

Zeitschrift:	Archives des sciences physiques et naturelles
Herausgeber:	Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band:	29 (1947)
Artikel:	Les stades de retrait Würmiens entre Crassier et Begnins (Jura vaudois)
Autor:	Carozzi, Albert
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-742255

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 25.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

LES STADES DE RETRAIT WÜRMIENS ENTRE CRASSIER ET BEGNINS

(Jura vaudois)

PAR

Albert CAROZZI

(Avec 6 fig. et 1 planche)

« Il n'y a pas de chose isolée. »
MACH¹.

Le but de cette étude n'est pas le relevé cartographique détaillé des stades de retrait würmiens du pied du Jura vaudois, mais l'illustration d'une hypothèse de travail. Nous ne présentons ici qu'un essai d'interprétation avec toute la part d'inconnues qu'il comporte. Notre principale préoccupation a été de pénétrer le plus loin possible dans les mécanismes de formation de ces dépôts quaternaires. Le lecteur se rendra rapidement compte que plusieurs notions classiques ne cadrent plus avec les exigences du terrain, et nous serons amenés à élargir ou à restreindre la valeur et l'acception de certains termes. Si cette tentative modeste de coordination pouvait susciter de nouvelles recherches, son but serait largement atteint.

Il me reste encore un agréable devoir à remplir, celui de rappeler les discussions, si pleines d'enseignements, que nous avons eues sur le terrain comme au laboratoire, avec MM. les professeurs E. Gagnebin, Ed. Paréjas et avec MM. D. Aubert, A. Falconnier, A. Jayet et Aug. Lombard.

¹ Ernst MACH, *La connaissance et l'erreur*. Traduction française du Dr M. Dufour. Flammarion, Paris.

DESCRIPTION GÉNÉRALE.

La région du pied du Jura comprise entre la frontière française de Crassier et l'escarpement de La Côte, présente une succession de dépôts quaternaires du plus grand intérêt. Examinons-les en montant de Nyon vers le Jura. En laissant derrière nous les terrasses lacustres, on chemine jusque vers Duillier (440 m) sur une plate-forme graveleuse, riche en éléments jurassiens (gravière de Gland). Sa surface est faiblement inclinée vers le lac et accidentée par quelques rares alignements de mamelons orientés SW-NE, ce sont les collines de Duillier, Bugnonet, Prangins.

Au N de Duillier se dresse un talus d'une vingtaine de mètres conduisant à une autre plate-forme, mal individualisée, que Aeberhardt [2] a nommé la *terrasse de Coinsins* (altitude au lieudit: 470 m). Sa surface est également inclinée vers le lac et entièrement bosselée par de nombreux mamelons alignés. Ces derniers sont toujours orientés parallèlement au pied du Jura et se suivent à perte de vue vers le SW, dans la direction de Divonne et vers le NE jusqu'au pied de l'abrupt de La Côte, où la plupart d'entre eux disparaissent.

En montant vers Arzier, on traverse toute la largeur de cette surface bosselée où s'élèvent les villages de Trélex, Gingins et Genolier. Puis un talus assez bien marqué par places nous amène à une plate-forme plus élevée que nous appellerons volontiers avec M. A. Falconnier, *plate-forme de La Coquaz* (altitude du lieudit: 560 m) et sur laquelle les mamelons se raréfient. Enfin un dernier ressaut conduit à une autre plate-forme, celle de *Molard-Pareillet* (altitude au lieudit: 600 m), qui comporte encore quelques alignements de collines.

A la hauteur d'Arzier, la morphologie devient confuse, noyée dans la forêt; c'est la limite supérieure de la moraine rhodanienne. Dans les sapinières, on peut voir, admirablement conservées, les moraines frontales et les coulées de boue témoignant de la récurrence des glaciers locaux.

En résumé, on observe en s'élevant vers le Jura, un étagement de trois plate-formes irrégulières dont la surface est boursouflée par d'innombrables files de mamelons. Nous essayerons, dans les lignes qui suivent, de dégager les relations génétiques entre ces deux types de dépôts du retrait würmien.

* * *

Le relevé des mamelons et des talus des plate-formes n'a pas été toujours chose aisée, en effet les courbes de niveau ne sont pas toujours sensibles à ces accidents topographiques qui dépassent rarement 10 m de hauteur. Nous nous sommes borné à cartographier les principaux, en laissant volontairement de côté ceux dont l'attribution était incertaine; parfois les nécessités nous ont amené à grouper plusieurs reliefs sous un même contour.

Voici l'énumération des principaux alignements et plate-formes, en allant des plus élevés au plus bas et du SW au NE¹.

a) *Plate-forme de Molard-Pareillet*

comprenant:

1. *Stade de 600 m.*

C'est le plus élevé, en contact intime avec les moraines frontales jurassiennes. Il s'amorce par delà Divonne, et son tracé sur territoire suisse est marqué par les reliefs suivants: Le Crêt 620 – Molard Chauderon 599 – Château Blanc 581 – Molard-Pareillet 600 – Bois de Ban 599 – Savy 598 – Châtel 613. Depuis ce point le tracé devient douteux, et il est possible que l'on puisse lui rattacher les bosses des environs de Le Muids: Champ de Bois 670 – Combette 675 – Grande Raye 680 – La Feuilleuse 655.

Disons en passant que les mamelons de La Perraz 600 et Thiéré 559 ne font pas partie des stades de retrait; de sont des

¹ En ce qui concerne les localités citées, nous renvoyons le lecteur à l'*Atlas Siegfried* au 1: 25 000^e, feuilles suivantes:

Arzier 432, Saint-Cergue 442, Bagnins 443, Crassier 444 et Nyon 445.

collines formées par des conglomérats fortement cimentés d'origine intra-morainique. Des observations analogues ont été faites par E. Gagnebin à Hermance et par A. Falconnier à Gimel.

2. *Stade secondaire de 580 m.*

Fortement dépendant du stade de 600 m, il s'individualise à Chauderon 580, passe au S du Château-Blanc 570, par La Pièce 567, Petite Dîme 565, Guillet 577 et se termine à Chevry 578 par une colline aplatie, semblable à une plate-forme dont le talus est bien marqué vers le SE, tandis qu'au NW elle se fond dans le mamelon de Bois de Ban du stade supérieur. Ce relief fait corps avec le talus de la plate-forme de Molard-Pareillet, qui ensuite de développe largement au S de Châtel, en montrant un talus complexe formé par quatre marches en escalier qui passent souvent obliquement les unes aux autres.

b) *Plate-forme de La Coquaz.*

Elle supporte le stade suivant:

3. *Stade de 560 m.*

Il est marqué par les reliefs de Pény 560 – Sur Trélex 562. Ce dernier présente sur sa face sud un petit mamelon greffé en contre-bas du talus. Depuis cette localité, le stade est mal marqué, puis forme les collines de Murandaz 565 – Chaton 569 – La Caisserie 560. Précisons encore que ce stade est le seul porté par la plate-forme de La Coquaz et qu'il longe très étroitement son talus.

c) *Plate-forme de Coinsins.*

Elle supporte les stades suivants:

4. *Stade de 540 m.*

C'est un alignement assez continu jalonné par les points suivants: Fin de Gollion 543 – Dressettes 540 – Grandes Vignes 542 – Gingins 546 – Molard des Morts 543 – Prés-Abram 538 – Caroz 540 – Crusaz 542 – Reveyrulaz 546. Puis il y a coupure

jusqu'à la région du Bois de Chênes, où le stade se termine en un enchevêtrement confus de mamelons élargis en terrasses onduleuses entourant des dépressions à lagots (Sölle), sur lesquelles nous reviendrons plus loin. Néanmoins on peut y distinguer trois reliefs, ceux de Balavy 540 – Sud du lac Vert 540 et La Crosette 540.

5. *Stade de 530 m.*

C'est de nouveau un alignement assez continu passant par les points suivants: La Rippe 529 – Tranchepied 532 – Closelet 536 – Chéserex 532 – Epenay 530 – Le Clos 528 (avec une petite plate-forme en contre-bas) – Blanchet 530 – Platire 530 – Chanay 533 – Martinet 530 – Pré de l'Etang 530 – Bois de Chênes 530. Ces deux derniers reliefs ont des orientations divergentes, mais sans subir un empâtement de formes. Le tracé du stade semblerait s'interrompre ici, mais si l'on franchit le ravin de La Serine, on voit encore à Bagnins 530 un petit mamelon noyé dans les vignes qui appartient encore au même alignement.

6. *Stade de 520 m.*

Souvent interrompu, ce stade présente des collines dispersées et mal définies, comme celles de Praz Rojet 520 – Praz Riondet 520 – Martinet 520 – Tattes de Gingins 517 – La Pièce 520 – Nord de La Cure 520 – Nord de Clos de Barin 523, où il est représenté par une colline aplatie en plate-forme, puis Bois de Chênes, où se suivent trois petits mamelons à 520, 521 et 523, et enfin le dernier relief est celui au N de Château-Grillet 520.

