Géologie Alpine, 2000, t. 76, p. 83-116

Contribution à l'étude de l'altitude atteinte par les glaciers quaternaires dans quelques vallées alpines

par Claude BEAUDEVIN*

RÉSUMÉ. – On constate que la formule de Nye-Lliboutry, qui permet de calculer l'altitude de la surface d'une masse de glace, ne peut être utilisée dans les hautes vallées alpines du fait de leur faible largeur. On peut cependant déterminer l'altitude atteinte par les glaciers quaternaires dans ces vallées en utilisant des repères morphologiques tels que moraines, enduits morainiques, roches moutonnées et sillons marginaux.

Les critères d'identification de ces sillons sont définis et leur origine évoquée.

Le cas des bassins de la Romanche et de la Durance a été examiné tout particulièrement. On montre que l'altitude maximum atteinte pendant le Würm par leurs glaciers de vallée était d'environ 2650 m à proximité du col d'Arsine (versant est de la Meije).

Le cas de la vallée du Drac est également étudié en détail, en particulier le tracé de la surface du glacier rissien ainsi que les relations entre le glacier würmien dracquois et celui de la Durance qui l'alimentait par une diffluence empruntant le seuil Bayard

MOTS-CLÉS. – Alpes françaises, Glaciations, Morphologie glaciaire, Quaternaire.

Contribution to the study of the altitude reached by the quaternary glaciers in the northern valleys of the french Alps

ABSTRACT. – It is shown that the Nye-Lliboutry formula, which gives the altitude of the ice surface from the distance of the glacier front-line, may not be used in the high alpine valleys because of their poor width. One can however determine the altitude reached by the quaternary glaciers in these valleys by using morphological marks such as moraines, glacial deposits, roches moutonnées and lateral furrows. The formation of two kinds of these lateral furrows, namely rocky and hilly furrows, is examined and their identifying criteria are defined.

The Romanche and Durance valleys are particularly examined. It is shown that their glaciers reached approximately 2650 m, as a maximum altitude, near Arsine pass. The case of the high Drac valley is also studied in detail, particularly regarding the relations between the Drac glacier and the Durance glacier, which joined it by diffluence over Bayard pass.

KEY WORDS. – French Alps, Glaciations, Quaternary.

---

* 22 rue de la Paix, 38180 Seyssins. email : claude.beaudevin@centraliens.net
site Web " Les Paysages Glaciaires " : http://www.geol-alpes.com/morphologie-glaciaire

Manuscrit déposé le 10 Avril 2000 et accepté le 28 Novembre 2000

1. – Introduction

L'histoire des glaciations dans les Alpes a fait l'objet, depuis Agassiz, de nombreuses études. Dans les Alpes françaises les terrains d'origine glaciaire ont été bien recensés et leurs extensions, au cours des différents stades du Würm, bien définies.

Par contre, le tracé de la surface des glaciers dans les grandes vallées ainsi que dans celles de leurs affluents n'a fait l'objet que de rares publications. Les notices des dernières cartes géologiques au 1/50000 [Orcières 1972, La Grave 1973, La Mure 1988, Laragne - Montéglin 1991, Briançon 1995] dénotent toutefois un intérêt croissant pour cette question.

Le but de la présente note est d'apporter quelques informations en ce domaine. Une méthode y est exposée, basée sur l'emplacement de repères morphologiques ainsi que sur la construction de graphiques. Parmi ces repères, les sillons marginaux - d'épaulement et de diffluence - sont particulièrement remarquables. Ils viennent s'ajouter à ceux, plus habituellement utilisés dans ce genre d'étude, que constituent les moraines et les roches moutonnées.

Les résultats sont encore fragmentaires dans plusieurs des vallées étudiées (Isère, Arc). Dans celles de la Romanche et de la Durance, par contre, la densité des sites caractéristiques permet déjà d'apporter un début de réponse aux problèmes posés par l'extension des glaciers quaternaires.

2. – Le traitement mathématique théorique de la question

2.1. Tracé théorique de la surface d'une masse de glace en écoulement

On sait que l'altitude de la surface d'une masse de glace de largeur infinie est donnée par la formule de Nye-Lliboutry [Lliboutry, 1975] $h = h_0 + \sqrt{20\ d}$ (désignée dans ce qui suit par « la formule ») où :

h = altitude de la glace (en mètres) à une distance d (en mètres) du front de la masse de glace,

h_0= altitude de ce front.

La pente de la surface en ce point est égale à $\sqrt{5/d}$.

Cette formule est valable également pour les glaciers de vallée « en première approximation » [Monjuvent, 1978, p. 141].

C'est ainsi que les moraines latérales du glacier würmien de l'Isère, dans les environs de Voiron et de Grenoble, se placent correctement lorsqu'on applique la formule à un glacier dont la moraine frontale se situait 40 km en aval de cette dernière ville, à Rovon, à l'altitude 200 m [Monjuvent, 1978].

On peut remarquer toutefois que la formule conduit à des résultats inexacts dans le cas d'un appareil de piémont tel que le glacier würmien du Rhône, qui s'étalait en « patte d'ours » sur le plateau molassique suisse ainsi que sur la plaine, également molassique, de La Tour du Pin. À Martigny, par exemple, la surface du glacier ne se trouvait qu'à 1750 m [Labhart et Decrouez, 1997] et non 2300 m comme l'indique la formule. La cause doit en être recherchée dans le tracé des lignes de courant qui divergent dans le cas de tels glaciers alors qu'elles sont parallèles dans celui d'une masse de glace de largeur infinie.

Mais celle-ci se trouve également en défaut lorsque l'on cherche à l'appliquer dans les vallées qui convergent sur Grenoble. Dans celle de la Romanche, par exemple, au-dessus du Bourg d'Oisans, elle indique une altitude de la surface du glacier würmien égale à 1500 m, alors que des dépôts morainiques de cette époque, comportant de nombreux éléments cristallins, peuvent être trouvés jusqu'à 1760 m au-dessus du Bourg, sur l'arête joignant le col du Solude à Prégentil. Le bassin versant de Villard-Reymond n'étant formé que de terrains sédimentaires, ces éléments n'ont pu être déposés ici que par le glacier de la Romanche [carte géologique au 1/50000 Vizille].

2.2. Limite d'application de la formule dans le cas des vallées alpines

Pourquoi la formule, qui donne de bons résultats dans le bas des vallées, cesse-t-elle de le faire plus en amont ?

Lorsqu'on examine les principaux glaciers de vallée actuels des Alpes françaises et suisses, ainsi que quelques appareils himalayens, on rencontre, en parcourant leur surface selon leur profil longitudinal, trois types de modelé :

1/ Des chutes de séracs, qui se produisent sur une rupture de pente,

2/ Des zones à forte pente, dont la surface tourmentée trahit l'existence, en profondeur, d'une vallée de forme irrégulière

3/ Enfin des zones où la pente, bien que régulière, est plus faible que dans les précédentes, tout en étant supérieure à ce que donnerait l'application de la formule.

Le tableau 1 et la figure 1 indiquent, pour un certain nombre de zones de ce dernier type, la valeur de la pente en fonction de la largeur de la vallée mesurée au niveau de la surface du glacier. On a tracé également sur le graphique une courbe qui rend compte au mieux de la moyenne des résultats (courbe de tendance). Il apparaît que la pente est d'autant plus faible que la vallée est plus large.

Rep	Glacier	Altitude haute (m)	Altitude basse (m)	Longueur (m)	Pente (%)	Pente calculée selon la formule (%)	Largeur (m)	Carte
1	Argentiére	2410	2350	675	8,9	4	680	Top 25 3630 OT
2	Leschaux	2600	2450	1625	9,2	2,8	600	id
3	Mer de Glace	1850	1800	475	8,4	5,2	625	id
4	Tacul	2250	2190	850	7	2,9	900	id
5	Aletsch	2560	2380	3750	4,8	2,2	1650	Jungfrau
6	id	2920	2820	1600	6,2	1,7	1100	id
7	id	2720	2560	2400	6,7	2	1500	id
8	Mittelaletsch	2460	2320	1000	14	2,4	500	id
9	id	2540	2460	880	9,1	2,3	650	id
10	Ewigschneefeld	3300	3200	1625	6,2	1,6	1200	id
11	id	3460	3340	2100	5,7	1,5	1050	id
12	Langgletscher	2500	2340	950	16,8	5,4	580	id
13	Glacier Blanc	3240	3100	1225	11,4	3,5	875	Top 25 3436 ET
14	Glacier Noir	2600	2500	550	18	4	500	id
15	Kanderfirn	2700	2480	2600	8,5	4,7	1150	Jungfrau
16	Zmutt	2520	2240	2200	12,7	5	800	Arolla
17	Oberaar	2640	2400	2050	11,7	5,8	600	Nufenenpass
18	Corbassiere	2760	2640	1800	6,7	4,1	1000	Arolla
19	Otemma	3000	2800	3200	6,2	2,9	1000	Arolla
20	Lhotse	5200	5040	3600	4,4	3,3	1100	
21	Lhotse Nup	5200	5040	2050	7,8	4,1	550	
22	West Rongbuk	5920	5800	1350	8,8	–	1100	
23	North Everest	5760	5520	3250	7,4	–	800	
24	Buk	6320	6200	1600	7,5	–	800	
25	Combe Ouest	6400	6200	1500	7,5	–	600	
26	Guangming	6120	5720	1550	25,8	–	400	

Sources : Pour la France : Cartes IGN TOP 25 à 1/25 0000. — Pour la Suisse : Cartes Office fédéral de topographie à 1/50 000, Pour l'Himalaya : Cartes à 1/50 000 - Mount Everest Swiss Foundation for Alpine Research, Zurich.Museum of Science, Boston.

TABLEAU 1. - Pente de surface d'un glacier en fonction de sa largeur pour quelques glaciers alpins et himalayens actuels (zones à effet de paroi).

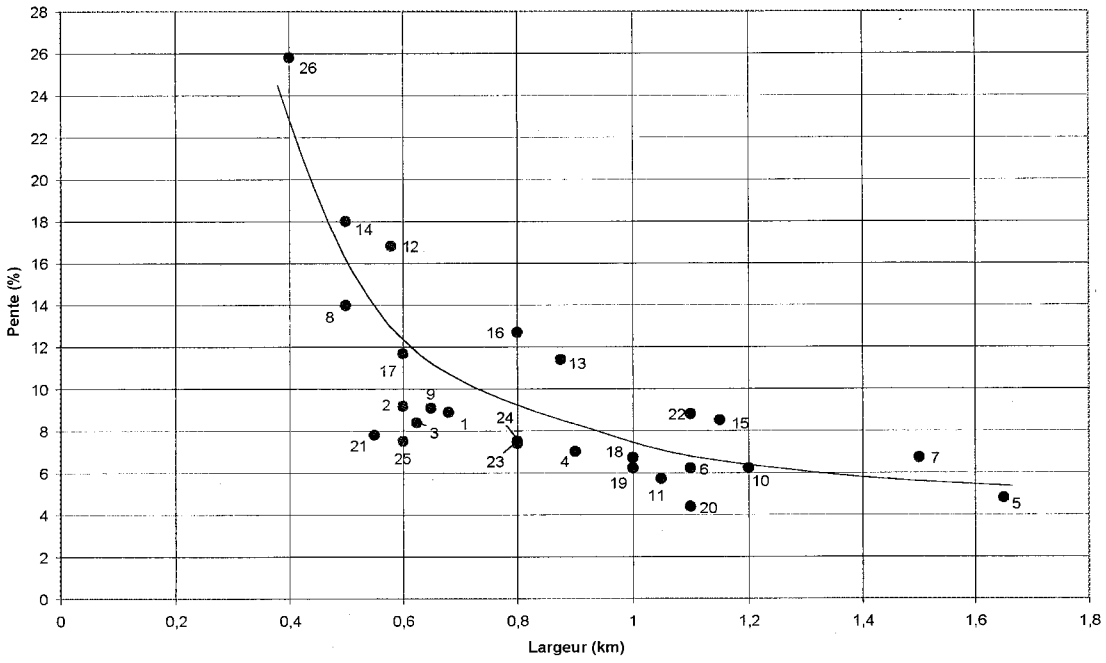

FIG. 1 - Pente de surface d'un glacier en fonction de sa largeur, pour quelques glaciers alpins et himalayens actuels.

Les repères renvoient au tableau 1. La pente est celle des « *zones à effet de paroi* » telle que définie dans le texte. La largeur est mesurée au niveau de la surface du glacier. La courbe est la *courbe de tendance* des différents points

Ce résultat n'a rien de surprenant. En effet le mouvement d'un glacier résulte de l'action de deux forces antagonistes :

- La gravité, qui s'exerce sur la masse du glacier et qui, pour une longueur donnée du glacier (mesurée dans le sens de sa marche), est donc proportionnelle à la **section** de l'auge.
- Les forces de frottement, essentiellement contre les parois et le fond de l'auge, qui sont liées au **périmètre** de celle-ci.

Plus les dimensions de l'auge sont importantes, plus faible est l'influence du frottement sur le mouvement du glacier. À la limite, pour une largeur très grande, on retrouverait les résultats donnés par la formule.

Inversement donc, plus la vallée est étroite, plus les frottements sont importants et plus la pente de surface doit être grande pour les vaincre. Il s'agit là d'un « *effet de paroi* », classique en mécanique des fluides et c'est ce terme que nous utiliserons dans la suite de l'étude. La largeur de la vallée n'est sans doute pas le meilleur paramètre à utiliser et la dispersion serait sans doute diminuée si l'on pouvait utiliser la section ou le périmètre de l'auge, mais ceux-ci sont rarement connus.

La largeur des grands glaciers quaternaires était bien supérieure aux valeurs figurant sur la figure 1. On relève ainsi les largeurs suivantes (au niveau supérieur des glaces) :

- Cluse de Voreppe : 4 km
- Grésivaudan : 6 à 8 km
- Champsaur (au Riss) : 4 à 8 km.

Pour des glaciers de vallée d'une telle largeur, la formule peut être utilisée et la pente superficielle est donc uniquement fonction de la distance au vallum frontal. Pour des largeurs plus faibles, la formule ne s'applique plus et la pente du glacier est fonction des caractéristiques de l'auge, en particulier de sa largeur. En dessous d'une valeur que l'on peut estimer à 4 km environ, seul l'examen du modelé glaciaire pourra donc permettre de déterminer l'altitude maximum atteinte par les glaces (ou *surface du périglaciaire*) dans le haut des vallées.

3. – Le principe de l'utilisation de repères morphologiques

3.1. Formes majeures du modelé glaciaire

3.1.1. ***Les auges glaciaires*** *et leurs* ***rebords*** fournissent – lorsqu'ils sont clairement identifiables – des indications très utiles sur le niveau atteint par les glaciers.

Toutefois, dans le domaine couvert par cette étude, rares sont les vallées qui présentent une auge classique sur une certaine longueur (tel le Grésivaudan, par exemple).

Si l'on considère une vallée plus intérieure au massif, telle celle de l'Eau d'Olle, on constate que le profil en travers glaciaire typique, en auge ou en V, composé d'un versant inférieur plus ou moins raide selon la dureté de la roche, surmonté d'un épaulement en pente plus douce, ne s'observe, en règle générale, que sur de courtes sections de la vallée, sur des arêtes descendues des sommets latéraux (fig. 2).

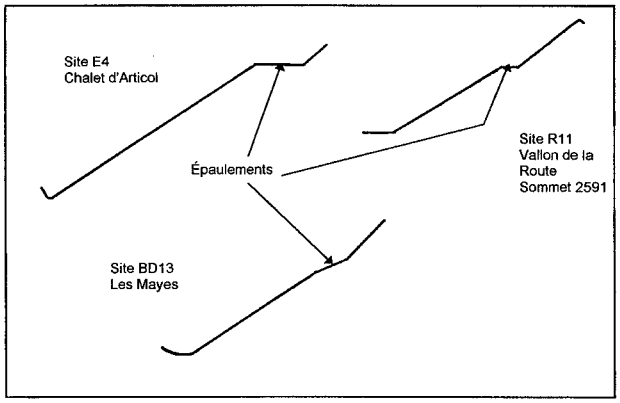

FIG. 2.– Exemples de versants d'auges glaciaires.
Le tracé est fait sans distorsion, de manière à respecter la forme réelle des versants

En effet, l'érosion du glacier de vallée était plus importante au droit de ces arêtes qui faisaient obstacle au mouvement des glaces et, de plus, les vallons latéraux qui séparent les arêtes voyaient passer des appareils affluents dont les glaces repoussaient vers le milieu de la vallée celles du glacier principal[1].

Si deux arêtes se font face sur les versants opposés de la vallée, elles sont fréquemment modelées selon le profil glaciaire typique. Le plus souvent toutefois, le versant opposé à une arête montre un relief plus régulier. Ainsi la rive droite de l'Eau d'Olle, entre Allemont et le Rivier, présente cinq arêtes descendues de Belledonne, qui s'opposent à la paroi plane de la rive opposée. Ce n'est alors que sur ces arêtes que se rencontre le profil glaciaire typique.

Le point le plus important, que nous soulignerons tout particulièrement, est que la présence fréquente de dépôts morainiques, de roches moutonnées, et de *sillons* (voir § 3.2.3) sur l'épaulement prouve qu'au périglaciaire la surface du glacier s'établissait quelque peu au-dessus du rebord d'auge. L'épaisseur de glace

(1) ainsi que le montre l'existence fréquente dans ces vallons, **en dessous du niveau de la surface de cet appareil de vallée**, de stries glaciaires dirigées selon la ligne de plus grande pente.

sur le rebord d'auge nous est toutefois inconnue et sa valeur dépend de nombreux facteurs locaux.

Le positionnement de certains rebords d'auge par rapport à d'autres formes du modelé glaciaire voisines nous conduit à proposer une valeur de l'ordre de 100 m pour cette épaisseur.

3.1.2. Les ***gradins de confluence,*** par lesquels les glaciers affluents rejoignaient l'appareil de vallée, ne semblent pas pouvoir fournir d'indications utilisables.

Leur existence montre cependant le rôle de premier plan joué par l'érosion glaciaire dans le modelé des vallées alpines. Cette forme typiquement glaciaire n'a en effet pratiquement pas été retouchée lors des périodes interglaciaires pendant lesquelles les torrents se sont bornés à creuser des gorges de raccordement.

3.1.3. Les formes léguées par les ***diffluences*** fournissent, quant à elles, une indication supplémentaire, celle du sens de circulation des glaces. On sait en effet [Monjuvent 1978] que les diffluences présentent en général un profil en long dissymétrique : raide du côté amont du flot de glace qui les parcourait, en pente douce sur le versant aval. Le col de la Croix Haute, la Mateysine en fournissent de bons exemples, mais pas le col d'Ornon, nous verrons pourquoi plus loin.

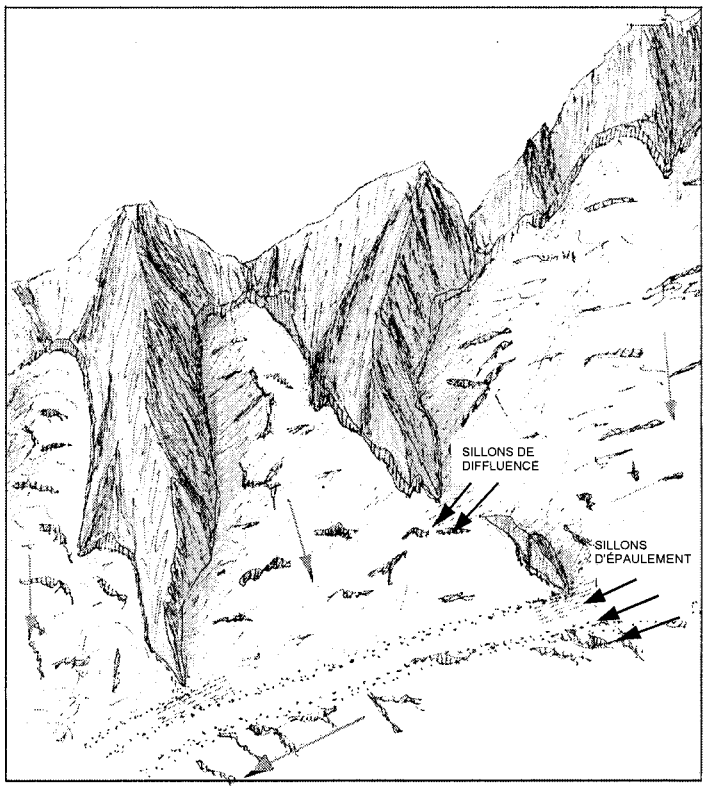

FIG. 3. – Emplacement des sillons marginaux d'épaulement et de diffluence.
La circulation de la glace, contre les rives de la vallée, crée des sillons dans les arêtes en saillie sur le flanc d'auge. Il en est de même aux cols empruntés par les diffluences.

