

La géologie et les grands tunnels alpins

Autor(en): **Oulianoff, N.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **85 (1959)**

Heft 9

PDF erstellt am: **10.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-64114>

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.

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

paraissant tous les 15 jours

ORGANE OFFICIEL

de la Société suisse des ingénieurs et des architectes
de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes (S.V.I.A.)
de la Section genevoise de la S.I.A.
de l'Association des anciens élèves de l'EPUL (Ecole polytechnique
de l'Université de Lausanne)
et des Groupes romands des anciens élèves de l'E.P.F. (Ecole
polytechnique fédérale de Zurich)

COMITÉ DE PATRONAGE

Président: J. Calame, ing. à Genève
Vice-président: E. d'Okolski, arch. à Lausanne
Secrétaire: S. Rieben, ing. à Genève

Membres:

Fribourg: H. Gicot, ing. ; M. Waeber, arch.
Genève: G. Bovet, ing. ; Cl. Groscurin, arch. ; E. Martin, arch.
Neuchâtel: J. Béguin, arch. ; R. Guye, ing.
Valais: G. de Kalbermatten, ing. ; D. Burgener, arch.
Vaud: A. Chevalley, ing. ; A. Gardel, ing.
M. Renaud, ing. ; Ch. Thévenaz, arch.

CONSEIL D'ADMINISTRATION

de la Société anonyme du « Bulletin technique »

Président: A. Stucky, ing.
Membres: M. Bridel ; R. Neeser, ing. ; P. Waltenspühl, arch.
Adresse: Ch. de Rosneck 6, Lausanne

RÉDACTION

D. Bonnard, ing.
Rédaction et Editions de la S. A. du « Bulletin technique »
Tirés à part, renseignements
Adresse: Case Chauderon 475, Lausanne

ABONNEMENTS

1 an	Suisse Fr. 26.—	Etranger.	Fr. 30.—
Sociétaires	» » 22.—	»	» 27.—
Prix du numéro	» » 1.60		

Chèques postaux: « Bulletin technique de la Suisse romande »,
N° II 57 75, Lausanne.

Adressez toutes communications concernant abonnement, changements
d'adresse, expédition, etc., à: Imprimerie La Concorde, Terreaux 29
Lausanne

ANNONCES

Tarif des annonces:	
1/1 page	Fr. 275.—
1/2 »	» 140.—
1/4 »	» 70.—
1/8 »	» 35.—

Adresse: Annonces Suisses S. A.
Place Bel-Air 2. Tél. (021) 22 33 26. Lausanne et succursales

**SOMMAIRE**

La géologie et les grands tunnels alpins, par N. Oulianoff, professeur honoraire de l'Université de Lausanne.
Bibliographie. — Les Congrès. — Communiqué. — Carnet des concours.
Documentation générale. — Documentation du bâtiment. — Nouveautés, informations diverses.
Supplément: « Bulletin S.I.A. » N° 20.

LA GÉOLOGIE ET LES GRANDS TUNNELS ALPINS

par N. OULIANOFF, professeur honoraire de l'Université de Lausanne¹

Actuellement divers projets de tunnels dans les Alpes tiennent en éveil l'intérêt du grand public, sans parler des spécialistes. Il existait même l'état d'une certaine compétition, ou d'une « guerre des tunnels », pour employer l'expression que l'on trouvait dans les journaux. Le percement de quelques grands tunnels dans les Alpes est donc à l'ordre du jour et je me propose d'en entretenir le lecteur dans les pages qui suivent. Toutefois, et afin d'éviter un malentendu, je veux commencer par la limitation de mon sujet. Tous les problèmes touristiques, économiques, politiques, de même que techniques de nature telle que ceux qui concernent la ventilation, l'éclairage, etc., ne seront pas considérés dans mon exposé. Il y sera uniquement question des conditions géologiques.

Il est naturel que l'on commence par songer à la géologie dès le début des recherches concernant le choix du tracé pour un tunnel projeté. J'ai dit que c'est « naturel », mais la nécessité de recourir à l'examen géologique ne paraît pas encore comme évidente pour tout le monde. Le grand public se représente facilement qu'une fois les deux entrées du tunnel choisies, la ligne droite reliant ces points indiquerait automatiquement le tracé, après quoi il n'y aurait qu'à effectuer des des-

sins techniques et procéder aux calculs des masses rocheuses à évacuer et des structures qui garniront le souterrain. En réalité, on doit encore savoir si la nature géologique des lieux autorise un constructeur à réaliser le percement d'après le tracé ainsi situé. L'« autorisation » n'est peut-être pas le terme tout à fait exact. En effet, on peut citer des exemples où l'énergie et l'audace humaines affrontent des difficultés qui paraissent être insurmontables. Au cas où l'on ne ménagerait ni les efforts ni les dépenses matérielles, on percera les souterrains dans n'importe quelles conditions. Songez seulement aux obstacles qu'il fallait vaincre lors de la construction du Métro à Paris. Cependant, on est obligé d'établir les limites acceptables des dépenses. Alors apparaît immédiatement la nécessité de se rendre compte des difficultés que la nature réserve au constructeur, et des possibilités éventuelles de faire le choix le plus favorable parmi les tracés envisagés. Un examen géologique seul peut répondre, dans une certaine mesure, à ces questions. Lorsqu'on se propose de percer un tunnel dans une chaîne de montagnes telle que les

¹ Adaptation à la publication de la conférence prononcée le 17 mai 1957, devant les membres de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes.

Alpes, il ne faut pas oublier que les masses rocheuses le long du souterrain ne sont jamais homogènes, ni au point de vue de leur composition pétrographique, ni en ce qui concerne leur structure.

Nombreux et variables sont les problèmes qui surgissent alors concernant les conditions géologiques du terrain.

Il est fastidieux de traiter un sujet semblable d'une façon abstraite, anonyme pour ainsi dire. D'autre part, je n'ai pas l'intention de présenter ici une compilation des documents déjà connus, déjà publiés, concernant les tunnels percés depuis longtemps. Je veux me baser, par la suite, sur les recherches nouvelles relatives aux deux projets de tunnels qui ont attiré une vive attention en Suisse aussi bien qu'en Italie et en France. J'entends ici le tunnel sous le Mont-Blanc et cet autre sous le Grand-Saint-Bernard.

Le sort a bien voulu m'attacher au massif du Mont-Blanc, à la région de la vallée de Bagnes, du val d'Entremont, du val Ferret, avec celle aussi du Grand-Saint-Bernard. Pendant de nombreuses années, j'y ai fait des recherches géologiques détaillées, dont les résultats sont enregistrés sur les cartes géologiques à grande échelle. Pour cette raison j'ai eu l'honneur d'être appelé à examiner, au point de vue géologique, les conditions des projets des deux grands tunnels nommés ci-dessus.

En ce qui concerne le tunnel sous le Mont-Blanc, les résultats de mes investigations ont été présentés, en 1932, sous forme d'un grand rapport d'expertise signé par M. Lugeon et moi-même.

Le *Génie civil* (numéro du 15 mai 1935) a publié un long article consacré au projet d'un tunnel routier entre Chamonix et Entrèves et notre expertise géologique y est résumée en détail. La guerre de 1939-1945 a coupé net toute tentative de réalisation de ce projet. Mais en 1949 le *Génie civil* reprend la question et expose une fois de plus les éléments essentiels de mes recherches géologiques. Ensuite, en 1954, la même revue revient au projet du tunnel sous le Mont-Blanc et on lit dans ses pages : « Le *Génie civil* a décrit (en 1935 et 1949) en détail le projet de percée du Mont-Blanc, qui a réuni le plus grand nombre de partisans. C'est aussi le seul qui ait fait jusqu'ici l'objet d'une demande de concession. »

Je le cite uniquement pour montrer que mes considérations géologiques qui vont suivre ne sont ni surannées, ni dépassées par de nouvelles investigations.