7. *Stade de 510 m.*

Il n'est visible qu'à partir de la région de Trélex où il forme les bosses de Le Martinet 510 – Trélex 511 – Les Uttins 515, puis on le retrouve à Clos de Barin 510 – Grand Marais 510 (avec trois petits mamelons). A Baigne 508 il semble se confondre avec le stade inférieur, puis il reprend son individualité aux Molards 510 en formant une petite colline double; il franchit ensuite le ravin de La Serine et forme encore la petite éminence de Moulin de Creux 510.

8. *Stade de 500 m.*

On le reconnaît à Chantre 498 – Chaumille 500 – Les Oches 501 – L’Oche 500. Il reprend ensuite au N de Terraux 500 par un relief peu marqué et forme enfin une plateforme grossièrement elliptique entourant le lagot de La Baigne aux Chevaux. L’altitude de ce relief étant 508,5, on serait tenté de l’attribuer au stade de 510, mais son orientation et sa position relative militent en faveur du stade de 500 m.

9. *Stade de 490 m.*

Il semble avoir une liaison assez étroite avec le précédent, surtout dans la région de Crassier, où on le reconnaît à Ouche 490 – Petit-Borex 495 – Combes 497; son altitude augmente progressivement, puis redescend à 492 aux Crêts. Dès lors sa trace se perd jusqu’à Plantaz Miracle 487 (relief double), S de La Tourbière 490 – Crève-Cœur 490 – Grangettes 490, où il se termine par une belle colline jumelée.

10. *Stade de 480 m.*

Cet alignement semble localisé entre les ravins de La Serine et de La Colline, où il forme les quatre mamelons de Sery 480 – Grand-Champ 479 – S de Crève-Cœur 480 et Vettanes 476.

11. *Stade de 470 m.*

On le voit dans la région de Crassier, à Jolimont 470, puis il est invisible jusqu’à Coinsins 469, Serrant, avec trois mamelons à 470, 466 et 465, Crétannaux 467. Avec peine, on distingue encore un relief dans les vignobles de Flonzières 467, à mi-pente sur le versant de La Côte.

c) *Plate-forme de Gland.*

Cette dernière surface ¹ comprend les deux stades suivants:

¹ La plate-forme de Gland, dont l’altitude est environ 400 m à sa partie inférieure, correspond donc à un niveau situé 30 m au-dessus du lac. Schardt en faisait un ancien delta de la Promenthouse, d’autres auteurs voudraient y voir une terrasse lacustre. Les observations que nous avons faites, confirmées par celles de A. Jayet, montrent qu’il s’agit d’une plateforme glaciaire de retrait.

12. *Stade de 440 m.*

C'est le premier qui montre une tendance à se fermer vers le lac. Il s'amorce près de ce dernier par les collines de Crans 441 et Ferrière 440, dont l'orientation est perpendiculaire au tracé général des stades. Ensuite il s'ondule en « S » à Combes 447 – Bois du Nant 442, et dès Eysins 442 il reprend la direction SW-NE en passant par Chisaz 440 – Risolettes 440 et peut-être Montillier 450. Depuis ce point, le tracé devient douteux, on peut encore lui attribuer le mamelon de Champ-Franc 441.

13. *Stade de 430 m.*

Il provient du pied de la pente de La Côte où il forme les bosses elliptiques de Bordains 430 – La Pique 430, puis l'alignement semblerait se fermer par Le Bugnonet 434 et la colline en croissant de Pré Bessonet 434. En effet l'origine de la bosse de Trembley 432 est douteuse; M. E. Gagnebin nous a communiqué une observation faite par Schardt pendant la construction de la ligne C.F.F. et selon laquelle ce mamelon serait en molasse !

DÉFINITIONS ET TYPES DE RELIEFS.

1. *Les plate-formes.*

Elles ne sont pas toutes dues aux mêmes causes, loin de là; et le matériel qui les constitue nous renseigne assez bien sur leur mode de formation. Les plate-formes de Molard-Pareillet et de La Coquaz ont été entamées par des gravières (une bonne coupe est visible au NE du point 545, au Mont-d'Evaux-du-Milieu, près de Gingins) et montrent un matériel sablo-graveux, fortement remanié, mal stratifié et peu riche en argile, qui repose sur la moraine de fond typique. Ainsi, ces deux reliefs peuvent être appelés: *plate-formes de retrait*. Une telle plate-forme peut être définie comme suit: forme d'accumulation, rappelant de loin une « terrasse »¹ mal individualisée, à surface irrégulière, presque jamais horizontale. Le matériel est

¹ Nous bannissons exprès le mot de « terrasse » qui pourrait prêter à confusion et que nous réservons aux dépôts fluviatiles et lacustres.

d'origine glaciaire, sablo-graveleux avec teneur variable en argile. La partie supérieure de la série est formée, en général, par de la grosse blocaille, tout à fait différente des couches sableuses inférieures. Cette « chape morainique », comme M. A. Jayet l'a nommée, est composée de très gros blocs anguleux ; elle est recouverte partout par les terres rouges et la terre moderne. Nous reprendrons cette question plus loin, mais retenons d'ores et déjà que la chape morainique est un phénomène général représentant une phase terminale des dépôts du retrait. Elle montre tous les caractères d'un dépôt passif sans intervention des eaux courantes.

Les plate-formes de retrait résultent d'un alluvionnement glaciaire périphérique effectué durant le retrait¹ par les eaux de fonte non individualisées en torrents ; c'est l'équivalent d'un tablier étendu sur la moraine de fond, qui, elle, représente le maximum d'extension du glacier.

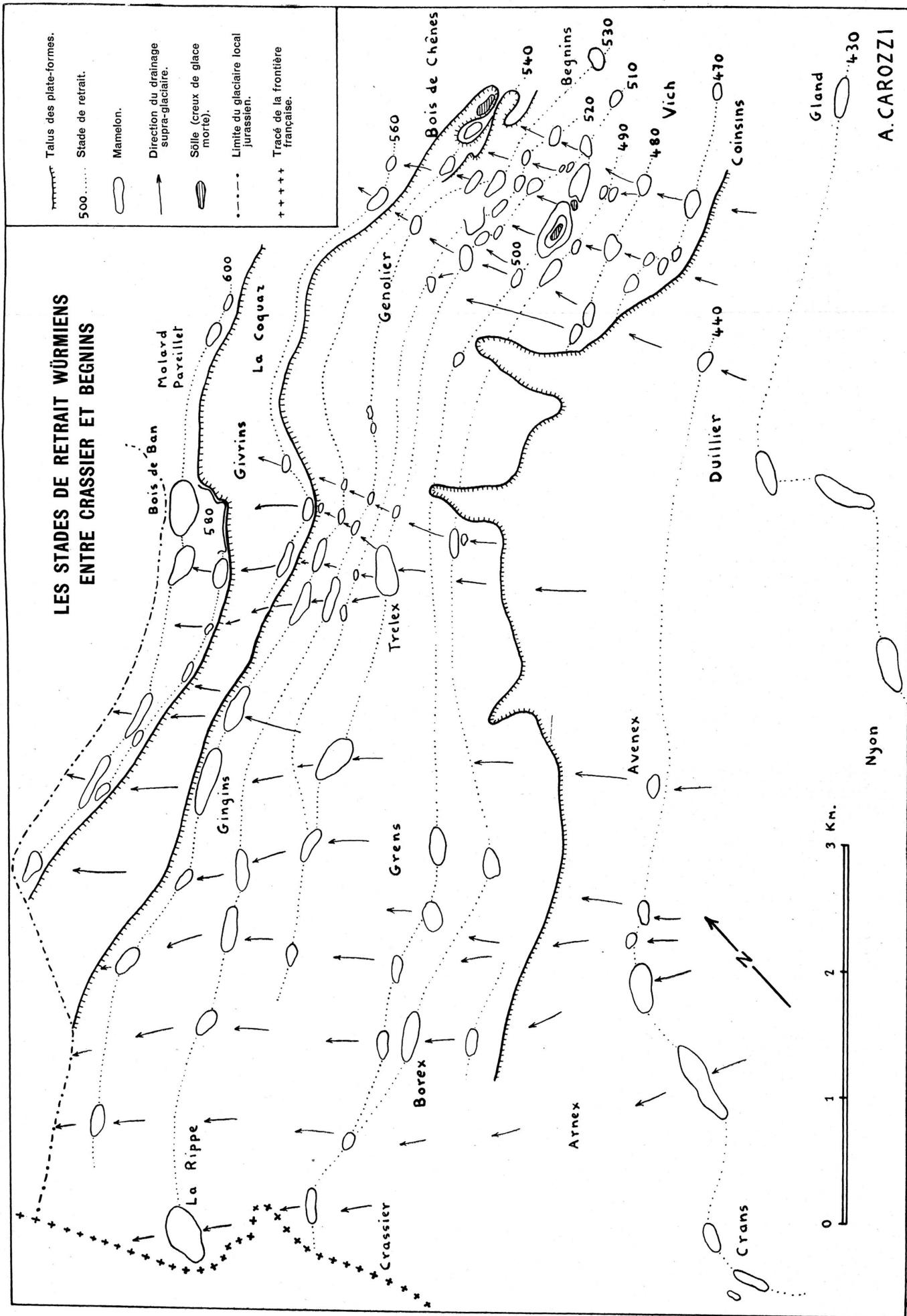
Le contact des deux formations est souvent très intime, c'est la conséquence directe du travail des eaux de fonte qui ont plus ou moins profondément remanié le substratum. L'épaisseur de la plate-forme de retrait est très variable selon les endroits et elle peut même passer à zéro en laissant affleurer la moraine de fond.

