

Les nappes de recouvrement de a Tatra et l'origine des klippes des carpathes

Autor(en): **Lugeon, Maurice**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **39 (1903)**

Heft 146

PDF erstellt am: **23.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-267014>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

LES NAPPES DE RECOUVREMENT DE LA TATRA ET L'ORIGINE DES KLIPPES DES CARPATHES

PAR

Maurice LUGEON,

Professeur de Géologie et de Géographie physique à l'Université de Lausanne.

SOMMAIRE. — *Introduction.*

- I. *Relations des Carpathes avec l'avant-pays.*
- II. *Considérations générales sur la Haute Tatra.*
- III. *La zone hauttatrique occidentale.* — 1. Les indices du phénomène de grands plis couchés. — 2. Quelques termes nécessaires. — 3. La coupe de la haute vallée de la Suchawoda. — 4. Le plan de recouvrement. — 5. Continuation vers l'ouest de la nappe hauttatrique.
- IV. *La zone hauttatrique orientale.*
- V. *La zone subtatrique; les nappes de recouvrement supérieures.* — 1. Vues générales. — 2. La région subtatrique occidentale. — 3. La région ouest sédimentaire de la Tatra. — 4. La région subtatrique orientale; nappes à arrêt libre et nappes à arrêt forcé.
- VI. *Relation des nappes tatriques avec le Nummulitique et le Flysch. Origine des Klippes.* — 1. La transgression nummulitique. — 2. Liaison de la Tatra avec les zones du flysch. — 3. Considérations théoriques. — 4. Hypothèse sur l'origine des Klippes.

INTRODUCTION

Dans les Alpes, à partir de l'Arve vers l'est, les chaînes qui dominent immédiatement l'avant-pays molassique sont formées par les plis frontaux de grandes nappes de recouvrement venues de l'intérieur de la région plissée.

Nulle part les plis autochtones ne surgissent de dessous l'épais manteau de molasse, et partout celle-ci disparaît sous la surface du charriage des nappes.

Ce n'est qu'au delà de l'Arve, vers le sud, que nous voyons les plis indigènes remplacer en surface les masses

étrangères. Cette disposition nous laisse croire que les nappes frontales des Alpes reposent, par l'intermédiaire d'un coussinet de molasse et de flysch, sur des plis enfouis de forme régulière. C'est du moins à cette conception que nous pouvons nous arrêter pour le moment.

Aussi loin qu'on examine le front de la chaîne alpine vers l'est, on voit l'avant-pays disparaître sous la région montagneuse.

J'ai montré¹, dans un récent ouvrage, que ce phénomène s'étendait au moins jusqu'aux Alpes de Salzburg, autrement dit tout le front nord de la chaîne en était victime.

Dans l'Europe, une chaîne présente, vers le nord, une convexité semblable à celle des Alpes, ce sont les *Carpathes*. Nous pouvons donc nous poser la question suivante : N'existe-t-il pas aussi dans cette chaîne de grands plis couchés cherchant à couvrir les régions tertiaires ?

Malheureusement je ne suis pas à même de discuter cette hypothèse comme j'ai pu le faire pour les Alpes et cela pour deux raisons fondamentales. Il n'existe pas de cartes géologiques détaillées de ces montagnes austro-hongroises, comparables à celles de la France et de la Suisse. Il est par suite très difficile de suivre les descriptions détaillées des auteurs. Enfin je ne connais rien des Carpathes, je n'y ai jamais été. Ces montagnes sont donc loin de m'être aussi familières que les Alpes.

Aussi n'aurais-je pas la témérité de m'adresser à une portion bien considérable de la chaîne. Je veux, ici, simplement montrer que les phénomènes décrits dans les Alpes se répètent ailleurs en Europe, ailleurs que dans les régions écossaises et scandinaves où ils ont été admirablement décrits, et ailleurs que dans cette Provence, terre

¹ Maurice Lugeon, *Les grandes nappes de recouvrement des Alpes du Chablais et de la Suisse*, « Bull. Soc. géol. de Fr. » 4^e S. t. I, p. 723, année 1901.

classique, où le promoteur de la théorie des grands phénomènes de recouvrement a trouvé les meilleurs exemples.

Nous possédons, grâce aux efforts de M. le professeur Uhlig, de très belles descriptions détaillées de plusieurs parties des Carpathes. Ce sont deux des travaux classiques¹ de ce savant qui me serviront de base. Je veux parler ici des célèbres mémoires sur la géologie de la Tatra et sur les Klippes piénines. Les descriptions sont faites avec un tel soin, une telle précision, que, accompagnées d'une superbe carte géologique très détaillée en ce qui concerne la Tatra, l'on peut, sans grand effort d'esprit, se croire transporté sur le terrain. C'est là ce qui fait le charme des œuvres du savant professeur de l'Université de Vienne et de ses travaux de grandioses monuments élevés à la géologie. Ce n'est pas sans émotion que je me vois aujourd'hui dans l'obligation de modifier la conception théorique qui a été donnée par mon illustre collègue. Les faits restent, la théorie seule change; et nous sommes tous réduits à voir un jour ou l'autre la théorie changer encore. Soyons donc heureux de pouvoir dire, comme me l'a dit mon maître M. Renevier, quand j'ai, à propos des Diablerets, interprété ses coupes et ses descriptions: « Je suis réjoui de voir que mon temps n'a point été perdu et que les faits que j'ai accumulés servent à l'avancement de la géologie. »

C'est le plus beau compliment que l'on puisse faire d'une œuvre scientifique et la plus grande garantie de sa vérité, quand on peut étayer avec l'aide des faits décrits dans l'œuvre une théorie contraire à celle émise. Et c'est là le résultat fécond des œuvres récentes, détaillées, les mono-

¹ V. Uhlig, *Die Geologie des Tatra Gebirges*, « Academie der Wissenschaft Wien, » Bd. LXIV (1897) et Bd. LXVIII (1899).

V. Uhlig, *Ergebnisse geologischer Aufnahmen in den westgalizischen Karpathen*, II Theil. *Die pieninische Klippenzug*, « Jahrbuch der K. K. geol. Reichsanstalt, » 1890, 40 Bd. 3 u. 4. Heft.

graphies. Celles sur la Haute-Tatra et les Klippes piénines sont de beaux exemples de ces travaux magistraux qui inspirent et qui excitent l'imagination.

I. Relations des Carpathes avec l'avant-pays.

Chacun connaît les magistrales pages écrites par M. Suess sur les rapports des Carpathes avec l'avant-pays.

En analysant les relations de ces montagnes avec la plate-forme russe, et en particulier avec les territoires de la vallée tertiaire du Prouth, où l'on cherche vainement les dépôts paleozoïques septentrionaux, l'auteur de la *Face de la terre* est conduit à une hypothèse saisissante qu'il formule de la façon suivante¹ : « Une partie de la plate-forme russe a été débordée par les plis des Carpathes. »

La démonstration de M. Suess est encore plus parlante lorsqu'il envisage les relations des Carpathes avec les Sudètes. L'exemple de la disparition du bassin houiller de la Silésie sous la chaîne tertiaire est classique. Les plissements des Carpathes ont marché sur la surface du houiller et ne s'arrêtent que sur la zone redressée des schistes et des grès du Culm.

D'autre part, on sait que les terrains miocènes qui forment une partie de l'avant-pays des Carpathes ont été refoulés nettement vers le nord.

Ainsi, partout, l'analyse détaillée du bord de la grande chaîne carpathique a donné un résultat uniforme. La chaîne a marché vers le nord comme une grande vague couvrant de ses flots de pierre l'avant-pays et plissant celui-ci quand il est, comme en Suisse, formé par le Miocène, dernier des terrains du géosynclinal localisé au nord de la chaîne.

L'incomparable maître, qui a su dévoiler l'ampleur de

¹ E. Suess, *La face de la terre*, vol. I, p. 239.

ce grand phénomène, insiste sur l'uniformité du mouvement dirigé vers l'extérieur de l'arc.

J'ai montré, de mon côté, inspiré par les pages de la *Face de la terre* et par les écrits de M. Marcel Bertrand, quelle grande uniformité règne dans les Alpes suisses. Il n'y a pas d'exception, partout les masses se pressent vers l'avant-pays septentrional.

Mes collègues du service de la carte géologique de France, MM. Haug, Kilian, Termier, ont dévoilé de grandioses phénomènes de recouvrement dirigés aussi dans la direction du bord de la grande courbure de la chaîne.

Dernièrement enfin des nappes de recouvrement découvertes dans le flanc nord des Pyrénées par M. Léon Bertrand ne laissent guère douter, à certains indices, de leur direction de poussée vers les plaines françaises.

Ainsi la grande « Rhipée » des anciens Grecs montre dans son versant nord une uniformité remarquable dans la direction du plissement. Nous pouvons donc aborder, sans grande chance d'erreur, croyons-nous, la seule exception considérable qui est présente encore, celle de la Haute-Tatra.

II. Considérations générales sur la Haute-Tatra.

Semblable à un ouvrage avancé et isolé d'une immense et gigantesque forteresse, la Magas-Tatra domine une région adoucie formée par le Flysch. Au nord, à l'est, au sud, partout au pied de cette grande chaîne solitaire nous voyons les terrains tertiaires. Du côté de l'ouest seulement un prolongement de terrain crétacique lie la Tatra aux terrains secondaires des Carpathes.

Cette Tatra est au centre d'une auréole arquée vers le nord formée par la célèbre et énigmatique région des Klippes. Il y a, dans cette disposition générale, quelque chose d'analogue à ce que nous voyons dans le Chablais,

entre la zone arquée des Préalpes externes et médianes et la région centrale, immense lambeau de recouvrement de la Brèche du Chablais.

* * *

La Haute-Tatra se subdivise, d'après M. Uhlig, en trois régions naturelles bien distinctes qui sont, en allant du nord au sud :

- 1^o La région subtatrique.
- 2^o La région hauttatrique.
- 3^o La région des roches cristallines ou massif central.

Enfin, épars au milieu du Flysch de la région méridionale, on trouve des lambeaux de terrain analogues à ceux de la zone subtatrique.

Les deux zones subtatrique et hauttatrique se distinguent l'une de l'autre à la fois par des faciès différents de plusieurs des terrains qui les composent et par leurs rapports tectoniques.

A. *Terrains*. L'étude très approfondie de M. Uhlig nous montre qu'à partir du Trias inférieur les conditions de sédimentation ont été très différentes dans les deux zones.

L'examen des deux colonnes suivantes donnera une idée suffisante des terrains constitutifs des deux zones, car il est à remarquer que les terrains sédimentaires qui s'appuient normalement sur les masses gneissiques et granitiques de la région centrale, sont les mêmes que ceux de la zone hauttatrique.

Zone hauttatrique.	Zone subtatrique.
— —	19. Eocène inférieur et oligoc. (Flysch). 18. Calc. et congl. nummul. 17. Conglom. et grès nummul.
16. Crétacique supérieur transgressif. Néocomien.	14-15. Murankalk et Chocsdolomit. 14-15. Néocomien supér. Gault avec une intercalation de marne. 13. Marnes tachetées néocomiennes.
9. Calcaire jurassique et liasique (calc. de la Haute Tatra) se terminant à la partie supérieure par des calc. grumeleux rouges du Jurassique supérieur; intercalation de calcaire à entroques du Dogger (couches de Klaus) et du Lias supérieur.	12. Marnes tachetées jurassiques. — 11. Lias sup. Calc. à silex ou à céphalopodes. Calc. à entroques, à brachyopodes et à bivalves. 10. Marnes tachetées du Lias, plus ou moins calcaires.
8. Couches de Gresten, Lias; schistes et grès de Pisana, dans la partie supérieure bancs calcaires.	8. Couches de Gresten, Lias; schistes et grès.
7. Rhétien sporadique, un seul gisement.	7. Rhétien uniformément réparti.
4. Trias, schistes rouges, avec bancs dolomitiques en haut et bancs gréseux à la base. —	6. Keuper, grès blancs et schistes rouges. — 5. Dolomies de Muschelkalk; à la partie supér. intercalation des sch. rouges. — 4. Trias inf.; schistes rouges et dolomie vacuolaire.
3. Permien.	3. Permien.
1-2. Granit et gneiss.	—

B. *Tectonique*. Ces régions naturelles de la Tatra se distinguent encore l'une de l'autre par leur contact qui est toujours mécanique. En effet, M. Uhlig a fait remarquer, avec une grande clarté, que la zone subtatrique reposait, par l'intermédiaire d'un pli faille, sur la zone hauttatrique. Celle-ci repose à son tour, par l'intermédiaire d'un autre plan de chevauchement, sur le revêtement sédimentaire de la zone cristalline.