Invité par les organismes suisse et italien qui ont commencé à s'intéresser activement à l'ancien projet du percement d'un tunnel routier entre la Suisse et l'Italie dans la région du Grand-Saint-Bernard, j'ai soumis à un examen géologique détaillé les tracés déjà envisagés et en ai proposé de mon côté des nouveaux.

On entend une vaste zone, en parlant de la région du Grand-Saint-Bernard. Elle comprend aussi le col Ferret, reliant le val Ferret suisse et le val Ferret italien. Le projet de passer sous le col Ferret préconisé par les ingénieurs H. Chenaux et E. Chauvie devrait unir les deux vals Ferret. Ainsi que cela est indiqué au début de cet article, je n'exposerai pas ici les arguments économiques et touristiques en faveur de ce projet ou contre lui. Tout au plus si je mentionne ici que l'une des difficultés que comportait ce projet résidait dans la nécessité de construire les deux routes d'accès, soit celle le

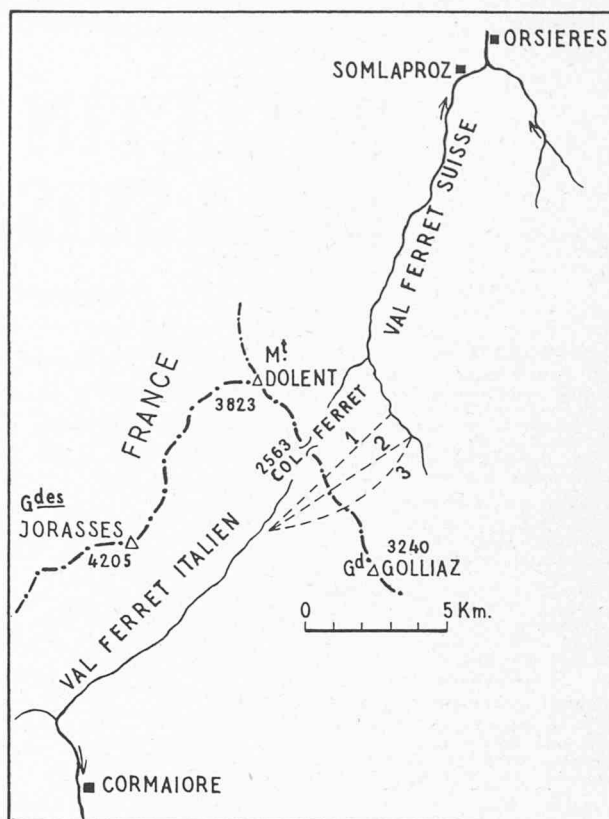


Fig. 1. — Carte schématisée de la région du col Ferret.

long du val Ferret suisse, entre le village de Somlaproz et l'entrée suisse du tunnel, et cette autre, le long du val Ferret italien, entre Courmayeur et l'entrée italienne du tunnel (voir le croquis de la carte, figure 1).

Comme le val Ferret suisse et, surtout, le val Ferret italien ne possèdent actuellement que des routes plutôt rudimentaires et qui, en plus, ne sont pas praticables en hiver, la création des routes d'accès prenait une importance particulière. Le fait que les deux vallées longent l'imposant et abrupt massif du Mont-Blanc inspirait des craintes de voir les nouvelles routes être exposées aux dangers d'avalanches. J'ai entrepris une étude détaillée, sur le terrain et au moyen d'enquêtes, pour éclaircir cette question importante. Mais la préoccupation principale a été évidemment l'examen des conditions géologiques du tracé du souterrain proposé par le projet.

Afin de rendre plus claire la suite de l'exposé, nous sommes obligés de faire ici une importante digression.

* * *

Le problème du percement de tunnels, examiné au point de vue géologique comprend les questions essentielles suivantes :

- 1° la pression des roches dans le souterrain ;
- 2° la résistance des roches au percement ;
- 3° les eaux souterraines ;
- 4° la chaleur interne.

La première question est fondamentale dans la discussion du projet d'un tunnel, en vue d'agréer ou de rejeter le tracé proposé. Mais le terme *pression des roches* est trop vague. Nombreuses sont les tentatives de préciser cette notion, en la présentant sous l'aspect d'une formule mathématique. Cependant, la recherche d'une précision au moyen des méthodes mathématiques n'est parfois qu'illusoire, ou même, dans certains cas, dangereuse, quand il s'agit des problèmes géologiques pratiques.

De même, les recherches des solutions de ce problème sur les modèles ne peuvent pas donner non plus de résultats probants. L'utilisation du matériel homogène lors des expériences ne fournit qu'une vague image des conditions moyennes qui correspondraient à de très grands volumes.

Par contre, dans les limites qui caractérisent les travaux exécutés par l'homme, de très nombreux facteurs rendent le terrain inhomogène et bouleversent les plus ingénieux calculs.

Du reste, il ne faut pas oublier que, lorsqu'on parle de longs tunnels, on entend, le plus fréquemment, les percements des chaînes de montagnes, soit des zones de la croûte terrestre intensément froissées.

On envisage habituellement que les causes des poussées à l'intérieur de l'écorce terrestre et, par conséquent, vers l'axe d'un souterrain sont, dans notre cas :

- 1° la gravité, et
- 2° la tension créée par les mouvements tectoniques.

Certains auteurs affirment que « die Schwerkraft ist die unmittelbare Ursache für den Gebirgsdruck ». (Kirnbauer, dans l'« Internationale Fachtagung für Gebirgsdruckfragen im Bergbau und Tunnelbau », Leoben, 1950.) Si la gravité en avait été la cause, il fallait voir son effet partout identique dépendant seulement de la profondeur, les roches les plus répandues ayant en moyenne le même poids spécifique. Mais il y a à près de cinquante ans, Albert Heim avait imaginé une autre manière de présenter les calculs sur l'écrasement des colonnes des roches sous l'effet de leur propre poids : « Die Festigkeit einer Gesteinsart kann ausgedrückt werden durch die grossmögliche Höhe (*h*) der Säule aus diesem selben Gestein ; eine noch höhere Säule würde durch ihre Last ihren eigenen Fuss zerquetschen. Bei verschiedenen festen Gesteinen liegt *h* zwischen 500 und 6000 m. » Donc, ce n'est pas la gravité seule qui entre en ligne de compte, mais aussi la résistance des roches à l'écrasement.

Cependant, ce raisonnement omet, lui aussi, de tenir compte d'un fait important, notamment, de celui que la pression se réalise par le déplacement de la matière. On ne peut pas produire une pression sans avoir poussé la masse qui sert d'agent de transmission de l'effort. En creusant une galerie dans une épaisse masse rocheuse, nous privons la « colonne » de Heim de sa base. Elle devrait donc descendre pour combler le vide, mais cette « colonne » n'est découpée de toute la masse rocheuse que par notre imagination. Dans la nature, elle fait partie intégrale du volume, pratiquement illimité, de roches auxquelles elle est soudée par l'adhésion intime des minéraux et par le frottement des particules solides les unes contre les autres sur toute sa hauteur. La viscosité du milieu est, par conséquent, pratiquement impossible à vaincre. Autrement dit, la transmission de la pression ne peut se faire que dans un temps infini. Les grands de cet ordre appartiennent au domaine de spéculations scientifiques et philosophiques. Si l'on veut les utiliser à l'échelle humaine, elles se trouveront de loin en dehors de l'horaire disponible à l'observateur. Dans la limite de cet horaire, elles ne se chiffrent que par zéro.

Tandis que la conception que nous venons de discuter envisage le rôle direct de la gravité, certains auteurs évoquent l'état plastique des roches pour expliquer la poussée dans les souterrains. On admet que, dans les profondeurs, grâce à l'augmentation de la chaleur, les roches deviennent de plus en plus plastiques, ce qui les prédispose au fluage de plus en plus facile.