N'oublions pas qu'il est impossible de donner une altitude précise à une plate-forme de retrait, puisque sa surface est inclinée et supporte plusieurs stationnements successifs.

En revanche la plate-forme de Coinsins semble de nature différente, la plate-forme de retrait y est peu développée et la moraine de fond souvent visible. Son talus est dentelé et manifestement d'origine érosive, nous verrons plus loin les causes de cette érosion.

La plate-forme de Gland est formée par une grande épaisseur de graviers (exploitation de Gland), très riches en éléments jurassiens et répond donc à la définition d'une plate-forme de retrait.

¹ Cet alluvionnement s'est probablement fait dans des lacs marginaux temporaires ou dans des dépressions en bordure du glacier. Voir conclusions.



2. *Les stades de retrait.*

Ils représentent les stationnements successifs du bord glaciaire, ce sont les alignements de mamelons, d'altitude constante, que nous avons énumérés plus haut. Le matériel est toujours sablo-graveleux, semblable à celui des plate-formes, mais beaucoup mieux classé. Ce sont *des dépôts d'exutoires de torrents de fonte*; leur liaison est intime avec les plate-formes de retrait sur lesquelles ils reposent et dont ils ne représentent au fond qu'un cas particulier. Les mamelons jalonnent *toutes* les lignes de stationnement du bord glaciaire, et leur importance est grande; en revanche les plate-formes ne se sont formées qu'aux périodes d'arrêt les plus importantes et ne sont, en fait, que des témoins assez imparfaits des épisodes du retrait.

3. *Relations entre les plate-formes et les stades de retrait.*

Les talus des plate-formes sont très bien marqués dans les régions où elles ne portent que peu de mamelons et *vice-versa*. Bien entendu cette constatation ne s'applique pas au talus de la plate-forme de Coinsins qui est d'origine érosive. Il importe de mettre en valeur ce fait d'observation qui a une grande importance du point de vue génétique.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DES STADES DE RETRAIT.

La description détaillée de tous les types de mamelons mériterait à elle seule une étude spéciale. La variabilité des formes et des dimensions est telle que l'observateur est mis à rude épreuve. Cependant on peut distinguer les catégories suivantes¹:

1. *Mamelons simples.*

Ce sont des reliefs allongés, le plus souvent elliptiques, dont le grand axe est parallèle à l'alignement. On observe tous les termes de passage entre l'ellipse aplatie et le contour grossièrement circulaire, du reste les orientations axiales varient aussi

¹ Nous avons développé et modifié la classification déjà ébauchée par Aeberhardt [2].

passablement. Lors des ondulations des stades, certains mamelons prennent souvent une forme en croissant convexe vers l'extérieur de l'alignement; tous ces faits contribuent à la notion que chaque butte est indépendante du point de vue génétique.

Exemples: Trélex 511, Les Crêts 492, Les Oches 501.

2. *Mamelons complexes.*

Ces formes assez fréquentes semblent résulter de la jonction de deux ou parfois trois éléments elliptiques, ce qui aboutit à un relief ensellé et plusieurs fois lobé. Parfois c'est une toute petite bosse qui se greffe sur le mamelon, le contact étant souligné par un sillon plus ou moins net. Un cas extrême est réalisé dans les « buttes boursouflées », résultant de l'anastomose de plusieurs petits éléments (Grangettes 496).

Exemples: Epenay 533, Pré-Abram 538, Molard-Pareillet 599.

Ces deux premières catégories de formes sont caractérisées par une certaine asymétrie, c'est-à-dire que dans la plupart des cas le versant dirigé vers le lac a une pente plus forte que celui orienté vers le Jura. On peut généraliser cette observation en disant que: *La pente vers l'intérieur de l'alignement est plus forte que celle vers l'extérieur.* Cette asymétrie est importante pour expliquer leur mode de formation, nous y reviendrons plus loin.

3. *Mamelons en « plate-forme » simples.*

Nous désignons par ce terme certains reliefs assez fréquents, visibles surtout dans la région de Champ-de-Pierres. Ils ont l'allure de lambeaux de « terrasse », à surface plus ou moins ondulée. Le talus orienté vers le lac est abrupt, tandis que sur tous les autres côtés, la pente est douce; l'asymétrie est de nouveau manifeste. Ces formes en plate-forme se rencontrent aussi dans les régions de fermeture des stades, régions où les mamelons sont perpendiculaires à la direction générale des alignements. Un cas est celui de Crans, la pente rapide est vers le NE et la pente douce vers le SW, cette dernière est bordée par un ruisseau en drainage périphérique. D'autres exemples sont ceux de Cheny 580 et N du Clos-de-Barin 523.

4. *Mamelons en « plate-forme » complexes.*

Ces formes sont strictement localisées dans la région du Bois-de-Chênes. Leur description est malaisée, il s'agit de plate-formes irrégulières, à une ou plusieurs branches méandriformes. Ces dernières disparaissent latéralement ou se ferment en ellipses irrégulières autour de dépressions remplies par des lagots ou par des surfaces marécageuses et boursouflées. Aeberhardt [2] avait déjà décrit des dépressions mais sans en comprendre la signification. Nous les considérons maintenant comme des « Sölle », c'est-à-dire des creux de glace morte, semblables au « tines péri-glaciaires » décrites par E. Gagnebin dans les terrasses de Thonon [7]. Nous insistons sur la localisation de ces dépressions au pied de l'escarpement de La Côte. Les plus beaux exemples sont ceux de: Lac-Vert 548, Baigne-aux-Chevaux 508.

5. *Mamelons en « vallum ».*

C'est par une discussion sur le terrain avec M. E. Gagnebin que nous avons été amené à distinguer ce type de relief, localisé de nouveau dans la région du Bois-de-Chênes. Il se présente comme un bourrelet allongé à surface ondulante, tout à fait semblable à un rempart; mais les relations latérales montrent aisément qu'il résulte de l'empâtement de plusieurs individus.

Exemples: Balavy – Lac-Vert – La Crosette, à 540.

STRUCTURE DES MAMELONS.

La stratigraphie typique de ces buttes est la suivante de bas en haut:

- a) Moraine de fond argileuse à galets striés, rarement visible et formant le substratum;
- b) Ensemble complexe de graviers, sables, le plus souvent confusément entremêlés, avec par places de gros blocs erratiques. Epaisseur moyenne: environ 10 à 20 m;
- c) Chape morainique formée de blocaille anguleuse presque sans ciment, épaisseur de 0 à 2 m;

- d) Terre rouge: 0,50 m;
- e) Terre grise: 0,50 m;
- f) Terre moderne: 0,30 m.

Examinons maintenant les types de structure du complexe « b ».

1. *Couches horizontales ou faiblement inclinées.*

Elles sont visibles surtout dans les mamelons en plate-forme simples ou complexes et, parfois dans ceux simples peu élevés. L'inclinaison des couches atteint rarement 30° , la stratification est irrégulière. Les couches sablo-graveleuses contiennent souvent des lentilles d'argile rubanée. Les recoulements en biseau allongé sont fréquents et les discordances angulaires sont si faibles qu'il ne semble pas que le matériel ait été perturbé lors de son dépôt; à notre avis les inclinaisons sont purement sédimentaires.

Exemple: Crusaz 542.

2. *Couches très inclinées, parfois redressées.*

On les observe dans les gros mamelons. Les couches sont en général obliques à la base de la coupe (60° à 70°) et leur partie supérieure est brusquement coupée par des couches subhorizontales ou plongeant en sens inverse. La variété de ces discordances est infinie et il est souvent difficile de trancher s'il y a eu déformation postérieure au dépôt ou glissement différentiel des sédiments sous l'action de la gravité. Cependant, dans certains cas, il ne fait aucun doute que les inclinaisons (même de 60°) soient primaires, mais ailleurs les couches redressées ne sont explicables que par des déformations mécaniques contemporaines ou postérieures à la sédimentation. Parfois les mouvements ont été accompagnés d'érosions.

Exemple: Cretannaux 467.

3. *Couches plissées en anticlinaux déjetés.*

La découverte de ces plis à l'intérieur des buttes [10] fut à l'origine de ce travail. Déjà en 1900, Aeberhardt [2] avait figuré de petites ondulations qu'il avait observées dans cer-

taines gravières, en particulier dans celle du Molard; et il écrivait: « les couches semblent avoir en quelque sorte glissé les unes sur les autres par l'action d'une force superficielle ». Plus loin, il répète la même observation pour les collines au N de Trélex -- Gingins - Givrins.