Enfin, la zone cristalline est brusquement limitée au sud par une ligne deux fois arquée vers le sud. Pour le savant professeur de Vienne, cette limite correspond à une gigantesque faille au delà de laquelle s'étend la région du Flysch de la basse Tatra.

* * *

En général le plongement des couches est dirigé vers le nord, à part quelques exceptions.

C'est en partie ce plongement qui a amené M. Uhlig à considérer que les plis de la Tatra *étaient poussés vers le sud*, c'est-à-dire vers la concavité de la chaîne, contre la région cristalline (*Tatra*, p. 115) ¹. Voyant les gneiss apparaître dans la zone hauttatrique, notre confrère de l'Université de Vienne pense que le plissement a été en s'accroissant du nord vers le sud; la zone cristalline consisterait alors en un anticlinal plus puissant que les autres, aussi déversé vers le sud, et les débris de terrains mésozoïques contenus dans le Flysch du versant sud seraient les fragments du flanc médian de ce dernier pli.

Ainsi comprise la Tatra comporterait une série de plis anticlinaux et synclinaux que M. Uhlig désigne de la façon suivante :

- A₁ Axe central cristallin.
- S₁ Premier synclinal, hauttatrique.

¹ *Tatra*, p. 115, signifie la citation se rapportant au mémoire de M. Uhlig sur la Tatra.

- A₂ Deuxième anticlinal, hauttatrique.
- S₂ Deuxième synclinal, hauttatrique.
- A₃ Troisième anticlinal, subtatrique.
- S₃ Troisième synclinal, subtatrique.
- A₄ Quatrième anticlinal, subtatrique.
- S₄ Quatrième synclinal subtatrique.

Abordons maintenant la zone hauttatrique et voyons si, au contraire de l'auteur de la *Géologie des Tatragebirges*, les plis ne sont pas déversés en général vers le nord, ainsi que je l'ai dit dans une note préliminaire ¹.

III. La zone hauttatrique occidentale.

La zone hauttatrique est développée inégalement sur le front de la chaîne cristalline. Un bourrelet proéminent de cette dernière, entre les vallées de la Bialka et de la Suchawoda, divise la zone en deux tronçons, l'un à l'est de la Bialka, l'autre à l'ouest de la Suchawoda. C'est par cette dernière région que nous commencerons notre enquête.

1° *Les indices du phénomène de grands plis couchés vers le nord.* — Ce sont à la fois les contours de la belle carte géologique de M. Uhlig et quelques remarques que fait cet auteur dans son ouvrage qui m'ont mis sur la trace du phénomène des grands plis couchés. On sait, d'après les magistrales études de M. Marcel Bertrand, que les lacunes, dans un ensemble stratigraphique, de même que les épais-sissements subits d'un horizon géologique, sont des indices très manifestes en faveur de l'existence des nappes de recouvrement. Les disparitions soudaines, directement en avant de la zone cristalline, des couches de Gresten, l'hésitation de l'auteur, quand il recherche (*Tatra*, p. 64-65) ce que sont devenues ces mêmes couches entre le Giewont

¹ Maurice Lugeon, *Analogie entre les Carpathes et les Alpes* (C. R. Acad. des sc. Paris, 17 novembre 1902).

et le Kopa Magory, m'ont tout d'abord mis sur la trace de l'hypothèse ici exposée. Enfin et surtout l'isolement de masses de gneiss ou de granit au sommet de régions entièrement formées dans leur base par du Jurassique, comme les petits îlots de roches cristallines de Czerwony wierch et de Malolacznik ne pouvaient, à mes yeux, que rappeler le phénomène du *lambeau de recouvrement*. Une fois possesseur de ces indices d'une importance suffisante, me semblait-il, il n'y avait plus qu'à rechercher le sens de la poussée, et le mémoire de mon savant collègue me donnait sans peine des arguments puissants en faveur de la marche vers le nord.

L'expérience que j'ai pu faire dans les Alpes suisses m'a appris que dans tout travail géologique, quel qu'il soit, fût-il dù, comme dans le cas présent, à un observateur des plus remarquables, il ne faut pas se fier aux *courbes de raccord*, c'est-à-dire aux lignes pointillées de reconstruction de plis, *quand la charnière du pli est inconnue ou invisible sur le terrain*. Ce sont mes propres erreurs qui m'ont amené à cette remarque. La charnière *visible*, contenant un noyau synclinal ou anticlinal incontestable est la seule chose sur laquelle on doit se baser.

D'autre part, l'expérience encore, toujours puisée dans les Alpes suisses ou françaises, m'a montré que dans un ensemble *fortement* plissé dans une direction, tous les plis à charnière montrent une constance absolue dans l'indication d'une même et unique direction. Or dans la Tatra, *tous les plis, à charnière visible, dessinés ou décrits, indiquent uniformément une poussée vers le nord*; il n'y a qu'une seule exception.

C'est ainsi que les charnières des environs du col de Tomanova indiquent une poussée vers le nord (*Tatra*, fig. 33 et 34). Ce sont les seules visibles dans la région hauttatrique. Leur signification théorique devient donc d'une portée considérable.

La seule exception existe dans le petit massif de la Holica (*Tatra*, pl. IIa, fig. 3), mais ce cas particulier, je le montrerai, peut supporter une autre interprétation et rentrer dans le cas général.

Or *toutes* les courbes de raccord dessinées par M. Uhlig peuvent, sans exception, être tracées dans le sens inverse, car aucune d'elles n'enveloppe un noyau anticlinal ou synclinal dont la charnière soit connue. C'est ainsi que tout régime monoclinal, sans charnière, peut toujours être critiquable. Les courbes de raccord sont une nécessité de la méthode. Mais dans le passé, comme dans le présent, comme dans l'avenir peut-être, elles ont voilé et voileront encore la vraie disposition tectonique de la nature. Sachons, puisqu'elles sont nécessaires, les rapporter à leur juste valeur en nous rappelant toujours que chacun des traits qui les composent est une hypothèse.

2. *Quelques termes nécessaires.* — Lorsque la formation d'une chaîne de montagne donne lieu au développement de grands plis couchés ou *nap-*

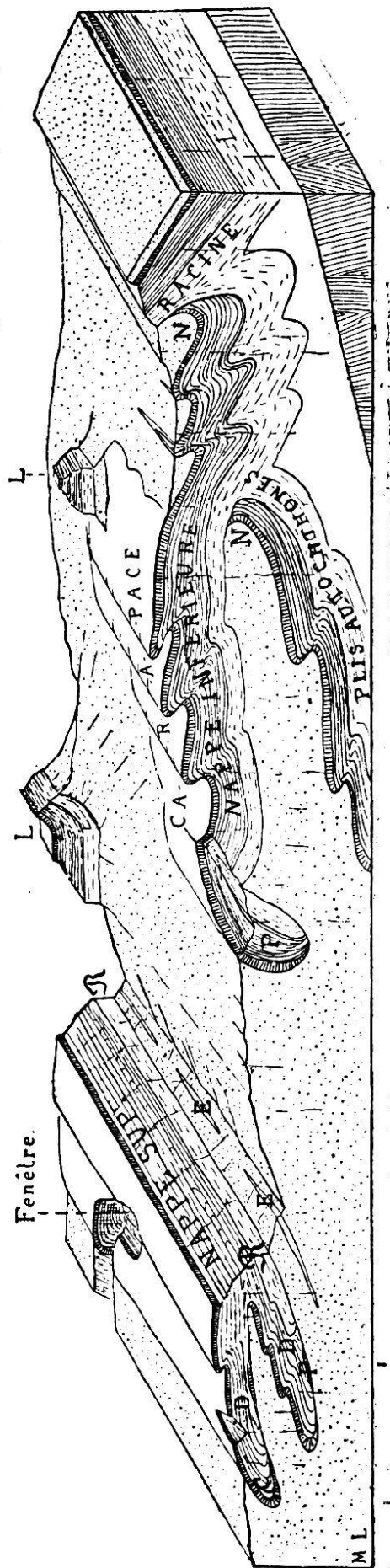


Fig. 1. — Stéréogramme schématique montrant deux nappes superposées. Voir légende dans le texte.

pes de recouvrement, celles-ci se superposent et, en général — il y a de nombreuses exceptions — les nappes les plus lointaines dans l'intérieur de la chaîne cherchent à occuper le front de la région montagneuse. C'est ce que j'ai exprimé dans le dessin schématique de la figure 1.

Lorsqu'une nappe s'avance elle se plisse sur elle-même en même temps ou postérieurement à sa genèse. L'ensemble des plis superficiels de la couche la plus résistante et la plus élevée d'une nappe forme ce que l'on pourrait appeler la *carapace* de la nappe. Le pli qui termine la nappe vers l'avant a été déjà désigné par moi sous le nom de *pli frontal* (fig. 1) quand j'ai dû décrire ce phénomène dans le Chablais. Ce pli frontal peut être recourbé sur lui-même et devenir *plongeant* (P, fig. 1). Je rappelle à ce sujet le grandiose pli plongeant de la nappe de recouvrement de la Brèche dans le Chablais, près de St-Jean d'Aulph.

Enfin, ce pli frontal peut parfois se subdiviser en un certain nombre de *digitations* (D, fig. 1). J'ai montré que ce cas se présente dans les grandes nappes glaronnaises. L'expression de *charnière frontale* s'applique à la charnière (*c*) du pli frontal. C'est une charnière anticlinale, dont la valeur théorique est plus grande que les charnières anticlinales des plis droits ou déjetés.

Entre digitation et nappe de recouvrement indépendantes il y a tous les passages possibles, car une digitation peut prendre une ampleur considérable. Je crois qu'il est bon de réserver le terme de nappe de recouvrement à tout grand pli couché dont la *racine* est indépendante. Ces digitations ne sont donc, dans ce sens, que l'exagération locale de plis de la carapace.

On réservera le terme de *charnière radicale* (N) à la charnière du synclinal couché qui se trouve sous la nappe.

Le *plan de charriage* ou plan de *recouvrement* sur lequel glisse la nappe peut laisser subsister le *flanc médian* (ou flanc renversé) en totalité ou en fragments (F). Les exem-

ples cités par M. Heim dans les Alpes glaronnaises sont restés à juste titre classiques. Dans les nappes chablaisiennes il est rare que ce flanc médian soit conservé.

Enfin il peut arriver que, lorsqu'une nappe se développe, elle écrase et fasse, pour ainsi dire, rouler, pénétrer dans les masses enveloppantes plus jeunes, soit des fragments qui lui sont propres, soit des débris du substratum. C'est ce que l'on a pris l'habitude de désigner par l'expression de *lame de charriage* (E).

Lorsqu'une nappe est soumise à l'action de l'érosion elle se morcelle. Ses débris isolés les uns des autres peuvent avoir la taille d'une montagne ou celle d'un caillou. Ce sont les *lambeaux de recouvrement* (L) ainsi que les a désignés M. Marcel Bertrand. Ce sont aussi souvent ce que les géologues de la Suisse allemande ont désigné sous le nom de *blocs exotiques*. Ceux-ci il est vrai peuvent avoir une autre origine. Ils peuvent être les fragments laminés, d'une lame de charriage étranglée en chapelet. Ce serait le cas pour bon nombre de ces gros blocs que l'on rencontre en plein Flysch, Le terme pittoresque de *montagnes exotiques* peut être conservé, mais maintenant que leur vraie origine est démontrée, il est bon de sous-entendre que ce sont des lambeaux de recouvrement des nappes les plus lointaines.

Souvent il ne reste plus de la nappe qu'une partie plus ou moins grande du pli frontal ou des digitations. Cette conservation de la *masse frontale* s'explique dans les Alpes en particulier, parce que fréquemment — c'est même une règle fort générale — les nappes se sont déroulées sur un plan incliné qui descend de l'intérieur de la chaîne vers l'extérieur. La partie frontale, la plus basse, a été ainsi mieux protégée contre les actions de l'érosion.

