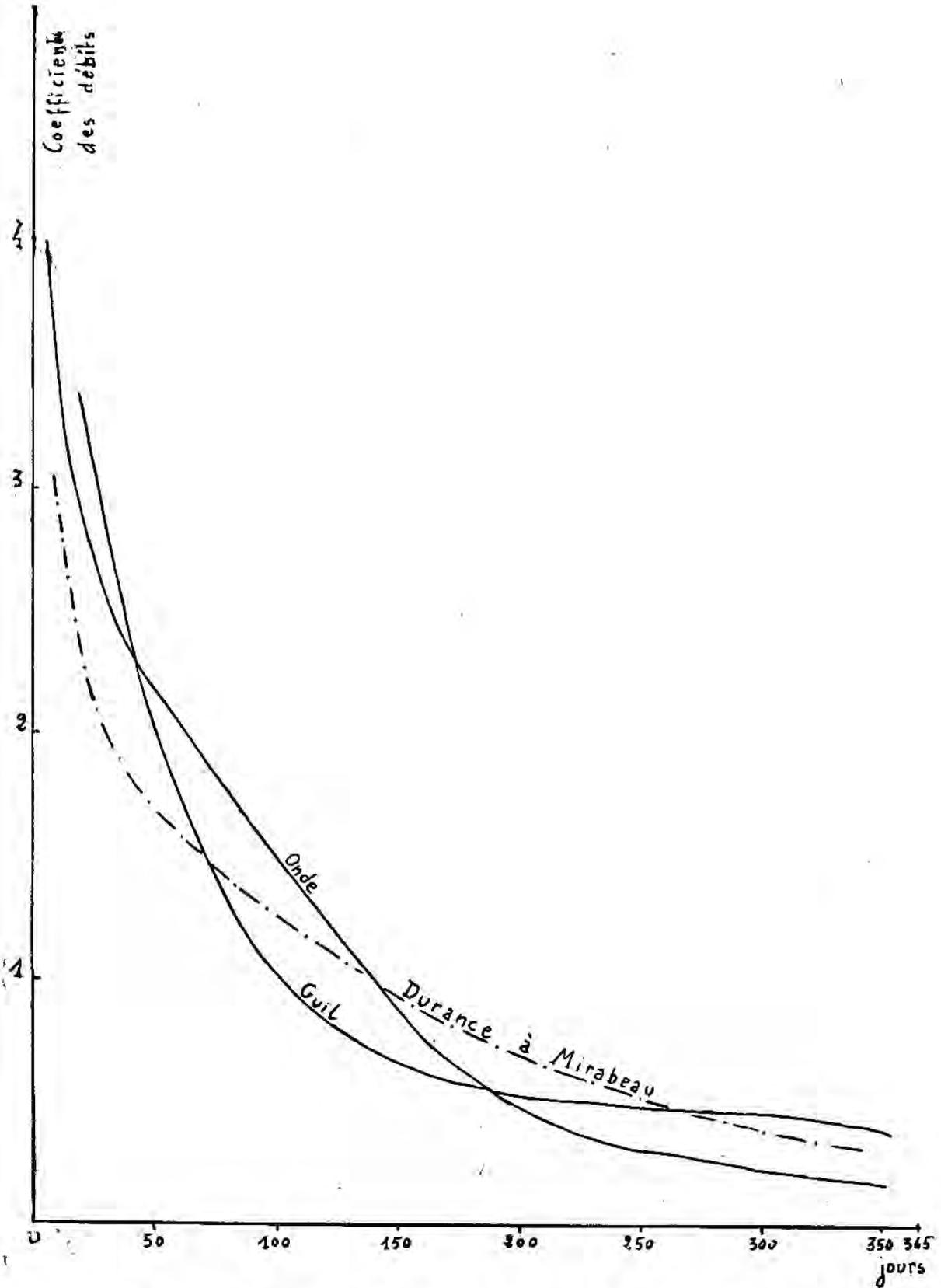


Fig. 73. — Courbes des débits classés (Onde, Guil, Durance à Mirabeau).

Or les grosses crues sont encore assez fréquentes entre la Durance briançonnaise et le Guil; le seul xv^e siècle en totalise quatorze dont les archives aient conservé le souvenir ²⁸.

Deux facteurs à ces crues, qui peuvent d'ailleurs se combiner: la fusion précipitée du manteau neigeux et l'excès des précipitations. Dès décembre ou janvier, les premières neiges tombées peuvent être amenées à fondre par un redoux accompagné de pluies: les rivières gonflent alors: c'est le « moulen » du Queyras (notamment les 10-14 janvier 1651, les 3 et 4 décembre 1739, etc.). Phénomène assez exceptionnel malgré tout. Il n'en est pas de même des crues de mai sur lesquelles toute une littérature abondait déjà bien avant les premières mesures hydrologiques. Les 28 et 29 mai 1436 une crue ravage ainsi Névache. Le 23 mai 1469 le ruisseau de Ségure détruit tout un quartier de Ristolas au point que six ans plus tard Louis XI, par lettres patentes du 14 mai 1475, devait décharger pour dix ans la communauté du tiers de ses impôts ²⁹. Le 21 mai 1728 l'église d'Abriès est emplie de sable et — spectacle qui avait terrifié trois siècles plus tôt (1408) les habitants d'Aiguilles — l'érosion inexorable laboure le cimetière en en détarrant les ossements. A Molines, le même jour, d'après le curieux texte des « transitoins », les hommes qui étaient allés sonner le tocsin trouvent en redescendant « deux toises d'eau dans le clocher ». A La Roche-de-Rame, le torrent de l'Ascension tire son nom de ses crues qui coïncidaient fréquemment avec cette fête. L'Ubaye enfin n'est point épargnée pendant ce mois: 11 mai 1836, 16 mai 1846, 29-30 mai 1853 pour ne citer que trois crues qui ont paru particulièrement puissantes aux contemporains. Mais la crue de fusion la mieux connue est assurément celle de 1856: un enneigement abondant de l'hiver précédent, un débit déjà très soutenu depuis plusieurs semaines expliquent assez les conséquences catastrophiques de quarante-huit heures de pluies tièdes sur tout le bassin supérieur de la Durance. Le 29 mai le torrent du Vallon (haute Clarée) donne le signal du débordement en s'en allant dévaler à travers la Ville haute de Névache. Au Monétier la journée ne fut pas moins tragique et le souvenir en fut perpétué par l'érection sur la place de l'église d'une statue de la Vierge dont l'inscription étonne aujourd'hui tant de touristes ignorants des dangers multiples de la mon-

²⁸ D'après Th. SCLAFERT. *Le Haut-Dauphiné au Moyen âge*. Thèse lettres. Paris, Librairie du Recueil Sirey (1926); — ROSTOLLAND (450); TIVOLLIER et ISNEL (40).

²⁹ Arch. Isère, B 2992. Sauf références contraires, tous les exemples historiques figurant dans ce développement sont extraits de SCLAFERT, ROSTOLLAND, TIVOLLIER et ISNEL (ci-dessus, note 28) et, pour l'Ubaye, d'ARNAUD (176).

tagne « ...*ab ira Dei defende nos, Maria... l'année des inondations 1856* ». En aval, la crue s'enfla au point d'atteindre quelque 1.200 m³/sc. à Saint-Clément. L'Ubaye, de son côté, aurait débité 1.300 m³/sc. au Lauzet ³⁰.

Avec juin les neiges ont pratiquement déjà disparu, mais les pluies d'orage viennent les relayer pour provoquer de nouvelles crues. C'est en juin 1447 que le torrent de Sachas, en Briançonnais, encombra en deux heures son cône de déjections « de tant de matériaux qu'on en eut pu construire une ville »; en juin encore que Névache est à nouveau dévasté par la Clarée et le torrent du Vallon en 1725 et 1848. En juillet 1914, toujours à Névache, des maisons disparaissent à nouveau « dans plusieurs mètres d'eau » et la route emportée à l'aval du village dut être reconstruite à une distance plus respectueuse de la rivière. Des témoignages abondent qui montrent que même en début de saison chaude les habitants redoutent les « ruines » provoquées par les pluies d'orage bien autrement que de simples crues de fusion : l'un d'eux montre que les paysans ne dorment pas chez eux, en juin et juillet, s'ils redoutent un orage pour la nuit ³¹.

Août ne se signale guère sur les documents que nous avons pu réunir que par des crues de l'Ubaye (1714, 1740; 1842, 1846, 1868) ³². Mais avec septembre apparaissent les pluies méditerranéennes « extensives ». Fin septembre 1920 la route d'Abriès au Roux, en Queyras, se trouve ainsi coupée. En 1928 une averse de quinze heures au plus s'abattait sur le Pelvoux dans la nuit du 27 au 28 septembre et la matinée du 28: cela suffit pour que la Gyronde emportât le barrage d'une usine, le Fournel la voie ferrée en remblai au sud de L'Argentière sur une trentaine de mètres. Quant à la Biaysse voisine, aucun pont ne lui résista, pas même celui de Pallons que l'on venait de reconstruire deux ans auparavant ³³. En octobre

³⁰ En aval du confluent, le débit maximum a été évalué à 1.800 mc. par WILHELM; à 2.300 mc/sc. par IMBEAUX. (WILHELM, in *B. S. Et. H.-A.*, 1909; — IMBEAUX, *La Durance, Régime, crues, inondations, Annales des Ponts et Chaussées*, t. I, 1892, pp. 1-200.)

³¹ Arch. Isère, B 2736, cité par SCLAFERT, *op. cit.* — Cf. la crue qui provoqua en 1408 la destruction de la « fusine » du Queyras qu'un document (rapport du châtelain au Conseil delphinal. Arch. Isère, B 3718) qualifie de « diluvium et ruina maxima ».

³² Le 14 août 1740, des laves torrentielles amenèrent la formation d'un lac de barrage accidentel sur l'Ubaye entre Le Châtelard et Jausiers. La rupture n'en fut point catastrophique (cf. ARNAUD, *op. cit.*, et Abbé ALBERT, *Histoire religieuse du diocèse d'Embrun*, I, p. 410).

³³ Renseignements extraits de *B. S. Et. H.-A.*, 1929, I et II. Chronique locale (anonyme).

les crues restent fréquentes, au début du mois surtout, sur l'Ubaye (2-3 octobre 1868) et sur le Guil (4-5 octobre 1751, 9-10 octobre 1791. A cette dernière crue Abriès se trouva en partie détruit par le Bouchet). Novembre, qui peut s'enorgueillir de records sur la basse Durance (6.000 m/sc. à Mirabeau en novembre 1886), reste calme dès que l'on remonte en amont de l'Ubaye³⁴. Et c'est ensuite le grand calme de l'hiver au cours duquel la montagne emmagasine les formidables réserves d'énergie qui se déchaîneront au printemps suivant³⁵.

Le tableau suivant (LV) résume, sans prétendre être complet, ce calendrier des crues : il sera intéressant de le confronter avec celui de la variabilité des moyennes mensuelles (ci-dessus, tableau LI).

TABLEAU LV

Fréquence des très hautes eaux dans le bassin supérieur de la Durance.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
(1)	1	0	0	0	8	3	1	5	2	4	3	2
(2)	9	6	19	12	20	9	0	4	9	44	41	15
(3)	0	0	0	0	5	5	6	0	1	1	0	0

(1) Répartition mensuelle des crues historiques remarquables citées dans notre texte.

(2) Répartition de 188 crues signalées par IMBEAUX (*op. cit.*) pour la période 1832-1890 et l'ensemble du bassin de la Durance (ce qui explique le maximum d'octobre).

(3) Répartition des maxima absolus annuels de 1931 à 1941 pour la Durance à Briançon et l'Ubaye à Barcelonnette (total).

Notre tableau LVI permet enfin de comparer les plus gros débits aux étiages.

³⁴ Crues de novembre sur l'Ubaye, notamment en 1843, 1853, 1863. Le 3 novembre 1843, la plaine de Jausiers se trouva engravée par les torrents secondaires.

³⁵ Un dernier type de crues grouperait les *crues de ruptures* provoquées par la rupture d'un barrage accidentel ayant retenu momentanément les eaux. On connaît l'exemple fameux du lac de l'Oisans. Dans le bassin de la Durance on a essayé d'expliquer ainsi une crue de 1286 qui aurait détruit l'antique « Rama » (FORNIER, *Histoire générale des Alpes maritimes et cottiennes...* publiée par P. GUILLAUME, Paris, 1890, I, p. 76, et ROSTOLLAND, 150, p. 114). — En 1657, le torrent des Acles avait été barré par une avalanche dont la rupture ultérieure provoqua l'inondation de la basse vallée de la Clarée vers Val-des-Prés (ROSTOLLAND, *op. cit.*).

TABEAU LVI

Etiages et crues.

