

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 96 (1970)
Heft: 5

Artikel: Observations sur les venues d'eau au cours du percement du tunnel sous le Mont-Blanc
Autor: Gudefin, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-70843>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 11.01.2026

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

Observations sur les venues d'eau au cours du percement du tunnel sous le Mont-Blanc¹

par H. GUDEFIN, géologue, Bureau de recherches géologiques et minières, Lyon

Avant-propos

S'adressant à des spécialistes de mécanique des sols, nous concevons que le sujet de *l'influence de l'hétérogénéité des roches sur leur perméabilité* ne traite pas seulement des structures géologiques en grand, mais qu'il touche aussi à la pétrographie, étudie la composition minéralogique des roches et l'agencement de leurs éléments constitutifs, en poussant la précision de l'analyse jusqu'au niveau de la microstructure, voire du réseau cristallin.

Il est bien certain que, vue sous cet angle, la substance de la communication que nous sommes invités à présenter ne répond pas exactement au thème proposé.

En effet, les observations que nous avons pratiquées sur les venues d'eau au cours du percement du tunnel sous le Mont-Blanc se rapportent invariablement à des circulations et écoulements drainés par des fractures, fissures, diaclases, ou encore, dans certaines zones des roches cristallophylliennes, par des surfaces de décollement naturel qui correspondent à des joints de stratification ou de foliation.

Il s'agit donc de perméabilités « en grand » liées à des caractères tectoniques et structuraux à l'échelle de *la formation géologique*, mais non rattachées aux caractères d'hétérogénéité pétrographique et d'agencement microstructural de la roche.

1. Introduction

1.1 GÉNÉRALITÉS

Le tunnel routier du Mont-Blanc établit une voie de communication directe entre la vallée française de Chamonix et le val d'Aoste, en Italie (fig. 1).

S'ouvrant sur le flanc oriental de la vallée de Chamonix (haute vallée de l'Arve) le souterrain recoupe transversalement la chaîne du Mont-Blanc proprement dite suivant une orientation approximativement NW-SE, et sur une longueur totale de 11,600 km.

Pour la réalisation, cette distance a été divisée en deux lots égaux, chacun des réalisateurs français et italiens ayant ainsi à assurer respectivement l'exécution de 5,800 km de galerie².

Un tel ouvrage apporte de nombreux renseignements, tant de géologie pure (précision des coupes ou des structures) que de géotechnique (phénomènes de décompression en particulier) ou d'hydrogéologie. C'est ce dernier aspect qui est plus particulièrement étudié dans cette note.

Le tunnel constitue, dans ce massif de roches cristallines ou cristallophylliennes, un véritable drain ; son tracé se

développe en grande partie sous la partie amont du bassin de réception de la « Vallée blanche », dont la surface topographique est recouverte de glaciers. Sur les versants, selon l'exposition et l'altitude, les neiges sont soit éternelles, soit seulement annuelles.

Il est intéressant d'exploiter les différentes observations recueillies au cours du percement concernant les venues d'eau, leurs caractères chimiques, et les températures aussi bien de l'eau que de la roche, pour tenter d'améliorer nos connaissances sur le régime des eaux souterraines dans ce type de bassin.

1.2 DONNÉES GÉOLOGIQUES TRÈS SOMMAIRES

La vallée de Chamonix doit son origine à l'existence d'un synclinal alpin complexe « pincé » entre deux massifs cristallins qui constituent le massif du Mont-Blanc pris au sens large, selon la définition de P. Corbin et N. Oulianoff (1924-1925) : la chaîne des « Aiguilles-Rouges » forme le flanc occidental de la vallée, tandis que la chaîne du Mont-Blanc *stricto sensu* la domine sur son flanc oriental.

Les terrains sédimentaires plissés au cœur du synclinal appartiennent au primaire et au secondaire ; ils sont généralement masqués, dans le fond de la vallée, par les éboulis, les cônes de déjection et les alluvions fluvio-glaciaires.

Sur le versant de Chamonix le tracé du souterrain débute, à l'altitude de 1274 m, dans le complexe géologique dit « du Goûter-Vallorcine » (selon N. Oulianoff) et ne rencontre que des roches du socle cristallin, appartenant au « vieux bâti » hercynien du massif : dans cette zone ne subsiste aucun témoin de la couverture sédimentaire qui a été entièrement déblayée par la tectonique alpine et par l'érosion.