Depuis 1900 de nouvelles gravières furent ouvertes et le hasard d'une excursion avec mon ami A. Jayet nous fit découvrir de magnifiques plissements dans les collines de Epenay 530, Bégnins 530 et Cretannaux 470 [3, 10].

La butte d'Epenay présente une morphologie ensellée et se trouve entamée à ses deux extrémités par des exploitations. On y reconnaît la superposition suivante, de haut en bas:

1. Gravier morainique (chape): 1,50 m;
2. Sablon jaune finement stratifié: 0,60 m;
3. Petite blocaille ¹ à éléments anguleux et arrondis: 0,70 m;
4. Sablon jaune: 0,50 m;
5. Complex de graviers et de sables stratifiés avec lentilles de matériel plus grossier: 3,00 m.

Le sablon inférieur (n° 4) est un excellent repère, il s'étire sur une distance de quelques mètres et son épaisseur normale de 25-30 cm se réduit progressivement pour passer à 0 et rester ensuite de 4 cm environ. Il forme une succession de petits plis-failles en « S » ou en « Z », étagés en une série de cascades dont l'ordre de grandeur est de 50 cm. La différence de niveau atteinte est de 2 m, ce qui donnerait la hauteur de l'anticlinal. La poussée s'est exercée du SW vers le NE, la partie SW est inclinée de 25° seulement, alors que la partie NW, affectée des mouvements décrits plus haut, plonge en moyenne de 45°. Au-dessus et au-dessous du sablon, les terrains subissent les mêmes effets, mais leur allure est moins tourmentée.

A 80 m de là, vers le S, à l'extrémité du même chaînon, une seconde gravière montre le même complexe de terrains et un

¹ Nous désignons sous le terme de « blocaille » un dépôt chaotique formé par des cailloux arrondis ou anguleux réunis par un faible ciment, la taille des éléments varie d'un gros gravier à des blocs de la grosseur d'une tête.

ensemble de faits analogues; le plissement dysharmonique entre sablon et graviers y est très net. Il s'agit bien du flanc sud de l'anticlinal déjeté, notons encore que le cœur du pli est formé par une masse de sablon fin entouré par une couverture discordante de graviers grossiers.

Il est important de mettre en évidence les rapports entre la moraine de fond formant le substratum et les graviers morainiques plissés. La gravière de l'extrême orientale de cette même colline d'Epenay montre un sillon de moraine qui coupe

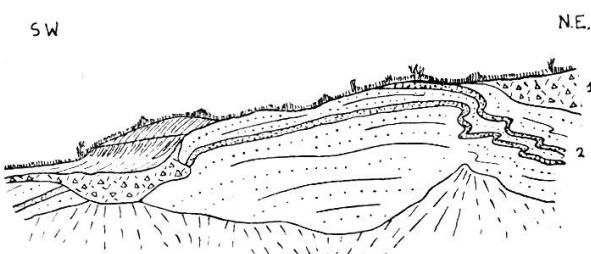


Fig. 1.

*Coupe d'un mamelon plissé (Epenay E)
montrant les relations entre les graviers et la moraine.*

1. Moraine, à gauche en sillon, à droite sous forme de chape.
2. Complexe de graviers et de sables plissés.

à l'emporte-pièce les graviers (fig. 1). A l'autre extrémité le cas est encore plus frappant, ce sont de véritables apophyses de moraine qui s'enfoncent irrégulièrement dans les graviers en formant les replis déjà décrits, ces derniers s'atténuant du reste vers le bas.

En résumé, l'on a visiblement le résultat d'une compression superficielle des graviers morainiques avec « injections » de lambeaux de moraine de fond.

Non loin de là, près de la scierie de Vich, à Crétannaux (470) plus exactement, se dresse une large butte à contours confus. La structure est semblable à celle décrite à Trélex, mais beaucoup moins nette; c'est de nouveau un anticlinal surbaissé, mais déjeté vers le SE. Il est formé par les mêmes sédiments morainiques grossiers et fins. Ici, en revanche, le rôle de la moraine apparaît clairement, des coins d'argile à blocaux pénètrent dans les graviers qui se moulent en « S » autour d'eux. Il n'est pas

rare d'observer des lentilles de blocaille (chape) entre des couches de sablon ou en « injection » dans les graviers. Ces mélanges intimes de matériel superficiel et profond nous incitent à y voir les effets d'un puissant resserrement qui a confusément mêlé les diverses couches.

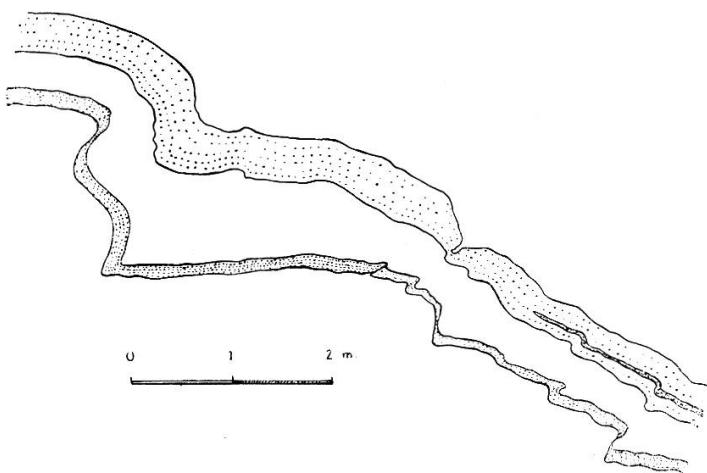


Fig. 2.

Détail de l'anticlinal déjeté d'Epenay E. (530.)

Seuls les bancs de sable ont été figurés.

Un autre exemple de ces plis se trouve en contre-bas du village de Bagnins (530), où une grande gravière a largement entamé un mamelon complexe. La coupe montre deux bombements surbaissés séparés par un ensellement. La série est la suivante de haut en bas :

1. Terre rouge: 0,30 m;
2. Grosse blocaille (chape): 1,00 m;
3. Sablon fin jaune: 0,20 m;
4. Fine blocaille: 0,75 m;
5. Sablon fin jaune: 0,25 m;
6. Grosse blocaille devenant fine vers le bas: 0,80 m;
7. Sablon fin jaune fortement plissé: 0,15 m;
8. Complexe finement stratifié de sable fin et de gravier plus ou moins grossier: 0,50 m.

Les niveaux inférieurs (6, 7 et 8) sont fortement plissés sur les flancs de l'ensellement, surtout le sablon 7 qui s'étire en une

succession de plis en cascade pour former enfin un pli-faille de 0,50 m de hauteur. La différence de niveau atteinte par l'ensemble plissé est de 2,50 m. Le sablon en question montre à son intérieur des couches stratifiées en discordance très nette avec les contours actuels du banc, indiquant par là que le plissement s'est effectué après le dépôt. Les plis s'atténuent dans les matériaux plus grossiers; les sablons supérieurs ne montrent que de faibles ondulations, simples accidents de la courbure synclinale. L'orientation de la coupe est NW-SE et il semble que la poussée se soit faite dans une direction grossièrement parallèle, mais cette fois-ci vers le SE. Si l'on compare cet aspect des plissements avec celui de Trélex, on note une différence importante: à Begnins, la double structure résulte d'un excès de matière et les plis s'accentuent vers le bas où la force semble avoir été assez forte; à Trélex, le pli est simple et s'atténue vers le bas, la force ayant agi plus superficiellement, ce sont là deux variantes d'un même phénomène.

Mais, ailleurs, la poussée n'a pas été assez forte et la moraine de fond n'a pas participé aux plissements, elle s'est comportée comme une plate-forme de glissement sur laquelle les sables et les graviers du retrait se sont plissotés. De telles ondulations affectant des couches subhorizontales ont été décrites par Aeberhardt [2] dans la gravière (aujourd'hui abandonnée) de Sur-Trélex 560. Comme dans tous les cas précédents, l'ensemble des couches est plissé, y compris la chape morainique. Pourtant il ne faudrait pas en tirer de règle générale, en effet la coupe de la colline de Molard-Chauderon 599, orientée SE-NW, montre quatre anticlinaux plus ou moins déjetés, formés toujours par les graviers et les sables. Le cœur de chaque pli est rempli par du sable pur stratifié subhorizontalement, entouré par une couverture discordante plissée de graviers. La partie supérieure de ces derniers est coupée nette à la corde par la chape morainique « transgressant » horizontalement sur la formation plissée.

4. *Couches plissées en cascade.*

Il s'agit là d'un cas fréquent, les sables surtout sont affectés par une succession de plis en cascade, dont certains passent à

des plis-failles et même à des failles normales. Parfois ces séries de plis secondaires se produisent sur les flancs d'anticlinaux ou de synclinaux majeurs (Bégnins), ailleurs ils existent seuls et résultent de glissements et de tassements par décharge ou décompression. Le plus bel exemple est celui de Molard-Pareillet, invisible de nos jours, mais bien figuré par Aeberhardt [2].