		Minima absolus			Maxima moyens			Maxima absolus			Rapport des extremes absolus
		Debit	Debit relatif	Coefficient	Debit	Debit relatif	Coefficient	Debit	Debit relatif	Coefficient	
Guisane :											
Briançon	1904-15	1,5	7,3	0,22				45	225	6,7	31
Clarée :											
Plampinet	1904-11	0,7	5,6	0,20				38	304	10,8	54
Durance :											
La Vachette	1932-41	1,2	5,6	0,20	29	129	4,7	41	182	6,7	33
La Besse	1904-09				100	111	4,3	126	140	5,5	
La Roche	1910-15	7	7	0,20	117	117	3,3	123	125	3,6	17
Montdauphin	1904-09	6	5	0,20	126	105	4,2	150	126	5	25
Saint-Clement	1912-15	17	8,8	0,30	215	111	3,8	250	130	4,37	15
Cerveyrette :											
Briançon	1912-15	0,7	6,1	0,24				47	393	15,6	65
Gyv :											
Vallouise	1912-15	0,4	3	0,09				12	86	2,9	32
Onde :											
Vallouise	1904-11	0,4	4,9	0,1	17	227	4,8	30	400	8,5	31
Fournel :											
L'Argentière	1910-14	0,4	9	0,23				16	316	8,1	35
Biasse :											
Freissinières	1911-14	0,4	4,4	0,09				27	287	6	65
Ubaye :											
La Condamine	1912-14				49	137	5,8	56	157	6,6	
Barcelonnette	1904-14	1,2	2,1	0,11	66	121	6,1	86	157	7,9	72
Barcelonnette	1932-41	1,3	2,3	0,11	69	126	5,7	115	210	9,5	89
La Bréole	1913-14	6,3	6,3	0,25				170	170	6,8	27

Lors des « pointes » des plus fortes crues, le débit relatif peut s'élever sur la haute Durance à quelque 670 l/sc/km². C'est en effet le débit qui correspond à des précipitations de 65 mm. pour 24 heures et un coefficient d'écoulement de 0,90, vraisemblable par temps froid sur un sol déjà saturé. Or les précipitations ont par exemple atteint ce chiffre de 65 mm. pour deux jours consécutifs — 26 et 27 octobre 1886 — au cours d'une période pluvieuse qui durait depuis le 16. Par mesure directe, P. WYART situe à 240 m/sc. soit 500 l/sc/km², le maximum du 24 septembre 1920 sur le Cristillan. Sur l'Ubaye, on peut en rapprocher le débit moyen journalier du 23 juin 1941 qui atteignit 115 m/sc., soit 210 l/sc/km². Pour tenir compte de la variation diurne du débit, très marquée en ce mois, il faut relever les maxima d'environ 25 %, c'est-à-dire porter à quelque 260 l/sc/km² le maximum instantané de la crue. Pour des valeurs extrêmes de pointe, ce sont là des chiffres qui restent malgré tout assez faibles³⁶: jusque dans les phénomènes les plus exceptionnels les Alpes du Sud restent bien les Alpes sèches.

III. — La végétation.

Une flore de transition. — Du Lauzet à Maurin et de Guillestre à Abriès, les espèces végétales traduisent sur le sol les mille nuances du climat. Si l'on néglige en effet le facteur relativement secondaire ici que constituent les différentes qualités des sols, c'est bien le climat qui étage la végétation en altitude et amène la disparition progressive des espèces méditerranéennes: à climat de transition, flore de transition.

Ces espèces méditerranéennes — que le botaniste novice serait tenté de chercher de prime abord jusque sous le ciel du Briançonnais — sont moins nombreuses en fait qu'on ne s'y attendrait. Non seulement la végétation méditerranéenne typique (olivier et chêne vert), exclue par l'altitude de nos hautes régions, n'aborde pratiquement même pas le domaine de la moyenne Durance alpestre³⁷, mais encore la végétation dite des « montagnes méditerranéennes », définie par LENOBLE³⁸, et que caractérise entre autres

³⁶ Pour comparaison : débits relatifs maxima connus de 3.200 l/sc/km² pour l'Ardèche à Vallon ; 800 l/sc/km² pour la Garonne à Toulouse en juin 1875 (PARDÉ, 145, p. 164).

³⁷ P. VEYRET (41), pp. 285-7.

³⁸ LENOBLE (164).

le thym, reste confinée en aval d'Embrun et au Sud d'Allos. Quelques espèces encore caractéristiques s'insinuent pourtant plus au Nord, mais en se limitant toujours maintenant aux stations d'exposition exceptionnelle. Chez les arbres, c'est un chêne à faible pubescence que l'on retrouve sur les adrets de la Durance jusqu'à La Bessée³⁹. Il n'atteint nulle part 1500 m. Plus haut, ce sont les pins — dont les taches sombres contrastent avec les teintes plus fines des mélèzes dans les panoramas familiers du Briançonnais — qui vont constituer les tout derniers vestiges d'une forêt subméditerranéenne. Confondus pour cette raison au moyen-âge sous le nom collectif de « bois noirs », *nemora nigra*, les pins se répartissent en fait en trois espèces. Le *pin à crochet* forme selon P. BUFFAULT⁴⁰ 28 % des forêts briançonnaises : il se plaît aux expositions chaudes et sèches, rapidement déneigées, mais manque totalement par contre aux adrets, sur les terrains cristallins et les schistes lustrés. Le *pin sylvestre* (8 % des forêts) ajoute à ces conditions une limite d'altitude très basse — 1900 m. — qui restreint considérablement encore son aire d'extension possible. Il forme la grande « Pinée » de Val des Prés, participe au peuplement de celle du Bois de l'Ours (adret entre Briançon et Saint-Chaffrey), paraît en Queyras au Veyer et au-dessus de Château-Queyras, s'étale à nouveau enfin sur tous les adrets de l'Ubaye. Inversement, le *pin cembro* ne se plaît qu'aux plus hautes altitudes : son peuplement le plus compact est dans le bois des Ayes, au-dessus de la courbe 2000 m. Aussi P. BUFFAULT n'estime-t-il son peuplement qu'à 3 % seulement des forêts. On nous a enfin signalé quelques *pins d'Autriche (laricio)* à Guillestre.

A l'étage herbacé ou subforestier, à défaut du thym qui ne dépasse pas quelques adrets en Bas-Embrunais (Châteauroux, Saint-Clément), ce sont la lavande et les genévriers qui constituent les arrière-gardes méditerranéennes en s'insinuant jusqu'aux stations les mieux exposées de notre domaine : lavande des adrets de l'Ubaye ou de la vallée d'Arvieux, genévriers nains de la Basse-Vallouise (Jayme) et des gorges du Guil (roc de l'Ange Gardien), et surtout le curieux *Juniperus thurifera* dont la belle station de l'adret de Saint-Crépin n'a d'équivalent que dans le haut Atlas.

En opposition avec ces arrière-gardes méditerranéennes se présente ce que P. VEYRET a appelé pittoresquement les « avant-gardes alpines »⁴¹. On penserait d'abord aux essences nordiques

³⁹ La présence — actuelle ou ancienne — du chêne se traduit dans la toponymie par le nom de *La Blachière* (par exemple à l'entrée de la vallée du Fournel).

⁴⁰ BUFFAULT (177 bis), p. 69.

⁴¹ P. VEYRET (41), p. 287.

par excellence telles que le sapin et l'épicéa: en fait, ces deux essences, si elles ne sont point inconnues, ne font guère qu'un centième du peuplement forestier global. Le sapin se localise au grand bois de la « Sapée », à l'ubac du bas Fournel. Quelques lieux-dits « saps » (à Névache, à Saint-Martin-de-Queyrières, à Arvieux) témoignent ailleurs d'une ancienne extension un peu plus considérable. Quant à l'épicéa, il n'est connu que par pieds isolés en quatre points: le « Bois Obscur » de La Roche-de-Rame, l'entrée de la vallée de Cervières, le « Bois Noir » de Névache et le bois de la « fusine » (= ancienne forge) de Château-Queyras.

La vérité, c'est que la disparition des essences forestières méditerranéennes s'effectue au profit quasi exclusif du mélèze qui constitue à lui seul plus de 60 % de la forêt briançonnaise. Probablement originaire du lointain Altaï, roi incontesté des Alpes autrichiennes, le mélèze est chez nous à la pointe la plus occidentale de son aire de peuplement. C'est une essence essentiellement *continentale* dont la présence justifierait à elle seule les rapprochements que nous avons faits au chapitre précédent entre le climat du bassin supérieur de la Durance et celui de l'Europe centrale. Et cette présence ne reste point isolée: à l'étage herbacé, dans les sous-bois des pineraies elles-mêmes, astragales et ononis trahissent d'identiques influences orientales, ces deux espèces étant caractéristiques en effet de la flore du Valais et de la Basse-Engadine⁴².

Cette diversité des espèces et des influences qu'elles trahissent dérive sans nul doute des récentes vicissitudes climatiques de la région. Les phases alternées d'englacement et de réchauffement postglaciaire ont amené nécessairement des modifications rapides du manteau végétal, tantôt au détriment, tantôt au profit des espèces méditerranéennes, les espèces en recul ne survivant que dans les sites les mieux appropriés à leur conservation. Il s'agit donc bien de « reliques »: reliques de période plus froide pour les sapins du bas Fournel, reliques inversement d'un réchauffement postglaciaire qui dut être très marqué dans le cas des *Juniperus thunifera* de l'adret de Saint-Crépin. Ainsi la multiplicité des espèces se combine-t-elle très logiquement, en ces régions de climats infiniment nuancés, avec une localisation rigoureuse de celles-ci.

La localisation des espèces. — Dans cette étude qui n'est point le fait d'un spécialiste, on se bornera aux grandes essences fores-

⁴² Nous nous inspirons dans tout ce développement de BRAUN-BLANQUET (156), *passim*.

tières. Le premier fait qui apparaît est évidemment un certain étagement des espèces en altitude : le chêne reste en dessous de 1500 m., le pin sylvestre en dessous de 1900 m. Le sapin atteint 2000 m., l'épicéa 2200 m., le pin à crochet 2300 m. Les records appartiennent au mélèze et au pin cembro qui atteignent tous deux 2400 m. en massifs et 2650 par individus isolés. Mais ce sont là des valeurs extrêmes atteintes en Queyras ou en Ubaye, *c'est-à-dire aux abords de la crête frontière*. Vers le Pelvoux toutes les zones d'altitude se dépriment au point que de très rares arbres y dépassent 2100 m. Le niveau supérieur de la forêt s'abaisse ainsi vers l'Ouest comme celui des neiges persistantes que nous avons cherché à déterminer au début de ce chapitre et, semble-t-il, plus vite que celui-ci. Nous rencontrons ici encore un fait en liaison évidente avec ce que nous avons appris des climats locaux de la région. C'est à cet abaissement de limites climatiques combiné avec un relèvement d'ensemble de l'altitude que l'Oisans doit en partie ⁴³ l'indigence extrême de ses forêts, tandis que le taux de boisement se relève notablement vers le Briançonnais et le Queyras (voir ci-dessous fig. 74 et 75).

Partout dans le détail cette notion de « zone d'altitude » disparaît d'ailleurs sous la tyrannie de l'exposition. Partout les forêts recouvrent les ubacs d'un manteau presque continu en face d'adrets souvent totalement découverts : c'est en Queyras surtout que l'opposition se révèle impérieuse entre les versants.

Mais cette tendance très générale des bois à se localiser aux ubacs se diversifie en fait selon les espèces et se complique de l'intervention de l'homme, plus prompt assurément à défricher des adrets que des ubacs médiocrement susceptibles de culture. Le chêne aux basses altitudes, le pin à crochet et le pin sylvestre plus haut apparaissent essentiellement ainsi comme des arbres d'adret, tandis que le cembro, l'épicéa et le sapin ne se plaisent qu'aux ubacs ; toutefois sur les ubacs eux-mêmes (par exemple au bois du Prorel) le sapin peut réapparaître par individus isolés ou par petits groupes sur des éperons rocheux bien dégagés. Quant aux mélèzes, dont la draperie s'étale sur les ubacs avec l'ampleur que l'on sait, P. BUFFAULT ⁴⁴ estimait que c'est un arbre indifférent par nature à l'exposition et que sa répartition primitive devait bien souvent s'équilibrer sur les deux versants d'une vallée. Mais les

⁴³ La nature cristalline du sol et le mécanisme de l'érosion glaciaire donnant des pentes trop raides aux altitudes où la forêt pourrait s'établir n'y sont sans doute pas pour rien.