3.2. Formes moyennes du modelé glaciaire

3.2.1. Les ***moraines latérales,*** dont les crêtes subsistent parfois sur les flancs des vallées, sont de bons repères morphologiques. Mais, par suite de l'érosion postglaciaire qui s'est exercée sur ces versants souvent très inclinés, de telles formations sont rares dans les hautes vallées

3.2.2. Les ***dépôts glaciaires*** sans morphologie particulière, provenant de moraines latérales érodées après le départ des glaciers ou de moraines de fond, ne peuvent fournir qu'une valeur inférieure de cette altitude : l'érosion postglaciaire a pu, en effet, ramener leur sommet bien plus bas que la crête de la moraine d'origine.

Pour l'une comme pour l'autre des deux formes qui précèdent, il convient, bien entendu, d'être certain qu'elles ne sont pas l'œuvre de glaciers affluents, toujours plus élevés que le glacier de vallée ; on ne retiendra donc, pour déterminer l'altitude de ce dernier, que celles de ces formes qui se situent sur des arêtes descendues des sommets latéraux.

Du fait de leur teneur en argile, ces dépôts glaciaires sont très propices aux cultures, à tel point que le tracé de l'ancien glacier se lit souvent dans celui des champs et des pâturages.

Enfin la végétation naturelle actuelle, par ses associations végétales, peut fournir des indications intéressantes, par exemple dans le cas où des dépôts comportant des éléments siliceux recouvrent un substratum calcaire.

3.2.3. Mais ce sont les ***sillons marginaux d'épaulement et de diffluence*** qui se révèlent les plus instructifs.

Ces formes, propres à la haute et moyenne montagne et peu décrites, semble-t-il, jusqu'à présent, se situent sur des arêtes, des contreforts faisant saillie sur les flancs des vallées (sillons d'épaulement) ainsi qu'à certains cols qui ont vu passer une diffluence (sillons de diffluence) (fig. 3).

Nous avons dit plus haut que ces arêtes en saillie sur les flancs des vallées présentent fréquemment, au-dessus du rebord d'auge, un épaulement moins incliné (fig. 2). C'est sur cet épaulement que l'on rencontre souvent ces sillons, qui peuvent se présenter sous deux formes :

FIG. 4. – Faisceau de sillons rocheux des Rochers du Chatelard (site R1).

Vue aérienne.

Les flèches montrent le cheminement de la glace rive droite du glacier de la Romanche, qui s'écoulait à droite et de haut en bas de la photo.

• des *sillons rocheux.* Il s'agit de courtes gorges, de longueur décamétrique à hectométrique, aux flancs rocheux abrupts, pouvant aller jusqu'à de véritables petits canyons [1]. Leur largeur va de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres, ce qui permet parfois à quelques maisons de s'y abriter (La Chambotte, Savoie) Ce sont des formes d'ablation. Quelques exemples : Les Rochers du Chatelard, au-dessus de Séchilienne (Isère) (site R1[2] et figure 4), le col sous Pied Moutet (Isère) (site V2 et figure 5), les Déserts de Jean-Jacques Rousseau et de l'Écureuil, près de Grenoble.

• des *sillons vallonnés,* petits vallons séparés par des bourrelets allongés, également de longueur décamétrique à hectométrique. Les bourrelets, souvent modelés en dos de baleine, sont formés en général de dépôts morainiques. Exemples : le Queyron (Hautes-Alpes) (site G3 et figure 6), les Sures, au-dessus d'Auris-en Oisans (Isère) (site R3 et figure 7), la Marionnaise (Hautes-Alpes) (site DA13 et figure 8).

Les sillons vallonnés sont souvent associés aux sillons rocheux, qu'ils masquent parfois.

Dans les deux cas ce sont de courtes vallées mortes, sensiblement parallèles entre elles et au thalweg de la vallée principale. Elles ne possèdent pas de bassin de réception susceptible d'avoir collecté les eaux pluviales, leur tracé sensiblement horizontal montre d'ailleurs qu'il ne s'agit pas de formes torrentielles.

Les sillons sont rarement isolés. Un site est formé d'un *faisceau* de sillons sensiblement parallèles, en nombre compris, en général, entre trois et une trentaine.

3.2.3.1. Critères de reconnaissance des sillons marginaux

L'observation du modelé des vallées permet de définir quelques critères de reconnaissance de ces formes.

• Ces courtes vallées mortes suspendues présentent une géométrie parfaitement claire sur le terrain, quoique pas toujours évidente sur une carte, même détaillée. Leur tracé rectiligne permet de ne pas les confondre avec des bosses ou des pointements rocheux portés par les arêtes qui sont, quant à eux, de forme plutôt circulaire ou ponctuelle. D'autre part, bien que celles-ci présentent également une géométrie linéaire, on évitera de les confondre avec des *fentes d'appel au vide*, ces crevasses annonciatrices de tassements de versant ou avec des formes karstiques de *lapiaz.*

1) Ces sillons ont été appelés parfois « chenaux » [Monjuvent, 1978].

2) Les repères des sites renvoient à la colonne **Rep** du tableau 2 .

FIG. 5. – Faisceau de sillons situés au col sous Pied Moutet (Vallée du Vénéon, Isère) (site V2).
Les flèches indiquent le cheminement de la glace.

• Dans le domaine couvert par cette étude, ils se situent tous sur des parties d'arête de pente égale ou inférieure à 21 %. En dessous du rebord d'auge, la pente du flanc de la vallée est supérieure à 21 % alors qu'au-dessus de l'épaulement la pente se redresse et ne présente pas de trace d'érosion glaciaire. Inversement, l'absence de sillons d'épaulement sur une portion d'arête peu inclinée peut montrer qu'elle n'a jamais été atteinte par les glaces.

• L'arête qui porte les sillons est approximativement perpendiculaire à la vallée (1) et forme saillie sur le flanc de celle-ci.

• Des petits lacs ou des marais se nichent fréquemment au creux des vallons et des gorges (site A1 et figure 10).

• Sans pouvoir être considéré en lui-même comme un critère de reconnaissance, le fait qu'un site se place correctement par rapport aux sites voisins constitue une forte présomption qu'il s'agit bien de sillons. La construction de graphiques tels que ceux qui illustrent ce texte (fig. 1, 12, 13, 16, 17, 19, 20, 25) se révèle donc d'un grand intérêt. La surface du pléniglaciaire, dans le cas des grands appareils de vallée, ne présentait pas de chutes de séracs et doit donc apparaître sur ces graphiques comme une ligne continue. En quelque sorte il s'agit de l'enveloppe (au sens mathématique du terme) des altitudes de l'ensemble des sites.

Un seul des critères qui viennent d'être exposés ne permet pas d'identifier à coup sûr un site de sillons. La convergence de plusieurs critères est nécessaire.

Les mêmes critères peuvent être utilisés pour identifier les sites de diffluence, en tenant compte du fait qu'ils se situent à des cols où l'arête est horizontale

3.2.3.2. Remarques complémentaires concernant les sillons marginaux

On rencontre parfois des faisceaux de sillons en dessous du rebord d'auge. Situés également sur des portions d'arêtes de pente inférieure à 21 %, ils ont pris naissance vraisemblablement lors d'un stade de retrait. On peut citer, par exemple, les Déserts de Jean-Jacques Rousseau et de l'Écureuil, près de Grenoble [Monjuvent, 1978] ou encore le col des Combes (site D6).

Ces sites sont en nombre beaucoup plus faible que ceux du pléniglaciaire. La cause doit en être recherchée, pensons-nous, dans la rareté des portions d'arête de pente inférieure à 21 % situées sur les flancs d'auge.

L'observation d'un seul site ne permet pas de déterminer si les sillons qui le composent datent du pléniglaciaire ou d'un stade de retrait. C'est le report de sa position sur un graphique qui permettra de lever l'indétermination.

Au-dessus d'un site de sillons, particulièrement lorsque la pente du terrain y est supérieure à 21 %, on observe parfois sur quelques dizaines de mètres

(1) Nous n'avons rencontré qu'une seule exception, la longue gouttière du Serre de Guigou, dans la vallée de la Durance (site D9). On remarquera effectivement que ce long vallon suit le tracé d'une faille importante sensiblement parallèle au cours de la Durance [Barféty *et al*, 1995].

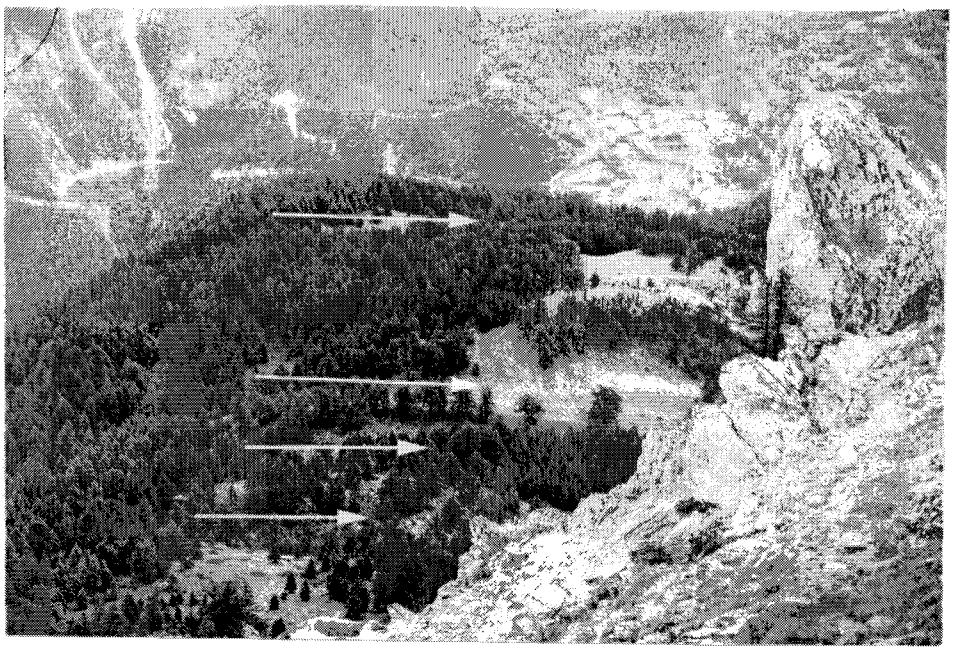

FIG. 6. – Faisceau de sillons du Queyron (Vallée d'Arvieux, Queyras, Hautes-Alpes) (site G3).
Ce site comprend des sillons vallonnés et des sillons rocheux. Les flèches indiquent le cheminement des glaces.

d'altitude des *coups de gouge* ou de petites terrasses, de dimensions métriques, parallèles au thalweg.

L'étude des cartes IGN au 1/25000 permet souvent de présumer de l'existence d'un site, qu'il est nécessaire, bien entendu, de contrôler par une reconnaissance sur le terrain.

Il est remarquable de constater que, dans tous les cas où nous avons pu nous rendre sur place, le nombre de sillons s'est révélé beaucoup plus grand que ne l'avait laissé supposer l'examen de la carte, toujours simplificatrice.

Toutes les arêtes en saillie sur les versants d'une vallée ne portent pas de sillons. Il faut sans doute pour cela que l'orientation des plans de faiblesse de la roche (failles, diaclases, strates) s'y prête.

Les figures 9 et 10 présentent deux sites particulièrement remarquables, situés, l'un dans la vallée de la Durance, au-dessus de Freyssinières, les Mamelons de la Séa (site D7), l'autre à l'entrée de la vallée de l'Arc, la chaîne des Hurtières (site A1). On notera dans les deux cas la présence d'un petit lac dans le sillon supérieur.

On peut enfin remarquer que, dans le domaine étudié, presque tous les cols qui ont vu passer une diffluence présentent des faisceaux de sillons : cols Bayard, du Sabot, du Couard, du Lautaret, du Grand Cucheron, du Granier, de la Madeleine, etc.

3.2.3.3. Tentative de détermination de l'origine des sillons marginaux

L'origine des sillons rocheux est facile à identifier : c'est la glace - ou plutôt, bien entendu, les éléments rocheux que celle-ci contenait - qui ont façonné ces petits canyons. Les cannelures et les roches moutonnées que l'on rencontre parfois sur leurs flancs ainsi que la présence fréquente de petits lacs et de tourbières (site A1) montre bien qu'ils ont été creusés par la glace.

Dans certains cas toutefois, l'action des eaux de fonte du glacier n'est peut-être pas à exclure.

On sait en effet que, dans les zones d'un glacier soumises à une fonte estivale, les eaux superficielles, grossies souvent de celles provenant des névés des versants, circulent de préférence le long des rives, à une centaine de mètres au maximum sous la surface [Reynaud, 1989]. En dessous de cette profondeur, l'observation, ainsi que le calcul, montre en effet que, sous l'action du poids des couches supérieures, toute fissure a tendance à se refermer par fluage de la glace. Le glacier se comporte alors comme une surface imperméable (1).

(1) Toutefois il faut remarquer que ce mode de circulation des eaux ne permet pas d'expliquer certains phénomènes glaciaires quaternaires tel l'écoulement des eaux du lac würmien du Trièves. On sait que, pendant le Würm, les eaux provenant du glacier du Drac, retenues par le barrage créé par le glacier de l'Isère qui occupait la cuvette grenobloise, formaient, dans le bassin du Trièves, un lac dont la surface se situait à 750 m environ. Ce lac se déversait dans la vallée voisine de la Gresse [Montjuvent, 1978] barrée en aval, elle aussi, par le glacier isérois. Celui-ci s'élevant, au-dessus de Grenoble, à 1100 m, l'écoulement des eaux dans la vallée de la Gresse à un niveau inférieur à 750 m ne semble donc pas compatible avec une circulation limitée aux 100 premiers mètres de profondeur en dessous de la surface.

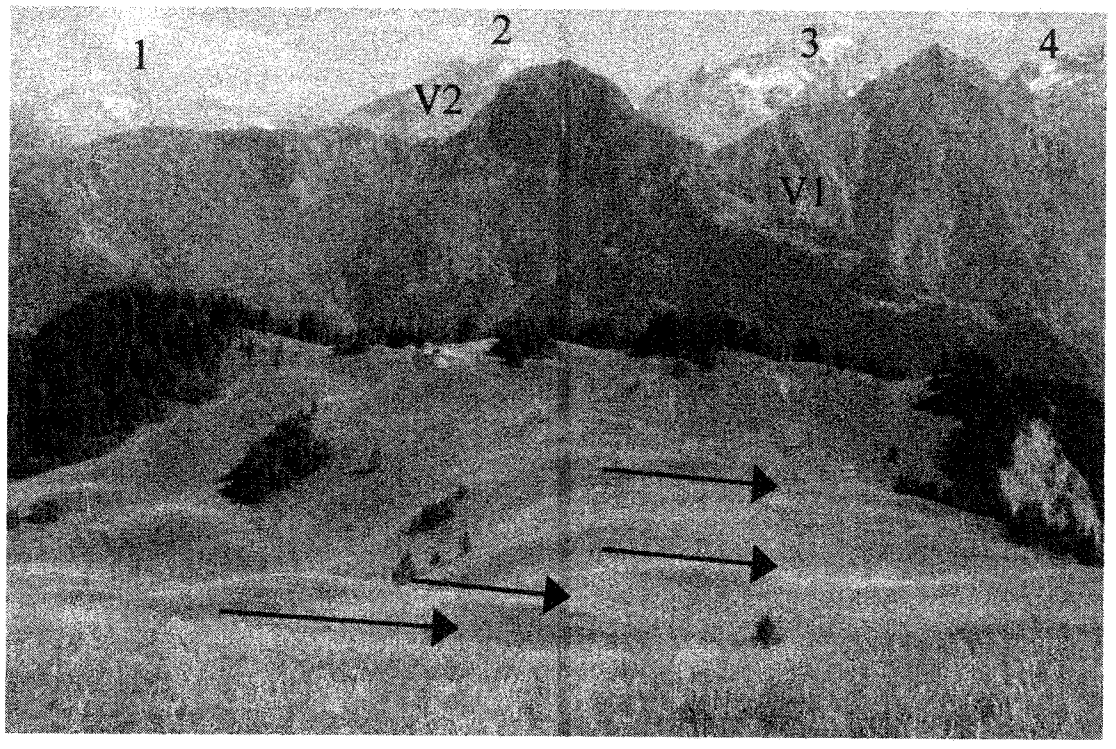

FIG. 7. – Faisceau de sillons vallonnés des Sures (site R 3).

La vue est prise du sommet des Sures (sommet dominant la station d'Auris-en-Oisans) en direction du sud.

La première arête, boisée, est celle du Bouchet. Au second plan, le sommet de Pied Moutet. A gauche de celui-ci, le site de sillons du col sous Pied Moutet (V 2, Fig. 5). A sa droite, le site de sillons de La Chalp (V 1).

A l'arrière-plan, les sommets de l'Oisans : 1 : Tête des Fétoules 2 : Tête de Lauranoure, 3 : Roche de la Muzelle, 4 : le Rochail

Entre le Bouchet et Pied Moutet coule la Romanche.

Le glacier de la Romanche franchissait l'arête Les Sures – Le Bouchet (flèches noires), pour gagner à droite la vallée du Bourg d'Oisans.

La présence de quelques éléments cristallins au sommet même des Sures témoigne également du passage du glacier en ce lieu.

Ces eaux, très chargées en éléments rocheux de toutes tailles, sont particulièrement abrasives[1]. Circulant le long des flancs des vallées, à une altitude fonction du niveau du glacier, donc variable au cours d'une glaciation, elles sont susceptibles d'avoir participé au creusement des sillons rocheux, tout au moins pendant les quelques semaines de fusion estivale. L'érosion des épaulements par la glace et éventuellement par les eaux latérales peut fournir une autre vision de la structure en *auges emboîtées*, classiquement attribuée à la succession de plusieurs glaciations.

Dans aucun des sillons rocheux que nous avons parcourus nous n'avons trouvé de trace d'une érosion par les eaux courantes, mais un éventuel modelé torrentiel a fort bien pu être effacé par l'action de la glace qui, elle, s'exerçait pendant la plus grand partie de l'année.

Près de l'extrémité du glacier ces eaux, rassemblées au fond de l'auge, ont creusé le canyon sous-glaciaire bien connu.

Les sillons vallonnés – ou plutôt les bourrelets qui séparent les vallons - sont, quant à eux, des formes de dépôt. L'origine qui nous paraît la plus vraisemblable est celle de moraine de fond déposée lors du retrait glaciaire. Leur forme évoque en effet celle des vallonnements – sillons et bourrelets – qui tapissent le fond de certains cirques glaciaires [Derruau, 1988], mais ces vallonnements de fond de cirque sont dirigés dans le sens de la pente, alors que les sillons d'épaulement et de diffluence sont subhorizontaux.

L'analogie de forme de certains bourrelets avec des *drumlines* peut également laisser penser que ces dépôts peuvent être dus à des perturbations dans l'écoulement de la glace au passage d'un épaulement ou un col.

Enfin certains bourrelets – c'est le cas de ceux du site DA9 – évoquent plutôt des moraines latérales. Ils sont en effet composés de matériaux grossiers, très peu émoussés et de composition monogénique

(1) Les turbines hydrauliques alimentées par des eaux glaciaires sont soumises à une érosion particulièrement rapide qui oblige souvent à en remplacer les roues chaque année.