Du reste, quelle que soit sa position, une nappe est fréquemment *détachée* de sa racine. La limite de la partie détachée est fréquemment en saillie du côté de la racine.

Une muraille s'élève (RR) au-dessus du substratum. Nous désignerons, dans la suite, cette falaise sous le terme de *bord radical* de la nappe. Un lambeau de recouvrement sera donc limité par un *bord radical*, deux *bords latéraux* et un *bord frontal*.

Il peut arriver aussi, et il y en a plusieurs exemples dans les Alpes glaronnaises, que l'érosion ait entamé la nappe en un point et laisse voir ainsi le substratum par une *fenêtre*, terme déjà usité dans ce sens.

3. *La coupe de la haute vallée de la Suchawoda.* — La haute vallée de la Suchawoda côtoie le massif central et la région gneissique et granitique du Beskid. Cette dernière région forme, à mes yeux, le *noyau anticlinal d'un pli plongeant vers le nord*.

En effet, sous la masse granitique, M. Uhlig dessine une bande de calcaire jurassique. Je dis que cette bande jurassique, plus ou moins bien visible sur le terrain à cause des revêtements morainiques, s'enfonce sous la masse gneissique et doit être considérée comme le *flanc médian* du grand pli couché. (Fig. 2.)

En effet, sous l'arête qui rejoint le sommet de Kasperowa au Kopa Magory nous voyons ce Jurassique contourner sur lui-même et recouvrir, par l'intermédiaire du Trias inférieur et du Permien, le noyau granitique. C'est donc par

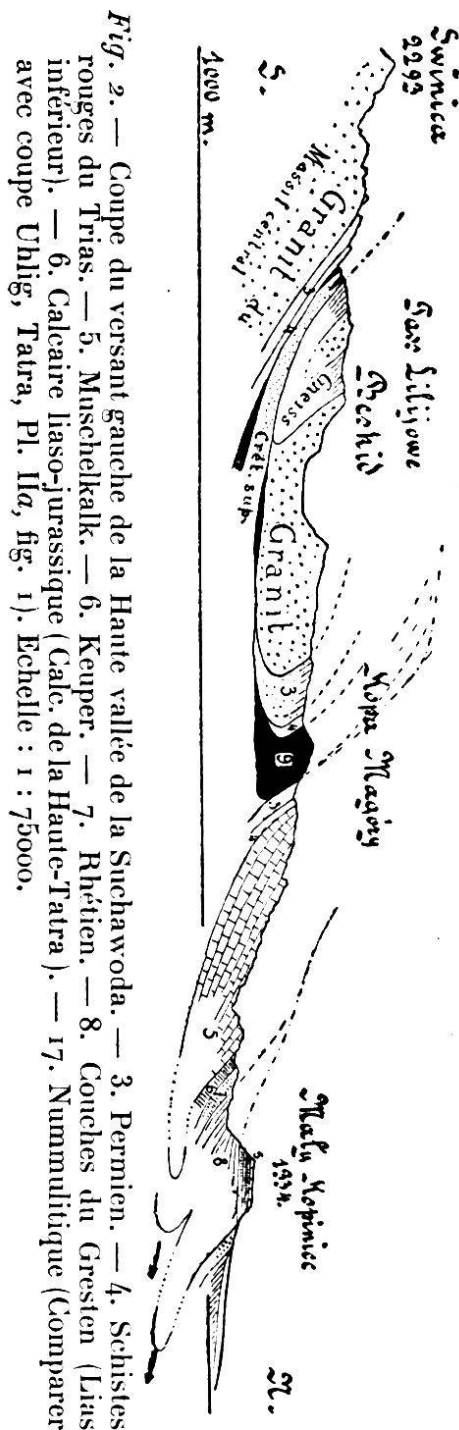


Fig. 2. — Coupe du versant gauche de la Haute vallée de la Suchawoda. — 3. Permien. — 4. Schistes rouges du Trias. — 5. Muschelkalk. — 6. Keuper. — 7. Rhétien. — 8. Conches du Gresten (Lias inférieur). — 9. Calcaire liaso-jurassique (Calc. de la Haute-Tatra). — 17. Nummulitique (Comparer avec coupe Uhlig, Tatra, Pl. IIa, fig. 1). Echelle : 1 : 75000.

une disposition de *charnière anticlinale* que le massif granitique de Beskid se termine au nord. Ainsi ce Jurassique qui longe dans les pentes le pied de la masse granitique *ne peut représenter que le flanc médian d'un pli poussé vers le nord.*

C'est ici sur le Crétacique supérieur que paraît s'être effectué le chevauchement. C'est du moins ce qui ressort nettement, semble-t-il, des coupes de la haute vallée du Tycha (*Tatra*, fig 31).

4. *Le Plan de recouvrement.* — La masse granitique de Beskid repose donc par l'intermédiaire de Jurassique plus ou moins laminé sur du Crétacique supérieur. Ce phénomène peut être suivi jusqu'au pied du Goryczkowa. De là vers l'ouest le problème se complique singulièrement.

Les couches que l'on peut considérer comme étant en place, d'après M. Uhlig, sont de haut en bas les suivantes :

Calcaires liaso-jurassiques, de la Haute-Tatra.

Grestener Schichten (Lias inférieur).

Permien.

Granit du massif central.

Le gneiss du pli couché repose tour à tour sur le Crétacique, puis sur le Jurassique, enfin sur les couches de Gresten, puis de nouveau sur le Jurassique.

Devons-nous considérer la surface de contact du gneiss sur le Jurassique comme surface de recouvrement ?

Ici les seuls éléments que nous possédons, c'est-à-dire les travaux de notre savant collègue, ne nous permettent guère d'élucider cette question. Nous sommes réduits à l'hypothèse. Voyons quelles sont les considérations que nous pouvons tirer de la lecture de la carte et de l'examen des coupes dessinées par M. Uhlig.

La masse gneissique du Goryczkowa s'égrène en lambeaux de recouvrement dans sa partie occidentale. Ces petits affleurements isolés, occupant les sommets ou les crêtes élevées de la montagne, ne peuvent nullement être attri-

bués à des masses ayant immédiatement racine en profondeur, comme M. Uhlig les a dessinés (*Tatra*, Pl. I a, fig. 1, fig. 3; Pl. I b, fig. 4, fig. 5; Pl. II b, fig. 4). Ils reposent partout sur un immense socle de calcaire de la Haute-Tatra. Ce sont bien, avec les petits affleurements de Lias inférieur, de *vrais et typiques lambeaux de recouvrement*.

M. Uhlig, du reste, a eu ce sentiment quand il écrit (*Tatra* p. 66) : « ...die Wände um den Malolaczniak und den Czerwony wierck Uplazans bestehen aus hochtatischen Kalkstein, und so hat es auf den ersten Blick den Anschein, als sässen die Gneissmassen Kappenförmig von oben her auf dem Kakstein. »

M. Uhlig combat cette impression. Je la maintiens et j'estime qu'elle est la seule juste, car elle est en accord complet avec sa carte géologique.

Ceci acquis, cherchons à interpréter la figure 5, Pl. I b du mémoire qui nous sert de base. Entre les gneiss des sommets et le grand soubassement de calcaire jurassique, *il s'intercale par place des lambeaux de lias inférieur* (fig. 3). Sur l'arête de Javor, on voit pincée dans le gneiss une lame de Permien et de Trias inférieur. Elle est coupée à angle droit par les calcaires jurassiques sur lesquels repose l'ensemble gneissi-

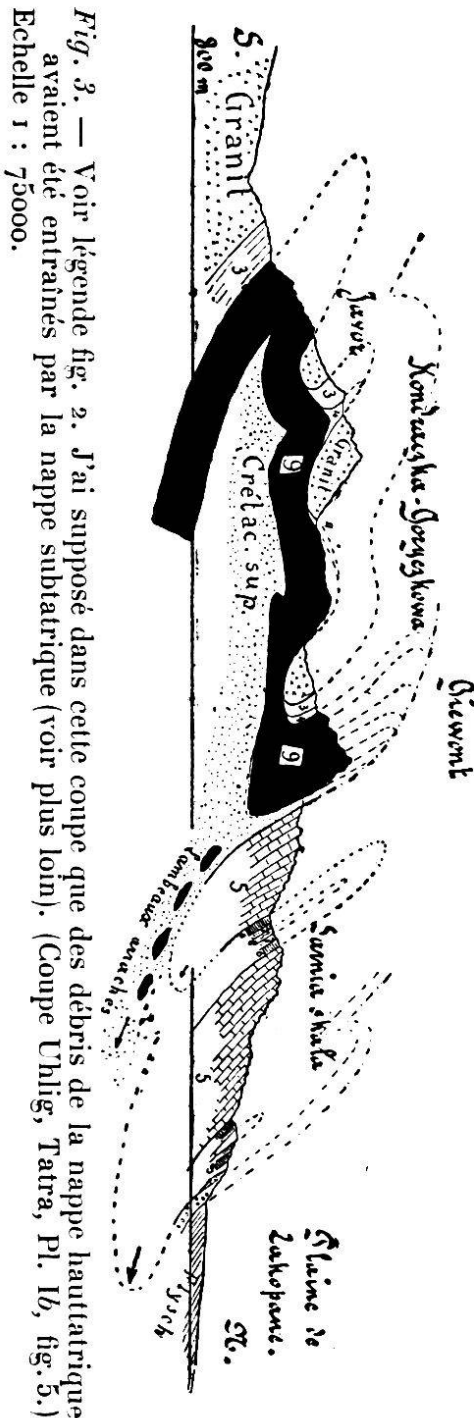


Fig. 3. — Voir légende fig. 2. J'ai supposé dans cette coupe que des débris de la nappe hautatatrique avaient été entraînés par la nappe subatatrique (voir plus loin). (Coupe Uhlig, *Tatra*, Pl. Ib, fig. 5.) Echelle 1 : 75000.

que. C'est, à mon sens, un reste étiré de couches qui, continues, s'étendaient entre le gneiss et le calcaire jurassique. Elles n'ont point été totalement étirées sur ce point, parce qu'elles ont été protégées par un pli de la masse gneissique (fig. 3).

Il y a donc une surface d'écrasement manifeste entre les gneiss et le Jurassique. Est-ce là la surface de charriage du grand pli couché et ces restes sont-ils ceux d'un flanc médian ?

Je ne le crois pas, et cela à cause des trois arguments suivants, qui me paraissent péremptoires.

1° En avant, soit au nord de la masse gneissique, s'élève le haut massif de calcaire jurassique de Giewont. Il est la continuation immédiate de la bande de même terrain qui, dans la vallée de la Suchawoda, forme le contournement anticlinal, le pli frontal de ce grand pli couché vers le nord de la zone haute-tatrique. Ainsi le massif de Giewont représente le front anticlinal du grand pli couché. Comme ce Jurassique de Giewont se continue *sans interruption* avec le même terrain, qui se trouve immédiatement sous les masses gneissiques de Kondraczka, il n'y a plus guère à hésiter et nous sommes ainsi amenés à considérer ce Jurassique comme faisant partie du grand pli couché. *Il constitue le flanc renversé.*

Ainsi la lacune qui est évidente entre le Gneiss et le Jurassique doit être considérée comme le résultat d'un écrasement d'une partie des couches constitutives du flanc médian. Ces phénomènes sont propres aux nappes charriées. M. Bertrand les a admirablement décrits dans ses travaux sur les recouvrements de la Provence. Ces laminaux locaux sont le résultat de plans de glissements qui se déterminent dans les masses en mouvement par suite d'un phénomène de mouvement différentiel.

2° Il nous reste maintenant à connaître sur quel terrain repose le Jurassique du flanc médian.