⁴⁴ P. BUFFAULT (177 bis), p. 60.

mélèzeraies, d'un défrichement remarquablement facile, auraient pour notre auteur disparu des adrets où l'homme aurait respecté par contre les pins qui n'étaient pas utilement défrichables. Cette thèse suppose malheureusement, du moins pour sa généralisation extrême, l'existence de déboisements plus importants qu'on n'est en général amené à le reconnaître aujourd'hui. Par ailleurs, le mélèze ne se contente pas d'être l'essence forestière dominante du Briançonnais, il est la seule qui se présente comme encore extensive, tendant à reconquérir les espaces dont il aurait été chassé accidentellement. Enfin on peut imputer avec quelque vraisemblance à l'homme la coïncidence que l'on observe quelquefois entre la limite supérieure de la forêt et une rupture de pente⁴⁵, la forêt ayant été défrichée là où elle était susceptible de se convertir en pâturages et respectée au contraire là où elle était trop pentue.

L'homme et la forêt. — Il est donc évident que les limites de la forêt sont, dans une certaine mesure, l'œuvre de l'homme. Mais celui-ci est-il vraiment responsable d'un déboisement d'époque historique qui aurait défigurée la montagne ? Certains l'ont cru avec ardeur, d'autres l'ont nié avec conviction⁴⁶. Il est évident, répétons-le, que l'homme n'a pas intégralement respecté la forêt. A l'exploitation du bois de chauffage et de charpente s'ajoutaient autrefois les besoins de la marine et ceux d'un fourmillement de petits ateliers industriels, « charbonniers », « fusines », « martinets », « clouteries », sans compter les tanneries utilisant les écorces de certaines essences. Le Briançonnais se vit souvent réquisitionner du bois pour les garnisons et devait en fournir pour le boisage de ses petites mines. En Briançonnais, comme en Embrunais et en Ubaye, les forêts de mélèzes étaient ouvertes au pâturage : celle de Vars entretenait entièrement, récemment encore, 375 vaches pendant 110 jours par an⁴⁷ et celle de Méolans 200 pendant 75 jours. Plus souvent — et c'est là une des conséquences fâcheuses de la dégradation actuelle de la vie pastorale dans nos montagnes — le bétail doit monter aujourd'hui aux alpages chaque matin et en redescendre chaque soir, traversant deux fois ainsi la zone forestière et y séjournant en définitive plusieurs heures par jour, non sans dommage évidemment.

⁴⁵ Cf. ARBOS, *La vie pastorale dans les Alpes françaises*, p. 45 : chalets de Thures (Névache), chalet des Aiguilles (La Roche-de-Rame), etc...

⁴⁶ Bibliographie, section M, *passim*.

⁴⁷ ARBOS, *op. cit.*, p. 61.

Mais tout cela ne constitue encore que l'*exploitation* de la forêt — dont on ne peut tout de même pas considérer comme un idéal économique d'en faire des parcs naturels. Pour qu'il y ait *déboisement*, il faut soit que cette exploitation forestière ait été menée avec imprudence au point que la déprédation annuelle fût supérieure à la reconstitution spontanée, ce qui entraîne un déboisement involontaire, soit que la forêt ait fait l'objet d'un défrichement systématique pour s'y voir substituer pâturages ou cultures. En fait, Château-Queyras et Vars sont les deux seules communes où se soit conservée — combien confusément — la tradition d'un déboisement, le premier par suite des abus de l'exploitation destinée à la chauffe d'une « fusine », le second par extension des pâturages. Mais de déboisement agricole, nulle trace. Et là où des documents nous permettent de préciser les choses on constate, comme à Briançon en 1287, que la forêt avait les mêmes limites que de nos jours. Sans doute la toponymie témoigne-t-elle quelquefois de l'existence d'anciens « essarts » (Gaudeissart à Villeneuve) et des documents d'archives nous renseignent-ils sur leurs modalités⁴⁸; mais on sait qu'il ne s'agit là que de défrichements temporaires destinés à être abandonnés à une reconquête spontanée de la forêt. Ici, comme partout, le défrichement, si défrichement il y a eu, a dû être le fait des tout premiers occupants de la région et les fluctuations de détail du front forestier ont dû être d'amplitude fort médiocre. D'ailleurs, qu'il s'agisse de déboisement involontaire par excès d'exploitation ou de déboisement systématique en vue d'une extension des cultures, il nous paraît que l'offensive de l'homme n'a pu que suivre les vicissitudes du peuplement : c'est dire qu'aujourd'hui il ne semble pas qu'une montagne en pleine débâcle démographique puisse être considérée comme menacée d'un déboisement inquiétant⁴⁹.

Ce problème historique du déboisement dépasse très largement le cadre des vaines curiosités d'esprit : croire à un déboisement récent, aggravé en tout cas au XVIII^e siècle, c'est croire aussi à la possibilité du reboisement : ce que l'homme a défait, l'homme prétendra le refaire. Affirmer par contre que l'homme n'est responsable que d'actions de détail, que les limites forestières correspon-

⁴⁸ Par exemple : « *communitas ville Vallis Pute (Vallouise) potest facere essarta, sua auctoritate propria...* » (Isère, B 2062, f^o 495). Les « essarts » étaient soumis à une redevance au Dauphin appelée « tâche » (*taschia*).

⁴⁹ Sauf intervention de facteurs économique extérieurs comme pourrait en constituer par exemple la nécessité de se procurer à tout prix du charbon de bois comme carburant de remplacement.

dent dans l'ensemble à un équilibre physique, c'est évidemment nier d'avance le succès de tout reboisement trop excentrique.

D'ailleurs, les forêts n'ont attendu ni Surell, ni le XIX^e siècle pour être défendues. Dans le Briançonnais surtout, elles ont fait très tôt l'objet de la vigilance des autorités : un règlement communal du 25 février 1332 interdisait toute déprédation dans le bois de la Pinée qui préservait la ville des avalanches. La fameuse « charte » de 1343, garantie des libertés briançonnaises, précise que l'on redoutait, peut-être exagérément, les effets du déboisement sur l'érosion : « attento, circa hoc, ut dicitur, quod scissiones hujusmodi sint plurimum periculose propter diluvia et ruinas ac destructionem ». Les « enbannements » relatifs à la Pinée furent renouvelés en 1559⁵⁰. En 1723, interdiction aux Briançonnais de posséder des chèvres⁵¹. En 1731 enfin l'intendant Fontanieu interdisait la fabrication du charbon de bois.

En Ubaye, les textes sont aussi explicites et abondants : à Meyronnes et Larche « défense à toute personne de couper ni faire couper du bois aux confins de la montagne (c'est-à-dire à la limite de la zone pastorale, là où la forêt était particulièrement vulnérable), *pas même aux propriétaires dans leurs prés propres* » (28 août 1414)⁵². A Barcelonnette, l'interdiction des essarts et de l'écobuage est renouvelée en 1532, 1566, 1570, 1632, 1663. A Jausiers enfin, une capitulation du 9 janvier 1682 consacrait 50 de ses 67 articles à la défense des bois et des pâturages; 34 quartiers de montagne étaient mis en « défend » et, là encore, l'usage même des propriétés particulières se trouvait singulièrement limité: les propriétaires n'y pouvaient couper plus de six arbres par année et par personne que comptait leur famille.

Les partisans du déboisement récent ont voulu voir dans la répétition même de certains de ces textes une preuve de leur inefficacité. Il faut plutôt, croyons-nous, admettre, puisqu'il n'existe par ailleurs aucun texte prouvant un déboisement important, que la sagesse prévoyante qui inspirait de telles décisions a fini par prévaloir dans l'ensemble. Si nos textes se répètent pour l'Ubaye, c'est que des conditions physiques rendaient là le problème plus délicat que dans le Briançonnais. Les mesures défensives du passé

⁵⁰ « Sera imposée de ban et punie d'emprisonnement toute personne qui se trouvera sortir du bois de dessus l'église de Notre-Dame, qui est dès le Rif de Malafosse, jusqu'à Reguignard, avec bois vert ou essuit, sacs de pignes et avec hache ou autre instrument pour couper ou déraciner les arbres. » Arch. municipales, Briançon. L'église de Notre-Dame était une ancienne église hors de l'enceinte, vers l'actuel « Champ de Mars ».

⁵¹ CHABRAND, Briançon administré par ses consuls. *B. S. Et. H.-A.*, 1886, p. 406.

⁵² ARNAUD (176). Il s'agit de textes extraits d'archives personnelles de l'auteur.

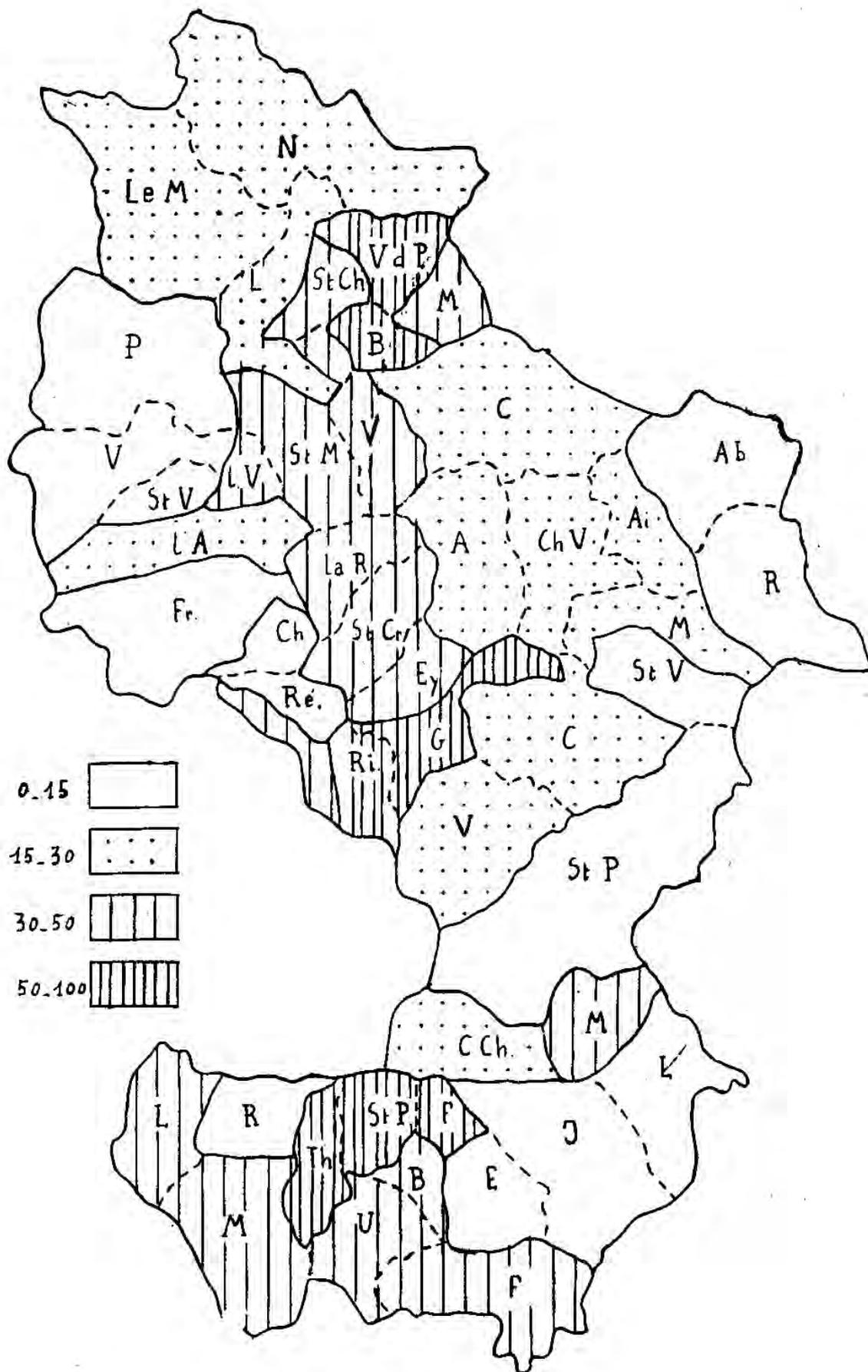


Fig. 74. — Taux forestier brut.