Or, le domaine de nos techniques ne connaît pas encore les zones plus profondes que quelque 5000 m en dessous de la surface topographique (sondages pour les recherches sur le pétrole). Et si nous restons aux problèmes qui nous intéressent en ce moment, les 5000 m dépassent de beaucoup l'épaisseur de la calotte au-dessus d'un souterrain réalisable actuellement.

Ni la chaleur, ni la pression dans ces profondeurs ne sont d'une importance suffisante pour produire le fluage des masses rocheuses normalement compactes.

Il y a lieu de mentionner ici le cas spécial, celui du fluage des roches argileuses peu consolidées. Mais ce phénomène n'est pas une fonction de la pression dépendant de la profondeur. Il se réalise aussi bien à la surface, étant une espèce de glissement de terrain.

Il ne faut pas oublier encore que le poids spécifique des roches les plus répandues (calcaires, gneiss, granites) est sensiblement le même (autour de 2,7). Donc, l'effet de la pression dépendant de la gravité devrait être identique pour toutes ces roches. Or, ce n'est pas le cas. Les écrasements constatés dans les souterrains sont de beaucoup plus fré-

quents dans les cas où l'on a affaire avec des calcaires, ou des marnes, qu'avec des granites ou gneiss.

D'autre part, chaque praticien qui a eu l'occasion de s'occuper des souterrains peut citer de nombreux cas des poussées dangereuses qui se déclarent sous des calottes de faible épaisseur. Par contre, il y a un groupe d'observations, aux résultats concordants, qui mérite d'être retenu avec attention. Le percement des souterrains à travers les chaînes de montagnes à tectonique simple rencontre (pour toutes sortes de roches) moins de difficultés que dans les cas où on a affaire avec les montagnes à structure tectonique compliquée. Cela nous fait comprendre que ce que l'on désigne comme pression des roches dans le souterrain n'est autre chose qu'une manifestation des effets des forces tectoniques. Les mouvements tectoniques déterminent la formation dans la croûte terrestre, de plis et de cassures. L'abondance des plis dans les masses rocheuses caractérise la structure désignée par les géologues comme tectonique plastique. Une abondance

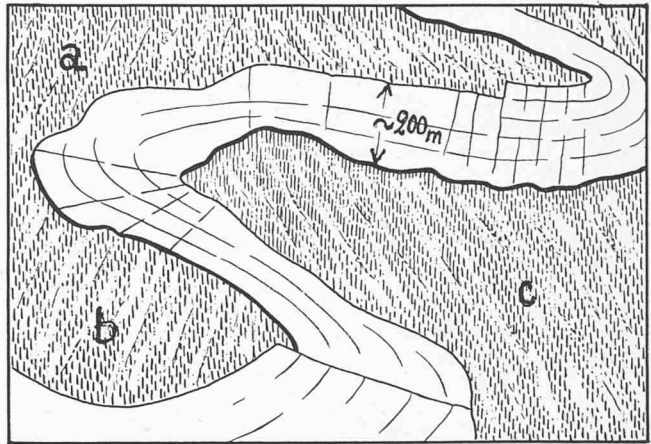


Fig. 2. — Les plis d'Arpenaz (Haute-Savoie), sur la rive droite de l'Arve, entre Sallanches et Cluses.

Le dessin schématisé est fait d'après une photo avion. L'indication de l'épaisseur d'une couche (200 m) donne l'idée de l'échelle. Les parois abruptes sont taillées dans du calcaire (du Malm). Les terrains recouverts d'éboulis et de forêt (a, b, c) sont des schistes argileux et des marnes. En a et b, les formations sont plus jeunes que le Malm ; en c, elles sont plus anciennes.

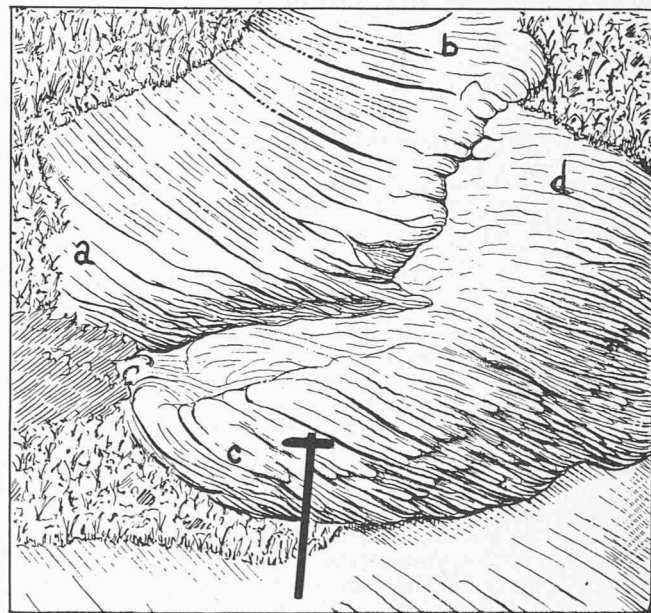


Fig. 3. — Dessin schématisé (fait d'après une photographie) où l'on voit deux couches de Malm (fig. 2) sur lesquelles l'incurvation (plissement « plastique ») est visible, mais aussi de multiples cassures grâce auxquelles cette incurvation, dans chacune des couches, a-b et c-d, a été réalisée. Le marteau (30 cm) donne l'idée de l'échelle.

de cassures (de failles) fait caractériser la région correspondante comme appartenant au régime de la *tectonique cassante*. Mais le terme « plastique » n'a rien d'absolu dans notre cas. Tout dépend de l'échelle à laquelle le phénomène donné est observé. Un exemple classique et vraiment spectaculaire représente les plis visibles au-dessus d'Arpenaz, en Haute-Savoie, sur la rive droite de la vallée de l'Arve, entre Sallanches et Cluses (voir fig. 2). Ce spectacle a profondément ému H.-B. de Saussure (« Voyages dans les Alpes », 1779-1796).

Mais une analyse attentive de ce que l'on appelle *structure plastique*, en parlant de grands plis dans les montagnes, oblige de tenir compte d'une importante correction quant à leur origine. La structure plastique, parfois tout à fait frappante, apparaît comme telle devant l'observateur lorsque ce dernier l'examine, à une certaine distance. Mais ces plis majestueux ne sont pas produits tel un moulage en matière plastique (argile, par exemple). Un examen détaillé montre que les charnières des plis sont des lieux où apparaissent de multiples cassures qui ont permis le déplacement de la masse rigide selon le plan qu'exécutaient, en grand, les forces mises en jeu pendant la formation de la chaîne de montagnes (voir fig. 3). Ceci est vrai pour les plis qui mesurent plusieurs dizaines de mètres et même pour ceux qui ne sont visibles qu'au microscope.

Le constructeur, pendant le creusement d'une galerie, en travaillant à l'échelle humaine, aura toujours affaire avec la tectonique *différentielle cassante* et jamais véritablement *plastique*.

Mais à part les plis, nous avons encore à considérer les cassures nettement exprimées comme telles.