1.2.1 Coupe géologique

La coupe très schématique, relevée au long de la galerie côté France, est la suivante (fig. 2) :

- du P.K. 0 au P.K. 3,100 environ : *série métamorphique*, constituée essentiellement par des gneiss de faciès variés, dans lesquels s'intercalent en alternance des micaschistes, des leptynites, des chloritoschistes, des amphibolites, quelques bancs de cipolin et de quartzites, ainsi que des passages de gneiss granitoïdes ;
- du P.K. 3,100 au P.K. 3,520 environ (sur 420 m) : *zone de transition* présentant les caractères d'un contact éruptif, matérialisé par un enchevêtrement complexe de roches cristallophylliennes et de roches éruptives (granite, microgranite, aplites, rarement pegmatites) ;
- du P.K. 3,520 au P.K. 5,800 : *masse granitique de la zone centrale* ou « culot » granitique du massif (qui se poursuit au-delà du P.K. 5,800 dans la partie italienne de la galerie, jusqu'au P.K. 10,135 environ).

¹ Exposé présenté à la réunion d'automne 1968 de la *Société suisse de mécanique des sols et des travaux de fondation* (Bienne, 8 novembre 1968).

² Rappelons que la frontière franco-italienne correspond au P.K. 7,650 compté à partir de l'entrée française.