En avant du massif de Giewont on voit une petite bande

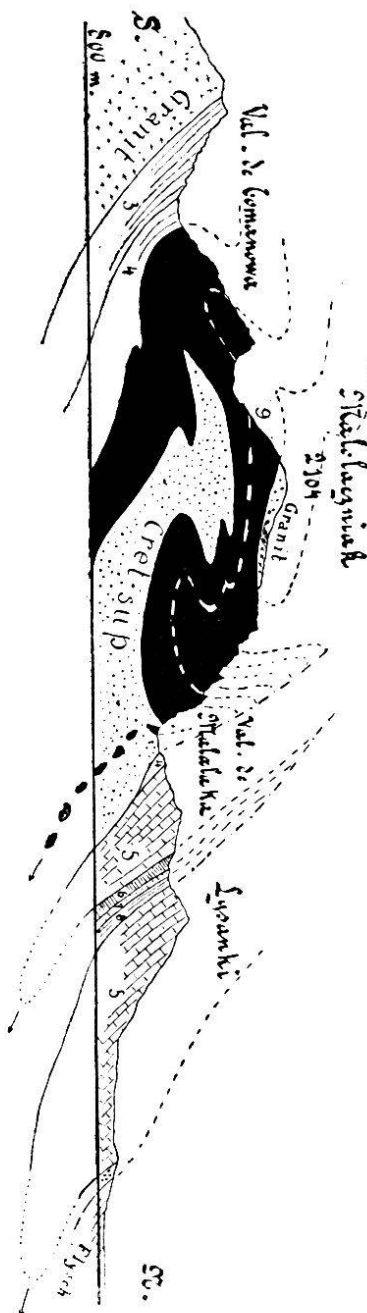
laminée de Crétacique supérieur. Ce terrain doit, comme le Jurassique, contourner avec un plus grand rayon de courbure le noyau gneissique du pli couché. Si une vallée profonde se présente, nous courrons la chance de voir *sous* le Jurassique apparaître le Crétacique. C'est ce que montre admirablement la vallée de Koscielisko. Sous d'énormes épaisseurs de calcaire jurassique, formant paroi, apparaît le Crétacique.

Mais il y a mieux. Dans un petit vallon, qui descend du Kondraczka, au pied S.-W. du Giewont, on voit un affleurement de Crétacique apparaître en *fenêtre* sous le Jurassique. (*Tatra*, p. 78.)

Telles sont les raisons pour lesquelles nous indiquons dans la fig. 3 une grande masse de Jurassique reposant sur une épaisseur inconnue de Crétacique supérieur.

3° Ceci acquis, lorsque l'on cherche à faire une coupe (fig. 4) qui passe par les hauteurs de Malolaczniak, on est fort embarrassé quand il s'agit de déterminer exactement le plan de recouvrement sur le bord radical de la nappe. Vers le front, l'enchaînement des couches est très simple. Nous voyons en effet le Crétacique sortir dans la vallée de Malalaka de dessous une masse énorme de Jurassique, au-dessus de laquelle plane un lambeau de roches primitives.

Fig. 4. — Voir légende fig. 2. Dans le Val de Malalaka on voit un bloc de Jurassique plongé dans le Crétacique; les autres blocs sont schématisiques. (Coupe Uhlig, Tatra, Pl. Ia, fig. 3).



Contrairement à l'opinion de M. Uhlig, je ne crois pas que le Jurassique se contourne pour passer aussitôt, en avant, sous ce Crétacique ainsi qu'il le dessine. (*Tatra*, fig. 39.) Le gros bloc de Jurassique pincé dans le Crétacique est l'indice d'un phénomène d'une *importance plus considérable*. Il nous montre que la nappe hauttatrique a été en partie entraînée par la nappe subtatrique. J'ai indiqué schématiquement de ces blocs arrachés. Nous verrons plus loin, à propos des Klippes, la *signification importante de ce phénomène*.

Dans le Mietusa-Kessel (*Tatra*, p. 79), les affleurements de Crétacique nous indiquent, à travers les fenêtres où on aperçoit ce terrain, que le plan de chevauchement continue à exister en profondeur.

Mais plus loin?

Le contournement du Crétacique dans les pentes au-dessous de Czerwonz wierch, sur le côté est du cirque de Pisana, entre deux bandes de Jurassique, nous démontre-t-il que le Jurassique substratum est en place et que nous possédons là la charnière radicale de la nappe? C'est là une question bien difficile à résoudre. Dans les coupes fig. 3 et 4 j'ai supposé que cette charnière n'était pas atteinte par l'érosion et que le Jurassique charrié était en liaison avec le Jurassique en place. Mais ce n'est peut-être pas là la solution définitive.

Le calcaire de la Haute-Tatra repose tantôt sur les couches de Gresten (Lias inférieur), sur le Trias inférieur ou sur le Permien. C'est là une disposition qui pourrait s'expliquer par le résultat d'une transgression.

En effet, il y a un passage insensible entre les couches de Gresten et le calcaire de la Haute-Tatra, ainsi qu'il en ressort des coupes levées avec soin par M. Uhlig. Mais au col de Tomanova le repos des calcaires jurassiques sur les couches du Trias (*Tatra*, fig. 34) est très singulier, et nous sommes à nous demander s'il n'y a pas là la trace, l'indice

d'un phénomène d'écrasement, c'est-à-dire *que le substratum en place aurait été en partie entraîné* par le déplacement vers le nord des nappes.

Je ne pousserai donc pas plus loin mon enquête sur ce plan de chevauchement. Restons, pour le moment, à la solution indiquée par mes coupes (fig. 3 et 4). Nous admettons que la nappe hauttatrique est liée avec son substratum, que la racine est visible. Mais le repos anormal du Jurassique en place sur un plan qui présente souvent des *écrasements intenses*, comme c'est le cas au col de Tomanova, nous montre que la marche en avant a été à peu près générale, c'est-à-dire que le substratum lui-même *a été déplacé vers le nord*.

Cette hypothèse se confirme lorsque l'on envisage la *nappe subtatrique qui, dans l'ouest de la Tatra, repose directement sur le granit du massif central*. Dans leur marche vers le nord les nappes ont cherché à balayer leur substratum sédimentaire. Elles ont même peut-être entraîné des lambeaux de roches cristallines du massif central.

5. *Continuation vers l'ouest de la nappe hauttatrique.* — A partir du Czerwony wierch la nappe n'est plus représentée que par une bande de calcaire de la Haute-Tatra. Ainsi le pli frontal s'écrase, se lamine sous la nappe subtatrique dont nous parlerons plus loin. La nappe hauttatrique se transforme en une lame de charriage, puis, très amincie, elle disparaît sous la nappe subtatrique dont le bord radical forme comme un bastion qui avance vers le sud dans le Krubi vrch ¹.

La lame non seulement disparaît du sol, mais son laminage doit être total en profondeur, car au delà, vers l'ouest du Krubi vrch, il n'y a plus trace sur le Crétacique supérieur de calcaire jurassique.

¹ Dans la figure 3 j'ai indiqué cet écrasement de la nappe hauttatrique et les débris entraînés. Je reviendrai plus loin à propos des Klippes sur ce phénomène.

En même temps que se produit ce phénomène d'écrasement, la nappe disparaît du sol entièrement, parce que s'élevant trop, transversalement à sa direction, elle a été victime de l'action de l'érosion.

En effet la nappe s'élève en altitude de l'est vers l'ouest, à partir de la vallée de la Suchawoda. Le noyau gneissique s'égrène vers l'ouest parce qu'il s'élevait dans cette direction, puis plus loin ce sont les calcaires jurassiques du flanc médian qui disparaissent.

Cette nappe se continuait jadis vers l'ouest.

En effet, sur le bord occidental du massif central de la Haute-Tatra, repose sur le gneiss, directement ou *par l'intermédiaire du Crétacique supérieur*, une bande de calcaire jurassique à faciès hauttatrique !

M. Uhlig considère cette petite bande comme le reste d'un pli dirigé vers l'est, c'est-à-dire vers le massif central. Cet argument est basé exclusivement sur le prolongement des couches. J'ai montré que cette inclinaison n'a *aucune signification* au point de vue de la poussée. Pour moi, dans cette région ouest *les plis continuent à être dirigés vers le nord*. Il y a là un phénomène semblable à ceux que j'ai montrés être si fréquents dans les Alpes de la Suisse et de la Savoie.

De même que la nappe de la région hauttatrique disparaît de la surface lorsqu'elle s'élève transversalement à sa direction, ce qui est le cas dans la vallée de Pisana, de même ici elle réapparaît en surface; elle est conservée, parce qu'elle s'est suffisamment abaissée pour qu'elle n'ait pas été victime de l'érosion.

Ainsi *sur toute la région cristalline occidentale de la Haute-Tatra s'étendait une nappe de recouvrement* et ses traces, encore existantes dans la partie ouest de la Tatra, nous montrent qu'elle *s'étend au delà de la Tatra vers l'ouest*. Certainement un jour ou l'autre les géologues autrichiens la poursuivront plus ou moins loin vers l'ouest.

IV. — La zone hauttatrique orientale.

Revenons à la vallée de la Suchawoda et continuons notre enquête de l'ouest vers l'est.

Nous savons que sur la rive gauche de la Suchawoda le noyau gneissique et granitique de la nappe hauttatrique est séparé du granit de la région centrale par une mince

épaisseur de terrain sédimentaire. Sur la rive droite, il n'y a plus trace de la nappe. Dans sa continuation s'étend la région granitique centrale. Cette singulière disposition s'explique aisément. La nappe s'élevant rapidement vers l'est, elle a été totalement enlevée par l'érosion, et ce n'est qu'au delà de la vallée de la Bialka qu'elle reprend sa position sur le sol. Il n'est pas nécessaire d'admettre un décrochement le long de la Bialka; le contraste singulier entre les deux versants peut s'expliquer par un simple abaissement de la nappe.

Voyons maintenant comment la nappe se comporte.

Le noyau anticlinal est aussi formé par le granit qui occupe l'arête qui du Sirok va au Uplaz. La charnière frontale existe. En effet, à l'est du col sous le Mont-Uplaz, le Permien se recourbe et enveloppe le granit (fig. 5). Au contraire, à l'ouest du col on ne voit pas la charnière. Le gra-

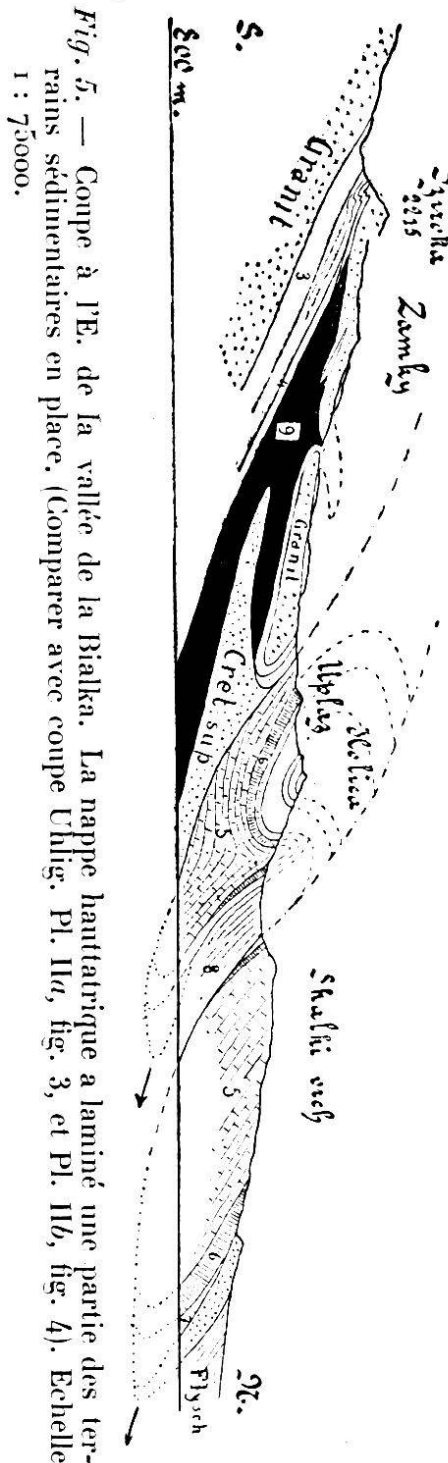


Fig. 5. — Coupe à l'E. de la vallée de la Bialka. La nappe hauttatrique a laminé une partie des terrains sédimentaires en place. (Comparer avec coupe Ullig. Pl. IIa, fig. 3, et Pl. IIb, fig. 4). Echelle 1 : 75000.

nit forme une bande peu épaisse qui s'enfonce sous la nappe supérieure. Cette disposition nous montre que la charnière se dirige du point où elle est visible, obliquement et en descente dans l'intérieur de la montagne. Si la vallée de la Bialka était un peu plus profonde, on verrait les deux bandes de Permien qui accompagnent le granit se rejoindre et envelopper ce dernier.