La pression tectonique détermine le sectionnement des masses rocheuses en lames, qui s'empilent en glissant les unes sur les autres (leurs traces 1 a, 1 b, 1 c, sont représentées sur la figure 4). Alors, suivant les plans de glissement,

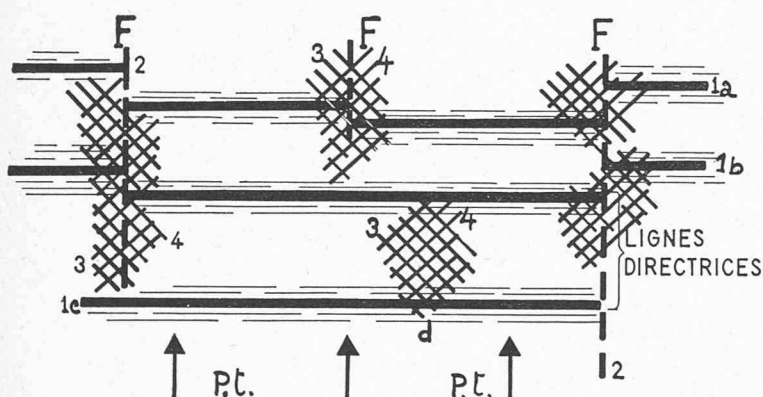


Fig. 4. — Schéma montrant l'orientation des cassures produites par la pression tectonique (P.t.) : lignes directrices principales (axes des plis), traces des plans de chevauchement (1 a, 1 b, 1 c), failles (F) et décrochements parallèles à la poussée (2), cassures (3 et 4) comparables aux systèmes de lignes de Mohr.

se produit un écrasement donnant lieu à la formation de cassures et de mylonites. Les roches situées entre les zones de mylonitisation peuvent subir une influence considérable de la pression qui s'exprime par la schistosité (Fourmarier, 1953) et par le dérangement souvent très profond de la structure intime, de la cohésion entre les cristaux composant la roche (Oulianoff, 1949, 1955). Ainsi, par ex., on constate presque toujours, dans le granite du massif du Mont-Blanc, que les cristaux de quartz et de feldspath sont fendillés, que le quartz est partiellement ou entièrement recristallisé en mosaïque, etc. (P. Corbin et N. Oulianoff, 1927-1958). Mais le déplacement des lames rocheuses (1 a-1 b, 1 b-1 c, etc.) à la suite de la pression tectonique (exprimée par les lettres P.t. sur la figure 4) ne peuvent pas se produire avec une vitesse uniforme (avec le même gradient d'avancement) pour toute la grande extension des lames vers la gauche et vers la droite. L'inhomogénéité de la composition de la croûte terrestre présente ici ou là des obstacles à cet avancement. Le ralentissement du mouvement des unes par rapport aux autres détermine la rupture de continuité et,

par conséquent, l'apparition des failles de décrochement. En gros, les traces de ces failles (F sur la figure 4) seront perpendiculaires aux traces 1 a, 1 b, etc., définies plus haut. Mais en dehors de ces deux systèmes de cassures, la pression orogénique en crée encore deux autres (3 et 4 sur la figure 4). Ce sont les cassures, tantôt exprimées, tantôt potentielles, comparables aux systèmes de lignes de Mohr que l'on voit se reproduire admirablement dans les cubes de roches, sous la presse hydraulique. Les deux systèmes de cassures en question (3 et 4 de la figure 4) forment, en moyenne, un angle de 90° entre eux et 45° par rapport à la direction de la pression (P.t. de la figure 4). Sur le croquis, les groupements des cassures de ces deux systèmes (3 et 4) sont marqués sporadiquement, dans quelques endroits seulement. D'un côté, c'est fait dans le but de ne pas trop charger le dessin. Dans la nature, la densité de réseaux de ces cassures, fréquentes en général, dépend aussi du jeu complexe et capricieux des forces en présence, dont l'intensité varie d'une place à l'autre.

Cependant, ce réseau de quatre systèmes de cassures (fig. 4) ne caractérise que les masses rocheuses passées par l'épreuve d'une seule période de formation des montagnes. La chaîne du Jura, composée d'un complexe de roches plus jeunes que le Trias et plissées une seule fois pendant l'orogénèse alpine, peut servir d'exemple pour ce cas.

Dans les Alpes, nous voyons apparaître de nouvelles complications. Les roches que l'on y trouve appartiennent à diverses époques, par leur formation, à partir de très anciennes et jusqu'à de toutes jeunes. Et l'on constate aussi que ces roches ont été successivement plissées par les mouvements orogéniques, ces derniers étant au nombre de trois, au moins. Il est important de noter encore que les axes des plis caractérisant chacune de ces trois périodes orogéniques ne sont pas parallèles entre eux, mais se croisent. Sur la figure 5 sont représentés schématiquement les axes des plis pour les trois périodes en question et correspondant à la région entre le méridien passant par Saxon (vallée du Rhône en Suisse) et celui par Sallanches (vallée de l'Arve en France). La direction des axes des plis de la figure 5 correspond aussi à la direction des cassures marquées par le chiffre 1 sur la figure 4. Les roches de formation ancienne sont, dans les Alpes, celles qui pétrographiquement se présentent comme franchement cristallines (micaschistes, gneiss, granites). Elles ont subi les effets de trois périodes orogéniques, à chacune desquelles correspondent quatre systèmes de cassures (fig. 4). Et ces cassures n'étant pas parallèles respectivement, se croisent sous divers angles. Elles ne sont pas représentées sur la figure 5, afin de ne pas trop charger le dessin. Mais on imagine facilement à quel point est compliqué le réseau complexe de ces cassures superposés. Bien imprudent serait donc le géologue qui indiquerait catégoriquement une orientation uniforme des cassures que devrait rencontrer, d'après lui, le constructeur dans le souterrain projeté.

On peut dire, sans ambiguïté, qu'appliquées à la pratique du creusement des souterrains, toutes les théories et les

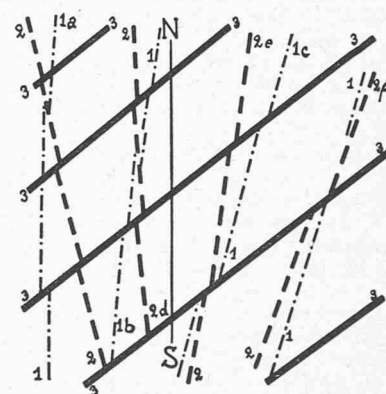


Fig. 5. — Dessin montrant schématiquement les lignes directrices (explication sous figure 4) de trois tectoniques superposées et aux axes croisés.

A chaque tectonique correspondent encore les réseaux de décrochements et de cassures 3 et 4 (du dessin 4). Ces trois systèmes de cassures ne sont pas indiqués sur le schéma présent. Mais en les considérant, on se rend facilement compte d'une énorme complexité des réseaux de cassures (grandes et petites) d'origine tectonique, qui affectent les masses rocheuses.

formules les plus ingénieuses qui expriment l'état de l'élasticité des masses rocheuses dans les montagnes ne servent à rien. En effet, les masses rocheuses dans lesquelles on creuse un souterrain (j'entends toujours des tunnels traversant les chaînes de montagnes), ont été exposées autrefois aux tensions produites par les mouvements orogéniques dans la croûte terrestre. La solution de ces tensions s'est traduite par le *fractionnement*, à divers degrés, de la masse rocheuse. En plus, il ne faut pas perdre de vue que cette dernière est souvent extrêmement hétérogène quant à sa composition minéralogique et sa structure intime, ce qui détermine que les effets du fractionnement ne sont pas les mêmes partout, car ils dépendent de nombreuses et variables conditions géologiques.

Disons, une fois de plus, que le constructeur, lors du percement d'un tunnel, n'a plus affaire avec une masse rocheuse homogène à l'état intact, et qui pourrait être examinée à la lumière des propriétés mécaniques déterminées au laboratoire sur les échantillons isolés et façonnés.

Rappelons encore que, dans le souterrain traversant des masses de granite (faisant partie d'une chaîne de montagnes), le constructeur essuie parfois de désagréables et dangereux effets d'éclatement, de Bergschläge (bendons de certains auteurs français). Cela signifie qu'il se produit localement une solution, vers le vide (souterrain), d'une tension créée par une orogénèse, mais restée jusqu'alors à l'état potentiel. Ainsi, dans la roche compacte, les chances sont plus fréquentes de voir des compartiments respectés par le jeu des cassures. Par contre, les roches plus tendres, plus friables sortent de ces épreuves tectoniques fortement morcelées et même triturées.