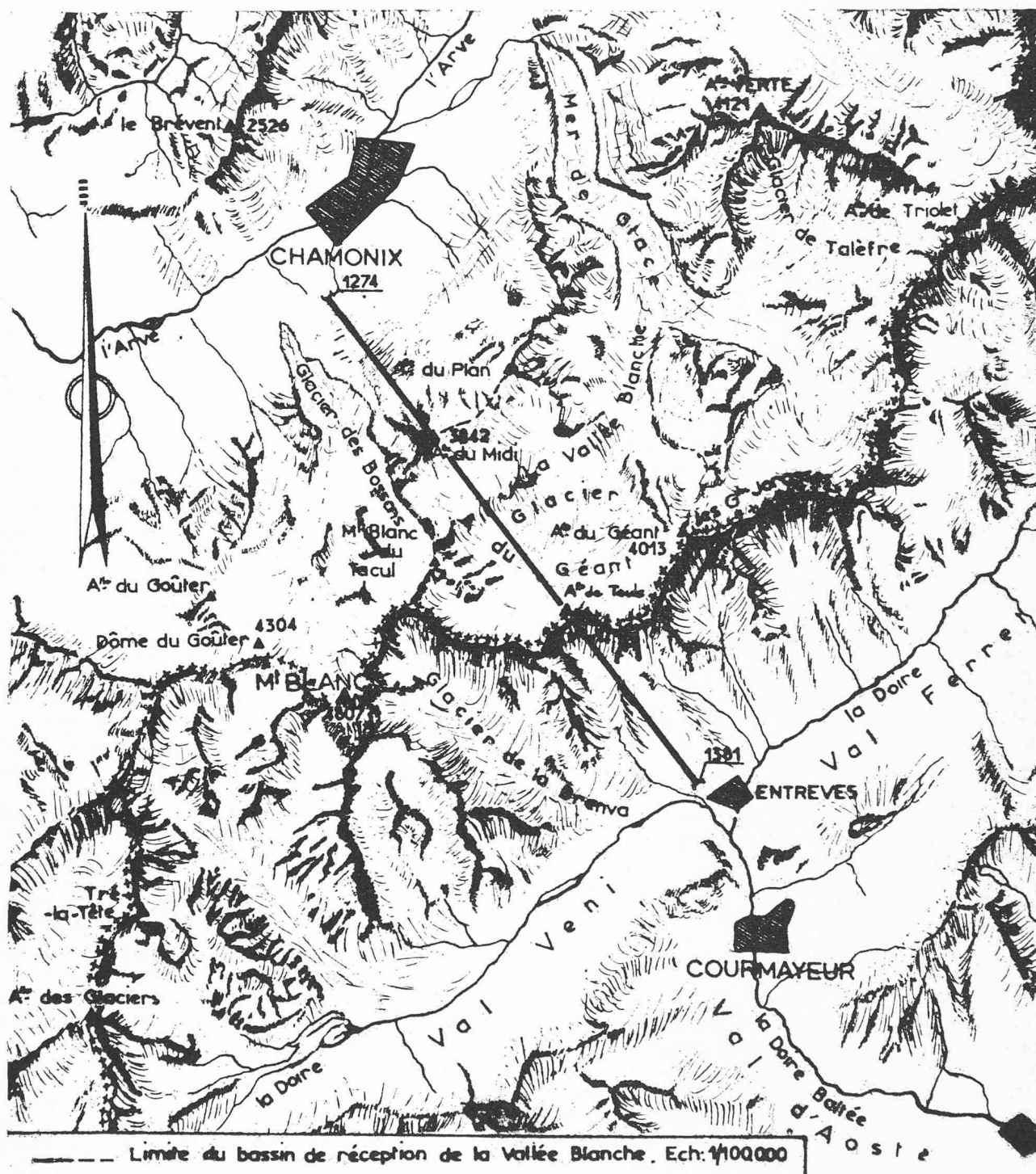


Fig. 1. — Tunnel du Mont-Blanc : plan de situation générale.

1.2.2 Données structurales sommaires

Du point de vue structure, le flanc occidental de la chaîne du Mont-Blanc proprement dite est déversé sur le synclinal de Chamonix ; les formations recoupées par la galerie sont alors caractérisées par une structure isoclinale, marquée par un plongement très accentué des couches vers le sud-est (valeur du pendage variant de 60 à 80 ou parfois 90 g).

Cette disposition structurale, conjuguée avec l'orientation du tunnel, croisant les lignes directrices du massif, permet à la galerie de réaliser une véritable coupe en travers-bancs entre les deux flancs de la chaîne.

Dans la série métamorphique et la zone de transition, les surfaces de décollement suivant la structure isoclinale, qui correspondent à la foliation ou au délitage des couches

redressées, sont croisées par des réseaux de diaclases inclinées vers l'W-NW.

Les principales venues d'eau de cette zone se localisent généralement dans les réseaux de diaclases ou dans les cassures les plus marquantes.

Dans la zone centrale du granite, les caractères les plus marquants de la structure sont accusés par les grandes fractures alpines, fortement pentées ou subverticales, généralement groupées en faisceaux plus ou moins espacés, qui recoupent transversalement la galerie et divisent la masse granitique en puissantes « lames » juxtaposées, accolées subverticalement.

Ces grandes fractures jouent un rôle essentiel dans le cheminement des eaux drainées par le souterrain.