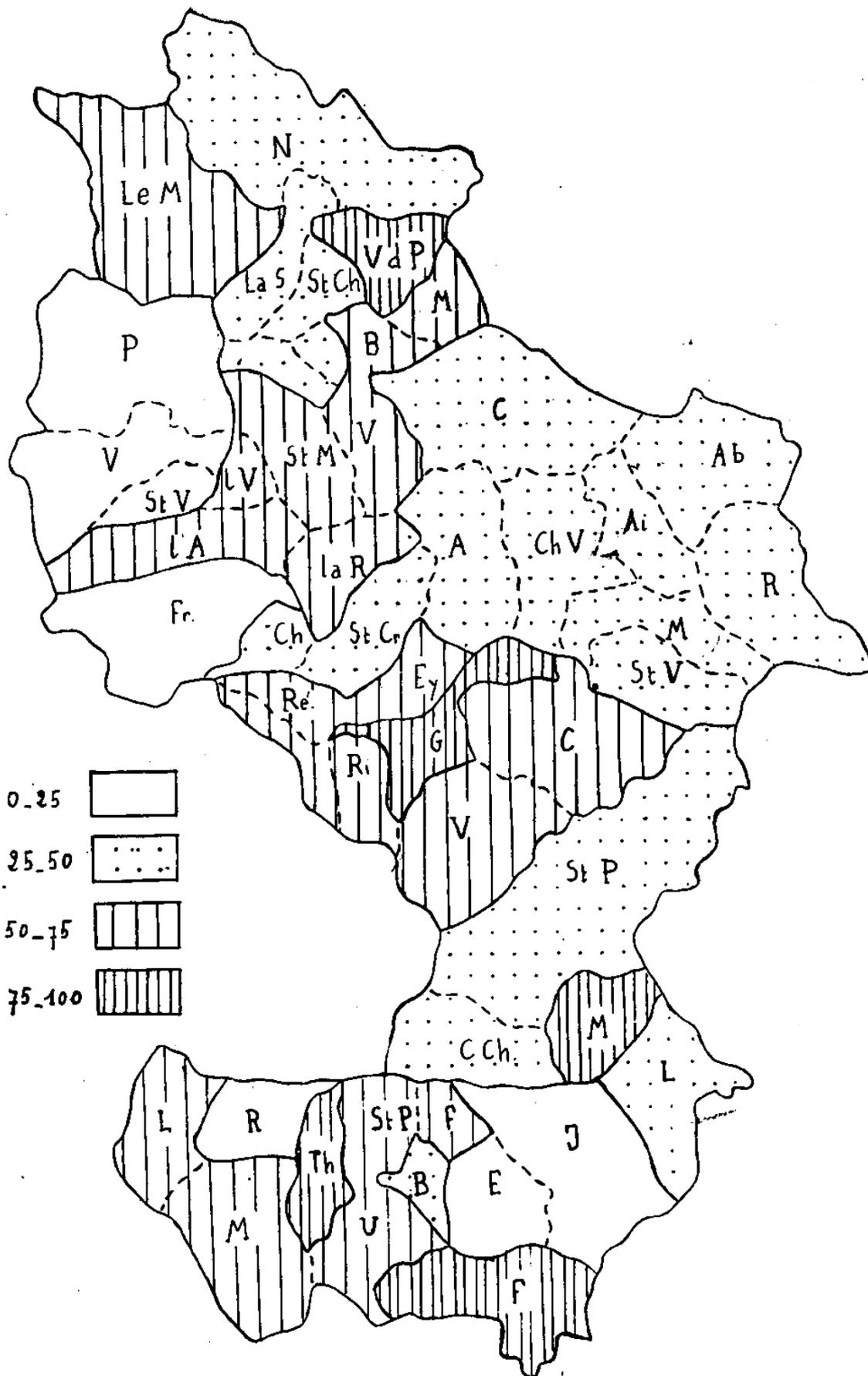


Fig. 75. — Taux forestier pondéré.

Rapporté pour chaque commune à la surface comprise entre 1200 et 2200 m.

ont donc préparé l'offensive contemporaine du « reboisement », qui n'est peut-être en certains points qu'un « boisement ». L'Ubaye seule absorbait en 1930 les 4/5 des dépenses engagées pour les travaux de reboisement dans l'ensemble de notre domaine : elle constitue évidemment le point faible du front forestier.

Les forêts actuelles. — Après tant d'autres, nous redirons combien les statistiques forestières sont délicates à établir et plus encore à interpréter. Pour l'arrondissement de Briançon les statistiques agricoles accusent des totaux de 31.124 ha. en 1836 et 49.547 ha. en 1929 ! Rien par ailleurs ne permet d'accepter la vraisemblance d'un pareil accroissement (de l'ordre de 60 %) et il est évident que des erreurs systématiques ont dû s'introduire là. Mais il y a mieux : la Statistique agricole annuelle de 1912 accuse (pour le seul arrondissement de Briançon) un taux de boisement de 18 % tandis que P. BUFFAULT, se fondant vraisemblablement sur des documents de son administration, porte ce taux, pour cette même année, à 25,5 % ! Néanmoins, nous avons cru devoir tenter la construction de cartes de taux de boisement par communes (fig. 74 et 75) en nous fondant sur les statistiques agricoles de 1929 dont les chiffres semblent particulièrement sérieux. La figure 74 (taux brut) souligne la concentration des forêts dans une zone médiane allant de Val des Prés à la basse Ubaye tandis qu'elles s'éclaircissent au contraire vers le Pelvoux (Pelvoux, 5 % ; Vallouise, 10 %) comme vers la crête frontière (Ristolas, 7 % ; Saint-Véran, 7 % ; Saint-Paul-sur-Ubaye, 11 %). C'est d'abord l'effet de l'altitude qui place dans les très hautes communes une grande partie du sol au-dessus de la zone susceptible d'être boisée. Pour éliminer ce facteur qui fausse toute comparaison nous avons tenté (fig. 75) d'évaluer pour chaque commune un *taux pondéré* en divisant la surface boisée par la surface comprise dans chaque commune entre 1200 et 2200 m. ; calcul tout conventionnel, mais qui a l'avantage de la simplicité. Il a pour effet d'étaler quelque peu la tache des zones boisées, principalement en Ubaye et en Queyras, mais il montre que l'altitude n'est point seule responsable de la rareté des forêts en Vallouise. Les bois de Pelvoux et de Vallouise ne couvrent en effet que respectivement 17 % et 23 % du sol de ces communes situé en dessous de 2200 m. C'est encore très peu. Il faut voir là évidemment l'effet de la dépression déjà notée vers le Pelvoux des limites altimétriques qui fait que la courbe 2200 m. dépasse en fait de beaucoup ici les possibilités réelles d'expansion de la forêt dense.

CONCLUSION

Ainsi, une rapide étude du tapis végétal a bien confirmé l'originalité puissante que la climatologie et l'hydrologie avaient déjà permis de reconnaître au bassin supérieur de la Durance : grâce à l'ensellement des massifs anciens la grande rivière méditerranéenne a pu faire remonter son bassin de drainage loin vers le Nord, au delà du 45° parallèle, à la latitude de l'extrémité méridionale de Belledonne ou de l'éperon Nord du Vercors. Mais les multiples influences méditerranéennes qui remontent le long de la large trouée se heurtent au triple obstacle de l'éloignement, de l'altitude et du voisinage de la grande plaine padane.

Influence de l'éloignement : Briançon est déjà plus loin de la côte qu'il ne l'est du Mont Blanc ou même du Cervin. Dans la mesure même où les Alpes françaises du Sud sont plus étendues que celles du Nord, leurs marges septentrionales risquent d'échapper à l'action d'une mer déjà trop lointaine. Influence de l'altitude : si les sommets des Alpes du Sud sont comme écrasés en effet par les géants du Nord, les vallées, par suite d'une érosion glaciaire jadis moins intense, se relèvent par contre bien plus rapidement dans le domaine de la Durance que dans celui du Rhône. Sisteron est déjà à 482 m. d'altitude : c'est l'altitude de Moûtiers en pleine Tarentaise ou de la plaine valaisanne au-dessous de la butte de Sion. On devine les conséquences d'un pareil état de choses sur l'extension vers la montagne du climat, de la végétation, du genre de vie méditerranéens. C'est ainsi que la vigne se trouvera exclue en fait aujourd'hui de toute la zone intra-alpine du Sud, tandis qu'elle abonde sur les basses pentes des Préalpes du Nord et jusqu'en

Suisse. Influence enfin de la proximité de la plaine du Pô : on sait qu'un climat et qu'une végétation nettement continentaux s'étendent en effet à l'Est de notre domaine jusqu'au pied du col de Tende; sa présence assure aux hautes vallées françaises voisines leurs précipitations relativement médiocres, leur curieux maximum pluviométrique de printemps, leur minimum absolu d'hiver. Ainsi avons-nous vu que ce n'était pas en définitive du Nord au Sud, mais bien de l'Ouest à l'Est, du Pelvoux au Piémont, que l'on passait à des paysages rappelant de moins en moins la proximité de la Méditerranée. Entre le Champsaur et le Piémont, le Briançonnais constitue comme un bastion très avancé des extrêmes influences méditerranéennes, bastion si fragile en vérité que le climat en subit des influences extérieures, dominantes à certains égards, tandis que le mélèze constitue sur le sol un témoin original de cette étrange synthèse.

C'est à des conclusions toute voisines que nous amènerait une étude du peuplement de ces régions. L'altitude déjà trop élevée des fonds de vallées, l'altitude insuffisante par contre des sommets qui prive l'économie moderne de la double richesse de la houille blanche et du tourisme, la sécheresse et surtout l'irrégularité des précipitations expliquent les taux de peuplement bruts très bas de 13,5 h/kms² pour la haute Durance (Haut-Embrunais, Briançonnais, Queyras) et de 8 h/kms² seulement pour l'Ubaye. Ce sont là des chiffres plus faibles à la fois que ceux de la zone intra-alpine du Nord (19 h/kms²) et de la moyenne Durance alpestre (21 h/kms²). Il ne s'agit donc pas tant d'une zone de transition que d'une région originale qui doit ses traits distinctifs à l'altitude et à l'éloignement des grands foyers de peuplement. Et la situation de notre domaine au contact immédiat de l'Italie n'est pas sans effet non plus sur les faits humains : cette proximité a agi pour faire de Briançon autrefois une étape commerciale, aujourd'hui pour imposer à la ville une garnison qui reste, avant le climatisme médical, sa première raison d'être.

Trop éloignée du monde méditerranéen pour en subir réellement les influences et pour vivre dans la dépendance économique de celui-ci, la zone intra-alpine des Alpes françaises du Sud ne pourra sortir de son engourdissement qu'en mettant à profit au maximum cette double situation à la fois nordique et orientale. Déjà, avant 1939, le touriste qui gagnait l'été Briançon de Paris préférait au long détour par Valence le parcours routier par Grenoble et le Lautaret. Au lendemain de la seconde guerre mondiale la presse régionale se fait aujourd'hui l'écho de projets visant à relier Briançon à Bar-

donnèche et, de là, par Modane, aux Alpes du Nord et à Paris, ou par la Doire vers Turin. Plus modeste, un projet était en cours d'exécution en 1939 visant à rendre praticable en toute saison la route du Lautaret. Dans tous les cas, il s'agit toujours de « débloquer » Briançon au prix de travaux relativement aisés en raison de la position déjà septentrionale et continentale de la vieille cité de Vauban : sans tourner le dos à la Provence, le Briançonnais doit aspirer à redevenir un carrefour entre le Dauphiné, la Savoie et l'Italie.

BIBLIOGRAPHIE

Les ouvrages ont été répartis par ordre logique en 15 sections (A à O) et classés dans chaque section par ordre alphabétique d'auteur, sauf en ce qui concerne les sections D et N où l'ordre chronologique des travaux a paru plus propre à faire ressortir l'évolution des doctrines concernant certains grands problèmes.

Les sections B, C, D, E ont fait l'objet d'un *choix* ; on s'est borné à y rappeler les travaux les plus importants parmi les plus récents. Les autres sections présentent, sauf omission involontaire, une bibliographie exhaustive, en ce qui concerne au moins les trente dernières années.

Notre bibliographie comporte enfin quelques numéros *bis*. Il s'agit soit de « doublures » à peine remaniées des numéros principaux, soit de travaux très récents parus après la rédaction de notre texte.

Le format n'a été spécifié que pour les grands in-4°.

ABBREVIATIONS DES PÉRIODIQUES :

- A. G. F.* — Bulletin de l'Association des Géographes français.
- Ann. G.* — Annales de Géographie. Paris (Colin).
- B. S. Et. H.-A.* — Bulletin de la Société d'Etudes des Hautes-Alpes.
- B. S. G. F.* — Bulletin de la Société Géologique de France.
- B. S. Sc. D.* — Bulletin de la Société Scientifique du Dauphiné.
- C. R. A. S.* — Compte-rendu des séances de l'Académie des Sciences.
- C. R. S. G. F.* — Compte-rendu des séances de la Société Géologique de France.
- R. G. A.* — Revue de Géographie alpine. Grenoble.
- T. L. G.* — Travaux du Laboratoire de Géologie de la Faculté des Sciences de l'Université de Grenoble.

A. Cartes.

Pour mémoire, carte de France de l'Etat-Major au 1/80.000 (pour les feuilles, voir ci-dessous : cartes géologiques).

France 1/200.000 : Gap, Larche, Digne.