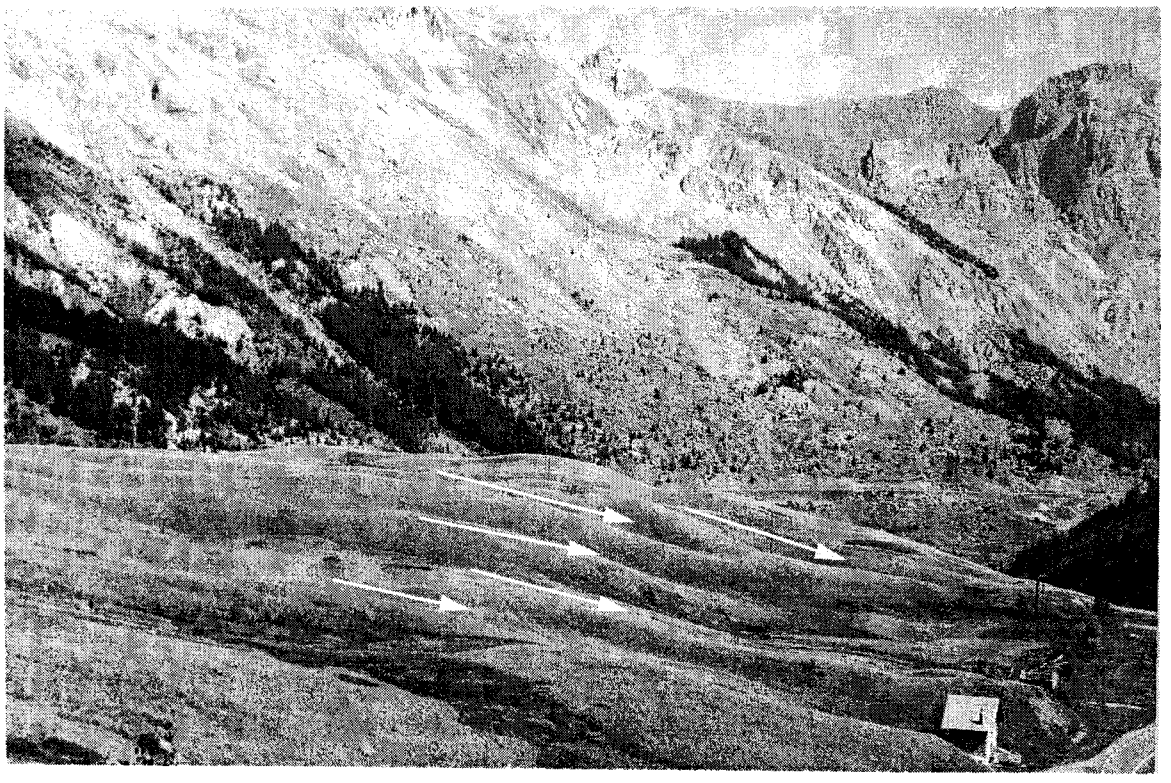

FIG. 8. – Faisceau de sillons de diffluence de la Marionnaise (Col du Lautaret, Isère).
Ce sont des sillons vallonnés. Les flèches indiquent le cheminement de la glace du glacier de Roche Noire.

Quant aux coups de gouge et aux petites terrasses que l'on rencontre parfois au-dessus des sites d'épaulement, ils peuvent sans doute être attribués à un écoulement de glace sous une très faible épaisseur.

3.2.3.4. Utilisation des sillons comme repères morphologiques

Quelle que soit leur origine, on notera que, situés au-dessus du rebord d'auge, sillons rocheux et vallonnés ont pris naissance sous une faible épaisseur de glace. La cote du fond du sillon le plus élevé fournira donc une indication intéressante sur l'altitude de la surface de la glace à cet endroit, si on est en mesure d'apprécier cette épaisseur.

La position de certains sillons par rapport à d'autres repères morphologiques voisins (moraines, roches moutonnées) nous amène à penser que cette épaisseur devait être de l'ordre d'une centaine de mètres dans le cas des sillons rocheux et d'une cinquantaine de mètres dans celui des sillons vallonnés.

3.3. Formes mineures du modelé glaciaire

• Les **roches moutonnées** sont un des indicateurs les plus fréquemment utilisés lorsque l'on cherche à déterminer la surface du pléniglaciaire ; elles recouvrent en effet les zones qui ont été soumises à l'abrasion par les glaces. Les figures 11 et 14 en sont l'illustration ; nous y avons porté la *trace du pléniglaciaire* (*trimline* des auteurs anglo-saxons), c'est-à-dire la ligne qui joint les sommets des zones de roches moutonnées. La trace du pléniglaciaire ne coïncide pas exactement avec l'intersection de la surface du pléniglaciaire avec le versant, car les roches moutonnées ne peuvent prendre naissance que sous une certaine épaisseur de glace. La valeur exacte de celle-ci est inconnue, mais on peut l'estimer à quelques dizaines de mètres [Florineth et Schlüchter, 1998].

• Les surfaces recouvertes par un ancien glacier peuvent souvent se reconnaître à la teinte plus claire des roches, là où elles ne sont pas masquées par des éboulis (voir figure 10)

• Les **stries** ainsi que les **cannelures** permettent de déterminer l'orientation de l'écoulement d'un glacier, alors que les **lunules** et les **abrupts d'arrachement** (1) (fig. 15) peuvent en faire connaître également le sens.

(1) Un *abrupt d'arrachement* se crée lorsqu'un glacier, utilisant les joints de strate ou les diaclases de la roche, arrache, par une sorte de *poussée au vide*, la partie aval d'un petit relief rocheux. La position de cet abrupt d'arrachement indique donc le sens de progression du glacier.

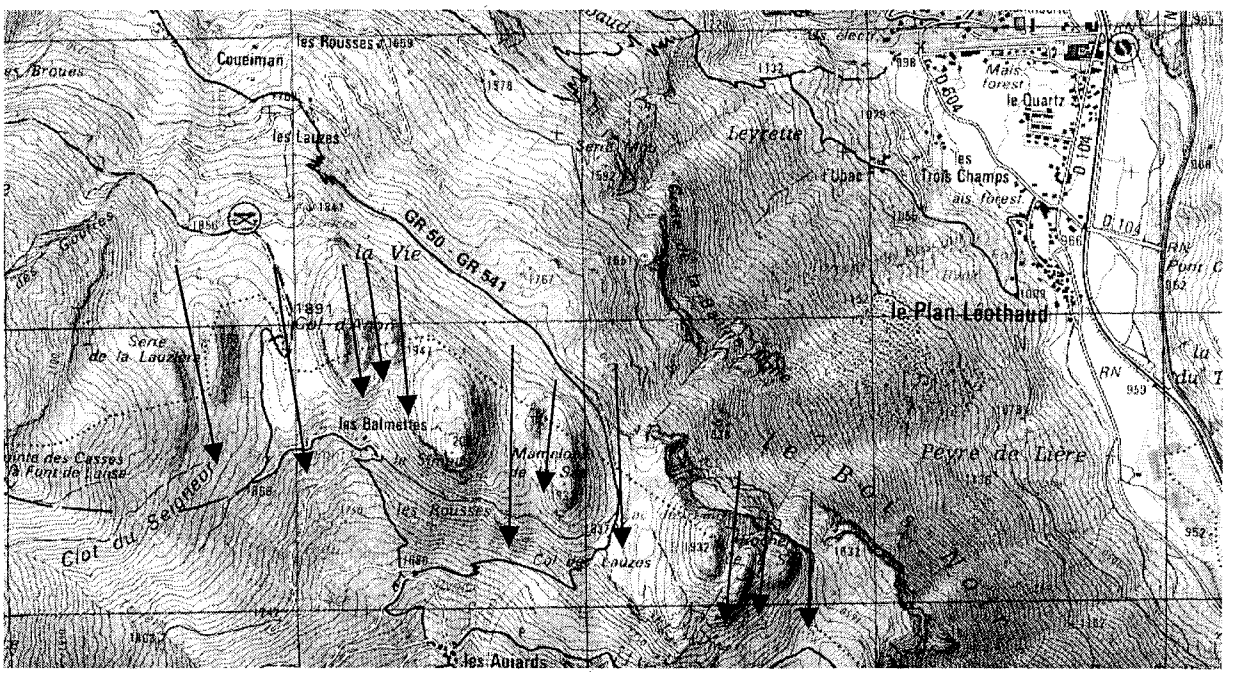

FIG. 9. – Faisceaux de sillons de diffluence des Mamelons de la Séa (site D 7).

Entre les vallées du Fournel au nord et de la Biaysse (Fressinières) au sud, le col d'Anon et ses environs immédiats ont vu passer une diffluence du glacier du Fournel, grossi par celui de la Vallouise, en direction de la Durance.

Les flèches schématisent l'écoulement de la glace. Les sillons sont sensiblement parallèles au cours de la Durance. L'arête est ici quasiment horizontale (pente 1,5 %). La géométrie linéaire des sillons est bien visible.

3.4. Détermination de la glaciation responsable du modelé glaciaire

La formule montre que les surfaces des glaciers rissien et würmien, dont les fronts ont été distants de plusieurs dizaines de kilomètres et qui atteignaient des niveaux très différents dans le bas des vallées, étaient de plus en plus proches l'une de l'autre au fur et à mesure que l'on remonte celles-ci. C'est ainsi que dans le cas du glacier de l'Isère, la formule indique qu'à 20 km du vallum terminal würmien, la différence de niveau entre Riss et Würm est de 266 m alors qu'elle n'est plus que de 200 m à 50 km de celui-ci. À 100 km, si toutefois la largeur des vallées permettait encore son utilisation, la différence de niveau ne serait plus que de 159 m.

Qu'en est-il dans le haut des vallées, dont la faible largeur ne permet plus d'appliquer la formule ?

On remarque qu'au-dessus des épaulements, la pente se redresse et ne montre pas de trace d'érosion glaciaire. On peut donc penser que les sillons les plus élevés que portent ces épaulement indiquent le niveau maximum atteint par les glaces lors des dernières glaciations Encore faut-il que ces formes aient pu résister à l'érosion de l'interglaciaire Riss-Würm. Leur situation sur des arêtes ou à des cols entraîne qu'ils se trouvent dans des " *sites protégés* ", très peu exposés à l'érosion postglaciaire, car non dominés par des pentes susceptibles de collecter les eaux pluviales. Ceci explique leur bonne conservation.

Il nous semble probable que les sillons rocheux ont été creusés au Riss, certains d'entre eux ayant pu être réutilisés lors du Würm, sous une épaisseur de glace inférieure. Quant aux sillons vallonnés, les plus élevés peuvent dater du Riss, ainsi que le montre la présence de certains d'entre eux dans le Trièves, non englacé pendant le Würm.

Ceci peut également s'appliquer aux autres formes majeures et moyennes du modelé glaciaire (auges, moraines) mais pas aux formes mineures (polis, stries, cannelures) qui semblent, elles, difficilement imputables à une glaciation antérieure au Würm.

La présence de moraines proches attribuables d'une manière certaine au Würm ou au Riss permettrait de dater ces formes majeures. Ceci a été possible dans le cas, examiné plus loin, de l'Eau d'Olle, où une origine rissienne semble vraisemblable. Par ailleurs, on peut noter que, sur le plateau d'En Paris, les dépôts du col du Souchet (site R8) sont attribués au Würm par la carte géologique au 1/50 000 La Grave. En ce site, pourtant relativement protégé de l'érosion, n'apparaît en surface aucun dépôt attribué au Riss, ce qui laisse penser que les deux glaciations ont atteint ici des niveaux peu différents.

FIG. 10. – Faisceau de sillons de diffluence de la Chaîne des Hurtières.

Le glacier de l'Arc s'écoulait à droite et de bas en haut de la figure. Une partie de la glace diffluait par-dessus la chaîne des Hurtières pour rejoindre, vers la gauche, la vallée de l'Isère.

Le glacier a creusé un grand nombre de sillons rocheux – une trentaine au total – étagés de 345 à 1720 m d'altitude et dont on voit ici les plus élevés. Les flèches montrent le cheminement de la glace. Un des sillons abrite le lac du Grand Leyat (actuellement envahi par la végétation) à la cote 1650 m.

4. – INVENTAIRE ET DESCRIPTION SUCCINCTE DES SITES RETENUS DANS QUELQUES VALLÉES ALPINES

Nous avons fait figurer sur le tableau 2 les principales caractéristiques d'un certain nombre de sites – moraines, dépôts morainiques, roches moutonnées, sillons d'épaulement et de diffluence – identifiés dans quelques-unes des vallées alpines[1]. Leur situation géographique est indiquée par les figures 18 et 21. Nous avons ensuite reporté ces points sur les figures 12, 13, 16, 17, 19, 20, 25 ainsi que les surfaces pléniglaciaires würmiennes et rissiennes déterminées à l'aide de la formule. Les positions des vallums terminaux des différents glaciers, en situation et en altitude, sont indiquées sur les graphiques correspondants.

Nous avons enfin tenté une reconstitution de la surface du pléniglaciaire en utilisant la position des sites caractéristiques et en tenant compte des règles suivantes, qui prennent en compte les remarques des paragraphes précédents :

- La courbe doit passer par le sommet des moraines latérales ;
- Elle doit rester toujours à une altitude au moins égale à celle des dépôts morainiques
- Elle doit passer à 100 m au-dessus du fond des sillons rocheux les plus hauts, à 50 m au-dessus du fond des sillons vallonnés les plus élevés et à quelques

(1) Nos observations personnelles nous ont permis d'identifier 106 sites et la littérature ou les cartes géologiques 31 autres sites, soit un total de 137 sites.

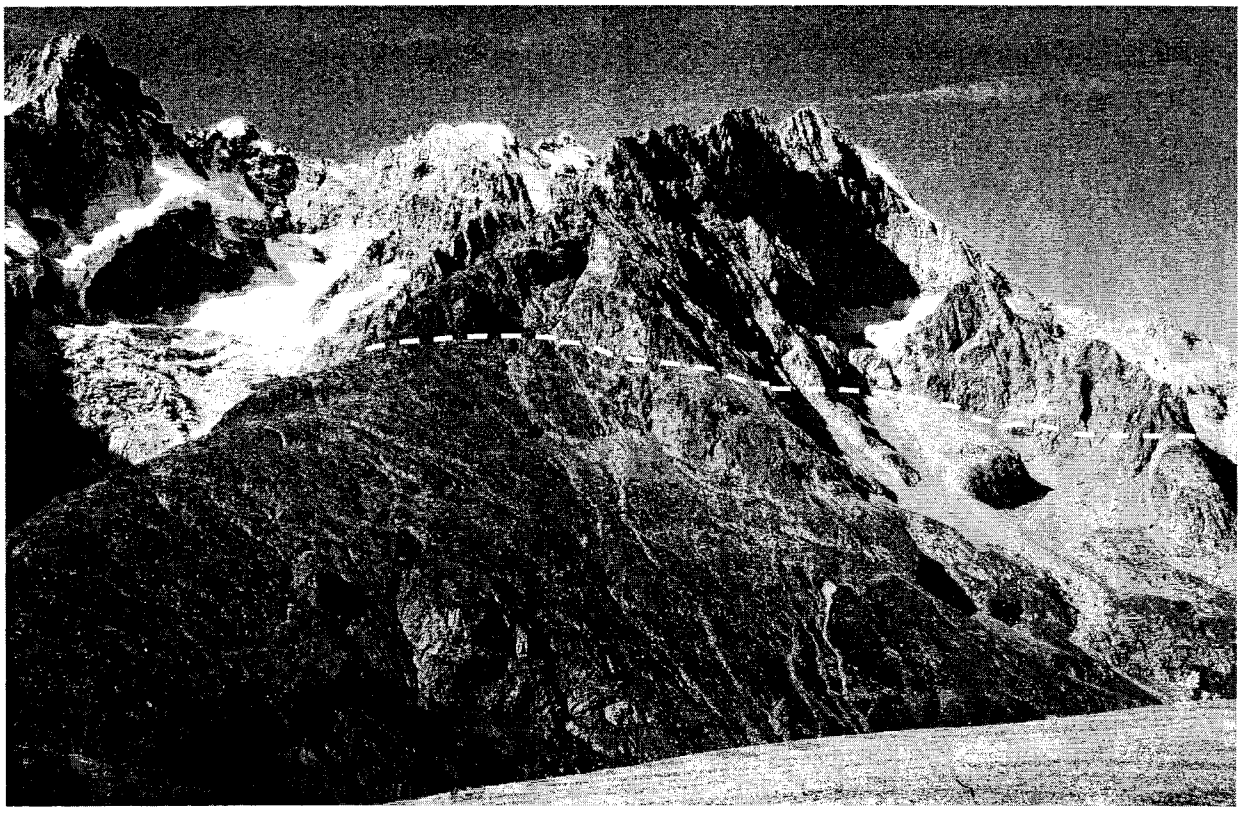

FIG. 11. – Trace du pléniglaciaire dans la haute vallée de la Romanche, vue de la route du col du Lautaret, versant Romanche.

De gauche à droite : à l'arrière plan, le Pic Gaspard et la Meije Orientale ; au premier plan, à droite, le Bec de l'Homme. À gauche de la photo, la Croupe se détache sur le glacier de l'Homme. La Romanche coule au pied des pentes. En dessous de la ligne tracée en tiretés, les rochers présentent un relief typique des roches moutonnées. Au-dessus de cette ligne, les arêtes descendues des sommets ont un aspect en dents de scie, qui montre qu'elles ont été soumises uniquement à l'action du gel et du dégel. La glace s'écoulait de gauche à droite.

Près de l'arête de la Croupe (à gauche), vers 2100 m d'altitude, a été découvert, en 1962, un « trésor » de l'Age du Bronze [Rousset, 1955], « cache de fondeur » ou fonderie (comme semble le montrer une étude récente), preuve que ce lieu était libre de glace au VIII siècle BC.

dizaines de mètres au-dessus du sommet des roches moutonnées.

Pour tenir compte plus facilement de cette règle, et pouvoir comparer directement la position des sites caractéristiques par rapport aux courbes, les altitudes figurant sur le tableau 2 ont, sur les figures 12, 13, 16, 17, 19, 20, 25, été majorées de :

– 100 m pour les sillons rocheux et les rebords d'auge

– 50 m pour les sillons vallonnés et les roches moutonnées.

• Enfin, la trace doit toujours être ascendante lorsqu'on remonte la vallée. Cette condition évidente permet de ne pas tenir compte des sites datant des stades de retrait.

Sur les figures 12, 13, 16, 17, 19, 20, 25 les surfaces du pléniglaciaire ainsi déterminées sont représentées en tiretés.

Les points représentatifs des affluents ont été portés à titre d'information complémentaire. On peut voir que la pente des affluents est toujours supérieure à celle des glaciers de vallée.

4.1. Vallées de l'Eau d'Olle et de ses affluents (sites repérés E et EA sur le tableau 2 et les figures 12 et 13) (1)

-- Rive droite de l'Eau d'Olle, au-dessus d'Allemont, la carte géologique [feuille Vizille à 1/50 000] indique que l'alpage du Chazeau est formé de terrains glaciaires post-würmiens. À l'examen, il semble bien toutefois que seule sa partie médiane soit postérieure au retrait de l'appareil de vallée : la forme et la granulométrie sont en effet typiques d'une moraine de névé et la végétation n'a pas eu le temps d'envahir ce chaos rocheux.

(1) La figure 12 fournit une vision d'ensemble des vallées de l'Eau d'Olle, de la Romanche et du Vénéon et permet le tracé des surfaces pléniglaciaires würmiennes et rissiennes, alors que les figures 13, 16 et 17 limitées aux portions de vallées situées en amont du Bourg d'Oisans autorise une lecture plus précise.