En revenant au cas général, on est en droit de dire que l'état de masses rocheuses le long des souterrains qui traversent les chaînes de montagnes est comparable à une *maçonnerie sèche*. Cette structure se fait sentir lors du creusement d'un souterrain. Certains « moellons » privés d'une partie de soutien des masses qui les entouraient seraient prêts à répondre à l'appel de la gravité qui les pousserait dans le vide. Ceci ne se produit pas toujours avec la même facilité, car la « maçonnerie sèche » naturelle n'est *fragile et instable qu'à de très divers degrés*.

* * *

Après cette digression, revenons au projet du percement dans la région du col Ferret. Visiblement, les auteurs du premier projet (voir le tracé 1 sur la figure 1) se préoccupaient peu des conditions géologiques des lieux. Pourtant il a été facile de voir, dès le début de l'examen géologique *sur le terrain*, que les roches à traverser présenteraient beaucoup de difficultés au constructeur. Argileuses et friables, par leur nature lithologique, ces roches ont subi encore l'effet des pressions orogéniques croisées correspondantes aux orientations nettement différentes des deux vallées Ferret. Cet effet s'exprime par une fréquence augmentée de cassures et par un intense écrasement.

La situation de l'entrée italienne ne pouvant subir aucun changement, la proposition a été faite de déplacer vers le sud l'entrée suisse. Ce déplacement (voir le tracé 2 sur la figure 1) a été motivé par le fait que la nature lithologique des roches montre, vers le sud, une certaine tendance à s'enrichir d'éléments calcaires. Cependant, ce tracé n'a pas donné non plus de satisfaction. Comme dernière tentative de fixer un tracé favorable dans la région du col Ferret, j'ai proposé la forme courbe du souterrain (voir le tracé 3, fig. 1). De cette façon une grande partie du tunnel aurait été poussée davantage dans la région des roches, dont la nature lithologique est quelque peu meilleure, mais pas assez, toutefois, pour que la variante soit acceptable.

La décision a été prise alors d'examiner la région au voisinage immédiat du col du Grand-Saint-Bernard, malgré le fait que les complexes des arguments touris-

tiques et économiques ne sont plus identiques pour les deux régions.

L'idée du percement de la crête entre le col du Grand-Saint-Bernard et le Mont-Velan n'est pas neuve. Déjà autour de 1850, un projet d'un tunnel reliant les vallons de Menouve suisse et italien a été établi et financé (!). Les travaux avaient commencé sur les deux versants, mais bientôt l'entreprise avait fait faillite. La réalisation d'une voie souterraine pour garantir la communication routière entre la Suisse et l'Italie restait endormie pendant plus de cent ans.

Trois variantes du projet de ce tunnel ont été proposées après la dernière guerre :

1^o le projet de M. Jelmoni, avec l'entrée suisse sur la rive gauche de la Dranse, près de la Combe des Plannards, et l'entrée italienne quelque peu au nord de Saint-Rhémy. La longueur de la galerie serait de 8 km environ ;

2^o le projet de M. Cena, avec l'entrée suisse sur la rive droite de la Dranse, près de la Cantine-de-Proz, et l'entrée italienne dans le vallon de Menouve, sur la rive droite du torrent, vis-à-vis des chalets de Pointier. La longueur de la galerie serait de 7,4 km environ ;

3^o le projet de MM. Elter et Debenedetti, avec l'entrée suisse sur la rive droite de la Dranse, au-dessus de la Cantine-d'en-Haut, et l'entrée italienne au-dessus de Saint-Rhémy. Les entrées sont prévues à 1950 m d'altitude. La longueur de la galerie serait de 5,565 km.

Tous ces projets admettent une cote identique pour les deux entrées.

L'examen des conditions de la zone en question m'a conduit à la conclusion qu'il faut admettre une différence de niveau de quelque 100 m à 150 m entre l'entrée

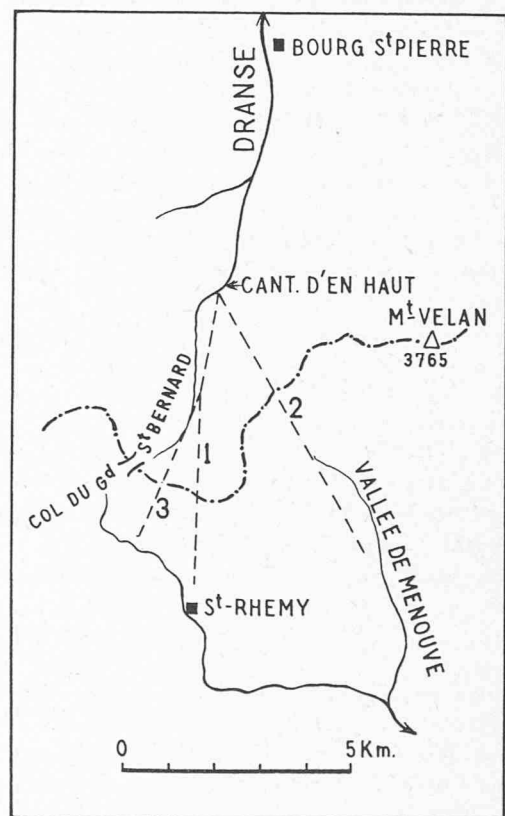


Fig. 6. — Croquis de la carte de la région du Grand-Saint-Bernard.

nord, plus élevée, et l'entrée italienne, plus basse, tout en adoptant pour le tracé la modification des projets de M. Jelmoni et de MM. Elter et Debenedetti (voir le tracé 1, fig. 6). La différence des niveaux permettra de réaliser une importante économie sur la construction du raccordement du tunnel à la grande route existante.

Toute la zone du col du Grand-Saint-Bernard dans laquelle se trouvent situés les tracés des diverses variantes du tunnel appartient au régime des roches cristallines. Elles ont été, déjà depuis longtemps, métamorphosées, recristallisées et rendues plus ou moins compactes. Il ne se trouve dans cette zone ni des calcaires marneux (argileux), ni des marnes, ni des schistes argileux friables. Toutefois, la masse des roches cristallines en question n'est pas complètement homogène au point de vue pétrographique et, par conséquent, au point de vue technique.

Les termes pétrographiques principaux, dans ce complexe, sont a) des *gneiss* et b) des *micaschistes*.

Les variétés les plus compactes sont des gneiss composés de quartz et de feldspath, avec une faible proportion de mica.

M. Jelmoni situe l'entrée suisse en aval de la Cantine-de-Proz, près du vallon des Planards. Le projet d'un barrage (il est déjà en voie de réalisation) prévoit l'inondation de ces lieux, ce qui supprime cette variante de tunnel.

Le projet orienté sur le vallon de Menouve italien (tracé 2 sur la figure 6) a été écarté par les considérations relatives à la route de raccordement : on l'a considérée alors comme trop longue. D'autre part, la nécessité de traverser une assez large zone de schistes micasés à grain fin obligerait le constructeur de recourir à un revêtement renforcé.

Les recherches géologiques sur le terrain et l'élaboration des détails techniques à la base du tracé 1 (fig. 6) avaient été déjà sérieusement avancées lorsqu'on a proposé une modification pour la situation de l'entrée italienne (tracé 3 sur la figure 6). La raison majeure de ce changement réside dans la situation plus favorable de la route de raccordement. Cette dernière considération couvrirait même un certain désavantage provenant des conditions géologiques moins favorables, notamment de la nécessité de percer sur une certaine longueur dans des formations schisteuses du Carbonifère.

Le passage du tracé 1 (et 3) à proximité immédiate du torrent de la Dranse et l'utilité évidente de percer une cheminée d'aération m'a fait proposer de réaliser éventuellement la chute d'eau entre la Dranse et le souterrain, dans le but de créer une centrale. L'eau de la Dranse est abondante pendant l'été, mais elle ne tarit pas non plus complètement en hiver. Ainsi les besoins en courant électrique pour l'exploitation du tunnel seraient assurés, en partie du moins, par l'énergie à bon marché.