Ce noyau granitique présente une digitation que j'ai indiquée sur la coupe, car en effet, près du Stillersee, M. Uhlig a remarqué que la masse jurassique subtratum se recourbe pour recouvrir localement le granit. C'est cette digitation qui forme la langue granitique de l'arête de Sirok.

Le noyau granitique est en outre accompagné, sous les pentes sud-ouest du Zamky, par une lame de granit qui nous indique la tendance générale de la masse à se digiter (*Tatra*, p. 76). Cette lame est comparable aux lambeaux arrachés ou lames de charriage que l'on constate fréquemment sous les nappes de recouvrement des Alpes suisses et savoisiennes.

Vers l'ouest, la nappe de la région hauttatrique prend fin, c'est-à-dire qu'elle n'apparaît plus sur le terrain; elle a été enlevée par l'action de l'érosion. Toutefois les petites bandes de Permien que l'on voit en avant du contrefort de calcaire liaso-jurassique de Jagnence, ou au pied occidental du Durlis en font peut-être encore partie (fig. 8).

V. — La zone subtatrique; les nappes de recouvrement supérieures.

1. *Vues générales.* — J'ai donc montré que sur la région cristalline centrale de la Tatra s'étalait une nappe plongeante, ou, si l'on veut, puisque ce phénomène n'atteint pas un développement particulièrement exagéré, un grand pli plongeant. Cette nappe inférieure s'enfonce *sous* la zone subtatrique. C'est là une disposition tectonique

analogue à celle que j'ai montré exister entre le Glærnisch (nappe inférieure de Glaris) et les Alpes du nord du Kløensee (nappe supérieure). Ici, la zone subtatrique est formée par *deux nappes superposées*, constituées par des terrains semblables. Ce sont peut-être les digitations d'une même nappe, mais on ne peut le démontrer. Dans la suite je parlerai donc de nappe subtatrique inférieure et nappe subtatrique supérieure.

On ne peut plus songer à voir dans la zone subtatrique une masse autochtone, puisqu'elle repose, en partie du moins, sur une nappe plus profonde qu'elle. Du reste, dans toute cette zone subtatrique, on chercherait en vain une charnière indiquant, sans ambiguïté possible, la direction d'un effort orogénique dirigé vers le sud. La seule exception, du reste peu caractéristique, que présente le Mont-Holica, peut être, si non interprétée en faveur du mouvement vers le nord, en tous cas contestable en faveur de la poussée vers le sud. Elle ne peut donc entrer dans la discussion.

D'autre part, il est vrai, nous ne voyons aucune charnière indiquant une poussée vers le nord ; mais l'argument qui se base sur le repos de la zone subtatrique sur la hauttatrique a une telle puissance, que une fois la nappe hauttatrique démontrée, il devient péremptoire.

Aussi serai-je plus bref.

M. Uhlig considère dans son ensemble la zone subtatrique comme formée par deux anticlinaux séparés par un synclinal. Je suis de cet avis, mais avec la différence fondamentale que ces plis sont *retournés*, c'est-à-dire qu'ils sont à la fois de *faux anticlinaux* et un *faux synclinal*.

Les coupes (fig. 2, 3, 4, 5 et 8) montrent comment je comprends la structure des nappes subtatriques. Voyons comment ces deux plis plongeants se comportent le long de la Tatra.

2. *La région subtatrique occidentale.* — Les deux nappes sont particulièrement nettes dans les montagnes immédia-

tement au sud de Zakopane, ainsi que le montre la figure 3. Le synclinal renversé qui les sépare est peu ouvert et les deux flancs sont presque toujours bien développés également. Cependant le flanc renversé présente, ce qui est habituel, de fréquentes laminations, 'ainsi au sud du Lysanki (fig. 4) (*Tatra*, fig. 19) et du Krokicw.

Le front de la nappe supérieure est fortement replié sur lui-même immédiatement au sud de Zakopane (fig. 3). Ce sont là des phénomènes d'écrasement et d'étirement analogues à ceux que présentent, en Suisse, les premiers plis frontaux des nappes de recouvrement à faciès helvétique. J'ai montré que ces phénomènes spéciaux étaient caractéristiques des nappes charriées. C'est en vain qu'on les recherche en France dans les replis autochtones de la chaîne au delà de l'Arve vers le sud.

La nappe supérieure s'arrête en partie au Kruby et d'après M. Uhlig, sans qu'il affirme positivement le fait (*Tatra*, p. 49), la masse triasique s'enfoncerait sous le Nummulitique discordant. Cette nappe se continue, uniquement représentée par une bande étroite de Jurassique, jusqu'au nord du Kopka où alors elle cesse, mais elle réapparaît plus loin dans les montagnes de Juvanova; c'est le dernier reste de cette nappe supérieure; elle n'atteint pas l'ouest de la Tatra.

La nappe inférieure seule persiste dans toute son ampleur jusqu'à l'extrémité occidentale de la Tatra, mais combien montre-t-elle les signes caractéristiques des nappes de recouvrement!

Tantôt le Trias se lamine totalement, tantôt c'est le tour du Rhétien et de tout le Jurassique. Et ces laminations ne s'exercent pas exclusivement aux dépens des couches les plus inférieures de la nappe, mais nous voyons des parties entières de la série disparaître brusquement. Nous voyons même près du Mihulce les parties inférieures du Trias s'enchevêtrer avec les couches du Crétacique supérieur qui appartiennent à la zone hauttatrique.

Puis l'écrasement passe à son maximum dans la région occidentale du versant nord de la chaîne cristalline. Le rabotement, qui s'est effectué sur la zone hauttatrique, l'a entièrement fait disparaître et le laminage s'exerçant sur les couches inférieures de la nappe subtatrique a supprimé toute la série jurassique et triasique. Nous voyons alors le Crétacique inférieur reposer directement sur le granit.

4. *La région ouest sédimentaire de la Tatra.* — Nous savons que la nappe hauttatrique ne se révèle dans la partie occidentale de la Tatra que d'une manière rudimentaire. L'une des nappes subtatriques y est bien mieux développée. Les couches plongent à l'ouest, mais le sens de la poussée continue à être dirigé vers le nord. La démonstration peut être faite, car nous voyons le *Trias* former un coin anticlinal qui se ferme vers le nord,

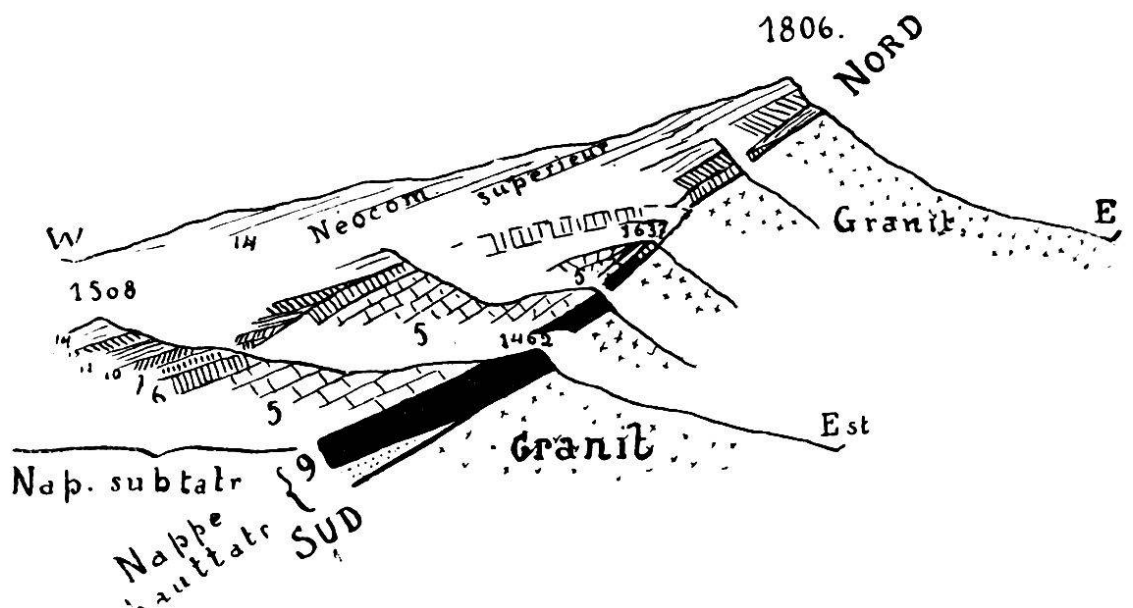


Fig. 6. — Coupe du versant W de la Tatra. Série de coupes superposées montrant la fermeture anticlinale au nord de la nappe subtatrique. (Voir légende p. 23.)

La nappe subtatrique repose directement sur le calcaire liaso-jurassique hauttatrique par l'intermédiaire d'une grande masse calcaire triasique (Muschelkalk). Sur ce calcaire nous voyons les marnes du Keuper qui enveloppent sous le point 1637 le noyau de Muschelkalk. Ainsi, dans

cette région calcaire de l'ouest de la Tatra, la nappe subtatrique plonge fortement vers l'ouest. *Le massif cristallin est relayé par la nappe.* A partir du point 1637 la nappe subtatrique repose directement sur le massif cristallin central. Elle se lamine du sud vers le nord, comme on la voit se laminer de l'est vers l'ouest dans la partie occidentale du front nord de la Tatra.

Ainsi les nappes existaient, comme je l'ai déjà fait remarquer, sur toute la partie occidentale du massif cristallin. Elles ont été détruites parce que, s'élevant trop en altitude, transversalement à leur direction, elles ont été atteintes par l'érosion.

4. *La région subtatrique orientale; nappes à arrêt libre et nappes à arrêt forcé.* — La tectonique de la partie orientale de la région subtatrique diffère peu de l'occidentale.

Dans la région de la Kopa, entre la Suchawoda et la Bialka, la nappe inférieure prend soudain un grand développement. Tous les terrains jusqu'au Nummulitique s'y rencontrent. Au contraire, la nappe supérieure est réduite. Elle forme le Kopa et la bande de calcaire triasique et rhétien qui se perd dans le glaciaire au Goly.

Un phénomène intéressant paraît se présenter ici. A l'est de Hala Filipka, au Gesias zyja, M. Uhlig a relevé la présence d'une grande étendue de terrains crétaciques. Ces terrains plus récents nous montrent que le synclinal qui sépare les deux nappes s'élargit. Mais il ne nous est pas possible de savoir exactement comment cette bande de terrain crétacique rejoint celle qui forme le pied nord de la Kopa. M. Uhlig dit du reste lui-même que cette dernière région est difficile à comprendre (*Tatra*, p. 57). D'après la carte, il me semble que cette bande néocomienne passe sous le Jurassique du pied du Kopa; car elle forme un angle rentrant dans le ravin qui se trouve au pied nord-est du Kopa. Ainsi ce n'est pas par une faille

que je m'explique le contact de ce Crétacique et du Jurassique.

Passons maintenant à l'est de la Bialka.

Dans les montagnes qui dominant directement cette rivière torrentielle, nous voyons les deux nappes remarquablement développées. Dans le synclinal, à Cervenc, on ne voit même que les couches du Lias moyen et supérieur. Ainsi les nappes se sont rapprochées.

Ici se présente un problème très compliqué. Un synclinal secondaire, absolument normal, occupe la place que nous avons jusqu'ici considérée comme représentant le bord radical de la nappe inférieure. Et ce pli secondaire, fait encore plus grave contre notre hypothèse, présente une charnière synclinale ouverte vers le sud. Est-ce là des faits suffisants pour infirmer ma manière de voir? Non. Les replis étranges que M. Marcel Bertrand a montrés dans les montagnes de la Provence, ceux que M. A. Heim a fait connaître dans les Alpes glaronnaises et ceux que j'ai moi-même interprétés en analysant les contournements des plis de ces mêmes Alpes de la Suisse orientale, sont des exemples suffisants pour que de telles exceptions ne soient à nos yeux qu'apparentes. On trouve toujours la solution. Et il suffit que les contournements, quelquefois si extraordinaires que l'on doit faire intervenir, remplissent dans l'hypothèse de la nappe toutes les conditions nécessaires de raccord, pour que, au lieu d'être affaiblie, l'hypothèse se trouve raffermie.