France 1/50.000 et Plans directeurs au 1/20.000 : La Grave, Névache, Saint-Christophe-en-Oisans, Briançon, Col Saint-Martin, Orcières, Guillestre, Aiguilles, Embrun, Aiguille de Chambeyron, Barcelonnette, Larche, Allos, Saint-Etienne-de-Tinée.

Plan directeur 1/20.000 en noir : Camp des Rochilles.

Cartes géologiques : Briançon (2^e éd.), Aiguilles, Larche, Gap (2^e éd. 1946), Digne (2^e éd.).

Cartes géologiques hors texte dans les ouvrages ci-dessous : BLANCHET (24) et TERMIER (45).

B. Ouvrages généraux.

1. ALLIX (A.). — Un pays de haute montagne : l'Oisans. Etude géographique. Paris (Colin), 1929, xxvi + 915 p., 56 fig., 55 pl. photos. Thèse Lettres Grenoble.
2. BLANCHARD (R.). — Les Alpes françaises (Coll. « Colin » n° 56). Paris, 1925, 218 p.
3. CLUB ALPIN FRANÇAIS. — Manuel d'Alpinisme (par un groupe de collaborateurs). Chambéry (Dardel), 1934. Tome I : partie scientifique; tome II : partie technique, 398 + 300 p.
4. GEORGE (P.). — Géographie des Alpes (Coll. « La France » sous la direction de E. Granger). Paris (Presses Universitaires), 1942, 223 p., 10 fig., 8 pl. photos.
C.R. (R. BLANCHARD), *R.G.A.*, 1943, p. 259.
5. GUITER, CASIMIR et RECORD. — Les Hautes Alpes, abrégé de géographie et d'histoire. Gap (Jean), 1939, 84 p.
6. GUITER (J.). — Géographie des Hautes-Alpes. Gap (Jean), 1941, 72 p.
- 6 bis. GUITER (J.). — Les Hautes Alpes, les paysages et les hommes. Gap (Jean), s. d. [1943 ?], 144 p., 73 fig.
Ces trois derniers ouvrages destinés à l'enseignement primaire.
7. GUITON (P.). — De la Meije au Viso. Grenoble (Arthaud, coll. « Les Beaux Pays »), 1934, 152 p., 174 ph. de H. Garagnon.
8. MARTONNE (Emm. DE). — Les Alpes (Géographie générale), (Coll. « Colin », n° 76). Paris, 1932, 218 p., 24 cartes ou fig.
9. ONDE (H.). — La Maurienne et la Tarentaise. Etude de géographie physique. Grenoble (Arthaud), 1938, 624 p., 54 fig., 24 pl. Thèse Lettres Grenoble.
10. TIVOLLIER et ISNEL. — Le Queyras. Gap (Jean), s. d. [1938 ?], 2 vol., xxxiii + 294 et 498 p.
11. VEYRET (P.). — Les pays de la Moyenne Durance alpestre (Bas-Embrunais, Pays de Seyne, Gapençais, Bas-Bochaine). Etude géographique. Grenoble (Arthaud), 1945, 596 p., 64 fig., 16 pl. photos. Thèse Lettres Grenoble.

C. Stratigraphie.

Des très nombreux travaux des spécialistes (dont on trouvera une bibliographie complète dans ci-dessous : GIGNOUX et MORET, 19), nous ne croyons devoir rappeler que les quatre titres suivants :

12. GIGNOUX et RAGUIN. — Sur la stratigraphie du Trias de la zone du Briançonnais. *C.R.A.S.*, 1931, p. 102 (12 janv. 1931).
Démontre qu'il n'y a qu'un niveau de gypses, et non deux comme on le croyait antérieurement.
13. MORET et BLANCHET. — Le problème du Crétacé dans les zones intra-alpines : les marbres en plaquettes des environs de Guillestre (H.-A.), leur âge, leur caractère transgressif. *C.R.A.S.*, 1924, p. 1738.
14. MORET et BLANCHET. — Contribution à l'étude du Crétacé intra-alpin (Alpes Occidentales). Le problème des « marbres en plaquettes ». *B.S.G.F.*, 4^e série, t. 24, 1924, et *T.L.G.*, t. 14, fasc. 1, 1925.
15. BERTRAND (L.). — L'âge oligocène des grès d'Annot. *C.R.S.G.F.*, 2 déc. 1935.
A joindre au dossier de l'âge de la formation des dômes tectoniques des Alpes du Sud.

D. Tectonique. Ouvrages d'ensemble.

On s'est borné aux synthèses parues au cours des douze dernières années, en les classant par ordre chronologique :

16. GIGNOUX, MORET et SCHNEEGANS. — Observations géologiques dans le bassin de la Haute Durance, entre Gap et la frontière italienne. *Annales de l'Université de Grenoble, Sciences-Médecine*, 1933, et *T.L.G.*, t. 18, 1934.
17. GIGNOUX et MORET. — Les unités structurales externes de la chaîne alpine entre le Pelvoux et la Durance. *C.R.A.S.*, 1933, p. 830 (20 mars).
- 17 bis. GIGNOUX et MORET. — Les unités structurales internes de la chaîne alpine entre le Pelvoux et la Durance. *C.R.A.S.*, 1933, p. 1064 (10 avril).
18. GIGNOUX et MORET. — Les grandes subdivisions géologiques des Alpes françaises. *Ann. G.*, n° 244 (15 juillet 1934), p. 337-363.
L'article d'initiation fondamental à la structure des Alpes françaises.
19. GIGNOUX et MORET. — Description géologique du bassin supérieur de la Durance. Grenoble (Allier), 1938, 296 p., 30 fig., 9 pl.
Synthèse exhaustive, mais qui ne touche ni à l'Ubaye en amont de Revel, ni au domaine des schistes lustrés. Bibliographie de 125 titres.
20. SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE. — Réunion extraordinaire... dans les Alpes méridionales, du 10 au 17 septembre 1938. *C.R.S.G.F.* 1938, fasc. 14.
21. MORET (L.). — Présentation d'un film cinématographique en couleurs sur la formation géologique des Alpes françaises. *B. S. Sc. D.*, t. 58, 1938, p. 382-394, et *Sciences Naturelles*, 1939.
Commentaire d'un film projeté au Palais de la Découverte à Paris.
22. VAUMAS (E. DE). — Relations structurales des massifs cristallins externes et des massifs intraalpins. Le principe d'altitude inverse. *A.G.F.*, 1940, p. 81-89 (7 déc.).
23. GIGNOUX (M.). — Quelques réflexions sur les théories tectoniques récentes. *Annales de l'Université de Grenoble, Sciences-Médecine*, 1942, p. 73-95.
Traité entre autres du charriage par gravité, qui intéresse le Flysch de l'Embrunais.

E. Tectonique. Ouvrages de détail.

Bibliographie choisie. On n'a notamment retenu que les ouvrages essentiels parmi ceux figurant déjà à la bibliographie de GIGNOUX et MORET (19).

24. BLANCHET. — Etude géologique des Montagnes d'Escreins (Hautes et Basses-Alpes). *B. S. Sc. D.*, 1934, p. 25-207, et *T. L. G.*, t. 19, 1936. 2 cartes géol. 1/50.000, massif d'Escreins et 1/20.000, environs du Plan de Phazy. Thèse Sciences Paris.
Nous renvoyons, dans notre texte, le lecteur à la pagination de l'édition *B. S. Sc. D.*
25. BLANCHET. — Sur la tectonique de la rive gauche de la Durance aux environs de La Roche-de-Rame (H.-A.) et ses rapports avec les nappes du Guil. *C.R.A.S.*, 1938 (27 déc.).
26. CHARDONNET (J.). — Structure de la bordure Sud-Est de l'Oisans. *C.R.S.G.F.*, 1942, p. 34-36 (16 fév.).
27. CHARDONNET (J.)¹. — Types de bordures des massifs centraux dans les Alpes occidentales. *Ann. G.*, 1942, p. 264-283, 3 fig., 4 pl.

¹ A notre vif regret, nous n'avons pu faire état de cette thèse soutenue à Paris le 18 juillet 1945 (cf. *Ann. G.* 1945, p. 230 : chronique géographique, vie scientifique), mais demeurée inédite jusqu'en 1947.

28. GIGNOUX (M.). — La tectonique des terrains salifères. Son rôle dans les Alpes françaises (Livre jubilaire publié à l'occasion du Centenaire de la Société Géologique de France, t. II, p. 329). Paris, 1930.
29. GIGNOUX (M.). — Stratigraphie de la bordure Ouest du Briançonnais entre Briançon et le Galibier : origine de la « 4^e écaille briançonnaise ». *B.S.G.F.*, 5^e série, t. VI, 1936, p. 155-163.
30. GIGNOUX (M.), MORET (L.) et SCHNEEGANS (D.). — Structure géologique de la fenêtre de l'Argentière au Sud de Briançon. *C.R.A.S.*, 1933, p. 1265 (27 nov.).
31. GOGUEL (J.). — Tectonique de la chaîne de Montbrison. (Compte-rendu des collaborateurs pour la campagne de 1939.) *Bull. du Service de la Carte géol.*, 1940, p. 187-201, 9 fig.
32. GUBLER-WAHL (M^{me} Y.). — La nappe de l'Ubaye au Sud de la vallée de Barcelonnette: essai géologique. Paris, 1928, 204 p. Thèse Sciences Paris.
33. GUBLER-WAHL (M^{me} Y.). — Schéma structural de la nappe de l'Ubaye dans les bassins du haut Verdon et du Bachelard. *Bull. du Service de la Carte géol.*, 1929 (t. 32, n^o 174).
34. KILIAN (W.) et RÉVIL (J.). — Les schistes lustrés dans les Alpes françaises. *Bull. de la Société de statistique de l'Isère (= B.S.Sc.D.)* 1919, p. 283-317. Historique des différentes conceptions ayant concerné ce terrain.
35. KILIAN (W.), BLANCHET (F.), MORET (L.) et ROCH (E.). — Contribution à la connaissance du terrain houiller de la zone intra-alpine française. *T.L.G.*, t. 13 (1923), et *B. S. Sc. D.*, 1924, p. 36-74, 4 pl.
- 35 bis. MORET (L.). — La bordure occidentale de la zone des schistes lustrés entre Ceillac et Saint-Véran (Hautes-Alpes). *C.R.A.S.*, 1942 (27 oct.), p. 365-367.
36. PUSSENOT (C.). — La nappe du Briançonnais et le bord de la nappe des schistes lustrés entre l'Arc et le Guil. Grenoble (Allier), 1930, 160 p., 4 pl. cartes.
37. PUSSENOT (C.). — Premier supplément à « la nappe du Briançonnais et le bord de la zone des schistes lustrés entre l'Arc et le Guil ». Grenoble, Impr. Générale, 1931.
38. PUSSENOT (C.). — Sur le tracé du bord de la nappe des schistes lustrés aux environs de Cervières (H.-A.). *C.R.S.G.F.*, 1935 (18 mars), n^o 6, p. 87.
39. PUSSENOT (C.). — Sur les terrains visibles dans la fenêtre de l'Argentière (H.-A.). *C.R.S.G.F.*, 1935 (17 juin), n^{os} 11-12, p. 182.
40. ROQUES (M.). — Structure géologique de la partie méridionale du massif de Pierre-Eyrantz (Hautes-Alpes). *Annales de l'Université de Grenoble, Sciences-Médecine*, 1933, et *T.L.G.*, t. 18, 1936.
41. SCHNEEGANS (D.). — Les subdivisions de la nappe de l'Ubaye dans le massif du Morgon. *C.R.A.S.*, 27 déc. 1932.
42. SCHNEEGANS (D.). — Les relations entre la zone du Flysch dans l'Embrunais et la nappe du Briançonnais. *C.R.A.S.*, 1933 (17 juillet), t. 187, p. 262.
- 42 bis. SCHNEEGANS (D.). — La subdivision de la zone du Flysch au Sud de la Maurienne. *C.R.A.S.*, 1933 (16 août), t. 197, p. 486.
Article capital: le Flysch de l'Embrunais ne prolonge pas celui des Aiguilles d'Arves, mais est plus interne que celui-ci.
43. SCHNEEGANS (D.). — Observations sur les racines de la nappe de l'Ubaye dans la vallée de la Stura (Alpes italiennes). *C.R.S.G.F.*, 1933 (18 déc.).
44. SCHNEEGANS (D.). — La géologie des nappes de l'Ubaye-Embrunais entre la Durance et l'Ubaye. Paris (Impr. nationale), 1938, 339 p., carte au 1/20.000. Thèse Sciences Grenoble.
45. TERMIER (P.). — Les montagnes entre Briançon et Vallouise. *Mémoires du Service de la Carte géol. de France*. Paris, 1903, in-4^o, VIII + 187 p.
46. WEGMANN (C. E.). — A propos de l'origine de la quatrième écaille. *C.R.S.G.F.*, 30 mars 1925.