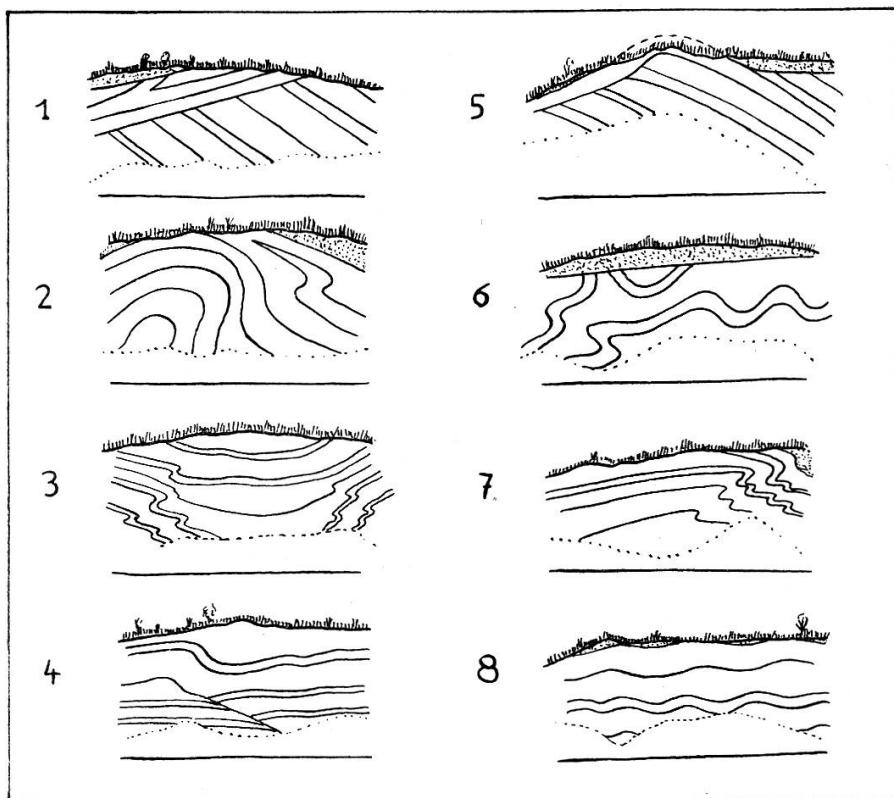


Fig. 3.

Types de structure des mamelons.

1. Couches inclinées et redressées: Sery 480.
2. Couches en anticlinaux déjetés: Epenay W 530.
3. Couches plissées en cascade: Bégnins 530.
4. Faille inverse: La Pièce 567.
5. Couches redressées et plissées: La Tourbière 490.
6. Couches plissées avec discordance de la chape: Molard Chauderon 599.
7. Couches plissées en anticlinaux très déjetés et plis en cascade: Epenay E 530.
8. Couches ondulées: Crusaz 542.

La chape morainique est figurée en pointillé.

Les dessins ont été faits sur la base de photographies, les n°s 1, 5, 8 en partie d'après les dessins d'Aeberhardt dans [2].

5. Couches faillées.

Les failles normales sont très fréquentes dans les dépôts du retrait et leur signification est évidente, beaucoup plus rarement on observe des failles inverses témoignant d'une compression.

La gravière de La Pièce 567 en est un bel exemple. Au-dessus de la moraine de fond on note une dizaine de mètres de sables et graviers à stratification confuse; il est impossible de relever une stratigraphie générale, tant est grand le désordre. Les couches inférieures sableuses sont affectées par deux failles inverses dont le rejet stratigraphique est de 30 cm environ. Les plans de faille s'incurvent vers le haut et viennent buter contre les couches supérieures subhorizontales qui n'ont pas été touchées par le mouvement. Ainsi les sédiments du retrait ont été comprimés et faillés pendant la sédimentation et ont vraisemblablement glissé sur la moraine de fond.

Résumons en un tableau les relations entre les plissements et les diverses couches.

Types de plis	Moraine de fond	Sables et graviers	Chape morainique	Observations
Anticlinaux déjetés	Plissée et injectée	Plissés. Foissonnement, disharmonies, bourrage en profondeur.	Plissée, parfois seulement sur les flancs.	Plissements après le dépôt de la chape
Plis en ondulations	Non affectée	Affectés	Affectée	Idem
Plis en cascade, failles normales	Idem	Idem	Non affectée ou faiblement	Idem
Failles inverses	Idem	Affectés en partie	Non affectée	Plissements avant le dépôt de la chape

N'oublions pas que, dans tous les cas, la direction de la poussée est perpendiculaire au grand axe du relief et la force agissante venant du SE. En nous basant sur les coupes visibles, essayons encore de tracer les relations entre la structure et la morphologie:

Morphologie	Structure générale	Structure exceptionnelle
Mamelon simple peu élevé	Couches horizontales ou inclinées	Couches redressées
Mamelon simple élevé	Couches inclinées ou replissées	Couches faillées
Mamelon complexe peu élevé	Couches horizontales ou inclinées	Couches redressées
Mamelon complexe élevé	Couches inclinées ou replissées	Couches faillées
Mamelon en vallum	Couches redressées ou plissées	Couches faillées
Mamelon en croissant	Couches inclinées ou horizontales	Couches redressées
Mamelon en plate-forme simple	Couches horizontales ou peu inclinées	Couches faillées
Mamelon en plate-forme complexe	Couches horizontales ou peu inclinées	Couches faillées

Ce tableau ne représente qu'un essai de classification rudimentaire et il est loin de rendre compte de toutes les possibilités, et il faudrait, si possible, envisager chaque cas isolément.

GRANULOMÉTRIE ET CONSTITUTION DU MATÉRIEL.

Il n'est pas surprenant de constater que la plus grande partie du matériel de ces dépôts du retrait soit d'origine jurassienne. On ne peut que partager les vues d'Aeberhardt [2] lorsqu'il écrit: « Quand on songe que le glacier sorti du Valais a côtoyé la chaîne du Jura, avec ses calcaires si peu résistants, du Chasseron au Fort-de-l'Ecluse, on devra se dire que malgré l'apport de blocs alpins provenant de la moraine profonde, ses dépôts latéraux ont dû se composer en grande partie d'éléments jurassiens. » Il est donc normal de constater une diminution

progressive des éléments jurassiens au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la chaîne.

En reprenant et en complétant les quelques chiffres fournis par Aeberhardt, nous avons dressé un tableau avec les proportions en pour-cent des éléments jurassiens (*j*) et alpins (*a*) récoltés dans les principales gravières de la région étudiée.

					Moyennes
Stade 600	<i>j</i>	78	76	79	77
	<i>a</i>	22	24	21	23
Stade 530	<i>j</i>	58	61	61	60
	<i>a</i>	42	39	39	40
Stade 510	<i>j</i>	75	72	76	76
	<i>a</i>	25	28	24	25
Stade 490	<i>j</i>	65	74	74	71
	<i>a</i>	35	26	26	29
Stade 480	<i>j</i>	70	62	68	66
	<i>a</i>	30	38	32	34

A part quelques anomalies locales, on voit que dans les grandes lignes la variation est telle que nous l'avons indiquée plus haut, c'est-à-dire que les éléments jurassiens varient en raison inverse des éléments alpins, en s'éloignant du Jura. Mais, dès que l'on arrive à la plate-forme de Gland située en contre-bas de celle de Coissins, les gravières montrent une stratification peu marquée et des couches horizontales ou faiblement inclinées vers le lac. De nouveau le matériel jurassien prédomine brusquement; les proportions sont à la gravière de Gland:

Prises	1	2	3	4	Moyennes
<i>j</i>	75	78	71	70	74
<i>a</i>	25	22	29	30	26

Ainsi la proportion d'éléments jurassiens atteint presque la valeur de celle du stade le plus élevé de 600 m. Il faut donc envisager dans le mode de formation de la plate-forme de Gland un apport massif de matériel jurassien que nous expliquerons dans les conclusions.

En étudiant granulométriquement le matériel, on remarque une très faible proportion de cailloux striés, mais leur réparti-

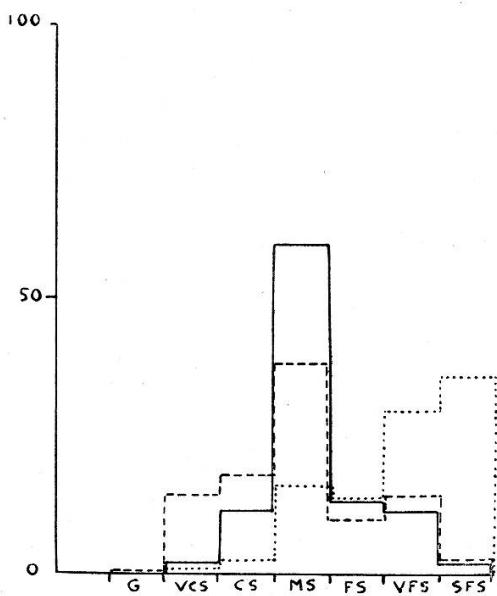


Fig. 4.

Courbes granulométriques du matériel formant les mamelons.