Ici, voici ce qui s'est produit.

J'ai fait remarquer que lorsqu'une nappe s'étend, sa carapace se ride, se plisse. Ces plis cherchent à devenir indépendants et *fuiant nécessairement vers les directions de la pression minimale*. Souvent le plissement secondaire de la carapace s'exagère. Par le fait, qui me paraît certain, de la conservation de la quantité de mouvement dans l'ensemble total qui se meut, ces plis, moins chargés, glissent

sur une masse déjà en mouvement (la partie principale de la nappe), cherchent, c'est la conséquence forcée, à dépasser vers l'avant le pli frontal primitif et forment ainsi un deuxième, puis un troisième pli frontal, c'est-à-dire des digitations. C'est la raison pour laquelle les plis frontaux des nappes superposées sont, en général, d'autant plus avancés vers l'avant-pays que les nappes naissent plus en arrière.

Lorsque le phénomène de *plissement de la carapace* s'exerce, plus difficilement il est vrai, sur les *nappes profondes*, ou sur les *digitations inférieures*, ce qui revient au même, les conditions génétiques sont tout autres. En effet, le pli qui se forme a autant d'effort à faire pour prendre naissance *vers le haut*, où il est sous la pression exercée par la nappe ou digitation supérieure, que *vers le bas*, où il doit pénétrer dans la masse avançante de la nappe ou digitation, aux dépens de laquelle il a pris naissance. Mais si nous supposons que cette digitation inférieure s'arrête, *l'arrêt du mouvement se traduira petit à petit du front vers la racine*. Les masses antérieures seront déjà arrêtées que les masses en arrière seront encore en mouvement.

Et ceci n'est point une vaine explication pour les besoins de la cause.

Nous pouvons, dans les nappes de recouvrement, distinguer deux groupes de plis frontaux fort différents les uns des autres. Dans les unes le pli frontal est régulier; nous n'y distinguons rien de particulier; ce sont les nappes qui se sont arrêtées parce que le phénomène créateur de leur genèse, c'est-à-dire la force tangentielle, avait pris fin. Ainsi dans la vallée de Charmy, en Chablais, le pli frontal de la région de la Brèche est régulier¹. Il donne bien l'impression d'une masse pénétrant dans un terrain

¹ Lugeon. *La Région de la Brèche du Chablais*, Pl. V, fig. 17 et 20.

mou, ou accompagnée par ce terrain et s'arrêtant elle-même, parce que sa force vive s'était éteinte.

Quel autre phénomène ne voyons-nous pas dans le Sentis, par exemple, et dans toute la bande qui s'étend jusqu'au Pilate et au delà? Nous savons que le Sentis forme la masse frontale d'une des nappes glaronnaises. Ici ce sont des plis empilés, serrés les uns contre les autres, écrasés, laminés; les cassures franches, les failles y sont assez fréquentes, et l'on y voit même des décrochements. *C'est que la nappe a été arrêtée en avant, alors que son mouvement n'avait pas pris fin en arrière.* Nous comprenons maintenant pourquoi il peut y avoir tant de différences dans les plis frontaux des nappes de recouvrement.

Nous pouvons donc sous ce rapport distinguer deux groupes de nappes : *nappes à arrêt libre* et *nappes à arrêt forcé*.

Nous ne rechercherons pas ici à analyser plus en détail le phénomène. Cette discussion est pour l'instant suffisante.

Revenons maintenant au cas si intéressant de la Holica (fig. 5).

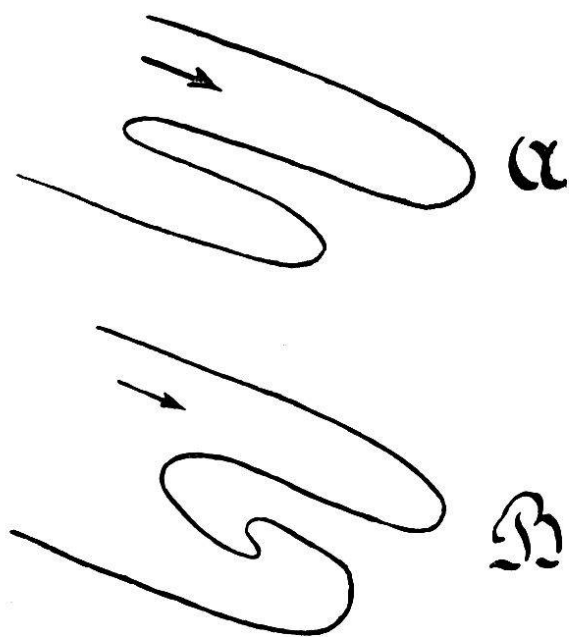


Fig. 7. — Disposition du plissement pour expliquer les plis à rebours.

La nappe inférieure a été en arrêt forcé. Elle n'a pu se replier sur elle-même en cherchant à disposer ses couches suivant la verticale, ce qui se passe quand les plis frontaux ne sont pas trop surchargés ou quand la pression latérale est exagérée. Ici la nappe supérieure n'a plus permis le développement *vers le haut* des replis du front,

par conséquent *ces replis ont dû se faire dans la digita-*

tion inférieure elle-même. De l'état A (fig. 7) il s'est formé un repli (état B).

Comme on le voit, *ces mouvements, dans le sens de la poussée, créent des plis qui paraissent dirigés en sens inverse*. Il se forme ainsi des *plis à rebours* (Ruckfaltungen) mais ils ne sont pas le résultat d'une poussée spéciale.

C'est ainsi que j'explique le remarquable exemple de la Holica (fig. 5). C'est dans cette région de la Tatra que les étirements et les dislocations ont atteint leur maximum. Dans le synclinal de la Holica, les couches de Gresten sont absentes; les marnes tachetées du Lias moyen reposent directement sur le Rhétien. Cette lacune, qui ne se voit nulle part ailleurs dans la Tatra, sauf dans la partie occidentale, où les étirements sont manifestes, est fort caractéristique.

Ces couches de la Holica qui représentent le flanc normal de la nappe inférieure ont été totalement laminées sous la masse triasique de la nappe supérieure, immédiatement en avant de la Holica. On ne les voit reprendre que plus loin à l'est ou à l'ouest. Il y a donc un étirement considérable local semblable à celui qui existe dans la zone subtatrique, au sud de Zaconane où le Trias de la nappe supérieure repose aussi parfois directement sur les couches de Gresten.

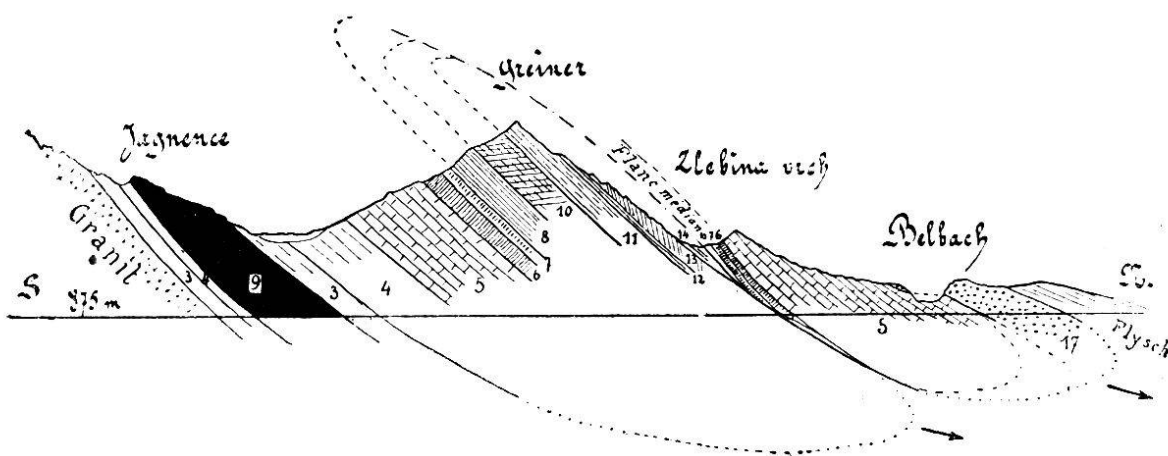


Fig. 8. — Coupe de la partie E. de la Tatra. La nappe hauttatrique est rudimentaire; la nappe subtatrique a pris au contraire un grand développement. Voir légende p. 23. (Coupe Uhlig, Tatra, pl. IIIa, fig. 2. Echelle 1 : 75 000.

A partir de la vallée de la Javorinka vers l'est les terrains du flanc normal de la nappe inférieure prennent un développement considérable et forment toute la chaîne calcaire de Beler (fig. 8). La succession des terrains y est complète du Trias au Nummulitique.

La nappe supérieure absente, à partir de la Javorinka, ou plutôt représentée exclusivement par une bande de Nummulitique, se développe à nouveau plus complète de la Javorinka vers l'est, et dans l'extrémité orientale de la chaîne elle est particulièrement large; son bord radical recouvre en oblique tous les sédiments crétaciques et jurassiques de la chaîne de Beler.

Tôt ou tard ces nappes subtatriques seront poursuivies encore plus loin vers l'est.

VI. — Relations des nappes tatriques avec le Nummulitique et le Flysch. Origine des Klippes.

Ainsi je crois avoir établi l'existence, en avant de la grande zone cristalline de la Haute-Tatra, de trois nappes de recouvrement superposées.

1. *La transgression nummulitique.* — Comment ces nappes jouent-elles avec le Nummulitique et jusqu'où s'enfouissent-elles en profondeur vers le nord ?

La nappe hauttatrique ne paraît pas s'enfoncer très loin en profondeur vers le nord, puisque nous en connaissons la charnière dans les gneiss. Toutefois, et les nappes des Alpes de Savoie et de Suisse nous en montrent d'admirables exemples, il n'existe pas toujours un parallélisme complet entre les courbures des couches qui constituent la charnière. Ainsi dans les plis frontaux des nappes glaronnaises le Jurassique reste en arrière, tandis que le Crétacique est fortement entraîné vers l'avant. Il se peut donc que des fragments de Jurassique et la masse très épaisse du Crétacique supérieur que l'on voit dans la vallée de

Koscielisko, formant le substratum de la nappe, aient été transportés au loin vers le nord, entraînés, en *lame de charriage*, par la nappe supérieure.

Nous ne savons pas où les nappes supérieures s'arrêtent vers le nord. Nous ne connaissons pas d'indices certains de la charnière.

Le Nummulitique qui cotoie la nappe supérieure subtrique sur le versant nord présente des indications manifestes de transgression, mais je ne pense pas, comme le croit M. Uhlig (*Tatra*, p. 103), que le plissement intense de ce bord nord de la Tatra se soit produit avant l'Eocène. Il suffit d'imaginer que le Nummulitique ait été entraîné avec les nappes pour que sa position actuelle, semblable à l'originelle, par rapport au substratum, puisse s'expliquer. Il s'agit de transport en masse; les conditions de rapport réciproque des couches ont pu être conservées dans le mouvement.

Le Nummulitique repose cependant sur le terrain cristallin; ce repos est normal, il ne peut être suspecté. En effet, dans l'ouest de la Tatra, on connaît, au sud de Zuberec, sur le chemin qui mène au col de Palenica, un petit affleurement de conglomérat éocène reposant sur le granit et formé par les débris de ce granit (*Tatra*, p. 38). Or, non loin de ce point fort intéressant, existe, directement situé sur le granit, une partie de la bande nummulitique qui forme le bord nord de la nappe inférieure subtrique. Nous savons en effet que la nappe subtrique s'amincit de l'est vers l'ouest, dans cette partie occidentale de la Tatra. Au sud de Zuberec *la nappe inférieure n'est représentée que par le Nummulitique.* Or, ce dernier terrain, en contact direct avec le granit, est représenté par son faciès habituel. C'est le « Sulower Conglomérat », constitué surtout par des débris de roches triasiques.