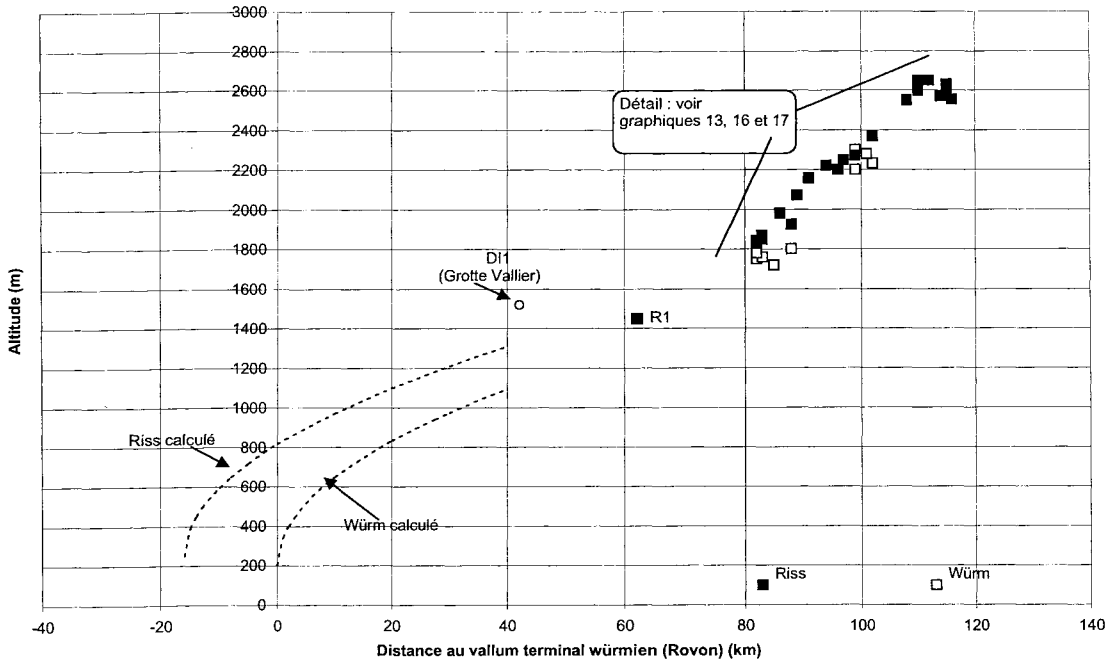

FIG. 12. – Sites caractéristiques des vallées du Drac inférieur, de l'Eau d'Olle, de la Romanche et du Vénéon.

L'origine des distances se situe au vallum terminal würmien de Rovon 40 km en aval de Grenoble. Le vallum terminal rissien se trouve 56 km en aval de Grenoble. Les points caractéristiques sont extraits du tableau 2. Les altitudes ont été majorées de 100 m pour les sites de sillons et de 50 m pour les roches moutonnées et les sites de sillons vallonnés. Les courbes de surface des glaciers würmien et rissien ont été calculées à l'aide de la formule de Nye-Lliboutry.

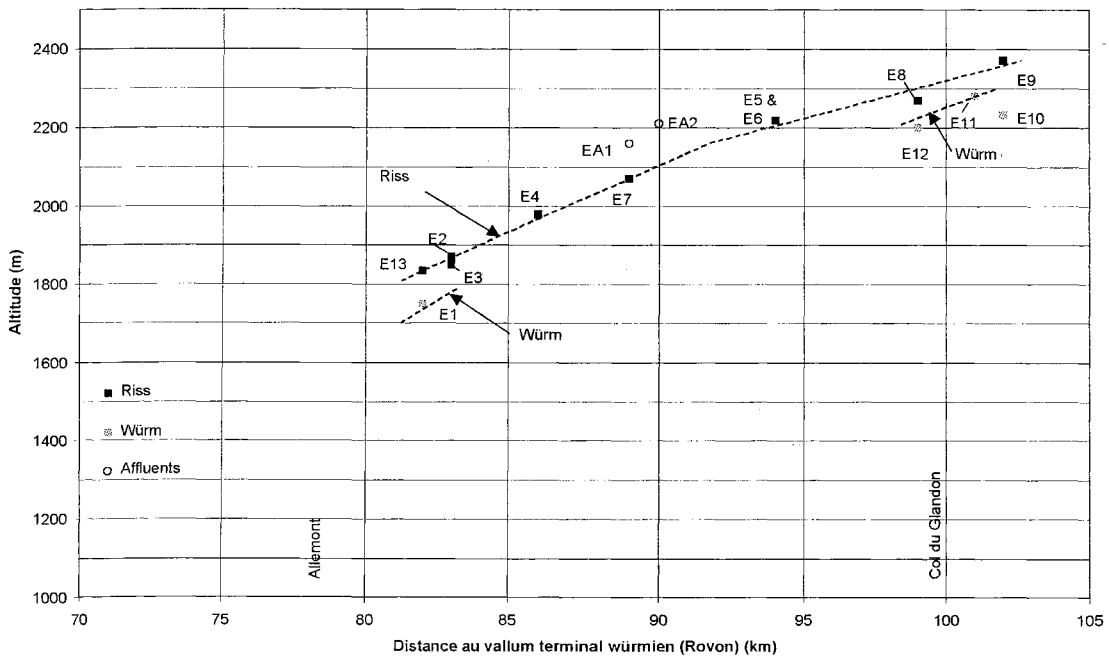

FIG. 13. – Sites caractéristiques de la vallée de l'Eau D'Olle.

Ce graphique reprend les sites caractéristiques figurant sur la figure 12, mais se limite à la partie amont de la vallée. Comme sur la figure 12, les points caractéristiques sont extraits du tableau 2, l'origine des distances se situe au vallum terminal würmien, 40 km en aval de Grenoble et les altitudes ont été majorées de 100 m pour les sites de sillons rocheux et 50 m pour les roches moutonnées et les sites de sillons vallonnés.

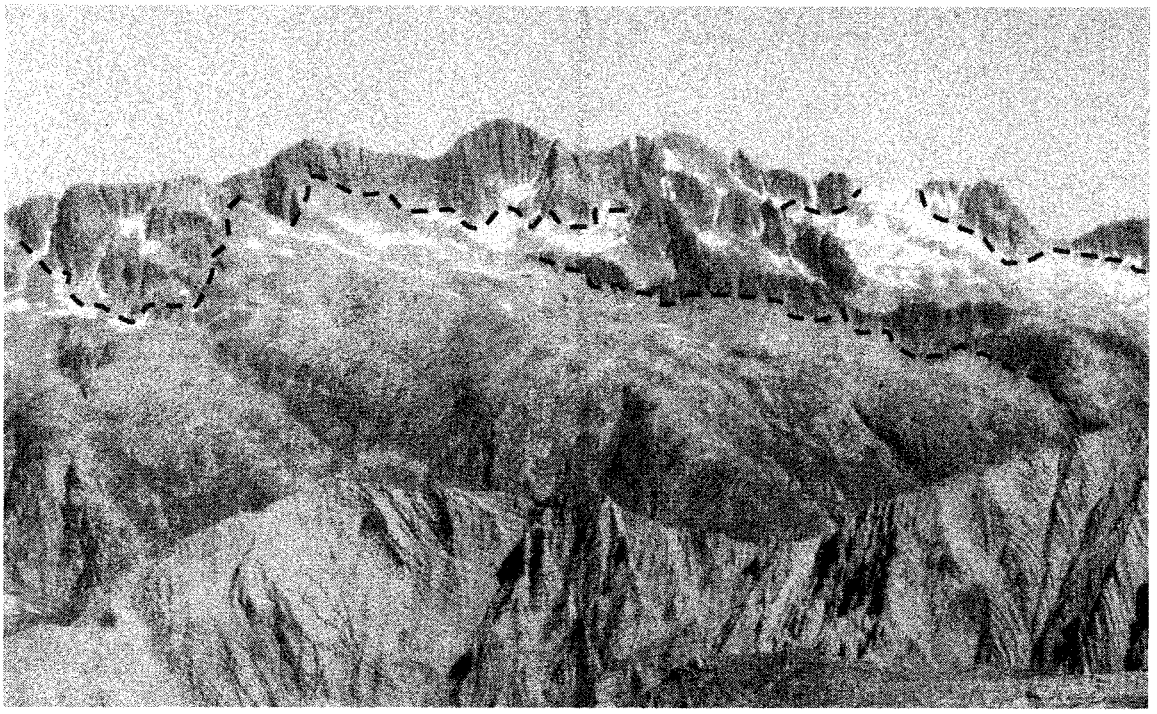

FIG. 14. – Trace du pléniglaciaire dans la haute vallée de l'Eau d'Olle, vue du lac de Balme Rousse (versant ouest des Grandes Rousses).

Par-dessus la crête schisteuse des Aiguillettes de Vaujany apparaît le versant sud du massif du Rocher Blanc. Le lac de Grand'Maison se situe au pied de ce versant, derrière les Aiguillettes de Vaujany. Comme sur la figure 11, la trace du pléniglaciaire (ligne en tiretés) sépare les pentes inférieures, couvertes de roches moutonnées, des zones supérieures, hérissées d'arêtes aiguës, déchiquetées par l'alternance du gel et du dégel. Cette différence d'aspect des roches se traduit également par un changement de couleur : gris clair en-dessous de la trace, gris foncé au-dessus. La trace du pléniglaciaire reflète la position, non seulement du glacier de vallée, mais aussi de ses affluents. Elle ne peut donc être utilisée pour définir le niveau du glacier de vallée que sur les éperons qui descendent des sommets en direction du thalweg principal.

Mais il en va différemment pour la partie sud de la terrasse : la formation morainique qui entoure le chalet du Chazeau n'est pas dominée par des pentes susceptibles de l'avoir alimentée et elle est bien colonisée par la végétation. Il s'agit donc sans doute là de la moraine latérale du glacier würmien de l'Eau d'Olle, ce que confirme son altitude de 1750 m (site E1).

Un peu plus au nord sur le même alpage du Chazeau, sous le Pas du Bessey, s'étend, à l'altitude de 1870 m (site E2), une autre terrasse, absolument horizontale, Elle n'est pas dominée par des pentes qui auraient pu l'alimenter et elle est parfaitement colonisée par la végétation. On peut penser qu'il s'agit là de la moraine rissienne du glacier de l'Eau d'Olle, la différence de niveau de 120 m avec la terrasse sous le refuge du Chazeau (site E1), présumée würmienne, étant bien dans la norme.

Une autre terrasse (site E13) existe d'ailleurs au-dessus de celle du Chazeau, et son altitude de 1835 m la situe bien dans le prolongement de celle, supposée rissienne, du Bessey.

-- De l'autre côté de la vallée, exactement en face du Chazeau, un lambeau de terrain glaciaire – non représenté sur la carte géologique Vizille à 1/50000 – subsiste, à l'altitude de 1850 m, très sensiblement donc au même niveau que la terrasse du Bessey. Il se situe à cheval sur l'arête qui descend du Rissiou vers la cheminée d'équilibre EDF, au-dessus du Collet (site E 3). Son versant est (vallée du Flumet) ne comporte que des éléments de gneiss, alors que son versant ouest (vallée de l'Eau d'Olle) est parsemé de blocs de granite des Sept Laux qui n'ont pu être déposés ici que par le glacier de vallée. Il nous paraît donc probable que ce placage de moraine atteste de la rencontre en ce lieu des glaciers rissiens des deux vallées du Flumet et de l'Eau d'Olle.

-- Le Pas de la Coche (1989 m) présente un ensemble remarquable de sillons rocheux répartis en deux faisceaux superposés s'étageant de 1930 m à 2060 m.

En dessous du Pas de la Coche, le faisceau inférieur comprend 5 gorges principales (1930 à 1970 m), dont la plus élevée abrite le petit lac de la Coche (site E7), accompagnées d'un grand nombre de gorges de petite taille, toutes dirigées à 225°.

Au-dessus du col, les sillons du faisceau supérieur culminent à 2060 m (site AE1) et sont orientés à 250°. Ils traduisent un passage de glace du glacier de Belle Étoile en direction de la vallée de l'Isère.

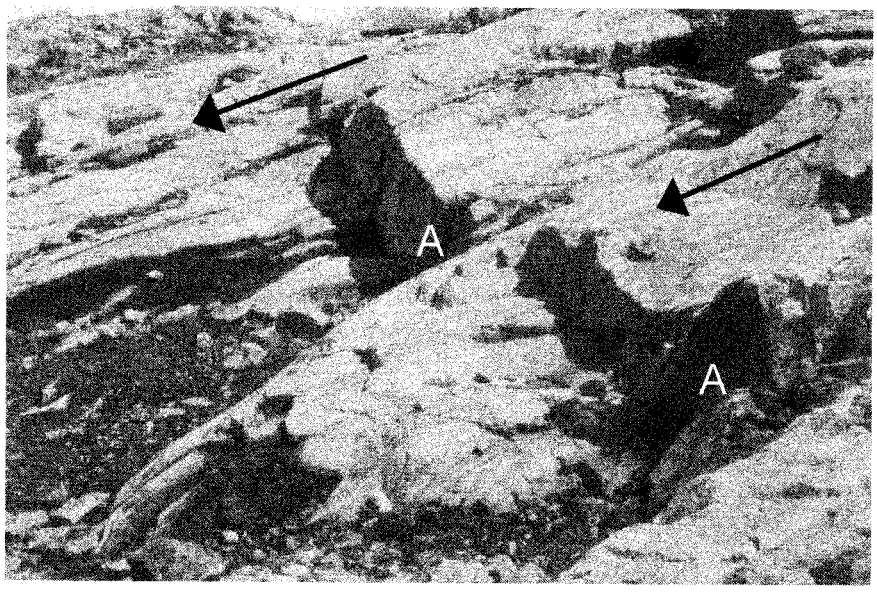

FIG. 15. – Abrupts d'arrachement sur des roches moutonnées près du lac de la Fare (Massif des Grandes Rousses, Isère). Les flèches noires indiquent le sens de progression du glacier, les lettres A la position des abrupts.

-- Le col du Sabot (2100 m) présente, lui aussi, un relief typique de sillons rocheux et vallonnés (site E5). On y rencontre également des roches moutonnées, signature indiscutable du passage d'un glacier. La différence des surfaces et des altitudes des bassins versants de chaque côté du col, ainsi que la pente longitudinale de la moraine des Rochers Motas (site E6), montre que c'est le glacier de l'Eau d'Olle, descendu de la partie nord des Grandes Rousses, qui diffluait par-dessus le col du Sabot.

La présence, au-dessus du col du Sabot de cette crête morainique des Rochers Motas et culminant à 2220 m indique que le glacier atteignait à peu près ce niveau, 50 m au dessus du fond du sillon le plus élevé.

-- Dans les environs immédiats des cols du Glandon et de la Croix de Fer, deux sites présentent des formes particulièrement intéressantes :

• Les stries glaciaires que porte, à 2220 m d'altitude, le contrefort est de la Tête des Cos (site E8). Descendant du sud-ouest vers le nord-est, elles indiquent qu'une partie de la glace qui remplissait la haute vallée de l'Eau d'Olle s'écoulait vers la Maurienne par le col du Glandon (1924 m).

• Les sillons d'orientation 110° qui entaillent le contrefort sud-ouest de l'Ouillon sur le plateau des Chansures (site E9) ainsi que les petits lacs qui les agrémentent, dénotent de même un écoulement de glace vers la Maurienne par le col de la Croix de Fer (2064 m).

Notons que les dépôts glaciaires du col de Bellard (site E10) sont attribués au Würm par la carte géologique Saint-Jean-de Maurienne à 1/50 000.

4.2. Vallées du Drac inférieur et de la Romanche (sites repérés DI et R sur le tableau 2 et les figures 12 et 16)

Nous n'avons pas fait figurer sur le tableau 2 le site des Déserts de Jean-Jacques Rousseau et de l'Écureuil, près de Grenoble. Bien que particulièrement remarquable, il a, en effet, été affecté par de gigantesques tassements de versant post-würmiens qui rendent impossible la détermination de l'altitude des sillons supérieurs.

Le site du Chatelard, en amont de Séchilienne, comprend une quinzaine de sillons rocheux, étagés de 1000 m (Petit Rouchon) à 1350 m (Rocher de Richagnier), témoins de la difficulté qu'éprouvait le glacier à se frayer un chemin par l'étroiture des Portes de l'Oisans [Monjuvent, 1978]. Ces petits canyons présentent tous une orientation voisine de 260°, qui est également celle d'une famille de failles qui affectent la rive droite de la Romanche à cet endroit (fig. 4).

La Haute Romanche offre peu de sites caractéristiques : du barrage de Saint Guillerme au Lautaret les gigantesques chutes de séracs du versant ouest de la Meije ont oblitéré toute trace du glacier de vallée. Mais, plus en amont, le versant est du Bec de l'Homme (groupe de la Meije) présente un magnifique ensemble de roches moutonnées couvrant la Croupe jusqu'à l'altitude de 2600 m (site R4 et fig. 11). Le flux de glace responsable de ce polissage provenait en majeure partie du massif de la Grande Ruine, par l'intermédiaire des glaciers du Clot des Cavales et de la Plate des Agneaux (Sources de la Romanche) (fig. 26).

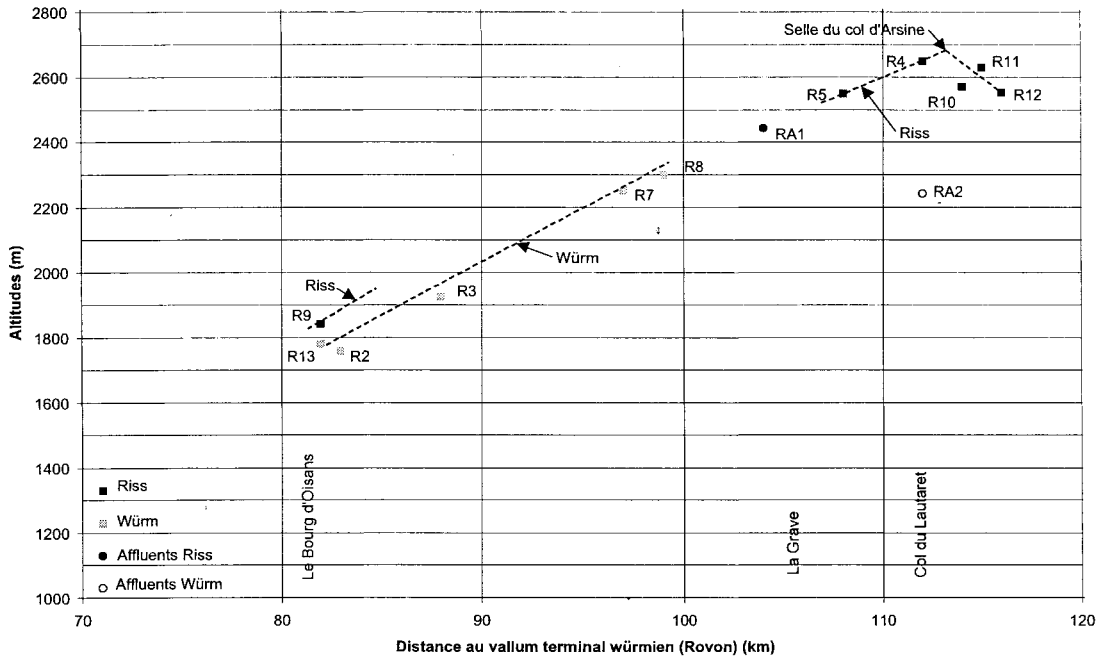

FIG. 16. – Sites caractéristiques de la vallée de la Romanche.

Ce graphique reprend les sites caractéristiques figurant sur la figure 12, mais se limite à la partie amont des vallées. Comme sur la figure 12, les points caractéristiques sont extraits du tableau 2, l'origine des distances se situe au vallum terminal würmien de Rovon, 40 km en val de Grenoble et les altitudes ont été majorées de 100 m pour les sites de sillons rocheux et 50 m pour les roches moutonnées et les sillons vallonnés.

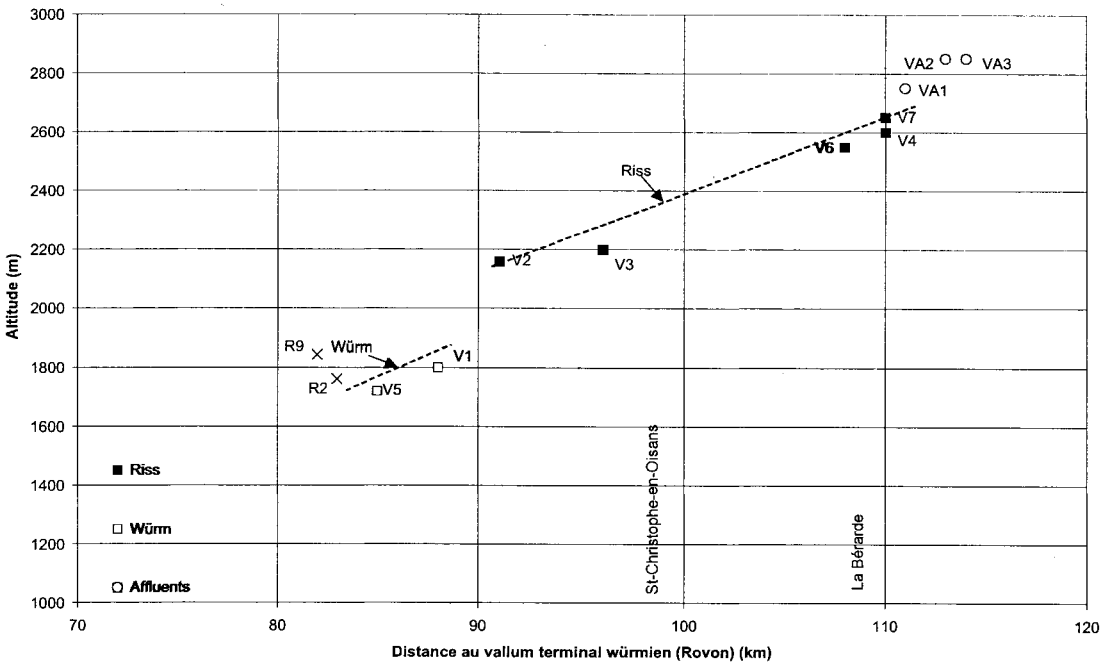

FIG. 17. – Sites caractéristiques de la vallée du Vénéon.