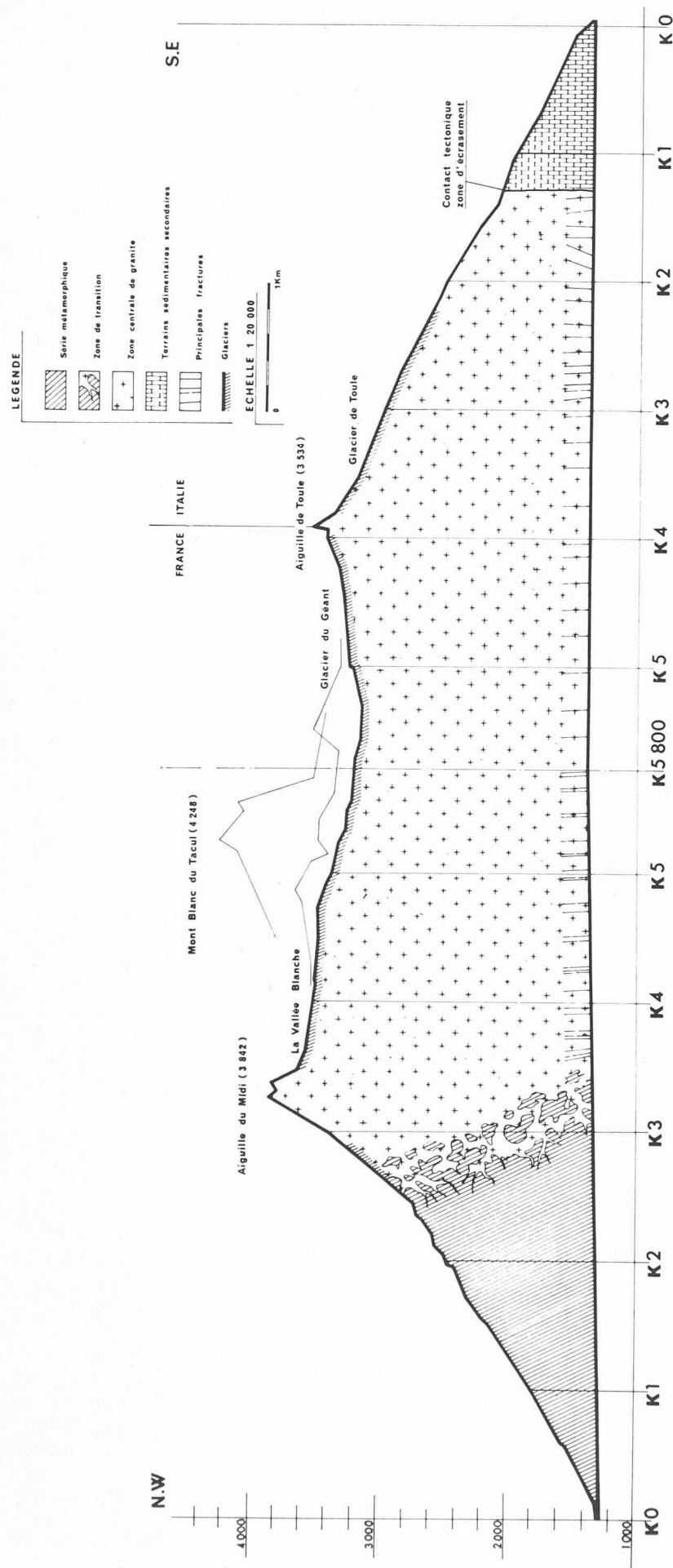


Fig. 2. — Tunnel du Mont-Blanc : coupe géologique succincte, schématisée.

2. Venues d'eau

Indiquons ici que sur chacun des chantiers français et italiens l'écoulement des eaux d'exhaure est facilité par la pente donnée au radier ; à partir des points d'attaque respectifs la galerie est montante (d'ailleurs suivant des pentes inégales) jusqu'au point médian du P.K. 5,800 ; ce « point haut » du radier, à l'altitude de 1395,50 m, constitue évidemment une ligne artificielle de partage pour l'écoulement des eaux d'exhaure dans le tunnel (fig. 3).

2.1 RÉPARTITION DES DÉBITS

Le débit cumulé de l'exhaure, côté français (s'écoulant vers la vallée de Chamonix), est de l'ordre de 200 l/s.

La majeure partie de ce débit est issue des grandes fractures alpines en amont du P.K. 3,500, et provient par conséquent de la zone centrale du granite, qui draine un débit total estimé à 156 l/s (soit plus des trois quarts de l'exhaure générale). L'énumération complète et la description des différentes venues d'eau seraient ici trop longues et fastidieuses. Nous ne citerons que les zones de venues d'eau les plus marquantes.

Remarques préalables

— Les débits les plus importants et les plus groupés ont été effectivement jaugés ; le débit des ruissellements plus faibles et dispersés a été généralement estimé.

— Les venues d'eau ont été observées à l'avancement, ou jaugées peu de temps après le dérochement ; le plus souvent elles se sont avérées être pérennes. Toutefois, certains ruissellements ont pu s'atténuer, ou parfois même, rarement se résorber au cours des mois qui ont suivi le dérochement. Il s'ensuit que le total cumulé d'après les mesures ou estimations est quelque peu supérieur au débit réel actuel de l'exhaure totale.

Répartition des venues d'eau

On peut délimiter trois zones principales cumulant l'essentiel des apports :

- 1) de 600 à 740 m = 24 l/s
- 2) de 3 500 à 4 700 m = 61 l/s
- 3) de 4 970 à 5 256 m = 81 l/s

Soit, pour ces trois zones, un débit cumulé de 166 l/s. Le débit total côté français, tel qu'il résulte des jaugeages et estimations pratiqués au fur et à mesure de l'avancement, est de 216 l/s.