M. Uhlig a montré que ces conglomérats éocènes de la

Tatra étaient ordinairement constitués par les roches de leur substratum. Il serait donc étrange qu'ici cette petite bande, qui repose directement sur le granit, ne soit pas constituée aussi par des éléments de granit comme dans l'affleurement du chemin du col de Palenica, situé à peu de distance. *C'est que cette bande qui, au sud de Zuberec, longe le granit, est un Nummulitique charrié.* Il fait partie de la nappe inférieure subtatrique. Il n'est pas en place.

Il y a eu certainement des mouvements prénummulitiques dans le Tatra, puisque le Nummulitique est certainement transgressif, mais je ne vois pas que ces mouvements ont créé les dislocations considérables du versant nord. Cette manière de voir est le départ d'une série d'hypothèses que nous allons faire.

2. *Liaison de la Tatra avec les zones du Flysch.* — Si nous admettons, en effet, que les grands plis couchés du versant nord de la Tatra sont postérieurs au Nummulitique, comme dans les Alpes occidentales, ils sont de même postérieurs au Flysch oligocène. Nous touchons ici au point le plus délicat de la géologie des Carpathes et j'assume une bien lourde responsabilité. Une nouvelle manière de comprendre la chaîne peut en résulter. Je fais donc toutes mes réserves, mais les hypothèses ne sont point nuisibles. C'est en faisant une série d'hypothèses qui se sont effacées les unes après les autres que nous sommes arrivés dans les Alpes suisses à définir la vraie nature du phénomène créateur de la chaîne. Je suis de ceux qui estiment que les hypothèses sont nécessaires, mais je ne les considère que comme un moyen et suis prêt à les remplacer par d'autres le jour où l'on me montre que je me suis trompé. Ici, il est vrai, à des faits considérés comme parfaitement acquis je fais suivre l'hypothèse; je me trouve manifestement en infériorité, mais puisque je doute, ne dois-je pas chercher une autre interprétation?

Le sud de la Haute-Tatra est limité, d'après M. Uhlig,

par une grande faille. Le massif cristallin central est longé par un pays de Flysch. Nulle part le contact n'a pu être observé d'une manière exacte. Or, disséminés dans ce Flysch du versant sud, on trouve des terrains à faciès subtatrique. Je me suis demandé un instant¹ si toute la masse centrale de la Tatra n'était pas charriée et si ces fragments de terrains secondaires plongés dans le Flysch ne représentaient pas des masses restées en arrière des nappes subtatriques.

Cette hypothèse est venue dans mon esprit parce que dans l'extrémité orientale du massif cristallin on voit le Flysch. En examinant de plus près les résultats, que l'on peut considérer comme acquis, de la géologie des Carpathes, la faille se confirme, mais toutefois, jusqu'à ce que le contact ait été observé d'une façon complète, il est de notre devoir d'attendre la démonstration péremptoire.

Une série d'hypothèses peuvent donc être établies :

1^o Une grande faille existe au sud du massif central de la Tatra; le massif est en place, mais de grands plis couchés s'enfoncent vers le nord.

2^o Les lambeaux du versant sud représentent des fragments restés en arrière des nappes subtatriques; le massif central est charrié et les plis couchés du versant nord se recourbant sur eux-mêmes ne s'étendent pas bien au nord, en avant de la Tatra.

Cette dernière hypothèse me paraît moins soutenable.

La première laisse aussi un point de doute. Où s'arrêtent, où se ferment vers le nord, les nappes subtatriques que nous voyons s'enfoncer sous la bordure du Flysch?

Ce Flysch, qui s'étend jusqu'à la zone des Klippes, est remarquablement horizontal. Il n'est pas plissé et n'est affecté que par quelques cassures sans importance. Au contraire, au nord des Klippes, le Flysch est nettement plissé.

¹Lugeon, *Analogie entre les Carpathes et les Alpes*.

Le phénomène est très simple à expliquer si l'on suppose que le Flysch est postérieur au plissement, mais je vais me placer, à cause de l'intérêt de la spéculation hypothétique, dans le cas inverse, que je ne puis démontrer d'une manière péremptoire, car je ne connais pas assez les lieux et parce que j'estime que la transgression nummulitique est antérieure aux plissements qui ont créé les nappes de la Tatra.

Comment se peut-il donc que, en avant de ces nappes, qui ont exigé un effort orogénique considérable, le Flysch soit resté indemne de cette puissante action tangentielle ?

3. *Considérations théoriques.* — Quand on peut observer une grande nappe de recouvrement dans son ensemble, il y a deux régions dont il importe de faire comprendre la haute signification théorique.

La carapace est tantôt plissée, comme c'est le cas dans certaine partie des nappes des Hautes Alpes calcaires à faciès helvétique, mais ce plissement paraît surtout localisé dans le voisinage du front de la nappe. Plus en arrière, la surface de la nappe reste plane, ou bien le mouvement en profondeur a été exagéré sans qu'il soit sensible à la surface. Je rappelle à ce propos la coupe admirable, publiée par E. Ritter, du versant droit de la vallée de l'Arve, en Savoie. La surface de la nappe supérieure glaronnaise reste plane, par exemple, dans les Churfirsten, tandis qu'en avant, vers le front, le massif du Sentis présente des plis fortement accentués.

Il paraît donc se produire le phénomène suivant dans les nappes : la nappe avance non plissée. Elle marche sous une masse énorme de terrain tendre — le Flysch — qu'elle entraîne avec elle. La masse énorme de terrain superficiel est nécessaire, car sans elle il n'y aurait pas la pression suffisante et la nappe se disloquerait comme se disloquent les roches dans les glissements, les éboulements. Il faut donc forcément que le phénomène principal se produise à une certaine profondeur, et il ne se répercute pas en sur-

face tant que les couches profondes ne se plissent pas sur elles-mêmes d'une manière intense. Le phénomène doit cesser graduellement en profondeur. Il y a donc une région d'avancement maximum, et je la crois, pour le moment du moins, n'être pas située à la surface.

Puis la nappe s'arrête. En avant, les couches de la partie supérieure épousent les contournements des charnières frontales des digitations profondes, et ce contournement des couches se fait sentir très loin en avant, même sur les couches restées en place contre lesquelles le bord de la nappe s'empile.

Mais il y a plus et ce que nous allons voir est très important.

Ainsi que je l'ai fait remarquer, le front de la nappe cherche à surmonter l'obstacle, tout comme une vague de la mer cherche à couvrir l'écueil qu'elle rencontre. Ainsi, *dans sa partie frontale, la nappe à arrêt forcé doit subir un mouvement ascensionnel. Elle doit forcément chercher à crever l'épaisseur de terrain sous lequel et avec lequel elle se meut.*

C'est là ce qui fait la grande différence d'allure entre les nappes à arrêt libre et celles à arrêt forcé. Les nappes à arrêt libre possèdent en général des plis frontaux *couchés* ou *plongeants*, tandis que les nappes à arrêt forcé montrent au contraire des plis frontaux *relevés*. Ainsi, dans les Alpes glaronnaises¹, la nappe moyenne des Silbern reste plongeante jusqu'au front, parce qu'elle s'est arrêtée en plein Flysch. Au contraire, le front de la nappe supérieure, ayant buté probablement contre les poudingues molassiques se relève et monte vers le ciel. La coupe de la vallée de l'Arve, par Ritter², montre un exemple plus

¹ Lugeon, *Les grandes nappes de recouvrement des Alpes du Chablais et de la Suisse*, Pl. XVI, fig. 3.

² E. Ritter, *La bordure sud-ouest du Mont-Blanc*, « Bull. Carte géol. de France, » T. IX, Bull. 60, Pl. III.

frappant encore. La digitation au nord du vallon de Flaine reste plongeante, tandis que celles qui se heurtent contre le pli droit de Cluses essaient de monter comme pour franchir l'obstacle.

Ces considérations théoriques nous expliquent pourquoi les plis frontaux des nappes à arrêt forcé sont particulièrement disloqués; en effet, en cherchant à percer les terrains tendres supérieurs, *le front de la nappe manque de plus en plus de pression au fur et à mesure qu'il s'élève*. Si le mouvement d'élévation est tel qu'il se trahisse en surface, alors que le mouvement tangentiel qui fait avancer la nappe est loin d'avoir pris fin, *ce pli frontal se disloque, s'égrène, coupé par des cassures nombreuses*. Ce sont des fragments de plis qui ici cherchent à crever la surface, qui plus loin restent en profondeur, et se distribuent en masses isolées en plein Flysch et qui *se répartissent en Klippes dans ce Flysch*.

Ainsi, dans certaines parties des plis frontaux des nappes des chaînes à faciès helvétique de la Suisse, voyons-nous par places de fréquentes failles.

Revenons maintenant aux relations de la Tatra avec le Flysch horizontal qui précède la chaîne au nord.

4. *Hypothèse sur l'origine de la zone des Klippes*. — La zone des Klippes des Carpathes constitue dans les chaînes d'origine alpine une unité qui est justement célèbre. Nous nous occuperons ici des Klippes de la zone méridionale, laissant de côté la zone septentrionale.

La zone méridionale est formée par des alignements de collines ou de blocs parsemés au milieu d'une grande bande de terrain crétacique. C'est là ce qui fait le caractère étrange de cette région. On n'y voit pas ou peu ces longs alignements si caractéristiques des chaînes. Cette disposition simule tellement un archipel, que ces petites masses isolées, qui varient de taille entre la petite montagne ou un bloc de quelques mètres cubes, ont été appelées des Klippes (écueils).

Je ne veux pas rappeler ici les discussions nombreuses qui se sont élevées au sujet des Klippes et de leur origine. Ces discussions ont été résumées dans un admirable mémoire sur les *Klippes piénines* (partie de la zone méridionale) dû à M. Uhlig¹.

Les explications qui paraissent avoir eu le plus de succès sont celles de Neumayr, de Stache et d'Uhlig.

Neumayr a donné l'explication suivante : Les Klippes des Carpathes sont les ruines et restes d'une voûte rompue, laquelle s'est résolue en blocs dans des couches plus jeunes placées sur elle en discordance et qui ont déterminé la compression.

Stache a considéré les Klippes comme les restes d'une chaîne de montagnes ; ces restes seraient encore dans leur position tectonique originelle et perceraient la couverture d'un terrain plus récent avec lequel ils seraient sans relation tectonique.

M. Uhlig a combattu l'hypothèse de Neumayr et a précisé celle de Stache. Pour lui, ce sont bien les restes d'une ancienne chaîne divisée en archipel lors de la transgression du Crétacique supérieur.

* * *

Revenons à la Tatra.

Nulle part nous ne constatons une charnière frontale dans les deux nappes subtatriques. Où se trouvent ces charnières ? Nous pouvons imaginer deux solutions. Ou bien les plis frontaux de ces nappes sont quelque part, en avant, noyés sous la grande épaisseur du Flysch horizontal, ou bien, l'un ou les deux plis frontaux apparaissent peut-être au jour et constituent la zone des Klippes.

La zone des Klippes présente en effet certains caractéristiques

¹ V. Uhlig, *Ergebnisse geologischer Aufnahmen in den westgalizischen Karpathen*, II. Theil ; *Der pieninische Klippenzug*, « Jahrbuch der K. K. geolog. Reichsanstalt », 1890, 40. Band 3 u. 4 Heft.

tères analogues aux plis frontaux des nappes à faciès helvétique de la Suisse.

J'ai montré¹ que les chaînes qui s'étendent du Sentis au lac de Thoune, par le Pilate, forment la masse frontale d'une (ou peut-être de plusieurs) des nappes des Alpes suisses. Ces masses frontales *émergent* du Flysch. Elles présentent des dislocations considérables, moins fantastiques que celles que révèle l'étude des Klippes carpathiques, mais de même nature. Burckhardt² a pleinement mis en lumière les accidents étranges de ces chaînes. Nous voyons au Fahnerstock une bande étirée rappelant étrangement une klippe allongée des Carpathes, nous constatons entre le grand et le petit Auberg une vraie klippe isolée en plein Flysch. Le Guggeienberg est absolument comparable à une grande klippe, etc.

Ainsi l'on voit que le pli frontal des grandes nappes à faciès helvétique de la Suisse *a failli se résoudre en Klippes.*

On ne saurait voir là une simple similitude. Ce morcellement est unique dans les Alpes suisses, or il se rencontre dans des masses qui, *comme les Klippes*, sont noyées dans un terrain plus récent.

Mais il y a plus.