F. Travaux mixtes. Structure, relief.

47. DEMANGEOT (J.). — La géographie physique du Lauzanier. *Bull. de la Société nationale d'Acclimatation*, 1938, n^{os} 1-2, p. 54-60.
48. DEMANGEOT (J.). — Le relief de la haute Ubaye. *Ann. G.*, 1939, p. 348-358, carte morphologique.
49. DEMANGEOT (J.). — Note sur la haute vallée de l'Ubaye. Structure, altitudes moyennes, tracé du réseau hydrographique. *R. G. A.*, 1943, p. 535-575, 6 fig., 4 pl.
50. GIGNOUX (M.) et MORET (L.). — Géologie et morphologie de la vallée de la Valloirette (Savoie), du col du Galibier à Saint-Michel-de-Maurienne. *R.G.A.*, 1937, p. 347-379, 2 fig., 2 pl.
La zone étudiée, quoique située dans les Alpes du Nord, prolonge tous les aspects structuraux et morphologiques de la haute vallée de la Guisane.
51. PÉGUY (Ch. P.). — Structure, hydrographie et relief du Nord-Ouest du Briançonnais. *A.G.F.*, 1938 (5 mai), p. 79-84, 2 fig.
52. VAUMAS (E. DE). — Le Briançonnais, étude morphologique. *Ann. G.*, 1940, p. 183-204, 1 fig.
53. VAUMAS (E. DE). — Le Queyras et le Haut-Embrunais. Etude morphologique. *R.G.A.*, 1945, p. 571-594, 1 fig.
- 53 bis. CHARDONNET (J.). — Le Relief des Alpes du Sud. Etude morphologique des Régions alpines françaises comprises entre Galibier, Moyenne Durance et Verdon. Thèse Lettres Paris (1945). Tome I. 399 pages, 85 figures, 4 cartes hors texte. Grenoble (Didier) 1947. — Tome II encore inédit (1947) ?

G. Morphométrie. Morphologie.

Les travaux se rapportant à l'érosion glaciaire ont été groupés en une section distincte (H), ci-dessous.

54. BAULIG (H.). — Le profil d'équilibre des versants. *Ann. G.*, 1940, p. 81-97, 4 fig.
55. BLACHE (J.). — Volume montagneux et érosion fluviale. *R.G.A.*, 1928, p. 455-497, 6 fig.
Article d'une portée considérable.
56. BLACHE (J.). — Des versants aux rivières. *R.G.A.*, 1942, p. 1-50, 10 fig., 1 pl.
57. BLANCHARD (R.). — Altitude moyenne des régions naturelles des Alpes françaises. *R. G. A.*, 1919, p. 245-308.
58. BOURDIER (F.). — Sur le Quaternaire de la Durance alpestre. *C.R.A.S.*, 1940, p. 252-254.
59. CHARDONNET (J.). — Les terrasses de l'Embrunais et leur signification morphogénique. *A.G.F.*, 1942, p. 30-40.
- 59 bis. CHARDONNET (J.). — Sur le tracé de la Durance dans le Gapençais. *C.R.A.S.*, 1943 (5 avril), p. 490-492.
Reprend l'hypothèse d'une ancienne Durance passant par le col de la Freisinouse; hypothèse qui conditionnerait toute l'évolution du relief en amont, jusqu'au Briançonnais.
60. GRANDES FORCES HYDRAULIQUES (Ministère de l'Agriculture, Eaux et Forêts, Service des...). Profils en long :
— Annexe du t. V (Paris, 1912) : Durance en aval de l'Ubaye, Guil.
— Annexe du t. VI (Paris, 1913) : Durance en amont de l'Ubaye et affluents, sauf Guil.
61. JOVANOVIĆ (P. S.). — Les profils fluviaux en long. Leurs formes et leur genèse. Skoplje, 1939, et Paris (Colin), 1940, 196 p., 22 fig.
62. KILIAN (W.). — Sur les tufs du col du Lautaret. *C.R.A.S.*, 1894, p. 574-576.
63. MARTONNE (Emm. DE). — Principes de l'analyse morphologique des niveaux d'érosion appliquée aux vallées alpines. *C.R.A.S.*, 1911 (24 juill.), p. 309.

- 63 bis. MARTONNE (Emm. DE). — Résultats de l'analyse morphologique des niveaux d'érosion des vallées de l'Arc et de l'Isère. *C.R.A.S.*, 1911 (7 août), p. 404.
- 63 ter. MARTONNE (Emm. DE). — Sur la chronologie des thalwegs pliocènes et quaternaires de l'Arc et de l'Isère. *C.R.A.S.*, 1911 (24 août), p. 509.
64. MARTONNE (Emm. DE). — Tectonique et évolution des vallées alpines. *Ann. G.*, 1936, p. 337-348.
 Écrit à propos d'un ouvrage de R. STAUB : Grundzüge und Probleme alpinen Morphologie. (*Mém. Soc. helvétique Sc. Nat.*, 1934, I, 190 p., 8 pl.).
65. MARTONNE (Emm. DE). — Hypsométrie et morphologie. Détermination et interprétation des altitudes moyennes de la France et de ses grandes régions naturelles. *Ann. G.*, 1941, p. 241-254, 3 fig.
66. MORET et ROCH. — Révision de la feuille de Briançon au 1/80.000. Sur les tufs pléistocènes du Lautaret. *Bull. du Service de la Carte géol.*, t. 28 (1923-24), n° 155.
67. MULLER (H.). — La faune des tufs du Lautaret. *Bull. Soc. Stat. Isère* (= *B. S. Sc. D.*), 1924, p. 452.
68. ONDE (H.). — L'aération des massifs montagneux et son évaluation. *R.G.A.*, 1939, p. 447-453.
69. PÉGUY (Ch.-P.). — Une analyse morphométrique de la zone intra-alpine des Alpes méridionales. *A.G.F.*, 1942 (7 mars), p. 22-24, 1 fig.
70. PÉGUY (Ch.-P.). — Principes de morphométrie alpine. *R.G.A.*, 1942, p. 453-486, 16 fig.
- 70 bis. PÉGUY (Ch.-P.). — Recherches sur les orientations directrices de l'hydrographie dans les chaînes plissées. *R.G.A.*, 1945, p. 215-238.

H. Morphologie glaciaire.

71. BÉNÉVENT (E.). — Sur les encoches de verrou glaciaire. *C.R.A.S.*, 1914, p. 743.
72. BIROT (P.). — Position actuelle du problème de l'érosion glaciaire. *Information géographique*, 1938-1939, p. 61-63.
73. BLACHE (J.). — Comment s'établit le profil accidenté des vallées glaciaires ? *R.G.A.*, 1936, p. 645-667, 2 fig.
74. DENIZOT. — Sur l'inexistence d'une grande phase interglaciaire dans la vallée de la Durance. *C.R.S.G.F.*, 1939, p. 102-104.
75. HOBBS (W. H.). — Les glaciers de montagne et les formes de terrain correspondantes (traduit par A. ALLIX). *R.G.A.*, 1922, p. 201-279.
76. MARTEL (E.-A.). — Sur les trois lits successifs de la Durance à Briançon. *La Nature*, 14 juillet 1904.
77. MARTIN (D.). — Liste des blocs erratiques les plus remarquables des Hautes-Alpes. *B. S. Et. H.-A.*, 1889, p. 123-136.
78. MARTIN (D.). — Les glaciers quaternaires des bassins de la Durance et du Var. Gap (Jean), 1926, xx + 534 p.
 Réunion d'articles parus de 1911 à 1918 dans le *B. S. Et. H.-A.*
79. MARTONNE (Emm. DE). — L'érosion glaciaire et la formation des vallées alpines. *Ann. G.*, 1910, p. 289-317, 9 fig., et 1911, p. 1-29, 12 fig., 10 phot. h. texte.
80. MARTONNE (Emm. DE). — L'évolution des vallées glaciaires alpines, en particulier dans les Alpes du Dauphiné. *B.S.G.F.*, 1912, p. 516-549.
81. PENCK (A.) et BRUCKNER (Ed.). — Die Alpen im Eiszeitalter. Leipzig (Tauchnitz), 1901-1909, 3 vol., 11 pl., 8 cartes.
82. PERRET (R.). — A propos d'érosion glaciaire. Discussion de quelques idées nouvelles. *Ann. G.*, 1930, p. 178-181.
83. PERRIAUX (L.). — Les glaciations quaternaires du Haut-Var, étude morphologique. *A.G.F.*, 1934, n° 75, p. 2-5.

I. Morphologie nivale².

84. ALLIX (A.). — Nivation et sols polygonaux dans les Alpes françaises. *La Géographie*, 1923, p. 431-438, 6 fig.
85. DEMANGEOT (J.). — Contribution à l'étude de quelques formes de nivation. *R.G.A.*, 1941, p. 337-350, 6 fig., 2 pl.
86. DEMANGEOT (J.). — Tjaele et sols polygonaux en montagne. *Etudes rhodaniennes*, 1942, p. 131-138, 3 fig., 2 pl.
87. GIGNOUX (M.). — Les sols polygonaux dans les Alpes et la genèse des sols polaires. *Ann. G.*, 1931, p. 610-619, 1 pl. phot.
88. GIGNOUX (M.). — Un bel exemple de « sol polygonal » dans les Alpes françaises. *B. S. Sc. D.*, 1936, p. 453-464, 2 pl. photo.
Près du lac des Neuf-Couleurs, en Ubaye.
89. HULIN (V.). — Les glissements de terrains en montagne. *L'Economie alpestre française*, 1932, p. 107-114.
Exemples en Ubaye.
90. JORRE. — Gel et déflation par le froid en montagne. *R.G.A.*, 1933, p. 347-371.
91. JORRE. — Les effets du gel persistant du sol sur le relief. *R.G.A.*, 1936, p. 329-338.
92. MARTONNE (Emm. DE). — Le rôle morphologique de la neige en montagne. *La Géographie*, 1920, II, p. 255-267.
93. ROMANOVSKY. — Observations sur les sols polygonaux des Alpes françaises. *C.R.S.G.F.*, 1942, n° 14, p. 166-168.
Oisans et massif de Chambeyron.

J. Climatologie.

94. ALLIX (A.). — Neiges d'été en 1922 et leur « limite instantanée ». *R.G.A.*, 1922, p. 649-664.
95. ALLIX (A.). — Les avalanches. *R.G.A.*, 1925, p. 359-423, 4 fig., 12 pl.
96. BÉNÉVENT (E.). — La pluviosité de la France du Sud-Est. *R.G.A.*, 1913, p. 323-442, 9 fig., 17 pl. cartes hors texte.
Même texte dans : *Bull. Soc. Stat. de l'Isère* (= *B. S. Sc. D.*), 4^e série, t. XII (1913).
97. BÉNÉVENT (E.). — La neige dans les Alpes françaises. *Recueil des Travaux de l'I.G.A.* (= *R.G.A.*), 1917, p. 403-497.
Même texte dans *Annales de l'Université de Grenoble*, XXIV (1917).
98. BÉNÉVENT (E.). — Lettre. A propos de la neige dans les Alpes françaises. *Recueil des Travaux de l'I.G.A.* (= *R.G.A.*), 1918, p. 489-493.
99. BÉNÉVENT (E.). — Du passage de dépressions barométriques secondaires à travers les Alpes françaises et de leur influence sur le climat. *R.G.A.*, 1921, p. 505-519, 2 fig.
100. BÉNÉVENT (E.). — Du rôle des montagnes dans la formation de la pluie d'après les nouvelles théories norvégiennes. *R.G.A.*, 1924, p. 173-184.
101. BÉNÉVENT (E.). — Le climat des Alpes françaises. *Mémorial de l'O.N.M.* Paris (Chiron), 1926, gr. in-4°, 435 p., 80 fig., 8 pl. h. texte. Thèse Lettres Grenoble.
Reste l'ouvrage capital, quoique vieux déjà de vingt ans. C.-R. dans *R.G.A.*, 1927 (R. BLANCHARD), et *Ann. G.*, 1927 (Emm. DE MARTONNE).
102. BÉNÉVENT (E.). — Documents sur le climat des Alpes françaises. Etude critique. Grenoble (Allier), 1926, 85 p.
Même texte : *R.G.A.*, 1926, p. 681-764.

² Une curieuse et abondante bibliographie concernant ces questions de relief nival vient d'être réunie par J. DEMANGEOT : Essai de bibliographie des formes nivales : coulées rocheuses, sols polygonaux, etc... *R.G.A.*, 1944, p. 505-511.