2.2 ANALYSES CHIMIQUES

2.2.1 But et nature des analyses

Les analyses des eaux ruisselant dans la galerie ont été effectuées à la demande du maître d'œuvre (Société du tunnel sous le Mont-Blanc) essentiellement dans le but de déceler et d'apprécier leur éventuelle agres-

sivité sur les bétons. Elles sont intitulées « analyses minéralogiques d'eau »¹.

Bien que non exhaustives, elles apportent des renseignements suffisants sur les propriétés chimiques des eaux.

2.2.2 Eléments dosés

Les caractéristiques physiques, et les éléments chimiques dosés, exprimés par les résultats de l'ensemble de ces analyses, sont les suivants :

- pH, résistivité (à 20°), résidu sec, T.H., appréciation de l'agressivité ; pour quelques analyses seulement : oxygène dissous.
- Alcalinité, carbonates, sulfates, chlorures, nitrates, silice.
- Calcium, magnésium, sodium, potassium.

2.2.3 Caractères généraux

De l'ensemble des résultats exprimés se dégage la remarque suivante : de façon très générale, les eaux drainées par le tunnel sont légèrement ou très peu minéralisées, de dureté faible, ou très douces, et sans action notable sur les ciments de laitier au Clinker (CLK « Loralpin »).

Toutefois, font exception à cette remarque générale plusieurs venues d'eau qui se sont révélées, à l'analyse, nettement plus minéralisées et plus agressives ; leurs caractéristiques sont présentées plus en détail ci-après.

2.2.4 Eaux minéralisées

Les prélèvements provenant des points d'émission suivants : P.K. 1,500 - 1,900 - 3,140 - 3,250 - 3,255 - 3,284 - 3,360 et 3,396 ont donné des résultats d'analyse montrant des eaux dont le degré de minéralisation est variable, mais souvent important.

La plus forte minéralisation caractérise les venues d'eau localisées dans la zone comprise entre les P.K. 3,140 et 3,360 ; on y relève des teneurs en sulfates allant jusqu'à 1350 mg/l. Ces eaux sulfatées calciques sont alors plus ou moins dangereuses pour les ciments Portland ; si leur action est moins accusée vis-à-vis des ciments de laitier au clinker, il est néanmoins recommandé d'utiliser en présence de ces eaux des ciments sursulfatés.

Le tableau page suivante regroupe les résultats d'analyses concernant les venues d'eaux minéralisées précitées.

2.2.5 Eaux uranifères

Dans un autre domaine d'investigation, le CEA a procédé à une étude géochimique des venues d'eau, en vue d'y déceler une éventuelle teneur en uranium.

Les résultats obtenus conduisent aux conclusions suivantes (d'après rapports de mission du CEA) :

2.2.5.1 Du P.K. 0 au P.K. 4,620 : les anomalies constatées en hydrogéochimie sont demeurées extrêmement faibles.

2.2.5.2 Zone anormale de 4,620 à 5,300 : à partir du P.K. 4,620 la géochimie des eaux de ruissellement révèle d'importantes anomalies en uranium. La zone anormale débute vers le P.K. 4,620 et se termine vers le P.K. 5,300. Elle se situe donc entièrement dans la « zone centrale du granite ». Aucun caractère géologique particulier de la formation ne retient l'attention dans cette zone granitique,

¹ Toutes les analyses qui nous ont été communiquées ont été effectuées par l'Institut de recherches hydrologiques de Nancy. Un prélèvement a été analysé concurremment par l'Institut Pasteur de Lyon, pour le compte de l'entreprise A. Borie.

Les valeurs du pH n'ont pas été mesurées *in situ*, mais au laboratoire de Nancy après transport des prélèvements.

quant à une éventuelle relation avec les anomalies constatées. Les teneurs en U atteignent un maximum de 460 ppb dans la venue d'eau du P.K. 4,740. Sous l'influence de l'apport d'eaux minéralisées issues de cette zone, la teneur de l'exhaure totale, à l'entrée de la galerie, est passée de 1,6 ppb d'U, le 10.12.1961, à 72 ppb d'U, le 17.5.1962.

« Sans les prélèvements systématiques des eaux de ruissellement, rien n'aurait indiqué cette zone d'anomalies, car ni la radiométrie, ni l'analyse spectrographique et chimique des roches n'ont permis de déceler la moindre anomalie significative.