En abscisse l'échelle choisie, en ordonnée le pour-cent en poids.

Trélex 1:
 Trélex 2: - - -
 Trélex 3: —

tion n'est pas quelconque. Ils ne se rencontrent que dans le matériel donnant une courbe de type glaciaire, c'est-à-dire caractérisée par un mélange hétérogène d'éléments anguleux, à forte teneur en particules ultra-fines. C'est dire qu'il s'agit d'un matériel provenant du *délavage immédiat des moraines*¹ et qui n'a subi qu'un classement rudimentaire. Dès que la courbe prend une allure plus symétrique, exprimant un milieu torrentiel, les cailloux striés disparaissent, plutôt leurs stries ont été effacées par l'usure des eaux courantes (fig. 4).

¹ Superficielles, internes ou profondes.

Le tableau ci-dessous donne quelques compositions exprimées en pour-cent de poids et selon l'échelle des auteurs anglo-saxons (voir références dans [13]):

G	gravel	> \mathcal{D} 2 mm
VCS	very coarse sand	2 > \mathcal{D} 1 mm
CS	coarse sand	1 > \mathcal{D} > 0,60 mm
MS	medium sand	0,60 > \mathcal{D} > 0,40 mm
FS	fine sand	0,40 > \mathcal{D} > 0,20 mm
VFS	very fine sand	0,20 > \mathcal{D} > 0,10 mm
SFS	superfine sand	0,10 > \mathcal{D} > mm

Il importe de mettre en évidence un hiatus granulométrique important du point de vue génétique, c'est l'absence quasi constante des graviers grossiers et la coexistence de sables et de graviers fins avec des blocs assez gros. Cela exprime une origine mixte: pour une part une sédimentation active de matériel fin dans lequel la fonte de la glace a laissé tomber de façon passive des blocs erratiques.

Localité	G	VCS	CS	MS	FS	VFS	SFS	Observations
Trélex 1	—	0,50	2,15	16,00	14,10	29,85	37,00	Cailloux striés
Trélex 2	0,80	14,45	18,15	38,85	10,25	14,40	3,53	Cailloux striés rares
Trélex 3	—	1,45	11,80	60,00	13,12	11,50	2,25	Pas de cailloux striés
Crans 1	—	2,45	15,60	55,25	12,15	11,30	3,50	Idem
Crans 2	1,22	38,10	30,20	16,30	3,85	5,80	4,40	Idem

Ces chiffres sont donnés de façon à montrer le classement progressif du matériel lié à la disparition des cailloux striés. En conclusion, on voit que le matériel formant les dépôts du retrait würmien est d'*origine glaciaire immédiate*, plus ou moins remanié par les torrents de fonte.

VUE D'ENSEMBLE DES PHÉNOMÈNES DE RETRAIT.

En étudiant la même région en 1901, Aeberhardt [2] était arrivé à la notion que les collines situées au N de la ligne

Givrins-Trélex-Gingins (stades de 580 et 600) étaient *la moraine latérale du glacier du Rhône*, déposée pendant un arrêt précédent le retrait définitif. Mais l'état des connaissances à son époque ne lui permettait pas d'étendre cette conclusion aux autres alignements de collines situées en contre-bas, et qu'il considérait comme des formations sous-glaciaires contemporaines. Voici du reste ce qu'il écrivait: « Tandis que le glacier déposait des moraines latérales, des torrents glaciaires provenant de la fonte auraient pris les matériaux de la moraine profonde et les auraient irrégulièrement stratifiés dans de larges canaux sous-glaciaires, puis le glacier se mouvant aurait donné à ces dépôts leur forme caractéristique. »

A notre avis, il est impossible de différencier un alignement d'un autre; quelque soit l'altitude, les caractères morphologiques et structuraux sont semblables, et précisément l'altitude constante d'un alignement donné est un argument décisif en faveur de la notion d'un *dépôt latéral de retrait*¹. Il n'est plus question d'en faire des formations sous-glaciaires.

L'étagement des mamelons et des plate-formes connexes, permet de suivre les étapes du retrait du glacier rhodanien, retrait qui s'est effectué par petits à-coups suivis d'arrêts de courte durée. En effet, les stades sont les suivants: 600-580-560-540-530-520-510-490-480-470-440-430. Pareille régularité ne

¹ Il importe de discuter ici le terme « dépôt latéral »; d'après la géologie classique, *une moraine latérale* est transportée par le glacier, elle se trouve donc originellement sur ou dans la glace. Or, dans la région étudiée, de tels dépôts n'existent pas, mais sont remplacés par des traînées de buttes formées par des cailloutis et des sables dus à des apports torrentiels le long du bord glaciaire. Ces matériaux n'ont donc pas été mouvants sur le glacier, mais parfois, comme nous l'avons vu plus haut, la poussée de la glace, en général postérieure au dépôt, a pu les plisser, en accentuant leur forme en bourrelets allongés, simulant une véritable moraine mouvante. *Ainsi, ce type de sédimentation glaciaire périphérique remplace la moraine latérale*, mais si l'avenir nous montre que ce phénomène est général, il faudra lui étendre le terme de moraine latérale, en lui donnant un sens plus large. Il n'y a aucun doute sur la fréquence des passages latéraux entre des moraines typiques à blocs et des formations plus ou moins stratifiées; selon les conditions locales, c'est le premier ou le second type de dépôt qui prédomine, mais en réalité ce sont deux faciès d'une même formation.

doit pas nous surprendre; par exemple, les terrasses de Thonon décrites par E. Gagnebin [7], s'étagent aussi de façon continue, et cet auteur écrit: « ... le décalage d'altitude entre les terrasses est bien le fait de l'abaissement du cours de la Drance, mais déterminé lui-même par l'abaissement de la surface du glacier en décrue. Et nous voyons ici que cet abaissement du glacier s'est produit par saccades, sans que l'on puisse distinguer un stade plus important que les autres. » Nous ne pouvons que confirmer pleinement cette manière de voir, et il est intéressant de tenter une comparaison entre les altitudes des terrasses de Thonon et celles des stades de retrait entre Crassier et Bagnins¹. Ces deux témoins, de nature différente d'un même phénomène, devraient se compléter l'un l'autre:

Terrasses de Thonon		Stades de retrait Crassier-Bagnins	
Capite . . .	730		
Sous Capite .	710		
Sur Lyaud. .	690	{ N'existent pas dans le domaine de notre étude.	
Lyaud . . .	670		
Sur Armoy .	650		
Armoy . . .	640		
Sous Armoy .	615 . . .	600 } Plate-forme de Molard-	
Planaise . .	580 . . .	580 } Pareillet.	
?	?	560 Plate-forme de La Coquaz.	
Promeneurs .	540 . . .	540 *	{ Plate-forme de Coinsins
?	?	530	
?	?	520	
?	?	510	
Chessy . . .	490 . . .	500-490 *	
?	?	480	
Morillon . .	475 . . .	470	
Sur Crête . .	455 . . .	440 } Plate-forme de Gland.	
Thonon . . .	435 . . .	430 }	

N. B. — Les stades les plus importants sont en italique.

* Présence de dépressions de glace morte (Sölle) confirmant l'importance du stationnement.

¹ Nous donnons cette comparaison sous toutes réserves, car la région de Thonon devrait être comparée à celle de Morges qui lui fait face, malheureusement des études détaillées n'y ont pas encore été faites. L'avenir dira quelle est la valeur du parallélisme que nous avons tenté et si l'on peut admettre une liaison directe entre les deux régions.

Ainsi les principaux stades de la région de Crassier-Begnins trouvent aisément leurs équivalents de l'autre côté du lac. Les autres stades intermédiaires ne semblent pas avoir laissé de trace dans la région de Thonon. M. Gagnebin nous a cependant dit qu'il n'est pas exclu que l'on retrouve ces niveaux intermédiaires; l'étude de Thonon ayant été faite sur la base de la carte au 1:80 000^e, ne permettait que le relevé des terrasses principales. Cependant un fait est à noter: c'est que les éventuelles terrasses intermédiaires se placeraient entre celles de Chessy, Promeneurs et Planaise, terrasses qui sont séparées par une différence d'altitude plus forte que les autres. Cette coïncidence n'est pas le fait du hasard et montre l'intérêt qu'aurait une reprise de l'étude de la région de Thonon. Les corrélations examinées plus haut nous confirment dans l'idée que, en ce qui concerne les dépôts latéraux, la surface du glacier en décrue peut être comparée à celle d'une nappe d'eau qui s'abaisse. En d'autres termes, la vitesse de fusion verticale a été partout la même ou ce qui revient à dire qu'en temps donné l'épaisseur moyenne de la tranche de glace disparue a été partout la même. D'autre part on constate qu'entre Begnins et Crassier l'écartement des stades varie du simple au double; par exemple la distance topographique séparant le stade 510 du stade 500 est à Begnins de 500 m (pente du terrain 6%) et à Crassier de 1 km (pente du terrain 3%). Ainsi la surface découverte a été plus grande au SW qu'au NE, bien que la tranche de glace disparue ait été partout la même (10 m dans le cas envisagé). Il importe de mettre en évidence que dans notre région la distance séparant les stades est fonction de la pente du terrain et qu'il n'est pas nécessaire d'envisager des conditions variables de fonte selon les endroits. En revanche, dans les régions frontales, le retrait s'est effectué très rapidement, la surface étant presque plane, cette rapidité relative explique, par exemple, la rareté des dépôts du retrait dans le bassin de Genève.