Ce graphique reprend les sites caractéristiques figurant sur la figure 12. Comme sur la figure 12, les altitudes ont été majorées de 100 m pour les sites de sillons rocheux et 50 m pour les roches moutonnées et les sites de sillons vallonnés.

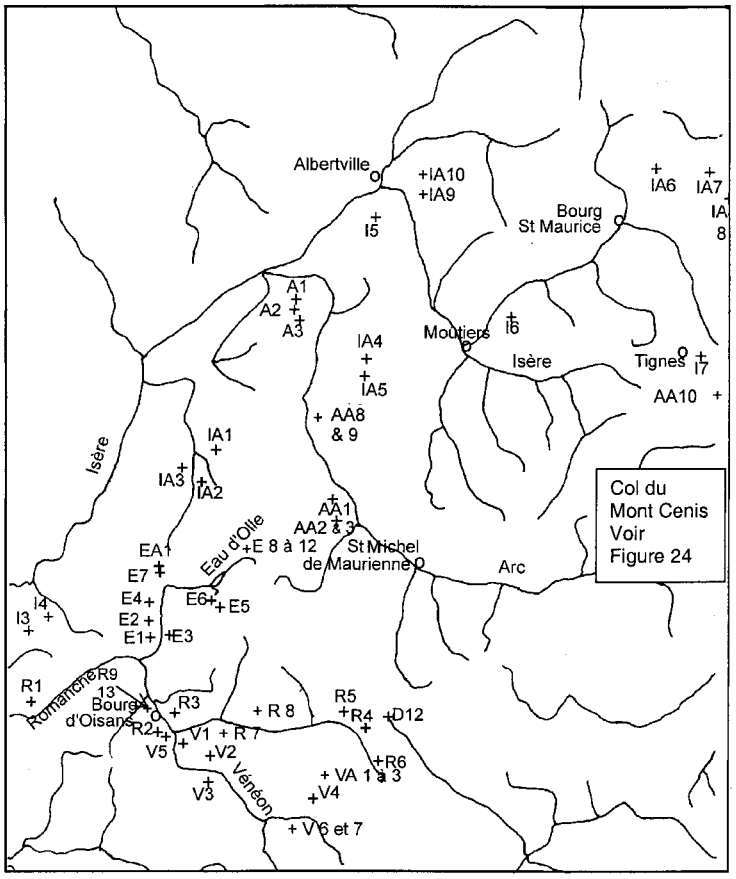

FIG. 18. – Vallées de la Romanche, de l'Isère, de l'Arc et de leurs affluents. Localisation des sites caractéristiques

Un peu plus en amont, le glacier d'Arsine partageait ses glaces entre le versant Guisane, par le vallon du Petit Tabuc et le versant Romanche, par le col d'Arsine. Il existait donc, dans les parages du col d'Arsine, une selle assez plate, culminant aux environs de 2650 m, d'où émanait, en direction de la Romanche, un flot de glace au débit limité ainsi que le montre l'importance du gradin de confluence du Plan de l'Alpe.

Cette altitude, à 120 km du vallum terminal, est identique à celle, également de 2650 m, atteinte par le glacier suisse du Rhône au-dessus du col du Grimsel, à 300 km environ de son extrémité [Florineth et Schlüchter, 1998]. Outre le rôle joué par l'étalement en patte d'ours du glacier du Rhône dans les plaines molassiques, déjà évoqué plus haut, on voit ici apparaître l'influence de la largeur des vallées, beaucoup plus étroites dans le cas du glacier de la Romanche que dans celui de son homologue suisse.

4.3. Vallées du Vénéon et de ses affluents (sites repérés V et VA sur le tableau 2 et les figures 12 et 17)

La vallée du Vénéon présente plusieurs sites caractéristiques. Mention particulière doit être faite de celui que l'on peut visiter au col 2058 – non nommé sur la carte à 1/25 000 – à la base du versant est de Pied Moutet (site V2 et figure 5). Il s'agit là d'un véritable musée de formes glaciaires :

- vieilles roches moutonnées, très abîmées,
- stries glaciaires,
- sillons rocheux, le plus haut cotant 2060 m,
- blocs erratiques de granite à la cote 2080 (alors que Pied Moutet est formé de gneiss).

Entre les fonds des sillons de La Chalp (site V1) et ceux des gorges du col sous Pied Moutet (site V2), la dénivellation est de 300 m pour 3 km de distance. Si ces deux sites dataient de la même glaciation, la pente du glacier aurait été de 10%, dans une vallée de largeur 2,5 km. Cette valeur de la pente est très supérieure à celles que l'on peut lire sur la figure 1. Le site du col sous Pied Moutet date donc certainement du Riss (de même, vu sa position sur la figure 16, que le site R 9).

4.4. Conclusions communes aux vallées de l'Eau d'Olle, du Drac inférieur, de la Romanche et du Vénéon

Les figures 12, 13, 16, 17 regroupent l'ensemble des sites concernant ces vallées. La figure 12 couvre l'intégralité des vallées depuis le vallum frontal. Outre les sites caractéristiques, on y a porté les courbes de surface des pléniglaciaires würmien et rissien calculées à l'aide de la formule.

Les figures 13, 16, 17 reprennent les mêmes sites mais se limitent aux portions des vallées situées en amont du Bourg d'Oisans. L'échelle plus grande permet alors de tracer les lignes présumées de surface des pléniglaciaires obtenues par application des règles indiquées au paragraphe 4. On n'a pas fait figurer les courbes calculées des surfaces pléniglaciaires würmienne et rissienne, car elles sont dénuées de signification dans ces vallées étroites.

Ces graphiques appellent les commentaires suivants :

- La surface des glaciers s'élevait plus vite que ne l'indique la formule, mais les pentes - de l'ordre de 3 % maximum – sont parfaitement compatibles avec la figure 1.
- Les glaciers du Vénéon et de la Romanche présentaient sensiblement le même profil, ce qui est logique car les vallées ont des caractéristiques analogues.
- Enfin on notera qu'un point caractéristique se place tout à fait en dehors des courbes : la grotte Vallier

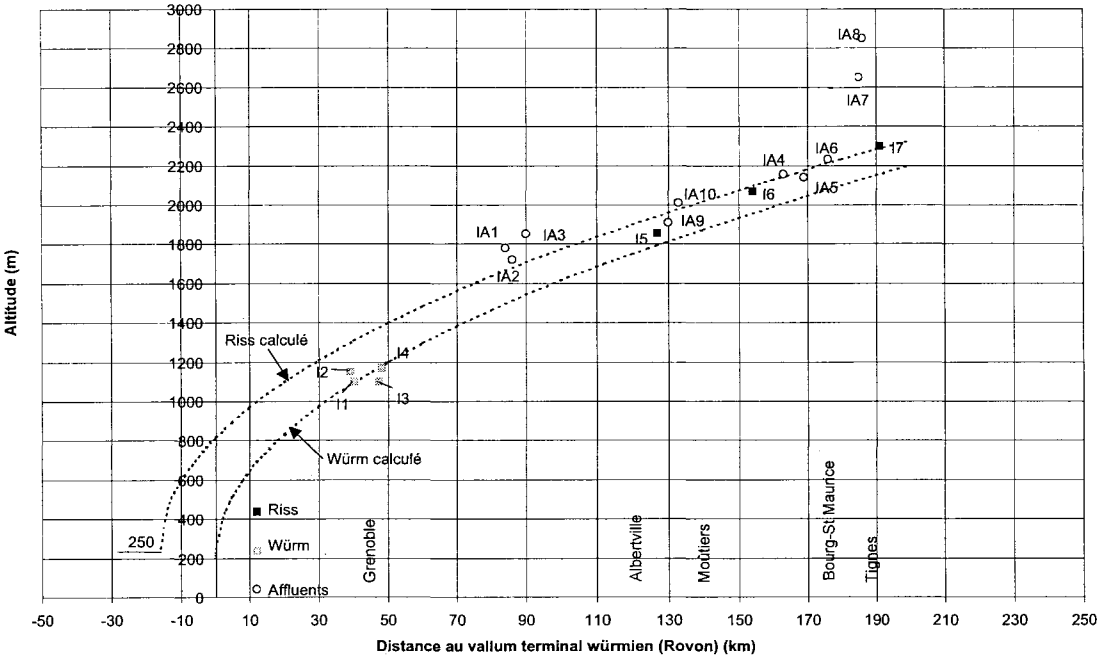

FIG. 19. – Sites caractéristiques de la vallée de l'Isère.

L'origine des distances se situe au vallum terminal würmien, 40 km en aval de Grenoble. Le vallum terminal rissien se trouve 56 km en aval de Grenoble. Les points caractéristiques sont extraits du tableau 2. Les altitudes ont été majorées de 100 m pour les sites de sillons rocheux et de 50 m pour les roches moutonnées et les sites de sillons vallonnés. Les courbes de surface des glaciers würmien et rissien ont été calculées à l'aide de la formule de Nye-Lliboutry.

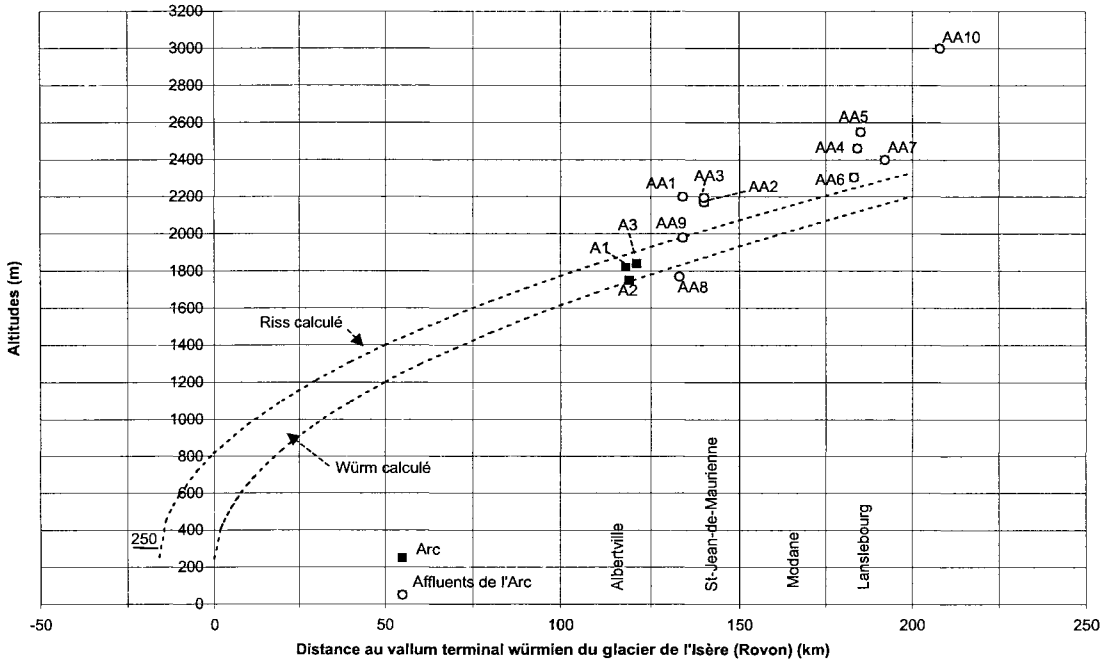

FIG. 20. – Sites caractéristiques de la vallée de l'Arc.

L'origine des distances se situe au vallum terminal würmien du glacier de l'Isère, 40 km en aval de Grenoble. Le vallum terminal rissien se trouve 56 km en aval de Grenoble. Les points caractéristiques sont extraits du tableau 2. Les altitudes ont été majorées de 100 m pour les sites de sillons rocheux et de 50 m pour les roches moutonnées et les sites de sillons vallonnés. Les courbes de surface des glaciers würmien et rissien ont été calculées à l'aide de la formule de Nye-Lliboutry.

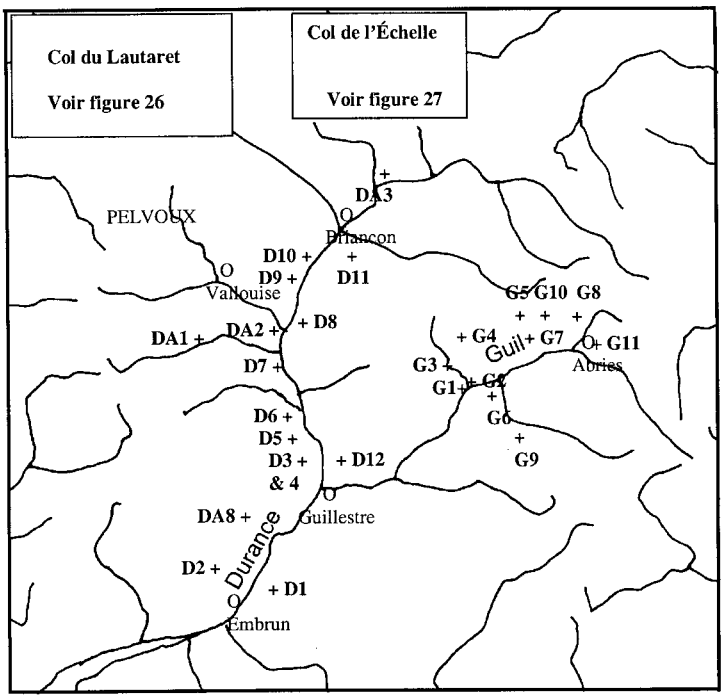

Fig. 21. – Vallées de la Durance et du Guil. Localisation des sites caractéristiques.

4.5. Le glacier würmien du Champsaur (sites repérés DS sur le tableau 2 et la figure 15)

Pendant le Würm, le glacier du Drac, grossi par la diffluence durancienne qui franchissait le seuil Bayard, a déposé son vallum frontal à Saint Eusèbe, à 1020 m d'altitude [Monjuvent, 1978].

La surface pléniglaciaire calculée par la formule à partir de ce vallum terminal se raccorde bien à celle de la selle glaciaire du col Bayard telle que nous l'avons déterminée (voir ci-dessous § 4.8.1) : 1500 m d'altitude au stade durancien du Grand Bois.

De nombreux dépôts glaciaires (enduits morainiques ou moraines elles-mêmes) ont été conservés sur les deux rives du Drac, entre ce vallum et la confluence du Drac Blanc et du Drac Noir ; leur situation fournit une confirmation correcte de la validité de la formule, tant que la largeur de la vallée reste supérieure à 4 km, c'est-à-dire en aval de Pont du Fossé.

(site D1). Cette grotte, qui s'ouvre à 1520 m d'altitude sur le versant est du Moucherotte (Vercors) a été empruntée, lors d'un épisode glaciaire très ancien, par les eaux de fonte latérales du glacier de Isère qui y ont déposé un matériel cristallin allochtone [Audra, 1991].

Les datations effectuées par paléomagnétisme sur les sédiments formant le plancher de la grotte ont fourni un âge supérieur à 780 000 ans, date de l'inversion BRUNHES-MATUYAMA [Audra et Rochette, 1993]. La dernière phase de creusement de la grotte date donc d'un épisode froid du pléistocène ancien ou du pliocène supérieur. Mais sur une durée aussi longue, l'hypothèse de mouvements orogéniques n'est pas à exclure.

On peut remarquer toutefois que les eaux n'ont pas envahi la grotte pendant le Mindel car, dans le cas contraire, les sédiments constituant le plancher auraient été emportés. L'orifice de la grotte Vallier se trouvait donc, au pléniglaciaire mindelien (antérieur à 400 000 ans), à une altitude supérieure ou égale à 1380 m, cote atteinte alors par le glacier de l'Isère à cet endroit [Monjuvent, 1978]. Le soulèvement de cette partie du Vercors a donc été inférieur ou égal à 140 m en un laps de temps supérieur ou égal à 400 000 ans soit une vitesse moyenne d'élévation inférieure ou égale à 0,35 mm par an.

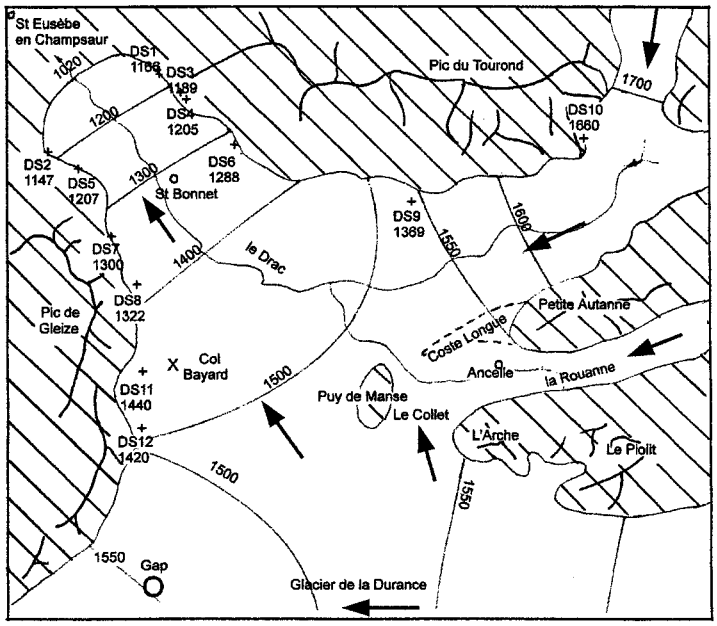

FIG. 22. – Le glacier würmien du Champsaur (au stade durancien du Grand Bois).

Franchissant le Seuil Bayard, une diffluence du glacier de la Durance, venait rejoindre celui du Drac. Les deux appareils déposaient une moraine frontale commune à Saint Eusèbe (fond d'auge 1020 m).

Rive droite de la Rouanne, la moraine de Coste longue, représentée en tiretés, a été déposée lors d'un stade de retrait, après cessation de la diffluence durancienne.

Les flèches indiquent le mouvement des glaces. Les flèches DS renvoient au tableau 2.

Ces dépôts (fig. 22) se situent tous en effet à quelques dizaines de mètres sous la surface calculée, soit que leurs sommets aient été érodés, soit que le stade du Grand Bois n'ait pas duré assez longtemps pour marquer durablement le paysage. Ils appartiendraient alors au stade du Poët.

La diffluence durancienne passant à l'est du Puy de Manse par le Collet (1425 m), emportait au passage, avant de rejoindre le glacier du Drac, le petit appareil local de la Rouanne. À la jonction des trois glaciers, le bassin d'Ancelle était rempli de glace jusqu'à une cote que le calcul permet d'estimer à 1550 m (Grand Bois) ou 1500 m (Poët). Selon ce schéma, la belle moraine de Coste Longue, rive gauche du Drac, qui s'élève à 1421 m, aurait donc été déposée au cataglaciaire, après cessation de la diffluence durancienne. Le calcul de la surface du glacier, effectué pour différentes positions de son front lors du cataglaciaire, montre en effet que la moraine de Coste Longue s'est déposée sensiblement au moment où la glace cessait de franchir le Collet (les altitudes de ces deux points sont d'ailleurs les mêmes). L'extrémité du glacier se situait alors vers Saint-Laurent-du-Cros, 18 km en amont du vallum frontal de Saint Eusèbe.