» L'origine de l'uranium en solution ne paraît donc pas être dans une minéralisation uranifère proche des points d'émission des venues d'eau. » (R. Pochet, rapport CEA.)

(Un seul échantillon isolé, montrant une minéralisation en autunite, a été récolté dans les déblais provenant de la volée de 5,036 à 5,040.)

2.3 ORIGINE POSSIBLE DE LA MINÉRALISATION DE L'EAU

Comme nous venons de l'indiquer, c'est essentiellement entre les P.K. 3,140 et 3,360 que se localisent les venues d'eau les plus fortement minéralisées, chargées surtout en sulfate de calcium. Il faut rapprocher de cette observation la présence, dans cette zone, de gypse, d'anhydrite et de calcite en recristallisation secondaire dans les fissures ou diaclases, ainsi que l'abondance de pyrite, répartie dans toute la masse.

La formation du sulfate de calcium pourrait avoir pour origine possible une double réaction chimique : d'abord oxydation des pyrites, donnant de l'acide sulfurique, qui agit à son tour sur le carbonate de calcium, entraînant la formation de sulfate de chaux.

Avec les venues d'eau se trouvent ainsi réunies, dans cette zone particulière de la coupe, les éléments et les conditions nécessaires pour que se forme, se transporte et se dépose du sulfate de calcium ; ceci selon des lieux et à des profondeurs qui nous sont inconnues (exception faite, bien entendu, des cristallisations directement observées).

2.4 EVOLUTION DANS LE TEMPS DE LA MINÉRALISATION (écoulement du P.K. 3,360)

Un exemple de l'évolution de la minéralisation de l'eau est fourni par le point d'émission du P.K. 3,360 : l'eau issue de ce ruissellement a fait l'objet d'une analyse de contrôle (mai 1963) deux ans environ après la première analyse.

Les principales différences entre les résultats des deux analyses apparaissent dans le tableau ci-dessous (teneurs exprimées en mg/l).

	Résidu sec	SO ₄ --	Ca ++	Na +
Analyse 1 (1961)	1114	650	252	53,5
Analyse 2 (1963)	251	99	39	21

Cette constatation suggère la déduction que les résultats de la première analyse traduisaient les caractéristiques acquises par une eau demeurée longtemps en contact avec la roche encaissante qui lui a fourni ses éléments minéralisateurs ; il s'agissait donc à priori d'une eau circulant peu et lentement avant l'ouverture de la galerie.

Au contraire, l'eau de la seconde analyse, prélevée longtemps après le dérochement, drainée depuis deux ans par le souterrain, par conséquent s'écoulant plus librement et plus rapidement, n'a pas rencontré les mêmes conditions nécessaires pour favoriser sa minéralisation.

	P.K.							
Eléments dosés	1,500	1,900	3,140	3,250	3,255	3,284	3,360	3,396
Résistivité à 20°C (ohms/cm)	947	1071	537	1446	534	1472	858	2445
pH	9,20	8,78	7,46	8,60	6,97	8,50	8,20	7,70
Résidu sec à 105-110° (mg/l)	912	801	2183	640	2121	558	1114	340
Dureté totale (T.H.) (degré français)	38,40	36,2	137,2	35,0	132,0	29,5	63,0	16,0
Alcalinité bicarbonique (HCO ₃) ⁻ en mg/l	21	30,5	18	24	24	18	24	30,5
Carbonates (CO ₃) ⁻⁻ »	9	6	0	4	0	6	0	0
Sulfates (SO ₄) ⁻⁻ »	515	455	1353	355	1322	320	650	170
Chlorures (Cl) ⁻ »	35	30	14	15	32	28	28	10
Nitrates (NO ₃) ⁻ »	0,9	0,9	0	0	0	1	traces	0,9
Silice (SiO ₂) »	15,3	14,3	?	20,4	—	—	—	16,7
Calcium (Ca) ⁺⁺ »	153	146	548	132	530	116	252	63
Magnésium (Mg) ⁺⁺ »	0,5	0	0,5	5	0	1	0	0,7
Sodium (Na) ⁺ »	99	76	46,5	30,5	59	36	53,5	24
Potassium (K) ⁺ »	6	5	5	3	4	4	5	2
Oxygène dissous (à l'arrivée au laboratoire) »	5,92	2,12	?	?	?	?	?	1,12
Appréciation de l'agressivité sur les ciments Portland	eau agressive (légèrement)	eau légèrement agressive	eau dangereuse	agressivité faible	eau dangereuse	atteint juste la zone critique	eau dangereuse	—
sur les ciments CLK « Loralpin »	ne seront que très peu ou pas attaqués	agressivité très faible	les ciments CLK auront une meilleure tenue	agressivité très légère	meilleure tenue (utiliser des ciments sursulfatés)	sans action notable	sans action notable	sans action appréciable