* * *

Passons maintenant dans la région du massif du Mont-Blanc. Le projet de traverser ce massif par un tunnel a fait déjà l'objet d'études géologiques antérieures (la dernière en date, de 1907). Mais pendant les années entre les deux guerres mondiales, le soussigné a fait dans toute la région du Mont-Blanc des recherches géologiques très fouillées. Les résultats de ces recherches

sont portés, par l'initiative de M. P. Corbin, sur un lever topographique au 1 : 20 000 dû à la Société française de stéréotopographie. Ces études géologiques ont été largement utilisées pour examiner à nouveau le problème du percement du massif du Mont-Blanc. Comparé à celui relatif au Grand-Saint-Bernard, il se présente, au point de vue purement géologique, comme plus simple, mais le constructeur rencontrera ici des complications d'un autre ordre. (Corbin, P. et Oulianoff, N., 1927-1958).

Les examens morphologique et géologique ont fait rejeter, dès le début, les variantes proposées antérieurement avec les entrées italiennes dans le voisinage de Pré-Saint-Didier, ou de Courmayeur ou, enfin, à Dolonne, pour ne conserver que celle avec l'entrée au voisinage d'Entrèves. Elle représente ainsi un point fixe, un pivot pour quelques variantes de l'entrée côté français. Deux groupes d'arguments sont alors considérés :

- 1° la longueur totale du tracé ;
- 2° l'intensité de la chaleur que le souterrain risque de rencontrer.

L'argument purement géologique n'entre pas en ligne de compte pour distinguer ces variantes (voir fig. 7).

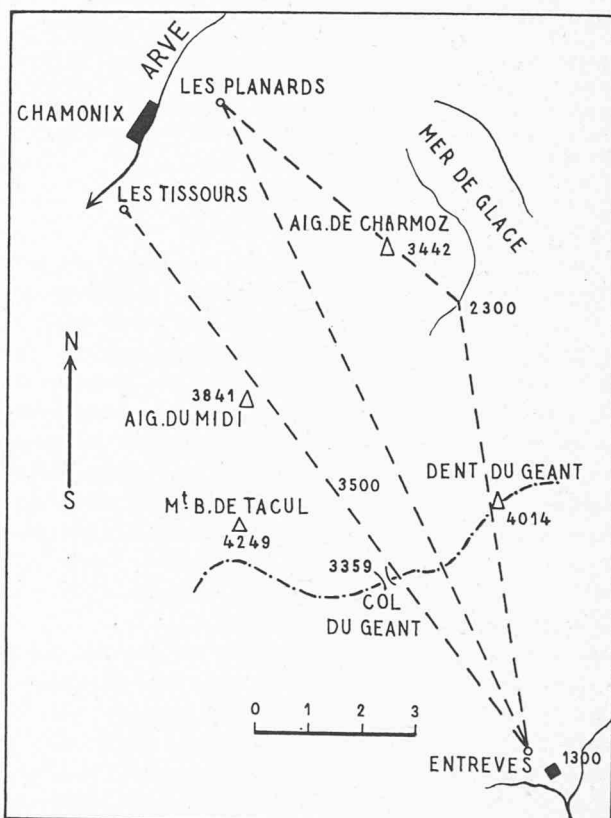


Fig. 7. — Croquis de la carte du massif du Mont-Blanc, entre Chamonix et Entrèves.

En effet, la structure géologique du massif en question est telle que les zones différemment caractérisées, en ce qui concerne leur composition pétrographique, sont orientées à peu près parallèlement aux axes des vallées de Chamonix et de Ferret italien. Comme les distances entre les diverses variantes des entrées côté France ne sont pas grandes, les tracés du souterrain auront à

traverser presque les mêmes largeurs de zones géologiquement individualisées.

A l'entrée nord, quelle que soit la variante proposée, le tunnel, dans la roche en place, pénètre directement dans la série des schistes cristallins, et cette formation se maintient sur environ 3 km. Ensuite le souterrain pénétrera, et y restera sur 8 km environ, dans une formation de caractère granitique. Cette roche est le matériel principal dont est formé le massif du Mont-Blanc. Habituellement, on appelle cette roche, dans tout son ensemble, la *protogine*. Pendant le plissement qui a formé la chaîne alpine actuelle, la masse « proto-ginique », contenant des plis anciens, a été reprise par la nouvelle orogénèse. Faute de plasticité, le cristallin n'a plus été plissé, mais cassé en blocs, en coins, qui ont été déplacés les uns par rapport aux autres. Ce mouvement de déplacement, ces glissements réciproques ont eu pour résultat la formation de zones d'écrasement, dites de mylonitisation. Trois zones mylonitiques sont particulièrement importantes, et l'on peut présumer leur influence dans le tunnel. Enfin, dans le dernier 1,5 km environ, avant d'atteindre Entrèves, le souterrain traversera les roches calcaires et marneuses, dont les couches se trouvent être fortement redressées. Cette structure relativement simple ne pose pas au constructeur de problèmes particuliers. Par contre, une autre question se place au premier plan, question qui est en rapport avec les grandes épaisseurs de la calotte au-dessus de longs tronçons du souterrain. Il s'agit de considérer les poussées des roches vers l'axe de la galerie sous l'influence de la pression des masses rocheuses superposées.

Ainsi qu'il l'est dit plus haut, l'élaboration de l'étude géologique relative au projet du tunnel dans le massif du Mont-Blanc date de 1932. Cette époque est séparée par quelques années seulement du moment, où le soussigné, le premier, en ce qui concerne les Alpes, a démontré que diverses périodes orogéniques par lesquelles a passé cette chaîne sont caractérisées par le croisement de leurs lignes directrices (axes de plis). Les études détaillées postérieures ont précisé à quel point cette particularité est déterminante pour la structure des masses rocheuses, surtout de celles qui comprennent les formations anciennes. J'ai déjà exposé brièvement (voir plus haut) ces effets. Mais en 1932 il a été à peu près généralement admis que les poussées dans les profondes galeries représentent les effets de la gravité qui réagit sur toutes les masses rocheuses situées au-dessus du souterrain. L'importance du revêtement général du tunnel se calcule alors en fonction de l'épaisseur de la calotte et du poids spécifique des roches correspondantes, en considérant toute cette masse rocheuse comme homogène et plastique.

Actuellement les études tectoniques sur le terrain apportent une documentation abondante qui sert à comprendre de mieux en mieux le rôle fondamental joué dans les masses rocheuses par les cassures, dont les dimensions peuvent être très variables, en commençant par les failles longues de plusieurs dizaines de kilomètres et en aboutissant aux cassures que l'on décèle seulement au microscope. La fréquence, l'importance, les groupements de ces diverses cassures permettent de considérer les masses rocheuses qui ont pris part à la formation de chaînes de montagnes comme une sorte

de *maçonnerie sèche*. Parfois les fissures ouvertes sont recollées solidement par des filonnets de quartz ou de calcite, ou même de minerai quelconque. Ailleurs, c'est un matériel argileux que la nature utilise — sans grand succès du reste — comme ciment. Il est évident que la création d'un vide (un souterrain) dans une telle « maçonnerie sèche » prive les éléments insuffisamment consolidés de leur soutien, d'où provient la transformation, dans le champ de gravité, de certaines énergies potentielles en énergies cinétiques. Et les blocs correspondants tombent ou glissent de la voûte ou des piédroits du souterrain. Il est très caractéristique que les poussées dans les galeries affectent justement la voûte et les piédroits, mais on signale assez rarement les poussées au radier. Dans des cas où le radier est affecté, il s'agit, le plus souvent, de la présence de l'anhydrite, qui gonfle en se transformant en gypse par l'hydratation, ou encore d'une accumulation d'argile.