Essayons maintenant de pénétrer plus à fond dans la genèse des mamelons. Supposons un stationnement du bord glaciaire; les matériaux morainiques drainés par les eaux de fonte se componaient en grande partie d'éléments jurassiens. La raison en a été déjà fournie par Aeberhardt qui écrivait dans [2]:

« Quand on aura songé que le glacier sorti du Valais a côtoyé la chaîne du Jura, avec ses calcaires si peu résistants à la gelée, du Chasseron jusqu'au Fort-de-l'Ecluse, on devra se dire que malgré l'apport de blocs alpins provenant de la moraine superficielle comme de la moraine profonde, ses moraines latérales ont dû se composer en grande partie d'éléments jurassiens. »

Le drainage des eaux de fonte devait se faire par des torrents circulant dans ou sur la glace et venant de la partie interne du glacier (du SE) et s'écoulant vers la partie externe (au NW). Les exutoires se localisent tout le long du bord glaciaire en y greffant des collines de graviers simples ou complexes, analogues à des cônes « deltaïques » d'un type particulier; bien entendu il faut envisager aussi un apport d'eau en provenance des pentes du Jura et qui contribue à l'enrichissement en matériel jurassien et à son remaniement.

Ainsi chaque colline est un individu propre, correspondant à l'exutoire d'un torrent temporaire. Ce mode de formation rend seul compte de tous les caractères décrits plus haut:

1. *L'asymétrie des reliefs.*

Elle résulte du fait que le matériel était déchargé sur le bord du glacier, la pente rapide vers le SE correspond au côté de la colline flanqué contre la glace, de plus le mouvement de cette dernière et l'érosion qui en résultait devaient aussi contribuer à maintenir une pente forte.

2. *La stratification désordonnée.*

Elle indique des variations de débit, de position du cours d'eau et surtout une rupture de pente à sa sortie du glacier. La structure dite deltaïque est largement représentée dans les mamelons, mais nous croyons qu'elle ne signifie pas nécessairement un dépôt dans une nappe d'eau (lac marginal), mais qu'elle peut aussi résulter de la simple décharge du matériel gorgé d'eau dans une dépression marécageuse.

3. *La forme allongée des reliefs.*

Il semblerait de prime abord que si les mamelons représentent des exutoires de torrents, leur forme devrait être sub-

circulaire et non pas en ellipse très allongée comme c'est généralement le cas. Deux faits principaux sont responsables de cette morphologie, et d'abord une raison locale; le matériel n'est pas toujours accumulé par un seul torrent, mais par un faisceau de drainage répartissant les dépôts sur quelques centaines de mètres le long du bord glaciaire.

Ensuite il y a une raison d'ordre général¹, c'est que la notion de retrait glaciaire signifie fusion plus forte que l'alimentation, ce qui revient à dire que même lors de la fonte, des points quelconques d'un glacier progressent toujours. Ainsi l'exutoire d'un torrent ne reste pas stationnaire, mais progresse vers l'avant, le cône de matériel se déplace et prend une forme allongée elliptique si caractéristique des mamelons simples, parfois l'aire de balayage n'a pas été parcourue à une vitesse uniforme et les temps d'arrêt se marquent par une abondance locale de matériel, ce qui aboutit à des reliefs complexes, comme celui de Molard-Pareillet 599, formé de trois bosses juxtaposées. Ce mode de formation ne s'applique cependant pas aux mamelons en « vallum » du Bois-de-Chênes qui eux résultent bien des dépôts d'un faisceau de rigoles.

Dans toute étude, il faudra donc envisager deux possibilités pour expliquer la forme allongée des reliefs, un faisceau de rigoles ou le déplacement dans le temps d'une seule rigole. En règle générale, le premier mode conduit à une morphologie confuse, tandis que le second aboutit à des formes plus nettes.

4. *Les déformations* (plissements et failles).

Elles sont d'origine variée, mais résultent la plupart du temps des oscillations du bord glaciaire pendant le retrait (3). Les mouvements ont perturbé la formation des dépôts latéraux, par compression ou décompression; nous sommes parfaitement d'accord avec D. Aubert et A. Falconnier qui écrivent dans [1]: « Les déformations sont dues soit à des poussées temporaires du glacier qui ont pu replisser, sectionner ou même chevaucher les dépôts, soit à des affaissements localisés de ceux-ci provo-

¹ C'est au cours d'une discussion sur le terrain que M. le professeur E. Paréjas nous a suggéré cette idée originale.

qués par la fonte de loupes de glace morte, soit enfin à des écoulements du talus déterminés par une surcharge rapide de ce dernier à la suite d'une débâcle alluviale ou encore par une vidange brusque d'un lac temporaire, consécutive à une débâcle sous-glaciaire.¹ »

5. *La chape morainique.*

Nous avons vu que le faciès terminal se présente comme une grosse blocaille à cailloux striés disséminés et à faible ciment argileux. Son contact sur les sables et graviers est franc, tranché, et, fait important, la grosseur du matériel augmente vers le haut tandis que les niveaux sous-jacents, le graded-bedding à granulométrie croissante vers le bas, est de règle. L'aspect général et ce classement inverse nous amènent à la notion que la chape morainique n'a pas été déposée par les eaux de fonte, mais abandonnée de façon passive; et qu'elle représente *la moraine superficielle du glacier*. Ce facies présent dans tous les stades de retrait indique que la fusion de la glace s'est effectuée de façon progressive, terminée par un épisode brusque, parfois accompagné d'oscillations qui ont permis à la chape de transgresser sur les formations antérieures en les replissant ou parfois en comblant même des sillons d'origine érosive.

Nous avons parlé des liaisons étroites entre les plates-formes et les mamelons; en effet, ce sont deux effets d'une même cause. L'écoulement des eaux de fonte s'est fait suivant trois modes principaux, correspondant en gros à autant de types morphologiques:

1. Ecoulement torrentiel bien individualisé: reliefs circulaires ou elliptiques, simples ou complexes;
2. Ecoulement torrentiel mal individualisé: reliefs en plate-formes simples ou complexes;
3. Ecoulement non individualisé (ruissellement péri-glaciaire): tapis graveleux en plate-forme plus ou moins épais.

¹ N'oublions pas que les plissements peuvent être aussi dus à la simple avance d'un lobe du bord glaciaire, sans qu'il soit nécessaire d'admettre des poussées temporaires.

La prédominance locale et temporaire d'un ou plusieurs de ces trois modes et leur jeu réciproque permet d'envisager la formation de tous les reliefs observés. Théoriquement, on devrait s'attendre à trouver une plate-forme correspondant à chaque stade, mais l'apport de matériel ne semble pas avoir été suffisant, cela est illustré par le fait que les plates-formes sont d'autant mieux développées qu'elles supportent moins de

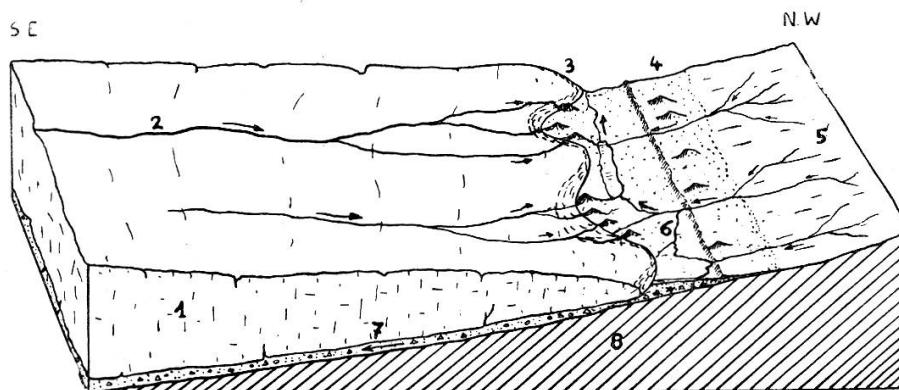


Fig. 5.

Essai de représentation du glacier würmien en retrait.

1. Glacier würmien.
2. Drainage supra-glaciaire passant au drainage périphérique.
3. Bord glaciaire avec sa rangée de mamelons reposant sur leur plate-forme.
4. Plate-forme d'un stade supérieur avec sa rangée de mamelons.
5. Pente du Jura et son drainage conséquent, passant au drainage périphérique glaciaire.
6. Lac marginal temporaire, dont l'étendue peut être très variable.
7. Moraine de fond et écoulement sous-glaciaire.
8. Substratum sédimentaire du Jura.

mamelons; la formation de ces derniers ayant en quelque sorte épuisé le matériel disponible. Souvent l'on remarque que les talus orientés vers le S des mamelons se poursuivent latéralement en esquissant la forme d'une plate-forme avortée, c'est encore une fois la preuve d'une utilisation privilégiée du matériel. Bien entendu, il faut aussi envisager des apports de matériel par les cours d'eau de drainage périphérique, surtout dans le cas des plates-formes, mais il est difficile de pouvoir estimer quelle a été leur importance. (Voir [1].)