Analyse des eaux d'exhaure, provenant des points d'émission les plus minéralisés

2.5 CONCLUSION

Dans l'ensemble, les caractéristiques chimiques des eaux drainées par le tunnel ne posent pas de problème délicat du point de vue géotechnique. Toutefois les venues d'eau localisées notamment dans la zone de 3,140 à 3,360 ont révélé des propriétés agressives liées à leur teneur en sulfate de calcium. Ces données chimiques imposent certaines précautions et le choix d'une qualité appropriée de ciment pour le revêtement des parois dans cette zone.

Du point de vue intérêt scientifique, se pose la question de l'origine et de la formation des sulfates de calcium en solution dans les venues fortement minéralisées. De même les teneurs en uranium constatées dans certains ruissellements de la zone granitique constituent un fait nouveau.

3. Température de l'eau et température originelle de la roche

La comparaison des courbes respectives de température de l'eau et de température originelle de la roche met en évidence des différences souvent importantes entre les deux courbes.

3.1 DISPARITÉ DES MÉTHODES DE MESURE

Avant de commenter les divergences constatées entre les deux courbes thermométriques et d'en rechercher les causes possibles, il convient de préciser que ces deux séries de mesures de température n'ont pas été réalisées selon les mêmes méthodes. A elle seule, cette disparité des méthodes employées peut déjà introduire une légère différence dans les valeurs obtenues, d'autre part, il n'y a pas concordance — ou exceptionnellement — des points choisis respectivement pour les deux séries de mesures : on s'efforçait en effet d'éviter l'influence des zones de venues d'eau pour procéder aux mesures de températures originelles de la roche.

3.1.1 Température de la roche

La température originelle de la roche a été déterminée par la méthode électrique, utilisant les variations d'une résistance en fonction de la température du milieu.

Les cannes thermométriques sont équipées de thermomètres « crayons » à thermistances, reliés par un fil souple à un pont de mesures dont le cadran de lecture comporte une graduation directement en degrés.