Dans la « maçonnerie sèche » que nous considérons ici, un rôle important revient aussi à l'humidité des masses rocheuses. Si l'on ne prend pas soin de boucher, derrière le revêtement de la galerie, tous les vides, alors ces derniers continuent d'appeler l'eau qui, même par petits filets, produira un lessivage du matériel fin remplissant des interstices dans la masse rocheuse. Cette action facilitera peu à peu la libération et le déplacement des blocs séparés, qui, par leur poids cumulé, finiront par fissurer et détériorer le revêtement. Par contre, si ce dernier est fermement appliqué contre la surface rocheuse, dans la galerie, il coupe, au voisinage de cette dernière, la circulation insidieuse de l'eau et élimine les conséquences indésirables.

Après cette question du revêtement, le constructeur d'un tunnel logé profondément dans le corps d'une montagne est forcé d'examiner le problème thermique. Cela devient particulièrement important lorsqu'il s'agit du massif du Mont-Blanc, le plus haut des Alpes.

La température que l'on y rencontrera, sera-t-elle techniquement acceptable ? On sait combien sont coûteuses les installations dont le but est de modérer la chaleur dans un souterrain. C. Andreae, qui a travaillé au percement du Simplon, arrive à la conclusion que les dépenses matérielles que peut occasionner la haute température devraient décider éventuellement le constructeur à chercher un nouveau tracé, même plus long, voire même coudé, mais caractérisé par des épaisseurs plus faibles de la calotte rocheuse que dans le cas du tracé droit, pour avoir des températures plus basses.

De nombreux travaux sont consacrés au problème de la prévision thermique. Le percement du Simplon a donné une impulsion singulière à ces recherches.

Les méthodes proposées peuvent être classées en trois groupes :

- 1° méthodes expérimentales ;
- 2° formules mathématiques ;
- 3° formules empiriques.

Faute de place, je ne puis pas exposer ici l'analyse critique de toutes ces méthodes. Pour les prévisions concernant les tracés sous le massif du Mont-Blanc, j'ai utilisé la troisième méthode, qui est la plus souple et qui tient compte au maximum des conditions topographiques et géologiques réelles des lieux donnés. Les calculs respectifs ont été faits pour huit tracés. Je n'en

considérerai ici que trois, en prenant pour base du souterrain, uniformément, l'altitude de 1300 m. Pour le tracé qui débiterait au-dessus des Tissours, le maximum attendu de la température serait autour de 41,5°. Le tracé droit à partir des Planards rencontrerait une température qui ne dépasserait pas probablement 38°. Ce même maximum caractériserait aussi le tracé coudé avec le point de changement de la direction sur la verticale qui percerait la surface topographique au bord de la Mer de glace. Cependant ces deux dernières variantes se distinguent entre elles, au point de vue thermique, par la différence de longueurs sur lesquelles la température se maintiendrait au-dessus de 30°. Pour la variante droite, cette longueur serait au moins de 8 km, tandis que suivant la variante coudée elle atteindrait à peine 6 km. Il ne faut pas oublier que ce n'est pas la valeur maximum de la température qui est déterminante, au point de vue technique, mais la quantité de calories à évacuer afin de rendre l'ambiance supportable pour le travail.

Nous ignorons, en ce moment, quelle décision a été prise, dans le projet définitif, au sujet de la ventilation. Dans tous les cas elle serait favorisée par une cheminée. Or, les conditions topographiques éliminent la possibilité de créer une cheminée à mi-chemin entre les entrées française et italienne. Mais la variante coudée mentionnée plus haut permettrait une telle construction à une distance de quelque 4,5 km de l'entrée aux Planards, car en cet endroit l'épaisseur de la calotte serait environ de 1000 m.

* * *

Avant de mettre le point final à notre visite des futurs grands tunnels, je voudrais retenir votre attention sur le fait que dans les régions qui ont subi de fortes pressions orogéniques, le morcellement des roches, même à la surface de la terre, est un phénomène presque général. Il en faut tenir compte scrupuleusement lors de tous les travaux de fondation importants.

Le progrès de la technique des téléphériques avance rapidement. Ne sommes-nous pas à la veille d'une concurrence ouverte entre les tunnels et les téléphériques ?

Mais quoique ces constructions soient « aériennes » (et cette expression inspire l'image de légèreté), elles doivent s'appuyer, avec tout leur poids énorme, sur des fondations d'une solidité irréprochable. Pour cela, il faut que le sol réponde aux exigences de la sécurité.

Comme nous sommes encore dans le massif du Mont-Blanc, j'ai l'intention d'évoquer un cas qui se situe justement dans ce massif et que j'ai vécu personnellement de très près. Il s'agit du téléphérique de l'Aiguille-du-Midi. Cette dernière, avec son altitude de 3841 m, domine Chamonix. Le projet, remarquable au point de vue touristique, a été conçu et en partie réalisé (jusqu'à l'altitude de 2400 m) encore avant 1914. La tentative de le continuer après la guerre de 1914-1918 se trouvait encore à ses premiers pas lorsque la seconde guerre a éclaté. Après cette guerre, la société concessionnaire s'est mise sérieusement à la réalisation du projet.

En septembre 1947, le directeur des travaux, connaissant mes recherches détaillées dans le massif du Mont-Blanc, m'a sollicité d'examiner les conditions

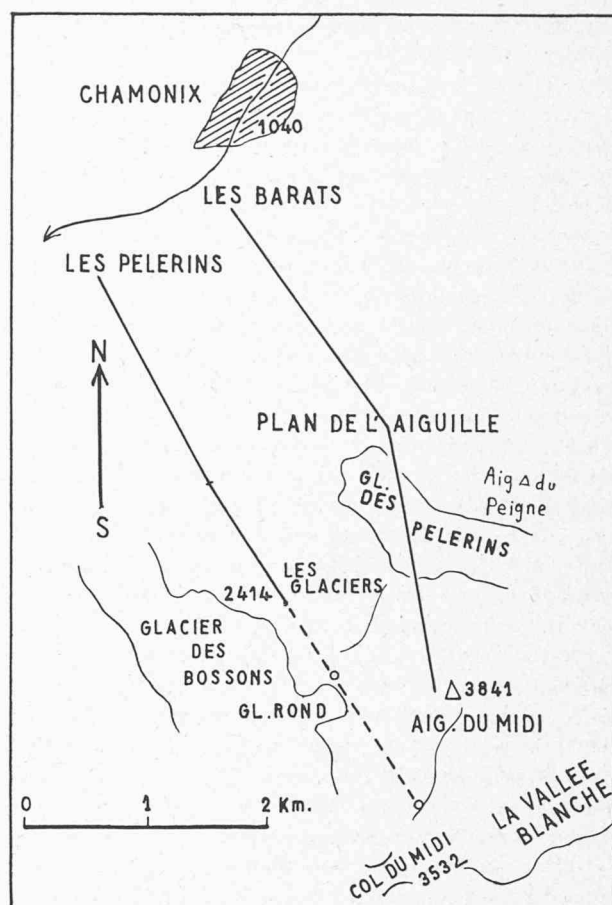


Fig. 8. — Croquis de la carte du massif du Mont-Blanc, entre Chamonix et l'Aiguille-du-Midi.

géologiques qui caractérisent l'emplacement des chantiers. Ces derniers ont été au nombre de trois :

- 1° la station inférieure, dite des Glaciers ;
- 2° la station du Terminus ; et
- 3° le pylône intermédiaire (voir le croquis de la carte, fig. 8).

La station inférieure, située sur des schistes cristallins, pouvait être ancrée avec une complète garantie de solidité. On a choisi le second point d'appui sur une arête au-dessus du glacier Rond, du reste le seul endroit topographiquement disponible. J'ai pu constater, lors de ma visite des lieux, que les conditions géologiques sont ici extrêmement précaires pour le pylône, dont la construction a été déjà sérieusement avancée. Les abondants réseaux de cassures sont encore constamment compromis par l'action du gel et du dégel. De là proviennent de fréquentes chutes de pierres. J'ai exprimé mon avis, en disant que la nature refuserait de donner à cet ouvrage une garantie suffisante de sécurité.