4.6. Le glacier rissien du bassin du Drac (Trièves, Champsaur et vallées adjacentes) (sites repérés BD sur le tableau 2 et la figure 23)

En dépit du nombre réduit de sites que nous avons pu y trouver, le Trièves constitue une région particulièrement intéressante pour deux raisons :

- C'est un des rares domaines où les vestiges glaciaires peuvent être, en toute certitude, attribués au Riss. En effet on sait [Monjuvent, 1978] qu'au pléniglaciaire de cette glaciation, une diffluence du glacier durancien empruntait le col Bayard. Renforcée plus en aval par les apports des appareils issus du sud du massif du Pelvoux – Drac, Séveraisse, Bonne, Malsanne – elle rejoignait le glacier de l'Isère à Grenoble. Au Würm, par contre, le Trièves était libre de glaces et occupé par un lac dans la surface s'établissait à 750 m environ.
- Il est donc possible d'apprécier dans quelle mesure des formes héritées du Riss ont pu subsister jusqu'à nos jours.

Entre les niveaux du pléniglaciaire rissien de 1650 m environ au seuil Bayard (cf. § 4.8.2) et 1310 m au-dessus de la cuvette grenobloise [Monjuvent, 1978], les sites que nous avons pu observer dans le Trièves et les vallées adjacentes nous ont permis de tracer un schéma de circulation des glaces dans cette région (fig. 23).

Les pentes de la surface sont partout bien inférieures à celles que fournirait la formule, appliquée à un glacier dont le vallum terminal se situait dans la vallée de l'Isère à 56 km en aval de Grenoble, à l'altitude de 250 mètres [Monjuvent, 1978] et ce, en dépit de la grande largeur de la vallée.

Il ne faut pas s'en étonner car la surface d'un glacier n'obéit à la formule que si sa langue terminale est libre de fixer sa position et son altitude, ce qui est le cas d'un appareil venant mourir dans une vallée. S'il rejoint un autre glacier qui lui impose son altitude terminale(1), la formule ne s'applique pas.

Ici les altitudes étaient fixées par le glacier de la Durance (1650 m au col Bayard) et celui de l'Isère (1310 m sur Grenoble). Entre ces deux points la pente

(1) ou encore, comme c'est le cas pour certains glaciers himalayens, s'il est retenu par une très haute moraine frontale.

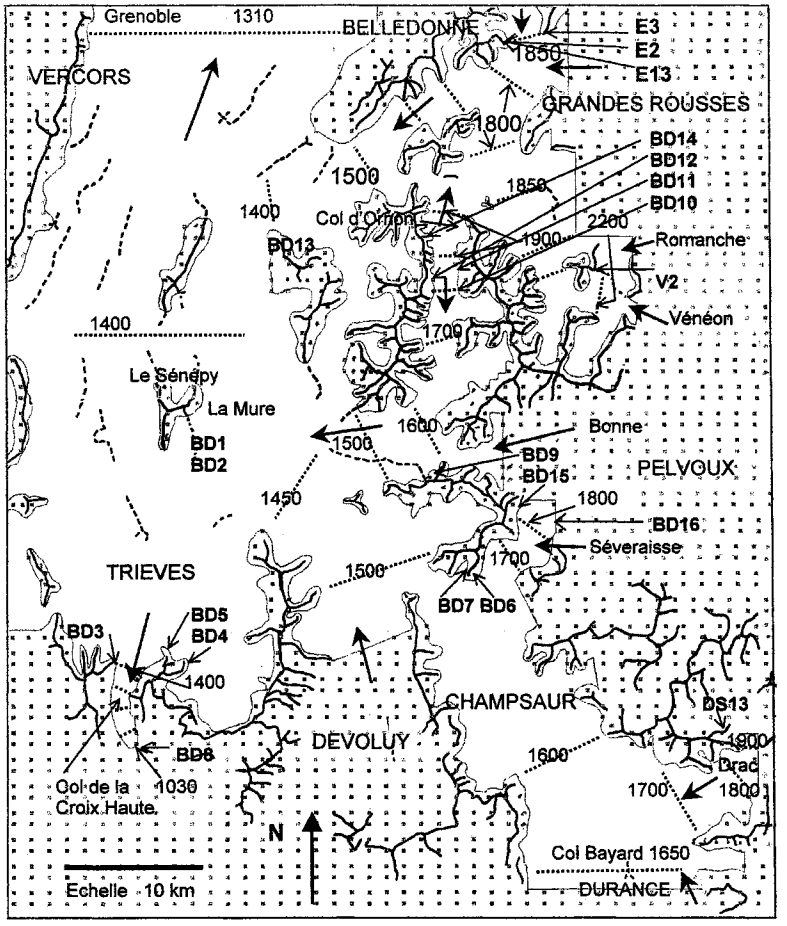

FIG. 23. – Le glacier rissien du bassin du Drac.

Les flèches indiquent le sens de progression des glaces et les pointillés fins les courbes de niveau de la surface du glacier. Les tiretés en gras repésentent les lignes du relief masquées par la glace. Les repères BD, E, V ... renvoient aux sites du tableau 2.

moyenne de 0,4 % suffisait, dans une vallée de grande largeur (8 à 16 km) à évacuer le flot de glace relativement réduit provenant de la diffluence durancienne grossie des affluents peu importants du sud du massif du Pelvoux.

Quant à la maigre diffluence qui empruntait, au-delà du col de la Croix-Haute, la vallée du Buëch et qui venait mourir 4,5 km plus loin au hameau des Mièlons [Monjuvent, 1978], elle n'affectait que très faiblement le mouvement des glaces dans le Trièves.

En ce qui concerne la vallée de la Malsanne, au sud du col d'Ornon, nous disposons des quatre sites suivants :

- Les Prairies de l'Alpe (site BD 10, altitude 1850 m), dépôts glaciaires rissiens figurant sur la carte géologique La Mure, sur une arête où ils n'ont pu être abandonnés que par le glacier de vallée.
- Le site de La Montagne (site BD 11, altitude 1800 m), qui indique une surface de glacier voisine de 1900 m.
- La moraine de Plancol (site BD 12, altitude 1920 m) donnée comme post-würmienne par la carte géologique La Mure, mais que sa colonisation parfaite par la végétation nous incite à dater plutôt du Riss. La forme rectiligne de cette moraine, située au col même, plaide pour une formation commune aux deux glaciers qui s'y affrontaient : celui du Grand Armet, en route vers la Roizonne et le Drac et celui de la Malsanne.
- Le rebord d'auge situé sous les Mayes (rive gauche de la Lignarre, site BD 14, altitude 1820, soit une surface de glacier proche de 1920 m).

La prise en considération de ces quatre sites fournit une altitude de surface des glaciers voisine de 1900 m dans les parages du col d'Ornon. Rapproché de la valeur 1850 m au-dessus du Bourg d'Oisans, ce chiffre permet de penser que le glacier ouest du Rochail jouait ici un rôle prépondérant et que, parvenu dans la vallée de la Malsanne, il envoyait une partie de ses glaces rejoindre, par le Valbonnais, le glacier du Drac alors qu'une autre partie diffluait, par le col d'Ornon, vers la Romanche.

Au cataglaciaire, par contre, la faible altitude du Rochail ne devait pas permettre le maintien de cette situation et le col d'Ornon devait laisser passer une diffluence dans le sens nord-sud, de même que durant le Würm [Monjuvent 1978]. À l'appui de cette valse-hésitation des glaces on notera que le profil en long des vallées, supposées débarrassées de leur remplissage post-würmien, montre une pente sensiblement égale des deux versants du col d'Ornon et non un profil classique dissymétrique de diffluence.

4.7. Vallées de l'Isère, de l'Arc et de leurs affluents (sites repérés I, IA, A et AA sur le tableau 2 et les figures 19 et 20)

Sans prétendre être exhaustif, nous avons fait figurer sur la figure 19 quelques sites caractéristiques, des Seiglières à Tignes. On voit – le fait est bien connu [Monjuvent, 1973] – que les points proches de Grenoble se placent correctement par rapport à la surface calculée du glacier würmien.

Plus en amont dans la vallée de l'Isère, les points représentatifs des sites se placent au-dessus de la courbe calculée, mais l'écart reste faible, bien inférieur à celui constaté dans les vallées de la Romanche et de ses affluents, de largeur plus faible. Il en est de même dans le cas de l'Arc moyen.

Au-dessus de Ste Foy Tarentaise, rive droite de l'Isère, la trace du pléniglaciaire est particulièrement bien visible dans les vallons du Petit et du Grand (sites IA7 et IA8). Elle s'élève rapidement lorsque l'on remonte ces vallons pour atteindre 2800 m environ à 9 km du thalweg de l'Isère. Il est intéressant de remarquer que, plus en amont encore, cette trace se raccorde, vers 3100 m d'altitude, à la surface du glacier actuel du Grand, diffluence émise par l'appareil du Ruitor par-dessus l'arête frontière.

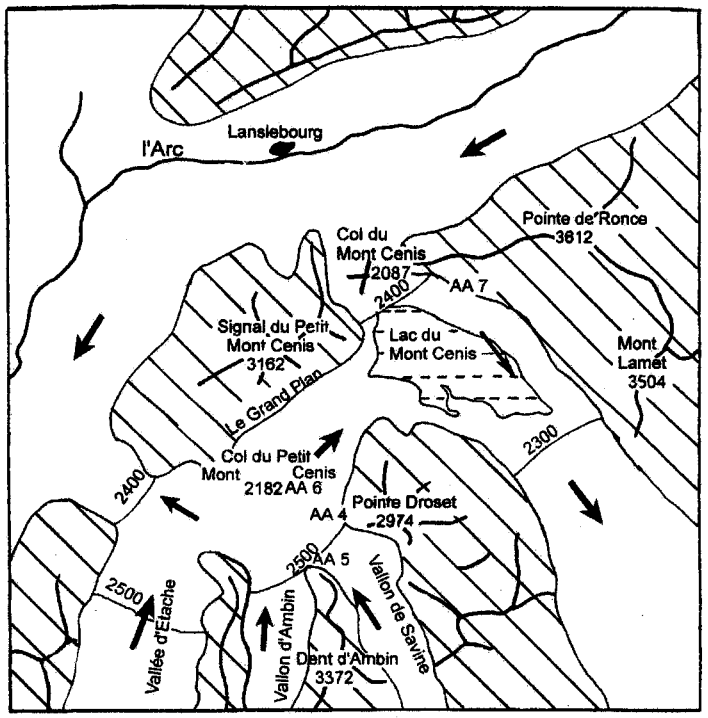

FIG. 24. – Schéma de circulation des glaces dans la région du Mont Cenis.

Une diffluence du glacier de l'Arc s'écoulait vers l'Italie par le col du Mont Cenis. Elle était rejointe par une diffluence du glacier de Savine qui empruntait le col du Petit Mont Cenis. Les flèches indiquent le mouvement des glaces. Les altitudes de la surface des glaciers ne sont qu'approximatives. Les glaciers sont représentés en blanc, le relief émergé est hachuré.

Dans la vallée de l'Arc, les sites les plus remarquables sont ceux de la chaîne des Hurtières (site A1), où plus de 30 sillons, ainsi que quelques lacs ou marais, s'étagent de 345 m d'altitude (Aiguebelle), à 1720 m (Col du Champet) sur une distance de 11 km, témoins de l'importante diffluence du glacier de l'Arc vers celui de l'Isère (fig. 10). L'examen de la figure 20 laisse à penser que les formes supérieures de ce site, de même que celles, voisines, du Petit Rognier (site A 3), sont rissiennes, alors que celles de la Pointe de Rognier (site A2), ont du être empruntées durant la dernière glaciation.

Le Col de la Madeleine (site IA5) constitue un cas particulier remarquable. La distance du col au vallum frontal du glacier de l'Isère est de 138 km le long de la vallée de l'Arc, versant sud du col et de 169 km en suivant le versant nord et la vallée de l'Isère ; la largeur des vallées au niveau supérieur des glaces étant du même ordre de grandeur, il est probable que celles-ci s'élevaient plus haut au nord qu'au sud du col. Celui-ci était alors emprunté, en direction de la vallée de l'Arc, par une diffluence alimentée par les glaciers du Grand Pic de la Lauzière et du versant nord du Cheval Noir.

Dans la haute vallée de l'Arc, les environs du col du Mont Cenis étaient le siège de mouvements de glace résumés par la figure 24, qui prend en compte les altitudes et les orientations des sites AA 4 à AA 7 (en particulier direction 215° pour les stries AA 6), ainsi que d'autres formes visibles sur le terrain (en particulier le rebord d'auge du Grand Plan, sous le Signal du Petit Mont Cenis).

L'examen des pentes de chaque côté des deux cols du Mont Cenis et du Petit Mont Cenis vient corroborer ce schéma :

- Dans le cas du col du Mont Cenis, c'est le versant est qui présente une pente douce, signe que l'écoulement des glaces se faisait vers l'Italie
- Pour le col du Petit Mont Cenis, c'est le versant nord-est, preuve que les glaces descendaient vers le lac du Mont Cenis.

Enfin les roches moutonnées spectaculaires du Pays Désert (Bonneval-sur-Arc) nous indiquent une altitude du glacier voisine de 3000 m. Comme dans le cas de l'Isère, on peut voir que celui-ci se raccordait, aux environs de 3100 m, aux glaciers actuels (Grand Pissaillas).

4.8. Vallées de la Durance et de ses affluents (sites repérés D et DA sur le tableau 2 et la figure 26

4.8.1. Le glacier würmien de la Durance

On sait [Gidon *et al*, 1991] qu'il ne reste aucune trace du vallum frontal würmien dans le lit de la Durance mais que, au maximum glaciaire (stade du Grand-Bois), celui-ci devait se situer quelques kilomètres au nord de Sisteron (altitude estimée du fond d'auge 570 m). Un stationnement prolongé un peu plus en amont nous a légué le beau vallum frontal du Poët.

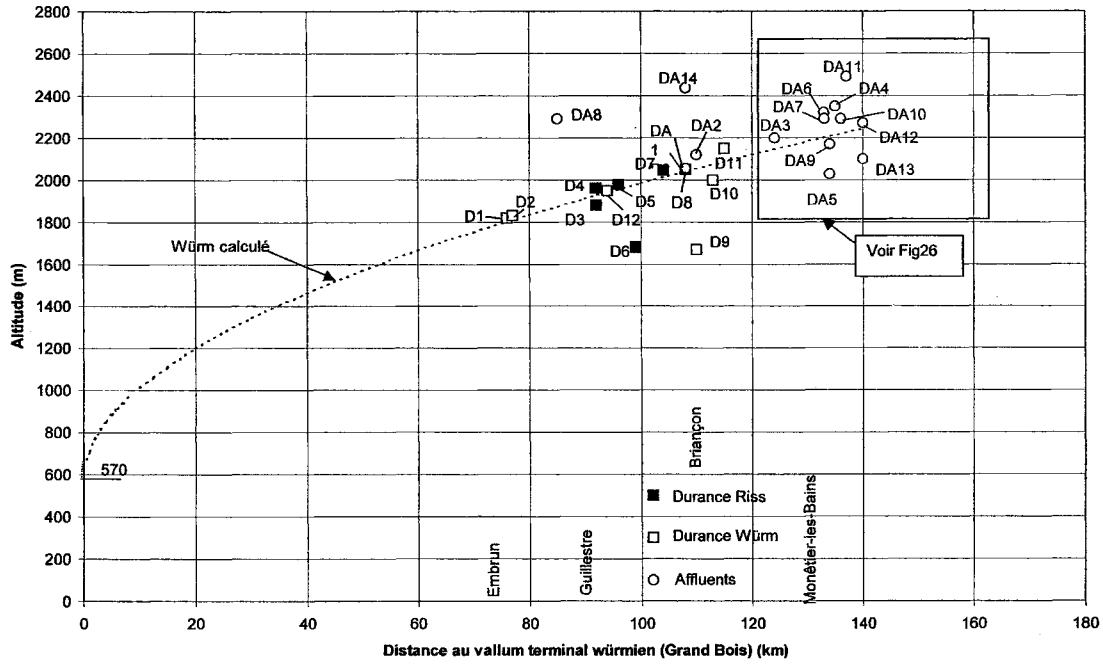

FIG. 25. – Sites caractéristiques des vallées de La Durance et de ses affluents.

L'origine des distances se situe à 7 km en amont de Sisteron, à l'altitude 570 m. Les points caractéristiques sont extraits du tableau 2. Les altitudes des sites de sillons rocheux ont été majorées de 100 m, celle des roches moutonnées et des sites de sillons vallonnés de 50 m. La courbe de surface du glacier würmien a été calculée à l'aide de la formule de Nye-Lliboutry.

La largeur de la vallée en amont de Sisteron –10 km, avec seulement deux rétrécissements à 3 et 4 km– permet d'appliquer la formule. Celle-ci montre qu'à Gap, les glaces atteignaient 1450 m au stade du Grand Bois et 1400 m à celui du Poët. Au nord de cette ville la diffluence du glacier au-dessus du col Bayard se traduisait par l'existence d'une selle glaciaire vers 1500 m d'altitude au stade du Grand Bois et 1450 m à celui du Poët. L'examen des moraines dans les environs de Gap confirme plutôt cette altitude de 1450 m [Gidon et Monjuvent, 1969].

On peut par ailleurs remarquer que le glacier würmien n'est jamais passé par le col de Moissière (1571 m) où subsistent des dépôts glaciaires rissiens.

Une autre branche du glacier empruntait la vallée de la Durance par Serre-Ponçon, trajet plus court de 7 km que celui passant par Gap. Ici la vallée est plus étroite (1,5 à 2 km) et les effets de paroi se faisaient sentir, majorant la pente de surface du glacier. Nous utiliserons donc, pour appliquer la formule, les distances mesurées en suivant le sillon de Gap, ainsi que nous y autorisent d'ailleurs les vérifications que l'on peut effectuer quelque peu en amont.

En effet, rive droite de la Durance, au-dessus d'Embrun, une petite moraine latérale porte la cabane forestière de Pré Clos à l'altitude de 1830 m (site D2), soit exactement la cote que donnerait la formule appliquée à un glacier ayant sa langue terminale au Grand Bois, à 7 km en amont de Sisteron, les distances étant mesurées le long du sillon de Gap.

Une autre confirmation de la validité de l'application de la formule est fournie par l'existence, sur la rive opposée de la Durance, d'une moraine latérale à l'entrée de la vallée de Crévoux, dans la forêt du Méale (site D1). Comme celle de Pré Clos, elle est située dans un site protégé et son altitude est, à 10 m près, celle prévue par la formule (1820 m).

La figure 25 regroupe les différents points caractéristiques de la vallée de la Durance. On voit que, jusqu'au lac des Serres (site D8), les points se placent convenablement par rapport à la courbe déduite de la formule – la vallée présente en effet partout une largeur suffisante – et que les vallonnements du col des Combes (site D6), se sont formés lors d'un stade de retrait. Plus en amont, les dépôts du Mélèzin (site D11) se situent au-dessus de l'altitude calculée, sans doute à cause d'une zone à effet de paroi vraisemblable à Saint-Martin-de-Queyrières où la largeur de la vallée s'abaisse à 2,5 km.

À Briançon, l'altitude du glacier würmien devait être égale ou légèrement supérieure à 2150 m.

4.8.2. Le glacier rissien de la Durance

Il ne reste plus trace du vallum frontal du glacier rissien dans la vallée même de la Durance, et, en l'absence de crêtes morainiques bien marquées, il n'est pas possible de connaître de façon certaine le niveau de ce glacier. Une détermination approchée est cependant possible, grâce à quelques dépôts glaciaires qui subsistent :

- au col de Moissière, près du col Bayard (altitude maximum des dépôts 1750 m),
- à Jubi, sur le versant sud de la montagne de Saint-Genis, à 800 m d'altitude,
- au-dessus du col de Faye (versant nord de la même montagne), à 1030 m,
- à Clamensane (près de la Motte-du-Caire), à 830 m [Gidon *et al.* 1991].

Les vallées sont partout assez larges pour que l'on puisse utiliser la formule, mais l'altitude exacte du fond d'auge au vallum frontal est inconnue. Il est cependant possible de tenter un essai de reconstitution de la surface glaciaire compatible avec la situation de ces quatre dépôts et avec ce que nous connaissons de l'avancée maximum du glacier dans les vallées affluentes.