103. BÉNÉVENT (E.). — Les vents de foehn dans les Alpes françaises. (*Union générale des Rhodaniens*, VII^e Congrès. Lausanne, 1935.)
104. CORONAT (D^r). — Le climat des Hautes-Alpes. *B. S. Et. H.-A.*, 1928, p. 157-163.
105. EAUX ET FORÊTS. — 10^e Conservation (Gap). Service du Reboisement. Observations glaciologiques. Année 1930. Gap, 1931, dactylographié.
Donne les résultats des totalisateurs.
106. GAUSSEN. — Carte de la pluviosité annuelle des Alpes, du bassin du Rhône et de la Corse (1/500.000). Ministère des Travaux publics, Service des Grandes Forces hydrauliques. Paris, 1937.
107. MANTONNE (Emm. DE). — L'indice d'aridité. *A.G.F.*, 1926, n^o 9 (mai), p. 3-5.
108. MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI. — Osservazioni pluviometriche raccolte in tutto l'anno 1915. Vol. II (bacino del Po), fasc. I. Tabelle ordinate a cura del Professore Filippo Eredia. Roma, Stabilimento poligrafico per l'amministrazione della guerra, 1920.
109. MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI. — Osservazioni pluviometriche raccolte nel quinquennio 1916-1920. Vol. V (bacino del Po). Tabelle ordinate a cura del Professore Filippo Eredia. Roma. Provveditorato generale dello stato, libreria, 1925.
110. MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI. — Carte quinquennali delle precipitazioni atmosferiche in Italia (1921-1925). Ordinati a cura del Professore Filippo Eredia. Roma, Provveditorato generale dello stato, libreria. Anno VI (1928).
111. MOUGIN (P.). — Chutes de neige de 1920 à 1930, Ministère de l'Agriculture. Direction générale des Eaux et Forêts. *Etudes glaciologiques*, t. VII (1934).
112. PEATTIE (R.). — La question de l'adret et de l'ubac. *R.G.A.*, 1930, p. 175-187, 1 fig., 1 pl.
113. PERS (R.). — Recherches sur les durées d'insolation. Grenoble (Allier), 1937. Thèse Sciences Paris.
Même texte dans *B. S. Sc. D.*, 1937, p. 109-258, 68 fig., 16 pl. photos.
Nos références se rapportent à l'édition *B. S. Sc. D.*
114. PIÉRY. — Le climat des Alpes françaises. *Journal de Médecine de Lyon*, 5 décembre 1929.
- 114 bis. PIÉRY. — Climats et stations climatiques des Alpes françaises, *Gazette médicale de France*, 1^{er} sept. 1931.
115. PIÉRY. — Traité de climatologie biologique et médicale, 3 vol. Paris (Masson), 1934.
116. RHAM (DE). — Le climat des Alpes méridionales. Essai d'utilisation des divers éléments météorologiques pour l'évaluation des débits de la haute Durance. *La Météorologie*, n^o 43 (1928), p. 453-508, et 44, p. 509-625.
117. RHAM (DE). — Les années humides 1935 et 1936 dans les Alpes méridionales. *La Météorologie*, 1938, p. 314-319.
118. RHODANIENNES (INSTITUT DES ETUDES) DE L'UNIVERSITÉ DE LYON. — *Bulletin d'hydrométéorologie et de statistique économique*, 1926-1927.
119. VESSEREAU (M^{lle} M.). — L'adret et l'ubac dans les Alpes occidentales. *Ann. G.*, 1921, p. 321-333, 2 cartes h. texte.

K. Glaciologie.

120. ALLIX (A.). — Observations glaciologiques en Dauphiné. Direction générale des Eaux et Forêts. *Etudes glaciologiques*, t. VI. Paris (Impr. Nationale), 1927.
Observations antérieures à 1924.
121. ALLIX (A.). — Les glaciers des Alpes françaises en 1921. *R.G.A.*, 1922, p. 325-333, 1 fig.
122. ALLIX (A.). — Les glaciers du Dauphiné depuis 1904. *Association française pour l'avancement des sciences*. Grenoble, 1925.
C.-R. (BLANCHARD), *R.G.A.*, 1926, p. 235.
123. ALLIX (A.). — Les glaciers du Dauphiné. *A.G.F.*, 1926, n^o 10 (juill.), p. 2-3.

124. BLANCHARD (R.). — L'état actuel des glaciers dans les Alpes françaises. *R.G.A.*, 1918, p. 241-244.
125. BLANCHARD (R.). — Les glaciers des Alpes françaises en 1919. *R.G.A.*, 1920, p. 335-340.
126. BONAPARTE (Prince). — Les variations périodiques des glaciers français. *Annuaire du C.A.F.*, 1890, p. 425.
127. GRECARD. — Les glaciers du Karakoram, d'après G. DAINELLI et O. MARINELLI. *R.G.A.*, 1929, p. 458-463.
128. HOBBS (W. H.). — Les caractéristiques des glaciers continentaux comparées à celles des glaciers de montagne (traduit par J. BLACHE). *R.G.A.*, 1922, p. 397-415.
129. MARTIN (D.). — Les glaciers du Pelvoux de 1906 à 1914. Direction générale des Eaux et Forêts, *Etudes glaciologiques*, t. VII, Paris (Impr. Nationale), 1934, 24 p.
130. MONTERIN. — Les glaciers des Alpes-Maritimes. *R.G.A.*, 1930, p. 327-341.
131. MOUGIN (P.). — La périodicité des crues glaciaires. *C.R.A.S.*, 1926, p. 1036-1038.
132. MOUGIN (P.). — Les glaciers du Marinnet. *Etudes glaciologiques*, t. VI (1927).
- 132 bis. MOUGIN (P.). — Le glacier Blanc et le glacier Noir. *Ibid.*
- 132 ter. MOUGIN (P.). — Nomenclature des glaciers du Dauphiné et de la Provence. *Ibid.*
133. MOUGIN (P.). — Variations des glaciers des Alpes depuis le début des observations. *Etudes glaciologiques*, t. VII (1934).
134. VALLOT (J.). — Expériences sur les variations et la marche de la Mer de Glace (1891-1899). *Annales de l'observatoire du Mont-Blanc*, t. IV et V.
135. VALLOT (Ch.). — Sur les variations de longueur des glaciers de la vallée de Chamonix. *R.G.A.*, 1922, p. 167-179, 3 fig., 1 pl.

L. Hydrologie.

En ce qui concerne les *torrents*, voir aussi ci-dessous la section N (Le problème forestier).

136. BLANCHARD (R.). — Régimes hydrauliques et climatiques. Préalpes et Grandes Alpes. *Recueil des Travaux de l'I.G.A. (= R.G.A.)*, 1917, p. 347-384, 14 fig.
137. BLANCHARD (R.). — Régimes hydrauliques et climatiques. Alpes du Sud et ensemble des Alpes françaises. *R.G.A.*, 1920, p. 177-223, 23 fig.
138. GUILLAUME (Abbé P.). — Les transits de Molines en Queyras. *B. S. Et. H.-A.*, 1890, p. 401-420.
Annales rurales du XVIII^e siècle d'un village du Queyras dont nous avons extrait des indications relatives aux crues anciennes.
139. IMBEAUX (E.). — La Durance. Régime, crues, inondations. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1892, p. 1-200.
140. LUGEON (J.). — Précipitations atmosphériques, écoulement et hydroélectricité. Neufchâtel et Paris, 1928.
Propose des courbes d'évaporation et d'écoulement en fonction de l'altitude.
141. LUTSCHG (O.). — Über Niederschlag und Abfluss in Hochgebirge, Sonderdarstellung des Mattmarkgebietes. Zurich, 1925, 472 p.
C.-R. de M. PARDÉ sous le titre suivant :
- 141 bis. PARDÉ (M.). — Précipitation et écoulement en haute montagne. *R. G. A.*, 1926, p. 818-828.
142. MAIN (M^{lle} A.). — Le régime des cours d'eau des Alpes françaises. *Recueil des Travaux de l'I.G.A. (= R.G.A.)*, 1915, p. 243-335, 36 fig.
143. PARDÉ (M.). — Le régime du Rhône. Etude hydrologique. Institut des Etudes rhodaniennes de l'Université de Lyon, 1925, 2 vol. XIV + 887 et 440 p., 117 fig. Thèse Lettres Grenoble.

- 143 bis. PARDÉ (M.). — Le régime du Rhône. *R.G.A.*, 1925, p. 459-547.
Résumé de l'ouvrage précédent en 98 pages.
144. PARDÉ (M.). — Le calcul des débits du Rhône et de ses affluents. Grenoble, 1925, 128 p.
145. PARDÉ (M.). — Fleuves et rivières. Paris, 1933 (Coll. « Colin », n° 155), 224 p., 18 fig.
146. PARDÉ (M.). — Les transports d'alluvions dans le bassin du Rhône. (*Union générale des Rhodaniens*, VII^e Congrès, Lausanne, 1934).
147. PARDÉ (M.). — Le rôle de la neige dans les crues. *Matériaux pour l'étude des calamités*, Genève, t. V (1942), p. 26-36.
148. PARDÉ (M.). — Quelques nouveautés sur le régime du Rhône. Erratum et addendum à un gros ouvrage. *Etudes rhodaniennes de l'Université de Lyon. Mémoires et documents*, Lyon (Audin), 1942, 172 p., 1 fig., 15 tableaux. Compléments à l'ouvrage 143 ci-dessus.
149. PARDÉ (M.). — Cours de Potamologie, professé à l'École des Ingénieurs-hydrauliciens, 46, av. Félix-Viallet, Grenoble, 1946 (rouéotypé). Tome I : Hydrologie fluviale; tome II : Dynamique fluviale. 708 p.
Voir aussi du même auteur le n° 141 bis ci-dessus.
150. ROSTOLLAND. — Névache et la vallée de la haute Clarée. (Gap (Jean), 1930. C.-R. (BLANCHARD), *R.G.A.*, 1931, p. 213-214.
Monographie communale dont l'hydrologue peut extraire de multiples renseignements concernant des crues historiques.
- 150 bis. SOCIÉTÉ HYDROTECHNIQUE DE FRANCE. — Annuaire hydrologique de la France. Année 1939. Paris (Impr. Chaix), 1943, gr. in-4°, 188 p., 69 fig., 5 cartes. Publication annuelle depuis 1939.
151. WILHELM (I.). — La Durance. Étude de l'utilisation de ses eaux et de l'amélioration de son régime par la création de barrages. Paris et Marseille, 1913, 360 p.
(C.-R. (R. BLANCHARD), *Recueil. I.G.A.* (= *R.G.A.*), 1913, p. 316-321.

M. Biogéographie végétale.

152. BARAT (G.). — Le mélèze dans les vallées alpines. *La Nature*, 1933, p. 311-314.
153. BERLAND (L.). — Limite des zones méditerranéennes et subalpines dans l'Est du département du Var. *Société de Biogéographie*, 1929, p. 23.
154. BONNIER (G.). — Les plantes de la région alpine et leur rapport avec le climat. *Ann. G.*, 1894-1895, p. 393-413.
155. BONNET (Ch.). — Coup d'œil sur la flore du Queyras. *La Montagne* (Revue du C.A.F.), 1936, p. 337-345, et 1938, p. 177-185.
156. BRAUN-BLANQUET (J.). — Une reconnaissance phytosociologique dans le Briançonnais. *Bulletin de la Société botanique de France*, session extraordinaire, 1922, p. 77-103.
Exposé fondamental concernant la flore du Briançonnais.
157. LE BRUN (P.). — Les Alpes françaises et le versant septentrional des Pyrénées. Esquisse de leur végétation comparée. *La Montagne* (Revue du C.A.F.), 1931, p. 236-255, 2 photos.
158. LE BRUN (P.). — Pour distinguer les conifères en montagne. *La Montagne* (Revue du C.A.F.), 1938, p. 1-10, photos.
159. CHOUARD (P.). — L'évolution du tapis végétal et du relief du sol en haute montagne. *A.G.F.*, 1933, n° 73 (nov.), p. 126-131.
160. COMBES (R.) et GERTRUDE (M^{lle} M.-T.). — Action du climat alpin sur le métabolisme végétal. *C.R.A.S.*, 1939, p. 661-664.
161. CUSIN. — Les sapinières des Hautes-Alpes. *Revue des Eaux et Forêts*, 1939, p. 213-224.
162. HEIM (R.). — La végétation du bois de la Madeleine et les flots arbustifs du col du Lautaret. *Bull. de la Soc. Botanique de France*, Session extraordinaire, 1922, p. 61-77.