On a choisi, pour situer le terminus du téléphérique, un petit promontoire rocheux sillonné, lui aussi, par de nombreuses cassures et appartenant à la zone du granit écrasé, zone qui a déterminé la formation du col entre l'Aiguille-du-Midi et le Mont-Blanc du Tacul. Toutes ces conditions sont nuisibles à la solidité de la base rocheuse sur laquelle s'élevait déjà le début du pylône imposant. Le grand poids de cette construction, combiné à la force de traction du câble portant les

cabines, aurait pu déclencher, dans la suite, le mouvement de glissement vers le vide, car le rocher en question domine directement, à pic, le glacier des Bossons. La solution qui s'imposait alors aurait été l'abandon de la construction déjà commencée du dit pylône et un sérieux déplacement du dispositif d'ancrage dans la direction sud-est de sa position choisie fort imprudemment.

L'idée de construire un téléphérique menant à l'Aiguille-du-Midi étant prodigieuse au point de vue touristique, je ne voulais pas mettre le point final de mon rapport sur une note triste. J'ai attiré donc l'attention des constructeurs sur la possibilité d'atteindre la partie supérieure de l'Aiguille-du-Midi en partant de la base de l'Aiguille-du-Peigne (Plan-de-l'Aiguille), sur la rive droite du glacier des Pèlerins, par une seule et longue portée de câble, sans pylône intermédiaire. Cet itinéraire (fig. 8) présenterait toutes les garanties de solidité de fondation des deux ouvrages vitaux de la construction, la station du départ et la station de l'arrivée.

J'ai eu le plaisir d'apprendre plus tard que cette idée a été mise en réalisation (et déjà réalisée) en abandonnant l'ancien itinéraire, contre lequel la nature n'aurait pas tardé à réagir violemment.

M. Andreea a dit très justement dans une de ses récentes publications : « Der Tunnelbau soll nicht ein

Kampf gegen die Natur, sondern ein Kampf mit der Natur sein. »

J'exprimerais cette idée en mettant encore davantage l'accent sur la seconde partie :

Le percement des tunnels et la réalisation des grandes fondations dans des circonstances topographiques et géologiques compliquées ne doivent pas être une lutte brutale contre tous les obstacles, mais un travail qui respecte d'avance les exigences de la nature.

Signaler ces dernières au constructeur, tel est le but de la recherche géologique préliminaire.

RÉFÉRENCES

1. CORBIN, P. et OULIANOFF, N. (1927-1958) : *Notices explicatives pour les onze feuilles parues de la Carte géologique du massif du Mont-Blanc au 1 : 20 000*. Soc. fr. de stéréo-topographie. Paris.
2. FOURMARIER, PAUL F.-J. (1953) : *Schistosité et phénomènes connexes dans les séries plissées*. C.R. du XIX^e Congrès géol. intern. (Alger). Section III, fasc. III, p. 117.
3. HEIM, ALB. (1912) : *Zur Frage der Gebirgs- und Gesteinsfestigkeit*. Schw. Bauztg. Bd. 59.
4. OULIANOFF, N. (1942) : *Effet de l'écrasement naturel et expérimental des roches*. Bull. Soc. vaud. sc. nat., Lausanne. Vol. 62.
5. OULIANOFF, N. (1955) : *Ecrasement sans trituration et mylonitisation des roches*. *Eclogae geologicae Helvetiae*. Vol. 47, p. 377.

BIBLIOGRAPHIE

Fonctionnement et protection des réseaux de transport d'électricité (Leçons professées à l'École supérieure d'Electricité), par Pierre Henriet, ingénieur E.S.E., licencié ès sciences, chef-adjoint du Service des études de réseaux à la Direction des études et recherches d'Electricité de France. Paris, Gauthier-Villars, 1958. — Un volume 16×25 cm, 372 pages, 164 figures. Prix : relié, 2800 fr. français.

Alors qu'un certain nombre d'ouvrages de classe internationale concernant les réseaux de transport d'électricité viennent de paraître à l'étranger — notamment aux Etats-Unis, en Angleterre, en U.R.S.S. — la littérature électronique française, dans ce domaine, ne s'était que peu renouvelée depuis la parution, en 1935, de l'ouvrage de Jean Fallou : *Les réseaux de transmission d'énergie*. Pourtant quel développement prodigieux est celui des réseaux de transport depuis ces vingt-cinq dernières années ! Développement lié d'ailleurs à la croissance exponentielle de la consommation d'énergie électrique : les réseaux de transport se développent en surface dans le monde entier, presque ignorants des frontières politiques, les interconnexions s'étendent tant en Europe qu'aux Etats-Unis, les puissances transitées ne cessent de croître, nécessitant des tensions de plus en plus élevées. Cet ouvrage, à tous égards, vient donc particulièrement à son heure.

Il est à peine besoin de présenter son auteur, le regretté Pierre Henriet : principal collaborateur de Jean Fallou à l'Union de l'Electricité, puis l'adjoint de M. François Cahen dès la création du Service des études de réseaux de la Direction des études et recherches de l'Electricité de France. Par ailleurs, P. Henriet professait les questions de transport d'énergie électrique à l'École supérieure d'Electricité depuis 1940 et il a eu ainsi le temps de polir ses exposés et de les rendre clairs, sans efforts inutiles pour le lecteur. Par ailleurs, un très grand nombre d'exemples numériques permettent, tant aux étudiants ingénieurs qu'aux ingénieurs praticiens, de résoudre rapidement certains problèmes d'intérêt pratique qui peuvent se présenter à eux et aident à la compréhension des problèmes délicats relatifs au transport de l'énergie.

Comme l'indique M. Pierre Ailleret dans sa Préface : « Pierre Henriet, qui avait à s'occuper non seulement des problèmes actuels des réseaux électriques mais aussi de ceux qui se présentent au cours des études d'avenir ou au cours des recherches sur les nouvelles solutions techniques, a été à même de donner à son enseignement la légère avance de phase sur l'industrie qui est indispensable pour compenser partiellement le décalage en retard entre la tranche de vie pendant laquelle on apprend et celle pendant laquelle on met en œuvre ce qu'on a acquis. »

Ce livre est d'une actualité durable, car il s'adresse à l'intelligence du lecteur plutôt qu'à sa mémoire, il s'attache plus à faire comprendre les méthodes et principes qu'à détailler les subtilités de nouvelles techniques. L'expérience de Pierre Henriet, condensée dans cet ouvrage particulièrement clair, sera donc de la plus grande utilité à tous ceux qui désirent comprendre aussi bien les problèmes qui se posent à l'échelle des interconnexions internationales qu'à celle plus réduite des réseaux locaux.

Sommaire :

Introduction. — *Première partie* : I. Détermination des tensions, des courants, des puissances, en différents points d'un réseau ; II. Réglage de la tension et de la puissance réactive dans les réseaux de transport ; III. Etude des réseaux boucles ; IV. Courants de court-circuit ; V. Calcul de quelques régimes dissymétriques. — *Deuxième partie* : VI. Stabilité des réseaux ; VII. Etude des systèmes de protection.

La houle et son action sur les côtes et les ouvrages côtiers, par N. N. Djoukovski et P. K. Bojitch. Editions Eyrolles et Gauthier-Villars, Paris, 1958. — Un volume 16×25 cm, 404 pages, 233 figures. Prix : relié, 5500 fr. français (taxe locale en sus).

L'École russe d'hydraulique maritime a considérablement progressé au cours des dernières dizaines d'années. La chose n'est pas étonnante, si l'on se rappelle que l'Union soviétique est bordée de deux océans, de douze mers, et que son territoire comprend de nombreuses masses d'eau intérieures dont les vagues présentent de grandes analogies avec l'agitation océanique.

Aux prises avec de nombreux problèmes pratiques, les savants russes ont donc développé fortement tant