Si l'on admet que les mamelons jalonnent les zones principales de drainage du bord glaciaire et que la fonte s'est effectuée sans accidents notables, il est probable que les axes de

drainage ont dû garder, dans le temps, un tracé à peu près constant (fig. 5); en d'autres termes, on doit observer d'un stade à l'autre, *une liaison transversale* entre les mamelons que l'on suppose avoir été les exutoires temporaires du même torrent. En effet, cette liaison existe et bien plus, on peut suivre, dans le temps, la ramification ou la disparition d'un torrent et voir s'il y a filiation des types morphologiques lors de ces modifications¹.

D'après les correspondances que nous avons essayé d'établir sur la carte ci-jointe, on voit qu'il existe en gros trois zones de drainage transverses séparées par des intervalles absolument dépourvus de mamelons et où seulement le tapis en plate-forme s'est déposé. Ces absences de mamelons ne sont pas dues à des érosions postérieures, car dans ce cas le tapis en plate-forme aurait aussi disparu, et au contraire c'est précisément dans ces zones où il est le mieux développé.

Les axes de drainage sont :

Avenex – Grens – Gingins.
Trélex – Bois de Ban.
Coinsins – Bois de Chênes.

En passant d'un stade supérieur à un stade inférieur, les torrents de drainage forment un réseau triangulaire dont le sommet est dirigé vers l'intérieur du glacier. Ce réseau hydrographique rudimentaire est assez semblable à celui que forment les ruisselets drainant les zones de pied-mont (« alluvial-fans » des auteurs anglo-saxons).

Examinons quelques cas particuliers: Dans la région de Gingins, on observe aux stades 600 et 580, trois reliefs allongés indiquant des exutoires éparpillés; au stade 540, deux reliefs plus massifs et plus élevés indiquent un rapprochement notable des rigoles qui semblent se rejoindre au stade 520 en formant le gros mamelon subcirculaire de Martinet. Le même cours d'eau a probablement formé en contre-bas la butte d'Avenex, ainsi l'allure triangulaire du drainage est manifeste.

¹ Observer sur la carte que les axes de drainage sont légèrement déviés dans le sens du mouvement de la glace, c'est-à-dire vers le N-W-W.

Un cas encore plus frappant est celui de Trélex – Bois-de-Ban. Dans les stades supérieurs (600 et 580) s'allongent des reliefs en plate-forme (écoulement mal individualisé), qui se résolvent dans les stades inférieurs (550-540-530) en un éparpillement de mamelons. On y distingue trois lignées principales qui se rejoignent à Trélex en formant le gros relief sur lequel est bâti le village. Plus à l'E se place un axe indépendant visible dès le stade 560 et qui se termine à Plantaz-Miracle (480).

Dans la région de Coinsins – Bois-de-Chênes, le drainage a été très important, en étendue et en volume; on assiste par deux fois au passage des mamelons en plate-forme complexe (540 et 500), à des alignements de petites buttes isolées ou en « vallum » (stades 530-520-510-490). On se rend compte facilement que les formes complexes résultent de l'anastomose de reliefs empâtés par un apport massif de matériel. Ce dernier est responsable de la formation des « Sölle » (Lac-Vert, Baigneaux-Chevaux), localisés seulement dans cette région et qui sont dues à la fonte tardive de masses de glace morte enfouies dans les alluvions. Du reste, nombreux sont les dépressions et les bassins fermés, comblés par la craie à mollusques ou la tourbe, qui s'allongent entre les stades. Une étude malacologique de ces dépôts serait d'un grand intérêt, mais déborde du cadre de ce travail.

En comparant les dépôts du retrait de Gimel [1] et ceux étudiés, on est frappé par l'importance de ces formations dans la région Coinsins – Bois-de-Chênes, cela nous incite à y voir un angle mort du bord glaciaire, conséquence directe de l'escarpement de La Côte contre lequel viennent buter la plupart des stades.

CONCLUSIONS.

La formation des mamelons et des plates-formes s'est poursuivie sans heurts depuis le stade 600 m jusqu'à celui de 470 m. A cette altitude, il semble s'être produit un retrait brusque jusqu'au niveau de 440 m qui amène déjà le front glaciaire dans le domaine de notre carte (Crans). Ce retrait brusque provoqua une forte augmentation du drainage périphérique

glaciaire et de celui des pentes jurassiennes; la plate-forme de Coinsins fut entamée par l'érosion, axée déjà sur le cours des rivières actuelles. Il en résulta un gros apport de matériel jurassien qui s'étendit sous forme de la large plate-forme de Gland, en noyant en partie les stades de 440 à 430 m, derniers vestiges importants du retrait würmien dans la région.

Il nous reste encore à élucider une question importante de nomenclature; dans notre note préliminaire [3], nous avions

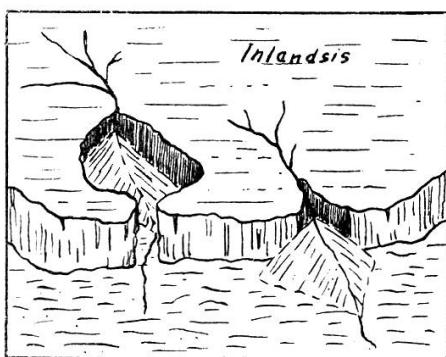


Fig. 6.

Mode de formation de « kames » simples intra et péri-glaciaires.

(D'après Emmons, Thiel, Stauffer, Allison modifié),
à comparer avec la fig. 5.

désigné les mamelons par le terme général de « kames péri-glaciaires », et ceci en nous rapportant aux études faites aux Etats-Unis d'Amérique [4, 9, 12], mais à la suite de diverses discussions, nous préférons abandonner ce terme car il se rapporte à des dépôts de peu d'importance formés par des cours d'eau sous-glaciaires ou immédiatement issus du glacier, tandis que les reliefs étudiés résultent d'un phénomène beaucoup plus vaste de ruissellement dans la dépression entre le bord du glacier et la surface topographique. On voit l'importance qu'il y a à préciser la nomenclature, à définir les termes soit morphologiquement, soit génétiquement, afin de se rapprocher le plus possible de la réalité géologique.

*Université de Genève.
Laboratoire de Géologie.*

BIBLIOGRAPHIE

1. AUBERT, A. et A. FALCONNIER, Présence de terrasses glacio-lacustres à Gimel (canton de Vaud). *Ecl. geol. Helvetiae*, à paraître.
2. AEBERHARDT, B., Etude critique sur la théorie de la phase de récurrence des glaciers jurassiens. *Ecl. geol. Helvetiae*, vol. 7, 1901.
3. CAROZZI, A., Les plissements des graviers morainiques du retrait würmien. *C. R. Soc. Phys. et Hist. nat.*, vol. 62, n° 3, 1945 (*Archives*, vol. 27, supplément).
4. EMMONS, THIEL, STAUFFER, ALLISON, *Geology, Principles et Processes*. Mc Graw-Hill, New York and London, 1939.
5. FALCONNIER, A., Etude géologique de la région du col du Marchairuz. *Mat. carte géol. Suisse*, nouvelle série, 27^e livraison.
6. GAGNEBIN, E., Les invasions glaciaires dans le bassin du Léman. *Bull. Lab. Géol. Univ. Lausanne*, n° 58, 1937.
7. —— Les terrains quaternaires des environs de Thonon (Haute-Savoie). *Ecl. geol. Helvetiae*, vol. 26, n° 2, 1933.
8. —— Les lacs de la Bennaz, au-dessus d'Evian (Haute-Savoie). *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.*, vol. 60, n° 245, 1937.
9. GREGORY, J. W., «The relation of Eskers and Kames». *Geog. Journ.*, vol. 40, 1912.
10. JAYET, A. et A. CAROZZI, Sur la découverte d'un plissement dans les graviers du retrait würmien à Trélex (canton de Vaud). *C. R. Soc. Phys. et Hist. nat.*, vol. 62, n° 2, 1945 (*Archives*, vol. 27, supplément).
11. LAGOTALA, H., Etude géologique de la région de la Dôle. *Mat. carte géol. Suisse*, N. S., 4^e livr., 1920.
12. LAHEE, F. H., *Field Geology*. 4^e édit., Mc Graw-Hill, New York and London, 1941.
13. ZINGG, T., *Beitrag zur Schotteranalyse*. Promotionsarbeit E.T.H., Zurich, 1930.

CARTES.

1. AEBERHARDT, B., *Carte du phénomène erratique des environs de Gingins*, Annexe de [2].
2. LAGOTALA, H., *Carte géologique de la région de Saint-Cergue-La Dôle*. 1: 25 000^e, carte spéci. n° 88, 1920.