Les Klippes carpathiques se groupent en grandes familles isolées les unes des autres et séparées par des espaces où ces Klippes sont absentes ou isolées. Ainsi le groupe de Neumarkt est séparé de celui de Gorsztyn par un espace vide de Klippes. Or *la chaîne frontale suisse des Alpes à faciès helvétique est également tronçonnée.*

Le Guggeienberg émerge comme un îlot au milieu du Flysch. Le Mattstock simule une forteresse isolée. La

¹ Lugeon, *Les grandes nappes de recouvrement*, etc.

² Burckhardt, *Die Kontaktzone von Kreide um Tertiär am Nordrande der Schweizeralpen*, 1893.

chaîne du Wageten s'arrête brusquement pour reprendre plus loin dans le Gross Auberg, séparé à son tour par un espace vide de Klein Auberg, etc.

Voilà donc encore un phénomène semblable à celui des Klippes. Quelle explication pouvons-nous donner de ce tronçonnement extraordinaire qui, en Autriche, est propre à la zone des Klippes et qui, en Suisse, n'est visible que dans les masses frontales des Alpes.

Les nappes qui ont formé la chaîne du Sentis au Pilate, celles qui ont donné lieu à la chaîne des Klippes ont dû, *à cause de la forme arquée de la chaîne, prendre un développement longitudinal de plus en plus exagéré en marchant vers le nord.*

Elles ont dû se disjoindre en tronçons d'autant plus nombreux que la courbure était plus grande. Or la courbure longitudinale de la zone des Klippes est plus exagérée que celle de la chaîne frontale suisse. Cela nous explique pourquoi *le pli frontal est resté plus continu en Suisse, alors que dans les Klippes carpathiques le tronçonnement s'est développé d'une manière exagérée.*

Non seulement cette fragmentation — comparable au tronçonnement de la bélemnite — s'est exécutée dans les Carpathes en divisant les plis frontaux en grandes bandes juxtaposées presque bout à bout comme en Suisse, mais elle s'est exercée dans l'extrême détail, capable de produire des subdivisions comme celles d'une vague qui se brise en des milliers de gouttelettes.

Ainsi nous voyons que *la zone des Klippes présente les allures d'un pli frontal d'une nappe à arrêt forcé.* La similitude avec le pli frontal de la grande nappe suisse qui s'avance jusqu'aux territoires molassiques est telle que nous l'estimons suffisante : *la zone des Klippes représente le ou les plis frontaux de grandes nappes.*

Cette hypothèse se rapproche de celle de Neumayr ; pour remplacer la grande voûte rompue, qu'avait imaginé cet

homme si remarquable à tant de points de vue, je propose le front émergeant et disloqué d'une nappe de charriage.

*
* *
*

Est-ce aux nappes subtatriques que l'on doit rattacher les Klippes ou bien appartiennent-elles à une autre nappe ou groupe de nappes ?

Ici, j'avoue que les documents me manquent ; ce n'est que le jour où toute la carte géologique détaillée des Carpathes sera publiée que nous pourrons nous rendre compte exactement de l'allure du phénomène.

Cherchons à anticiper sur l'avenir, bien que nous sentions les points d'appui nous manquer. Il se peut que l'hypothèse nous guide.

Les auteurs qui ont décrit les Klippes distinguent, depuis Stache, deux séries stratigraphiques, celle des Klippes et celle de la couverture des Klippes (Klippenhülle).

Les terrains des Klippes ne sont pas rigoureusement les mêmes que ceux de la Tatra, mais il ne faut pas oublier que nous devons envisager et comparer des coupes qui sont aujourd'hui, comme elles étaient jadis, dans leur position originelle, à de très grandes distances.

Ainsi le Trias et les couches de Gresten sont communs aux deux régions. Le Lias (Barkokalk) rappelle celui de la zone hauttatrique. Les couches à *Amm. opalinus* sont connues dans la zone subtatrique, où, par contre, les bancs à *Posidonomyes* n'ont pas été retrouvés fossilifères. Un intérêt plus grand s'adresse aux terrains jurassiques. Il y a deux faciès dans la Tatra. Il y en a deux aussi dans les Klippes. Les *dépôts jurassiques fossilifères* sont représentés, beaucoup moins riches en restes organiques, par la grande masse du calcaire liaso-jurassique de la zone hauttatrique. Dans les deux régions nous y constatons les calcaires à

crinoïdes du Dogger et les calcaires rouges (Knollenkalk); le Titonique, célèbre dans la zone des Klippes à cause de ses beaux gisements fossilifères, existe probablement, sans fossile, il est vrai, dans la zone hauttatrique, au pied nord du Giewont.

Le deuxième faciès du Jurassique, le *Hornsteinkalk-facies*, est peut-être une modification latérale du faciès subtatrique. Dans le faciès des Klippes, nous voyons aussi les Fleckenmergel, que l'on constate dans la zone subtatrique.

Enfin les terrains crétaciques inférieurs des Klippes sont tout aussi difficiles à subdiviser sous leur forme de Hornsteinkalk dans les Klippes qu'ils le sont, sous la forme des Fleckenmergel, dans la Tatra.

Le Crétacique supérieur, qui fait partie de la Klippenhülle, est gréseux, détritique dans les Klippes; il est marneux dans la zone hauttatrique.

Le Nummulitique est le même dans les deux régions.

* * *

Il est donc possible d'assimiler dans une certaine mesure les terrains des Klippes à ceux de la Tatra ou à leur substratum, mais il y a des variations de faciès qui peuvent être interprétées en faveur ou contre l'hypothèse de la liaison en profondeur des nappes subtatriques et des Klippes. Ainsi la stratigraphie ne peut venir à notre secours, et j'ai fait remarquer plus haut que l'argument tectonique nous manquait, puisque nous ne connaissions pas d'une manière détaillée la géologie d'une très grande portion, sinon la totalité, de la chaîne. Nous sommes donc livrés à la conjecture, et à ce propos il est certaines considérations intéressantes.

Il y a un intérêt très grand à considérer la répartition

des Klippes à faciès jurassique. J'ai assimilé le faciès à Hornsteinkalk à celui des nappes subtatriques. Or si ces nappes, qui sont les supérieures, réapparaissent à la surface, elles doivent former la bande la plus méridionale des Klippes, du moins en face de la Tatra. C'est ce que montre en effet la carte schématique publiée par M. Uhlig à la fin de son mémoire sur les Klippes piénines.

D'autre part, ces Klippes à Hornsteinkalk sont les plus allongées ; elles sont plissées ; se sont elles qui rappellent le plus les plis du Wageten, de l'Auberg, etc., en Suisse.

Les Klippes jurassiques, à faciès riche en fossiles, se rapportent surtout au faciès hauttatrique ou, ce qui revient au même, au faciès du substratum autochtone. Ces Klippes à faciès riche en fossiles sont plus petites et sont particulièrement brisées par des cassures ; le pli n'a rien à y faire. Or, par une coïncidence étrange, nous constatons, dans la Tatra même, des lambeaux de Jurassique, appartenant à la nappe hauttatrique, déjà enfouis dans le Crétacique supérieur. M. Uhlig a signalé un de ces fragments dans le val Malalaka (fig. 4), puis à l'ouest de la vallée de Koscielisko, on constate un égrènement en plein Crétacique de cette même nappe (Uhlig, *Tatra*, Pl. III b, fig. 4). Ainsi la nappe subtatrique inférieure a raboté la nappe hauttatrique, en a arraché des fragments¹. Or dans la zone piénine des Klippes, celles à faciès jurassique riches en fossiles occupent justement, en général, le nord des Klippes à

¹Un de mes anciens élèves, M. Porchet, assistant à l'Université de Lausanne, m'a fait remarquer la similitude que présenterait ce phénomène s'il était démontré avec celui de l'écoulement des glaciers. Ces deux nappes subtatriques représenteraient le glacier ; les débris de la nappe hauttatrique et subtatrique, entraînés avec les roches de substance autochtone, seraient assimilables à la moraine de fond. Cette moraine d'un nouveau genre formerait toutes les petites Klippes de Jurassique à faciès fossilifère. J'ajouterai que le tronçonnement de la nappe serait comparable au phénomène des crevasses frontales qui coupent le glacier en éventail. Cette comparaison pourrait être poussée plus loin.

faciès du Hornsteinkalk. D'autre part, la nappe subtatrique a par places raboté jusqu'aux terrains cristallins. Ainsi voilà une série de coïncidences qui sont fortement en faveur de l'hypothèse de la liaison des Klippes avec les nappes de la Tatra, d'autant plus que le rabotage, s'effectuant aussi aux dépens du substratum autochtone, a pu amener au jour des paquets arrachés à des zones plus fossilifères que celles que l'on voit dans la Tatra même.

Il se peut, si le front des nappes de la Tatra reste enfoui sous la zone de Flysch qui le sépare de la zone des Klippes, que celles-ci appartiennent à une ou plusieurs autres nappes enfouies entièrement en profondeur et dont on ne verrait émerger que les têtes. En poursuivant au loin vers l'ouest et vers l'est à la fois la zone des Klippes et les nappes de la Tatra, peut-être arrivera-t-on à élucider définitivement cette question.

* * *

Dans la zone des Klippes, le Crétacique supérieur est fortement développé sous une forme gréseuse et poudinguiforme; dans la Tatra il est marneux et peu développé. Est-ce là un argument contre l'hypothèse de la liaison des Klippes et des nappes de la Tatra?

Il est à remarquer que dans la Tatra le Crétacique supérieur n'existe guère que dans la zone hauttatrique. Sous la nappe hauttatrique il est très développé, alors qu'il manque presque entièrement sur la nappe. Il a donc été entraîné en grande partie par les nappes subtatriques, mais c'est dans ce Crétacique supérieur, comme dans les Klippes, que s'est allongée la nappe hauttatrique. Dans les nappes glaronnaises nous remarquons de même que le Flysch situé sous la nappe inférieure est très développé, tandis qu'il est peu abondant entre les nappes et prend un

développement souvent considérable vers les charnières frontales. Si donc les nappes tatriques forment les Klippes, le Crétacique supérieur dans lequel sont contenues ces dernières proviendrait en grande partie de la nappe hauttatrique et de son substratum.

La différence de constitution du Crétacique dans les deux régions pourrait être un argument à élever contre l'hypothèse de la liaison souterraine. Mais si nous cherchons à nous représenter les rapports primitifs des terrains constituant les nappes, en faisant l'opération de la mise en place des nappes avant le charriage, nous trouvons une explication de cette différence. Les terrains crétaciques supérieurs autochtones de la Tatra devaient s'étendre vers le nord en prenant de plus en plus un faciès littoral, c'est-à-dire le faciès des Klippes, puisque vers le nord on s'éloigne du centre du géosynclinal carpathique. Or le Crétacique des Klippes a été arraché de la partie qui précédait vers le nord le Crétacique visible dans la Haute-Tatra.

Je ne pousserai pas plus loin cette enquête, car, ne nous adressant qu'à une portion trop restreinte de la chaîne, nous ne pouvons trouver la solution définitive. Cette zone des Klippes représente le front de grandes nappes. Nous comprenons maintenant pourquoi, en avant des Klippes, la zone tertiaire est plissée, car elle a subi le contrecoup de la formation de la nappe, tandis que, au sud, le Flysch transporté avec la nappe n'a pas ressenti les effets de la compression latérale et est resté en couches faiblement ondulées.

* * *

Poussées vers le nord, comme la chaîne alpine, les Carpathes ont cherché à couvrir l'avant-pays, ainsi que l'a écrit dans des pages inoubliables l'auteur de la magistrale

Face de la Terre. C'est par de grandes vagues successives cherchant à se hisser les unes avec l'aide des autres que ce gigantesque mouvement a dû s'accomplir. Le phénomène de la nappe de recouvrement est bien, ainsi que l'a dit M. Marcel Bertrand, un processus normal de la formation des chaînes de montagnes. Sans doute, ce travail n'est qu'une pure tentative, une contribution apportée en faveur des théories nouvelles, et cherchant des documents dans une région qui m'est complètement inconnue, je ne me cache pas de l'imperfection de cette méthode. Ce sont ceux qui marchent dans les chemins non battus qui courent le plus le risque de se perdre. Si je me suis trompé, j'ai déjà appris à reconnaître mes erreurs.