La solution qui nous semble la plus vraisemblable est la suivante : la moraine frontale du glacier de vallée devait se situer entre le confluent Bléone-Durance et Château-Arnoux, à une altitude de 500 à 550 m. La formule donne alors pour cote de surface du glacier rissien à Gap 1650 m, soit 200 m au-dessus de celle du

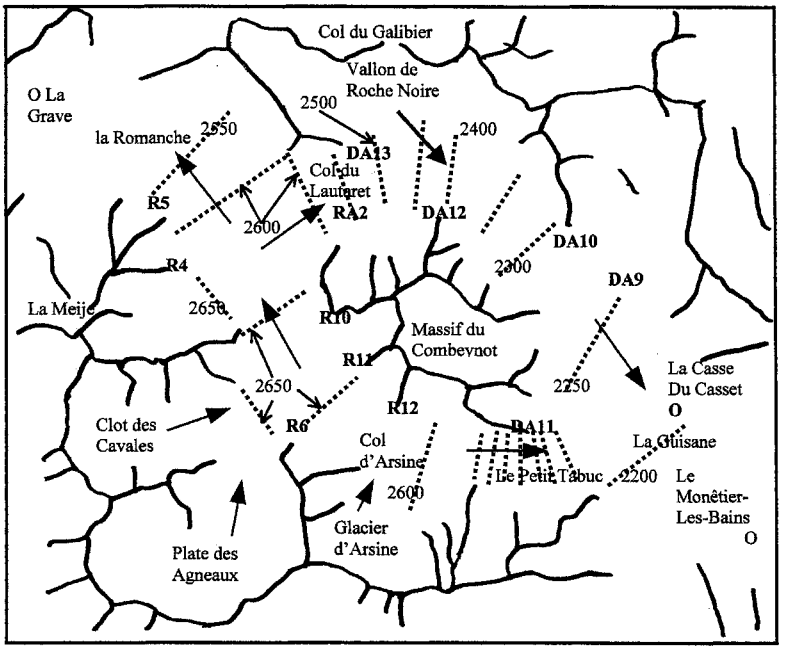

FIG. 26. – Schéma de circulation des glaces dans les environs du col du Lautaret.
Les flèches indiquent le sens de progression des glaciers et les pointillés les courbes de niveau de la surface de la glace.

glacier würmien, chiffre plausible compte tenu de la relative proximité du vallum frontal.

4.8.3. Les affluents de la Durance

En amont de Briançon, il devient difficile de déterminer quelle est la glaciation responsable des formes rencontrées : les vallées deviennent trop étroites pour que la formule puisse s'appliquer et les moraines susceptibles d'être datées font défaut. Notons toutefois que, à plus de 100 km des fronts glaciaires, les altitudes des surfaces des glaciers rissien et würmien devaient, ainsi que nous l'avons dit ci-dessus, être assez peu différentes.

4.8.3.1. Vallée de la Guisane

Les sites que nous avons pu identifier dans cette vallée et dans son affluent le Petit Tabuc, joints à ceux de la Haute Romanche, nous permettent de penser que la selle glaciaire du col d'Arsine émettait, ainsi que nous l'avons dit plus haut, deux flots de glace (fig. 26) :

- L'un d'eux rejoignait la vallée de la Guisane par le Petit Tabuc.
- Le second, qui suivait le cours de la Romanche, envoyait lui-même, par le Lautaret, une diffluence en direction de la Guisane.

La différence des altitudes des sites sur les deux versants du Lautaret laisse à penser qu'au Riss ainsi qu'au début du Würm, l'altitude du col était nettement supérieure à sa valeur actuelle.

Lors de la dernière décrue glaciaire la diffluence du Lautaret, qui n'intéressait que la partie supérieure du glacier de la Romanche, a logiquement pris fin assez rapidement, alors que les glaciers de vallée étaient encore assez actifs. Ceci permet d'expliquer deux particularités du relief local :

- Le faisceau de sillons vallonnés de la rive droite du vallon de Roche Noire, au-dessus de la galerie de la Marionnaise (site DA13 et figure 8). La fin de la diffluence du Lautaret, marquée par le façonnement du vallon du col à 2057 m a permis l'établissement de ces sillons de la Marionnaise, situés à la même altitude, par un processus un peu semblable à celui qui a créé la moraine de Coste Longue, après que la diffluence de l'appareil durancien par le Collet ait pris fin (§ 4.5).
- la position, **en rive gauche de la Guisane**, de la Casse du Casset, formée de blocs de granite du Pelvoux sans matrice [carte géologique Briançon à 1/50000]. L'absence de matrice laisse à penser qu'il s'agit là d'un éboulement d'une des rives du glacier du Petit Tabuc, transporté sans modification granulométrique jusqu'au front de ce glacier qui, après disparition de la diffluence du Lautaret, venait mourir contre la rive gauche de la Guisane.

On voit enfin qu'au pléniglaciaire ce glacier du Petit Tabuc se raccordait à celui de la Guisane par une chute de séracs haute de 300 mètres environ entre les sites des Planes du Dégoulou (D10) et Sous la Latte (D14).

4.8.3.2. Vallées de la Clarée et Vallée Étroite

Dans les environs du col de l'Échelle (vallée de la Clarée), la circulation des glaces se révèle assez complexe.

Les éléments en notre possession sont les suivants (fig. 27) :

- les dépôts glaciaires du versant sud du col des Thures (site DA5) provenant de l'amont de la Vallée Étroite [Lemoine, 1994]

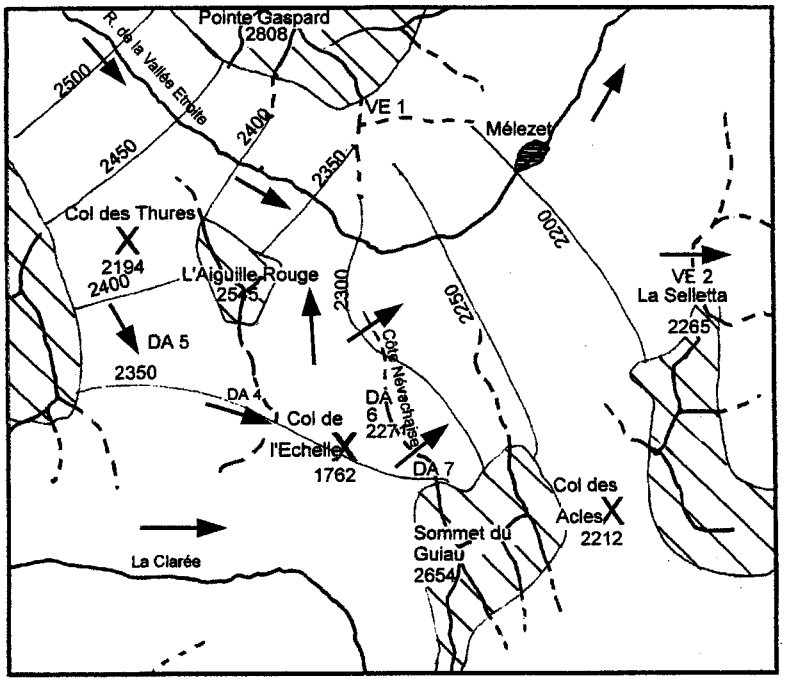

FIG. 27. – Schéma de circulation des glaces dans les environs du col de l'Échelle.

Une partie des glaces de la haute Vallée Étroite franchissait le col des Thures, à une altitude voisine de 2450 m pour rejoindre la vallée de la Clarée. La partie supérieure de cette diffluence franchissait l'arête Tête Noire - Aiguille Rouge pour emprunter le col de l'Échelle et se retrouver ainsi en Vallée Étroite en amont du Mélèzet, vers 2250 m d'altitude. La pente du glacier de la Vallée Étroite entre 2450 et 2350 m devait en effet être beaucoup plus importante, dans cette vallée large d'un kilomètre seulement – la Vallée Étroite mérite bien son nom – que sur le col des Thures, large de 1,2 à 1,5 km. Enfin par une autre diffluence, la partie supérieure des glaces transitant par le col de l'Échelle s'en échappait vers le nord-est en franchissant la Côte Névachaise en direction de la Vallée Étroite.

Les flèches indiquent le mouvement des glaces.Les glaciers sont représentés en blanc, le relief émergé est hachuré.

• les sillons vallonnés :

- de Tête Noire (site DA4) : altitude 2250 m, orientation générale 140°,

- de la Côte Névachaise (site DA7) : altitude 2240 m, orientation générale 60°,

- de la Vallée Étroite (site VE1) (en Italie, vers la borne frontière 45), orientation générale 60°,

- de la Selletta (site VE2), en Italie également, orientation générale 90°,

• et surtout les cannelures que l'on peut observer vers le sommet de la Côte Névachaise (site DA6, altitude 2271 m). Sur ces calcaires dolomitiques, l'érosion postglaciaire a fait disparaître les éventuelles stries mais respecté les cannelures, plus marquées dans la roche. L'orientation générale de ces figures est de 60 degrés environ, très différente de celle des plans de stratification et leur origine glaciaire est donc certaine.

Nous proposons le schéma de circulation des glaciers représenté par la figure 18, qui respecte au mieux les éléments présentés ci-dessus.

A l'appui de cette proposition, on peut d'ailleurs souligner que les vallées mortes des Thures et de l'Échelle présentent toutes deux un profil en long classique de diffluence, avec leur versant en légère pente dirigé :

• d'Italie en France pour le col des Thures,

• de France en Italie pour celui de l'Échelle.

4.8.3.3. Vallée du Guil (sites repérés G sur le tableau 2)

Affluent de la Durance à Guillestre, le bassin du Guil ne nous a livré que 11 sites caractéristiques. Les schistes lustrés qui forment l'essentiel des terrains du Queyras schisteux, à l'est de Château Queyras, sont en effet peu propices à la conservation du modelé glaciaire. Il est donc difficile de présenter une esquisse d'ensemble, mais il nous semble probable que la surface du glacier devait dépasser quelque peu 2500 m au-dessus d'Abries.

Nous signalerons toutefois les magnifiques sillons vallonnés du Sommet Bucher (G6), peut-être les plus caractéristiques – et les plus accessibles – de tous ceux que nous avons décrits au cours de cette étude.

5. – Conclusion

Les faits présentés ci-dessus permettent de constater que la formule de Nye-Lliboutry s'applique correctement dans le cas de vallées suffisamment larges, mais se trouve en défaut lorsque celles-ci deviennent trop étroites. L'étude des glaciers alpins actuels montre que, lorsque la largeur de la vallée devient inférieure à 3 ou 4 km, la surface de la glace se situe à une altitude supérieure à celle indiquée par la formule. Il est possible de déterminer l'altitude maximum atteinte par les glaciers lors des dernières glaciations en utilisant les repères morphologiques qui subsistent dans les vallées, en particulier les moraines, dépôts glaciaires, roches moutonnées ainsi que les sillons marginaux d'épaulement et de diffluence.

Ces derniers sont relativement abondants dans les hautes vallées et des critères de reconnaissance permettent de les identifier dans les paysages. Il est plus difficile de déterminer lors de quelle glaciation ils ont été créés. Dans certains cas, il est possible de les dater du Riss. L'érosion au cours de l'interglaciaire Riss-Würm n'a pu s'exercer que modérément sur ces formes toujours situées dans des sites protégés.

Les vallées de la Romanche et de la Durance permettent une approche détaillée de la question. Les glaciers de ces deux vallées étaient issus du versant est du massif de la Meije où existait, dans les environs du col d'Arsine, une selle glaciaire culminant vers 2650 m environ.

Dans la bassin du Drac, quelques sites caractéristiques permettent de reconstituer la surface du glacier rissien au pléniglaciaire.

Enfin pendant le Würm l'appareil dracquois, grossi de l'apport d'une diffluence durancienne, ne dépassait pas Saint-Bonnet-en Champsaur.

En définitive, s'il est certain que la méthode utilisée, basée essentiellement sur l'examen des repères morphologiques et le tracé de graphiques, permet une meilleure connaissance de l'altitude de la surface des glaciers, il apparaît que des études complémentaires sont nécessaires, en particulier :

• détermination plus précise de l'épaisseur de glace nécessaire au façonnement des roches moutonnées, des rebords d'auge et des sillons marginaux.

• recherche de sites caractéristiques complémentaires à ceux étudiés ici, en particulier dans les vallées de l'Isère et de l'Arc,

• extension du domaine étudié à la vallée du Rhône en aval du Léman,

• attribution plus précise des repères morphologiques au Riss ou au Würm.

Remerciements

L'auteur remercie tout particulièrement Monsieur Maurice Gidon, qui a bien voulu l'aider de ses conseils, tant en ce qui concerne le fond que la forme de cet article, l'accompagner sur le terrain et relire son texte.

Tableau 2

INVENTAIRE DES SITES

Légende :

Les sites dont les noms sont mentionnés **en gras** ont été reconnus *in situ.* Les autres ont été déterminés d'après les cartes ou observés à distance. Ceux dont les noms sont soulignés sont cités dans la littérature ou figurent sur les cartes géologiques.

Pour ne pas alourdir inutilement ce tableau, nous n'avons, lorsque plusieurs sites étaient proches les uns des autres, mentionné que le plus caractéristique.

Rep = Repère des sites sur les graphiques

Type de modelé :

Can = Cannelures

D = Dépôts glaciaires

SRE = Sillons rocheux d'épaulement

SVE = Sillons vallonnés d'épaulement

SRD = Sillons rocheux de diffluence

SVD = Sillons vallonnés de diffluence

S = Sillons sans précision de forme ni d'emplacement

Mor = Moraines

RA = Rebords d'auge

RM = Roches moutonnées

SG = Stries glaciaires

Alt = Altitude maximum du site. Dans le cas des sillons, altitude du fond du sillon le plus élevé

Nb = Nombre de sillons du site

Larg = Largeur du site (distance entre les fonds des sillons situés aux deux extrémités du site, mesurée orthogonalement à la direction de ceux-ci).

Pente = Pente de l'épaulement ou du seuil de la diffluence

Dist = Distance au vallum frontal würmien, soit :

- pour l'Isère, l'Arc, la Romanche, l'Eau d'Olle et le Vénéon, 40 km en aval de Grenoble, à l'altitude 200 m.
- pour la Durance, 7 km en amont de Sisteron à l'altitude 570 m (stade du Grand Bois).

Coord = Coordonnées approchées UTM (Mercator Transverse Universel), rapportées au systèmeWGS84 utilisé pour le carroyage des cartes IGN TOP 25 à partir de 1999.

On peut obtenir une valeur approchée des coordonnées exprimées dans le système EURO 1950 (dont les amorces figurent en marge des cartes IGN TOP 25 antérieures à 1999) en ajoutant 100 m aux valeurs de X et 200 m à celles de Y.

VALLÉE DE L'EAU D'OLLE (E)

Rep	Site	Type	Alt (m)	Nb	Larg (km)	Pente (%)	Dist (km)	Carte	Carte géol	Coord
E 1	**Le Chazeau**	Mor	1750	-	-	-	82	TOP 25 3335 ET	Vizille	32 T 266200 5004250
E 2	**Le Bessey**	Mor	1870	-	-	-	83	id	Vizille	32 T 265600 5005050
E 3	**Le Collet**	D	1850	-	-	-	83	id	Vizille	32 T 268800 5005300
E 4	**Chalet d'Articol**	SRE SVE	1880	9	0,3	Hor	86	id	Domène	32 T 265700 5007800
E 5	**Col du Sabot**	SVD SRD	2170	5	0,7	Hor	94	id	Domène	32 T 273000 5008500
E 6	**Rochers Motas**	Mor	2220	-	-	-	94	id	Domène	32 T 272800 5008600
E 7	**Lac de la Coche**	SRE	1970	5	0,4	30	89	id	Domène	32T 267000 5011500
E 8	**Tête des Cos**	RM SG	2220	-	-	-	99	id	St Jean de Maurienne	32T 277200 5014100
E 9	**Les Chansures**	SRE SG	2270	>8	0,7	Hor	102	id	St Jean de Maurienne	32T 280600 5013100
E 10	**Col de Bellard**	D	2233	-	-	-	102	id	St Jean de Maurienne	32T 281100 5014100
E 11	**Plateau de Bellard**	SVD	2230	>6	0,8	Hor	101	id	St Jean de Maurienne	32T 280500 5014100
E 12	**Le Carrelet**	SVE	2150	>3	0,3		99	id	St Jean de Maurienne	32T 277200 5013300
E 13	**Le Chazeau supérieur**	Mor	1835	-	-	-	82	id	Vizille	32T 266000 5004150

AFFLUENTS DE L'EAU D'OLLE (EA)

Rep	Site	Type	Alt (m)	Nb	Larg (km)	Pente (%)	Dist (km)	Carte	Carte géol	Coord
EA 1	**Pas de la Coche**	SRD	2060	8	0,8	Hor	89	TOP 25 3335 ET	Domène	32 T 267000 5011600
EA 2	**Belle Étoile**	SVE	2160	3	0,3	Hor	90	TOP 25 3335 ET	Domène	32T 268200 5012350

VALLÉES DU DRAC INFÉRIEUR (DI) ET DE LA ROMANCHE (R)

Rep	Site	Type	Alt (m)	Nb	Larg (km)	Pente (%)	Dist (km)	Carte	Carte géol	Coord
DI 1	**Grotte Vallier**	Grotte	1520	-	-	-	42	TOP 25 3335OT	Vif	31 T 707900 5002800
R 1	**Rochers du Chatelard**	SRD	1350	15	2,5	17	62	TOP 25 3335OT	Vizille	31 T 725000 4995400
R 2	**Col du Solude**	D	1760	-	-	-	83	TOP 25 3335ET	Vizille	32 T 264800 4991700
R 3	**Les Sures**	SVD D	1875	>12	1		88	TOP 25 3335ET	Vizille	32 T 269100 4993400
R 4	La Croupe	RM	2600	-	-	-	112	TOP 25 3436ET	La Grave	32 T 291700 4998300
R 5	L'Âne	RM	2500	-	-	-	108	TOP 25 3436ET	La Grave	32T 290700 4989500
R 6	Bosse de Chamoissière	RM	2580	-	-	-	115	TOP 25 3436ET	La Grave	32T 293900 4984600
R 7	**Les Bolliords**	SVE	2200	>3	0,3	Hor	97	TOP25 3335ET	La Grave	32T 279900 4992200

TABLEAU 2. – Inventaire des sites.

R 8	**Col du Souchet**	D	2300	-	-	-	99	TOP25 3435ET	La Grave	32T 282600 4993400
R9	**Col de St jean** (Pré Gentil)	D	1842	-	-	-	82	TOP25 3335ET	Vizille	32T 264500 4992600
R10	**Vallon de la Route** (Sommet 2571)	D	2571	-	-	-	114	TOP25 3436ET	La Grave	32T 294700 4986700
R11	**Vallon de la Route** (Sommet 2591)	SVE D	2580 2591	1	0,1	Hor	115	TOP25 3436ET	Saint Christophe	32T 294850 4986130
R12	Pradieu (Col d'Arsine)	D	2554	-	-	-	116	TOP25 3436ET	Saint-Christophe	32T 296000 4984600
R13	**Tête des Fromentières** (Pré Gentil)	Mor	1780	-	-	-	82	TOP25 3335ET	Vizille	32T 264300 4993100

AFFLUENTS DE LA ROMANCHE (RA)

Rep	Site	Type	Alt (m)	Nb	Larg (km)	Pente (%)	Dist (km)	Carte	Carte géol	Coord
RA 1	Le Fond du Ferrand	D	2443	-	-	-	104	TOP25 3335ET	La Grave	32T 279400 5002950
RA 2	**Col du Lautaret**	SVD	2190	5	0,9	15	112	TOP25 3436ET	La Grave	32T 294800 4990550

VALLÉE DU VÉNÉON (V)

Rep	Site	Type	Alt (m)	Nb	Larg (km)	Pente (%)	Dist (km)	Carte	Carte géol	Coord
V 1	**La Chalp**	SVE	1750	4	0,3	Hor	88	TOP 25 3336 ET	Vizille	32 T 270100 4988450
V 2	**Col sous Pied Moutet**	SRD	2058	5	0,3	Hor	91	TOP 25 3336 ET	Vizille	32 T 271700 4987800
V 3	La Coche de Lanchatra	RM	2150	-	-	-	96	TOP 25 3336 ET	St Christophe	32 T 274100 4983400
V 4	Tête de la Maye	S	2500	-	0,5	Hor	110	TOP 25 3436 ET	St Christophe	32 T 286000 4980500
V 5	**Villard-Notre-Dame**	VL	1670	3	0,5	5	85	TOP 25 3335 ET	Vizille	32 T 266700 4989800
V 6	Arête nord Grande Aiguille de la Bérarde	RM	2500	-	-	-	108	TOP25 3436 ET	St Christophe	32T 284600 4978400
V 7	Arête nord-est Grande Aiguille de la Bérarde	RM	2600	-	-	-	110	TOP25 3436 ET	St Christophe	32T 285600 4978100

AFFLUENTS DU VÉNÉON (VA)

Rep	Site	Type	Alt (m)	Nb	Larg (km)	Pente (%)	Dist (km)	Carte	Carte géol	Coord
VA 1	Arête ouest du Pic Bourcet	RM	2700	-	-	-	111	TOP25 3436 ET	St Christ.	32T 287300 4982400
VA 2	Arête sud-ouest du Pic Nord des Cavales	RM	2800	-	-	-	113	TOP25 3436 ET	St Christ.	32T 287800 4984100
VA 3	Arête ouest du Pic Nord des Cavales	RM	2800	-	-	-	114	TOP25 3436 ET	St Christ.	32T 287800 4984500

CHAMPSAUR (DS)

Rep	Site	Type	Alt (m)	Nb	Larg (km)	Pente (%)	Dist (km)	Carte	Carte géol	Coord
DS1	Charbillac	D	1166	-	-	-	1	TOP 25 3437OT	Saint-Bonnet	32T 267900 4955700
DS2	Les Forestons	D	1147	-	-	-	1,5	TOP 25 3437OT	Saint-Bonnet	32T 264700 4952400

TABLEAU 2. – Inventaire des sites.