163. MIRANDE (M.). — Jardin alpin du Lautaret. Essais agricoles en 1924. *Bulletin de l'Office régional du Midi*, 1925, p. 178-181.
164. LENOBLE (F.). — Les limites de végétation de quelques espèces méditerranéennes dans le bassin moyen du Rhône et les Préalpes sud-occidentales. *R.G.A.*, 1921, p. 457-470.
165. LENOBLE (F.). — Sur la définition de la région méditerranéenne en géographie botanique et ses limites dans le Sud-Est de la France. *Bull. de la Soc. botanique de France*, 1934 (t. LXXXI, p. 88-96).
166. LITARDIÈRE (R. DE). — Contribution à l'étude biogéographique de quelques graminées de l'élément oriental dans les Alpes de Savoie et du Dauphiné. *Annales de l'Université de Grenoble, Sciences-Médecine*, 1932 [paru en 1934], p. 261-279.
167. NETIEN (G.). — Observations botaniques de quelques lacs alpins du Briançonnais (vallée de la Clarée). *Annales de la Société Linéenne de Lyon*, 1936, p. 79-84, 4 fig.
168. PRAT (H.). — Sur les peuplements de *Juniperus thurifera* de la haute vallée de la Durance et leur signification écologique. *Bull. de la Soc. botanique de France*, 1940, p. 141-148.
169. PONS (J.) et RÉMY. — Expansion de la flore méridionale émigrée dans la haute vallée de la Durance (Embrunais, Briançonnais). Esquisse phytogéographique sommaire. *Bull. de la Soc. botanique de France, Session extraordinaire*, 1922, p. 5-17.
170. RENEUVE (P.). — Petite flore forestière des Hautes-Alpes, I, Les Arbres. Gap (Jean), 1942, 40 p.

N. Le problème forestier. Torrents et déboisement.

Question très controversée, où deux doctrines se sont opposées, l'une voyant dans le déboisement un fait récent ayant provoqué une reprise, également récente, de l'activité torrentielle que l'on peut et doit combattre par un reboisement à outrance; l'autre affirmant que les forêts n'ont guère reculé depuis l'époque historique et qu'il est assez vain, inversement, de vouloir les faire progresser. Dans ce domaine où la controverse a pris souvent une allure de polémique, on présentera les travaux dans l'ordre chronologique.

171. SURELL (A.). — Etude sur les torrents des Hautes-Alpes, 1843.
Seconde édition en 1872, avec une suite par CÉZANNE.
Voir ci-dessous VEYRET (P.), n° 199.
172. LORTET (D^r). — De la formation des torrents dans les Hautes-Alpes, de ses causes et de ses remèdes. *Annales forestières*, 1847, p. 270-278.
173. GUILLAUME (Abbé P.). — Les forêts des Hautes-Alpes en 1727-28 et la question des déboisements. *B. S. Et. H.-A.*, 1887, p. 81-114.
174. GUILLAUME (Abbé P.). — Les forêts de Vars en 1728-1732. *B. S. Et. H.-A.*, 1887, p. 326-334.
175. ROMAN (J.). — Les causes du déboisement des montagnes d'après les documents historiques du XIII^e au XVIII^e siècles. Gap, 1887.
176. ARNAUD (F.). — Notice historique sur les torrents de la vallée de l'Ubaye. Paris, 1895, in-4°, 40 p.
177. GUILLAUME (Abbé P.). — Recueil des réponses faites par les communautés de l'élection de Gap au questionnaire envoyé par la Commission intermédiaire des Etats du Dauphiné. Collection des documents inédits sur l'histoire de la Révolution française publiée par le Ministère de l'Instruction publique. Paris, 1908, xvii + 609 p.
- 177 bis. BUFFAULT (P.). — Le Briançonnais forestier et pastoral. Paris-Nancy (Berger-Levrault) 1913.
178. GADOUD (M^{lle} Marie). — Les forêts du Haut-Dauphiné à la fin du XVIII^e siècle et de nos jours. *Recueil des Travaux de l'I.G.A. (= R.G.A.)*, 1917, p. 1-113.

179. BLACHE (J.). — L'essartage, ancienne pratique culturale dans les Alpes dauphinoises. *R.G.A.*, 1923, p. 553-576.
180. LENOBLE (F.). — La légende du déboisement des Alpes. *R.G.A.*, 1923, p. 5-116. C.-R. (BÉNÉVENT), *La Géographie*, 1923, p. 324-327.
181. MOUGIN (P.). — La question du déboisement des Alpes. *R.G.A.*, 1924, p. 497-545.
Réponse à F. LENOBLE (180) ci-dessus.
182. LENOBLE (F.). — La valeur économique du reboisement des Alpes. *R.G.A.*, 1924, p. 5-29.
183. MOUGIN (P.). — Le reboisement des Alpes méridionales. *R. G. A.*, 1925, p. 215-264.
Réponse à F. LENOBLE (182) ci-dessus. La valeur économique du reboisement serait prouvée.
184. MOUGIN (P.). — Reconstitution et conservation sylvo-pastorale des bassins de houille blanche. *B. S. Sc. D.*, 1926, p. 85-104.
185. SALVADOR (J.). — La légende du déboisement des Alpes et la valeur économique du reboisement des Alpes méridionales. *Revue des Eaux et Forêts*, 1926, p. 117-132, 167-178.
Exposé critique des thèses de F. LENOBLE (180) et (182) et de P. MOUGIN (184) et (183) ci-dessus. Conclusions en faveur de cette seconde thèse.
186. LENOBLE (F.). — Remarques complémentaires sur la question du déboisement et du reboisement des Alpes. *R.G.A.*, 1926, p. 187-213.
Poursuite de la controverse avec MOUGIN.
187. SALVADOR (J.). — Quelques remarques complémentaires sur la question du déboisement des Alpes. *Revue des Eaux et Forêts*, 1927, p. 400-403.
Nouveaux arguments contre la thèse de F. LENOBLE.
188. PARDÉ (M.). — La forêt et les cours d'eau. Résultats d'expériences. *R.G.A.*, 1930, p. 189-200.
Travail qui nous fait quitter le plan de la polémique pour tenter de ramener la question à celui de l'expérimentation scientifique.
189. MOUGIN (P.). — La restauration des Alpes. Direction générale des Eaux et Forêts. Paris (Impr. Nationale), 1931, 584 p.
C.-R. (PARDÉ M.), *R.G.A.*, 1932, p. 619-625.
190. HARALAMB. — Le reboisement dans les Alpes françaises. Grenoble (Allier), 1931, 214 p. Thèse d'Université Grenoble.
C.-R. (BLACHE), *R.G.A.*, 1931, p. 887-890.
191. SCLAFERT (M^{me} Th.). — A propos du déboisement des Alpes du Sud. *Ann. G.*, 1933, p. 266-277 et 350-360.
C.-R. (BLACHE), *R.G.A.*, 1934, p. 253-257.
192. MOUGIN (P.). — Le déboisement des Alpes du Sud. *Revue des Eaux et Forêts*, 1934, p. 194-198.
Réponse à l'article de M^{me} SCLAFERT (191) ci-dessus.
193. SCLAFERT (M^{me} Th.). — A propos du déboisement dans les Alpes du Sud. Le rôle des troupeaux. *Ann. G.*, 1934, p. 126-145.
194. BLACHE (J.). — Déboisement ou essartage ? *R.G.A.*, 1934, p. 253-257.
195. PARDÉ (M.). — La forêt et les cours d'eau, d'après un grand forestier. *R.G.A.*, 1936, p. 943-949.
196. PARDÉ (L.). — Arbres et forêts. Paris (Coll. « Colin », n° 212), 1937.
C.-R. (BLACHE), *R.G.A.*, 1938, p. 803-804.
197. DUCELAY (A.). — Les déboisements et les reboisements dans les Alpes-Maritimes. *R.G.A.*, 1943, p. 87-118 et 143-170.
198. FOURCHY (P.). — Forêts et forestiers d'Oisans au Moyen-Age. Pour servir à l'histoire forestière du Dauphiné. *Revue des Eaux et Forêts*, 1943, p. 170-180.
199. VEYRET (P.). — Un centenaire : l'Etude sur les torrents des Hautes-Alpes, de Surell. *R.G.A.*, 1943, p. 513-524.

200. FOURCHY (P.). — Remarques sur la question du déboisement dans les Alpes. *R.G.A.*, 1944, p. 113-128, 2 pl.
201. BLANCHARD (R.). — Déboisement et reboisement dans les Préalpes françaises du Sud. *R.G.A.*, 1944, p. 335-388, 2 fig.
 Quoique traitant d'une région extérieure à notre domaine, ce travail débute par une excellente mise au point, sur le plan de la géographie générale, de la question du déboisement.

6. Biogéographie animale.

Domaine qui semble, ici comme ailleurs, bien délaissé et où nous n'avons trouvé à glaner que les trois travaux suivants :

202. CLEN (H.). — *Gracillia Isabellæ* et la faune des lépidoptères des Hautes-Alpes. *Bull. Soc. entom. de France*, 1939.
 Faune méditerranéenne en Haut-Embrunais.
203. LÉGER (L.). — Etude d'hydrobiologie piscicole alpine. Cours d'eau et lacs du département des Hautes-Alpes. *Annales de l'Université de Grenoble, Sciences-Médecine*, 1934 [paru en 1935], p. 1-26, 1 fig., 3 pl., 1 carte.
204. SORNAY (J.). — Le Parc national du Pelvoux et la protection du gibier d'altitude. *Revue des Eaux et Forêts*, 1936, p. 101-112, 6 pl. photo.

Haute Durance et Ubaye

Ch. P. Péguy

Revue de géographie alpine, Année 1947, Volume 35, Numéro 3
p. 389 - 522

[Voir l'article en ligne](#)

Avertissement

L'éditeur du site « PERSEE » – le Ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation – détient la propriété intellectuelle et les droits d'exploitation. A ce titre il est titulaire des droits d'auteur et du droit sui generis du producteur de bases de données sur ce site conformément à la loi n°98-536 du 1er juillet 1998 relative aux bases de données.

Les oeuvres reproduites sur le site « PERSEE » sont protégées par les dispositions générales du Code de la propriété intellectuelle.

Droits et devoirs des utilisateurs

Pour un usage strictement privé, la simple reproduction du contenu de ce site est libre.

Pour un usage scientifique ou pédagogique, à des fins de recherches, d'enseignement ou de communication excluant toute exploitation commerciale, la reproduction et la communication au public du contenu de ce site sont autorisées, sous réserve que celles-ci servent d'illustration, ne soient pas substantielles et ne soient pas expressément limitées (plans ou photographies). La mention Le Ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation sur chaque reproduction tirée du site est obligatoire ainsi que le nom de la revue et- lorsqu'ils sont indiqués - le nom de l'auteur et la référence du document reproduit.

Toute autre reproduction ou communication au public, intégrale ou substantielle du contenu de ce site, par quelque procédé que ce soit, de l'éditeur original de l'oeuvre, de l'auteur et de ses ayants droit.

La reproduction et l'exploitation des photographies et des plans, y compris à des fins commerciales, doivent être autorisés par l'éditeur du site, Le Ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation (voir <http://www.sup.adc.education.fr/bib/>). La source et les crédits devront toujours être mentionnés.

Haute Durance et Ubaye (suite) : Climat, végétation, eaux, glaciers

Ch. P. Péguy

Revue de géographie alpine, Année 1947, Volume 35, Numéro 4
p. 585 - 737

[Voir l'article en ligne](#)

Avertissement

L'éditeur du site « PERSEE » – le Ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation – détient la propriété intellectuelle et les droits d'exploitation. A ce titre il est titulaire des droits d'auteur et du droit sui generis du producteur de bases de données sur ce site conformément à la loi n°98-536 du 1er juillet 1998 relative aux bases de données.

Les oeuvres reproduites sur le site « PERSEE » sont protégées par les dispositions générales du Code de la propriété intellectuelle.

Droits et devoirs des utilisateurs

Pour un usage strictement privé, la simple reproduction du contenu de ce site est libre.

Pour un usage scientifique ou pédagogique, à des fins de recherches, d'enseignement ou de communication excluant toute exploitation commerciale, la reproduction et la communication au public du contenu de ce site sont autorisées, sous réserve que celles-ci servent d'illustration, ne soient pas substantielles et ne soient pas expressément limitées (plans ou photographies). La mention Le Ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation sur chaque reproduction tirée du site est obligatoire ainsi que le nom de la revue et- lorsqu'ils sont indiqués - le nom de l'auteur et la référence du document reproduit.

Toute autre reproduction ou communication au public, intégrale ou substantielle du contenu de ce site, par quelque procédé que ce soit, de l'éditeur original de l'oeuvre, de l'auteur et de ses ayants droit.

La reproduction et l'exploitation des photographies et des plans, y compris à des fins commerciales, doivent être autorisés par l'éditeur du site, Le Ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation (voir <http://www.sup.adc.education.fr/bib/>). La source et les crédits devront toujours être mentionnés.