DS3	Champ Clavel	D	1189	-	-	-	2,5	TOP 25	Saint-Bonnet	32T 268600 4954200
DS4	Col de Sagne	D	1205	-	-	-	2,5	TOP 25	Saint-Bonnet	32T 269300 4953900
DS5	Font-Grimard	D	1207	-	-	-	2,6	TOP 25	Saint-Bonnet	32T 265600 4951900
DS6	Villard Trottier	M	1288	-	-	-	4,6	TOP 25	Saint-Bonnet	32T 270400 4952300
DS7	Les Farelles	D	1300	-	-	-	4,8	TOP 25	Saint-Bonnet	32T 266400 4949300
DS8	Clot Chabrier	M	1322	-	-	-	6,5	TOP 25	Saint-Bonnet	32T 267500 4948100
DS9	St Michel de Chaillol	M	1369	-	-	-	13,5	TOP 25	Orcières	32T 275900 4950400
DS10	La Coche	D	1660	-	-	-	21,5	TOP 25	Orcières	32T 281400 4952200
DS11	Les Lunels	D	1440	-	-	-	10,8	TOP 25	Gap	32T 267300 4945000
DS12	Les Brunets	M	1420	-	-	-	12	TOP 25	Gap	32T 267000 4943000
DS13	**Sur la Coche**	SVD	1770	5	0,3	Hor	22	TOP25 3437OT	Orcières	32T 281250 495050

BASSIN DU DRAC

(TRIEVES, CHAMPSAUR ET VALLÉES ADJACENTES) (BD)

Rep	Site	Type	Alt (m)	Nb	Larg (km)	Pente (%)	Dist (km)	Carte	Carte géol	Coord
BD1	**Le Sénépy**	SVE	1335	4	0,4	Hor	-	TOP25 3336OT	Chapelle en Vercors	31T 716300 4975300
BD2	**Le Sénépy**	D	1280 env.	-	-		-	TOP25 3336OT	Chapelle en Vercors	31T 716200 4975250
BD3	**Pansier** (Ancienne station du Jocou)	SVE	1380	2	0,2	Hor	-	TOP25 3237OT	Mens	31T 711250 4956600
BD4	**Maison des Pâtres**	Mor	1410	-	-	-	-	TOP25 3237OT	Mens	31T 714650 4958120
BD5	**Boveires**	Mor	1410	-	-	-	-	TOP25 3237OT	Mens	31T 713830 4957720
BD6	**Col des Près Hauts**	D	1520	-	-	-	-	TOP25 3237OT	St Bonnet	32T 264350 4965300
BD7	**Combalous**	SVE	1420	3			-	TOP25 3237OT	St Bonnet	32T 264400 4965800
BD8	Les Miélons (Col de la Croix Haute)	Mor	1030	-	-	-	-	TOP25 3237OT	Mens	31T 713150 4951800
BD9	**Le Colombier**	D	1610	-	-	-	-	TOP25 3336OT	La Mure	31T 731800 4973000
BD10	Prairies de l'Alpe (Malsanne)	D	1850	-	-	-	-	TOP25 3336ET	La Mure	32T 261700 4923450
BD11	**Cabane de la Montagne** (Malsanne)	SVE	1800	?	?		-	TOP25 3336ET	La Mure	32T 262300 4986400
BD12	**Plancol** (Malsanne)	Mor	1900	-	-	-	-	TOP25 3336OT	La Mure	31T 732500 4986900
BD13	**Les Souillets** (La Morte)	D	1436	-	-	-	-	TOP25 3336OT	Vizille	31T 724000 4990050
BD14	**Les Mayes** (Lignarre)	RA	1820	-	-	-	-	TOP25 3336ET	Vizille	31T 733170 4990200
BD15	**Cabane de Rochimont** (Valgaudemar)	Mor	1800	-	-	-	-	TOP25 3437OT	Saint-Bonnet	32T 268100 4965250
BD16	Crête de l'Eygli (Valgaudemar)	RA	1750	-	-	-	-	TOP25 3437OT	Saint-Bonnet	32T 270050 4963200

TABLEAU 2. – Inventaire des sites (suite).

VALLÉE DE L'ISÈRE (I)

Rep	Site	Type	Alt (m)	Nb	Larg (km)	Pente (%)	Dist (km)	Carte	Carte géol	Coord
I 1	**Les Guillets**	Mor	1100	-	-	-	40	TOP 25 3335OT	Vif	31 T 707400 5007100
I 2	**Pas du Curé**	SRD	1050	3	-	-	39	TOP 25 3335OT	Grenoble	31 T 706400 5006400
I 3	**Le Marais**	Mor	1100	-	-	-	47	TOP 25 3335OT	Vizille	31 T 725100 5002400
I 4	**Les Seiglières**	SRD SVD	1070	3	0,5	Hor	48	TOP 25 3335OT	Vizille	31 T 725600 5004300
I 5	La Grande Lanche	S	1806	8	1,6	10	127	TOP 25 3432ET	(Albert-ville)	32 T 296600 5054300
I 6	**Plan de la Tigne**	S	2020	6	1,2	6	154	TOP 25 3532OT	Moutiers	32 T 316300 5042400
I 7	Croix de Combefolle	S	2251	4	0,8	8	191	TOP 25 3633ET	Tignes	32 T 338600 5036800

AFFLUENTS DE L'ISÈRE (IA)

Rep	Site	Type	Alt (m)	Nb	Larg (km)	Pente (%)	Dist (km)	Carte	Carte géol	Coord
IA 1	**Le Praillet**	SVD	1730	4	1,1	Hor	84	TOP 25 3433OT	St Jean de Maurienne	32 T 275300 5026700
IA 2	**Lac du Léat**	Mor	1720	-	-	-	86	TOP 25 3433OT	Doméne	32 T 273300 5022100
IA 3	**Col du Merdaret**	SVD	1803	3	4,5	Hor	90	TOP 25 3433OT	Doméne	32 T 267900 5018400
IA 4	Le Grand Plan	S	2104	?	0,4	Hor	163	TOP 25 3433ET	La Rochette	32 T 296900 5041100
IA 5	**Col de la Madeleine**	SVD	2090	3	1	10	169	TOP 25 3433ET	La Rochette	32 T 294700 5034700
IA6	Dou de la Motte	S	2179	2	0,2	7	176	TOP 25 3531ET	(Ste Foy)	32 T 333500 5059300
IA 7	**Les Oeillasses**	RM	2600	-	-	-	185	TOP 25 3532ET	(Ste Foy)	32T 340400 5056900
IA 8	**Pte de l'Invernet**	RM	2800	-	-	-	186	TOP 25 3532ET	(Ste Foy)	32T 342400 5056000
IA9	**Chalets de Bellachat**	SVD	1860	5	0,3	Hor	130	TOP25 3532OT	Bourg-Saint-Maurice	32T 303900 5057450
IA10	**Col de la Bathie**	SVD	1960	3	0,4	18	133	TOP25 3532OT	Bourg-Saint-Maurice	32T 306900 5058750

VALLÉE DE L'ARC (A)

Rep	Site	Type	Alt (m)	Nb	Larg (km)	Pente (%)	Dist (km)	Carte	Carte géol	Coord
A 1	**Chaine des Hurtières**	GRD SVD	1720	30	8,6	5	118	TOP 25 3433OT	La Rochette	32 T 282900 5038000
A 2	Pointe de Rognier	S	1650	5	2	21	119	TOP 25 3433OT	La Rochette	32 T 264300 5035400
A 3	Le Petit Rognier	S	1740	2	0,5	-	121	TOP 25 3433OT	La Rochette	32 T 283900 5033600

AFFLUENTS DE L'ARC (AA)

Rep	Site	Type	Alt (m)	Nb	Larg (km)	Pente (%)	Dist (km)	Carte	Carte géol	Coord
AA 1	Croix du Cuchet	S	2100	2	0,15	Hor	134	TOP 25 3433OT	St Jean de Maurienne	32 T 285000 5025600

TABLEAU 2. – Inventaire des sites (suite).

AA 2	**Le Grand Chatelard**	SRE SVE	2070	12	1,7	20	140	TOP 25 3433ET	St Jean de Maurienne	32T 288400 5020200
AA 3	**Le Grand Chatelard**	RM	2144	-	-	-	140	TOP 25 3433ET	St Jean de Maurienne	32T 288500 5020300
AA 4	**Lac Perrin**	SRE	2362	3			184		Lansle-bourg	32T 333700 5007600
AA 5	Rochers de Savine	RM	2500	-			185		Lansle-bourg	32T 333900 5006500
AA 6	**Col du Petit Mont Cenis**	SG	2305	-			183		Lansle-bourg	32T 332900 5008200
AA 7	La Tomba	Mor	2460	-			192		Lansle-bourg	32T 337100 5013600
AA 8	**La Grande Léchère**	SRE SVE	1670	4	0,8	17	133	TOP25 3433ET	La Rochette	32T 289600 5031500
AA 9	**Le Grand Prè**	SVE	1930	3	0,3	10	134	TOP25 3433ET	La Rochette	32T 290100 5031500
AA 10	**Le Pays Désert**	RM	2950	-	-	-	208	TOP25 3632ET	Tignes	32T 387900 5029800

VALLÉE DE LA DURANCE (D)

Rep	Site	Type	Alt (m)	Nb	Larg (km)	Pente (%)	Dist (km)	Carte	Carte géol	Coord
D 1	**Forêt du Méale**	Mor	1820	-	-	-	76	TOP 25 3438ET	Embrun	32 T 306400 4935300
D 2	**Pré Clos**	Mor	1830	-	-	-	77	TOP 25 3438ET	Chorges	32 T 298700 4941000
D 3	**Les Eymars**	D	1880	-	-	-	92	TOP 25 3537ET	Guillestre	32 T 307300 4951800
D 4	**Les Eymars**	SRE SVE	1860	6	0,6	7	92	TOP 25 3537ET	Guillestre	32 T 306900 4951500
D 5	Bois du Bouchet	S	1880	3	0,4	Hor	96	TOP 25 3437ET	Guillestre	32 T 306200 4954300
D 6	**Col des Combes**	SVD	1630	4	0,5	Hor	99	TOP 25 3437ET	Guillestre	32 T 305200 4957300
D 7	**Mamelons de la Séa**	SRD SVD	1947	11	2,3	1,5	104	TOP 25 3437ET	Guillestre	32 T 303500 4960600
D 8	**Lac des Serres**	SRD	1950	3	0,4	Hor	108	TOP 25 3536OT	Briançon	32 T 310400 4966600
D 9	Serre de Guigou	SVE	1620	-	-	-	110	TOP 25 3536OT	Briançon	32 T 307800 4968000
D 10	**Ratière**	D	2000	-	-	-	113	TOP 25 3536OT	Briançon	32 T 308100 4971300
D 11	**Le Mélèzin**	D	2150	-	-	-	115	TOP 25 3536OT	Briançon	32 T 313400 4969600
D 12	Les Demoiselles du Merdanel	D	1950	-	-	-	94	TOP25 3537ET	Guillestre	32T 3130900 4954100

AFFLUENTS DE LA DURANCE (DA)

Rep	Site	Type	Alt (m)	Nb	Larg (km)	Pente (%)	Dist (km)	Carte	Carte géol	Coord
DA1	**Pré Rouge** (Fournel)	SVD	2006	3	0,3	Hor	108	TOP 25 3437ET	Guillestre	32T 301500 4964300
DA2	**Les Têtes** (Gyronde)	SRD	2020	6	0,5	Hor	110	TOP 25 3437ET	Guillestre	32 T 304500 4963500
DA3	Rocher Deseur (Clarée)	S	2100	1	-	Hor	124	TOP 25 3536OT	Briançon	32T 318700 4978000
DA4	**Tête Noire** (Clarée)	SRD SVD	2250	7	1,2	8	135	TOP 25 3535OT	(Névache)	32T 314400 4990100

TABLEAU 2. – Inventaire des sites (suite).

DA 5	**Les Thures** (Clarée)	D	2030				134	TOP25 3535OT	(Névache)	32T 313800 4990000
DA 6	**Côte Névachaise** (Clarée)	Can	2271				133	TOP25 3535OT	(Névache)	32T 315900 4989400
DA 7	**Côte Névachaise** (Clarée)	SVD	2240			Hor	133	TOP25 3535OT	(Névache)	32T 316400 4988600
DA 8	**Vallon de Fouran** (Couleau)	SVD	2240	3	0,2	Hor	85	TOP25 3437ET	Guillestre	32T 301550 4948450
DA 9	**Sous la Latte Cote 2139** (Guisane)	SVEL	2120	1	0,2	Hor	134	TOP25 3436ET	(Névache)	32T 301900 4986650
DA 10	**Epaule sud de Roche Robert** (Guisane)	RM D	2240	-	-	-	136	TOP25 3436ET	(Névache)	32T 3001900 4989050
DA 11	**Les Planes du Dégoulou** (Petit Tabuc)	D	2490	-	-	-	137	TOP25 3436ET	St Christophe	32T 298450 4984450
DA 12	**Les Clochettes** (Guisane)	RM	2220	-	-	-	140	TOP25 3436ET	La Grave	32T 296900 4989900
DA 13	**La Marionnaise** (Guisane)	SVD	2050	+ de 5	0,35	8	140	TOP25 3436ET	La Grave	32T 296000 4990800
DA 14	**Col de la Cayolle**	SRD	2338	+ de 5	0,3	Hor	108	32T 3540OT	Allos	32T 320000 4903000

LA VALLÉE ÉTROITE (VE)

Rep	Site	Type	Alt (m)	Nb	Larg (km)	Pente (%)	Dist (km)	Carte	Carte géol	Coord
VE 1	Borne frontière 45	S	2240			I I I		TOP25 3535OT		32T 316000 4992800
VE 2	La Selletta	S	2200			I I I		TOP25 3535OT		32T 319500 4999300

VALLÉES DU GUIL ET DE SES AFFLUENTS (G)

Rep	Site	Type	Alt (m)	Nb	Larg (km)	Pente (%)	Dist (km)	Carte	Carte géol	Coord
G 1	**Le Queyron** (Vallée d'Arvieux)	SVE	1970	2	0,5	Hor	107	TOP 25 3537ET	Guillestre	32 T 321700 4955400
G 2	Lac de Roue (Vallée d'Arvieux)	SVE	1847	2	0,3	Hor	107	TOP 25 3537ET	Guillestre	32 T 323200 4958900
G 3	**Clot la Chalp** (Vallée d'Arvieux)	SVE	2150	4	0,5	7	108	TOP 25 3537ET	Guillestre	32 T 321300 4956100
G 4	**Col du Tronchet** (Vallée d'Arvieux)	SVD	2347	?	-	Hor	113	TOP 25 3537ET	Guillestre	32 T 322650 4962800
G 5	Crête de Chalvet (Vallée de Saint-Véran)	SVD	2420	4	1,2	Hor	114	TOP25 3537ET	Guillestre	32 T 328100 4962700
G 6	**Sommet Bucher** (Vallée du Guil)	SVD	2220	+ de 30	1,5	Hor	114	TOP 25 3537ET	Guillestre	32 T 326900 4956100
G 7	Serre de l'Aigle (Vallée du Guil)	S	2476	3	0,8	Hor	117	TOP.25 3537ET	Aiguilles	32 T 331700
G 8	Le Genébrier (Vallée du Guil)	S	2230	2	0,2	20	119	TOP 25 3637OT	Aiguilles	32 T 335200 4963600
G 9	**Crête de Curlet** (Vallée de Saint-Véran)	SVD	2330	3	?	12	120	TOP 25 3637OT	Aiguilles	32 T 330800 4950700
G10	Crête sud de Clausis (Vallée du Guil)	S	2610	2	0,2	Hor	122	TOP 25 3637OT	Aiguilles	32 T 334600 4965100
G11	Coste de Ruibon (Vallée du Guil)	S	2219	3	0,2	Hor	122	TOP 25 3637OT	Aiguilles	32 T 338100 4963300

TABLEAU 2. – Inventaire des sites (fin).

Références

AUDRA PH. (1991). – La grotte Vallier (Vercors, Isère). Premiers résultats stratigraphiques. Actes des Journées Pierre Chevalier, Grenoble, 81-93.

AUDRA PH. & ROCHETTE P. (1993). – Premières traces de glaciations du Pléistocène inférieur dans le massif des Alpes. Datation par paléomagnétisme de remplissages à la grotte Vallier (Vercors, Isère, France). *C. R. Acad. Sci. Paris*, **317**, Série II, 1403-1409.

BARFÉTY J-C., LEMOINE M., DE GRACIANSKY P. C., TRICART P. & MERCIER D. (1996). – Carte géologique détaillée de la France à 1/50 000, feuille Briançon (823). Orléans, BRGM, notice explicative 180 p.

DERRUAU M. (1988). – Précis de Géomorphologie. Masson ed., 533 p. 172 fig., 63 pl.

FLORINETH D. & SCHLÜCHTER C. (1998). – Reconstructing the Last Glacial Maximum (LGM) ice surface geometry and flowlines in the Central Swiss Alps. *Eclogae Geol. Helv.*, **91**, 3, 391-407.

GIDON M. & MONJUVENT G. (1969). – Essai de Coordination des Formations Quaternaires de la Moyenne Durance et du Haut Drac. Association Française pour l'étude du Quaternaire, **19**, 145-161.

GIDON M., MONJUVENT G., FLANDRIN J., MOULLADE M., DUROZOY G. & DAMIANI L. (1991). – Carte géologique détaillée de la France à 1/50 000, feuille Laragne-Montéglin (893). Orléans, BRGM, notice explicative 84 p.

LABHART T. & DECROUEZ D. (1997). – Géologie de la Suisse. Delachaux et Niestlé ed., 212 p.

LEMOINE M., BARFÉTY J-C., CIRIO R. & TRICART P. (1994). – Montagnes du Briançonnais – Promenades et randonnées. Editions BRGM, 136 p., 104 fig.

LLIBOUTRY L. (1975). – Traité de Glaciologie, 2 tomes. Masson Paris ed.

MONJUVENT G. (1973). – La transfluence Durance-Isère. Essai de synthèse du Quaternaire du bassin du Drac. *Géologie Alpine*, **49**, 57-118.

MONJUVENT G. (1978). – Le Drac, Morphologie, Stratigraphie et Chronologie Quaternaire. Thèse d'État. Grenoble, 431 p. 192 fig.

REYNAUD L. (1989). – Crevasses, Séracs, Moulins et Cavités sous glaciaires. Neige et Avalanches. *Revue de l'ANENA*, **49**, 8–13.

ROUSSET P. L. (1995). – Histoire des guides de montagne des Alpes Françaises. Editions Didier-Richard. Mémoires d'En Haut, 360 p.

WAGNER G. (2001). – Mittelmoränen eiszeitlicher Alpengletscher in der Schweiz. *Eclogae Geol. Helv.*, **94**, 2, 221-235.