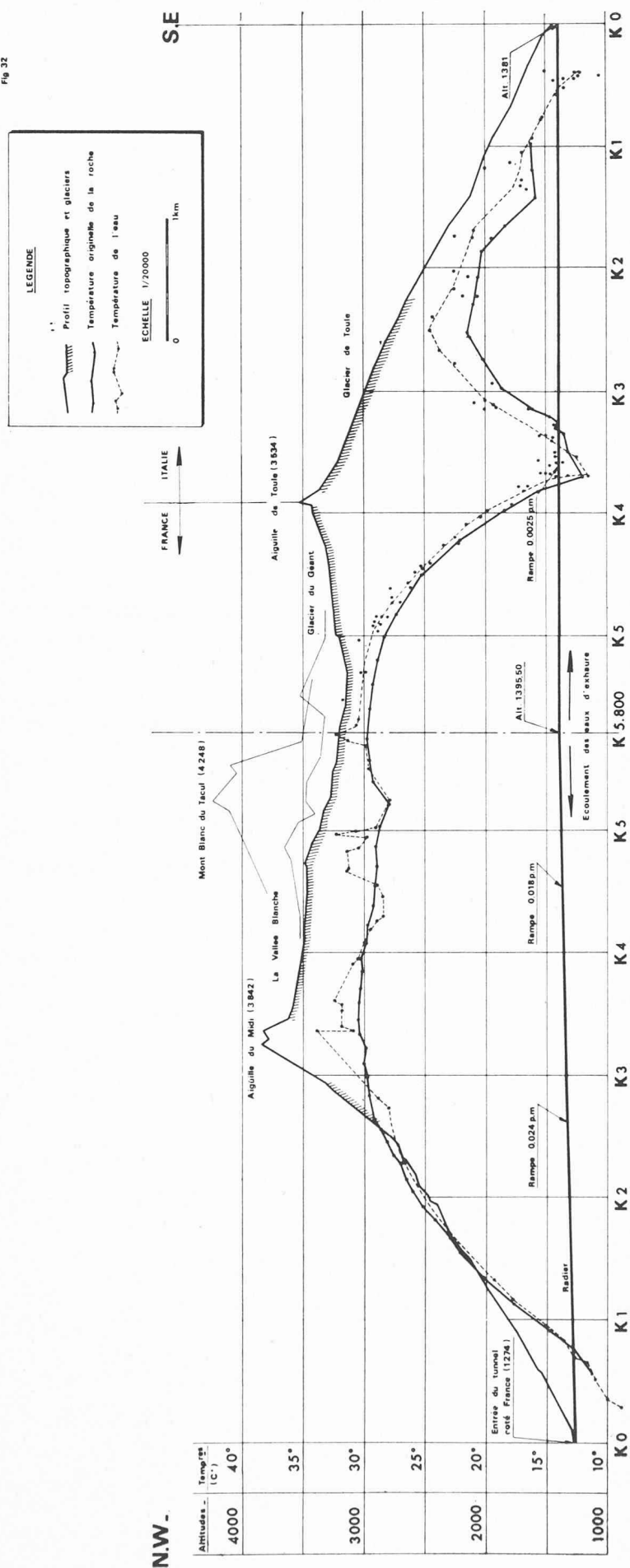


Fig. 3. — Tunnel du Mont-Blanc : température originelle de la roche et température de l'eau (courbes de comparaison).

La source de courant est une pile de faible tension (1,5 V) incorporée au pont de zéro ; elle ne débite que lors du contact assuré par bouton-poussoir au moment de la mesure.

La canne thermométrique est mise en place aussi près du front de taille que le permettent les conditions d'exécution en fonction de la phase de travail en cours.

Le thermomètre est inséré au fond d'un trou de mine pratiqué à cet effet dans la paroi, et à une profondeur telle qu'elle apporte la certitude de la non-contamination de la roche par le refroidissement, au moment des mesures, qui s'échelonnent sur trois à quatre jours.

La mesure s'effectue sans toucher au thermomètre, qui reste calé au fond de son logement et isolé de l'atmosphère de la galerie.

3.1.2 Température de l'eau

Les conditions matérielles d'exécution ne permettaient pas l'emploi de la méthode électrique pour mesurer la température de l'eau drainée par le souterrain ; elle a donc été mesurée manuellement au moyen d'un thermomètre à mercure, dans le plus bref délai possible après dérochement, et nous n'avons retenu que les températures obtenues lorsque pouvaient être réunies les conditions indispensables à une lecture bien représentative de la température réelle de l'eau (notamment : nécessité de soustraire le thermomètre aux effets de la forte ventilation mécanique)¹.

3.2 COMPARAISON DES COURBES THERMOMÉTRIQUES

Sur un même graphique (fig. 3) sont représentés en superposition : le profil topographique au-dessus de la galerie, et les courbes respectives de température de l'eau et de température originelle de la roche².

Nous ne reprendrons pas ici la comparaison détaillée des deux courbes thermométriques, mais nous essaierons simplement d'examiner et commenter les zones présentant des différences importantes.

3.2.1 Zone de 2,294 à 2,806

Entre ces points de mesure, la température de l'eau est nettement inférieure à celle de la roche, bien que la courbe thermométrique de cette dernière accuse elle-même un fléchissement entre les points de mesure 2,134 et 2,272.

L'écart maximal entre les deux courbes est de 1,4° au point de mesure 2,737.

¹ Les mesures pratiquées sur une venue demeurée accessible pendant plus d'un mois n'ont pas montré de variation de température.

² Les températures relevées sur le chantier italien nous ont été aimablement communiquées par nos collègues italiens.

Interprétation

Ce fléchissement dans l'allure des courbes thermométriques, et le fait que la température de l'eau est inférieure à celle de la roche, peuvent être attribués à la présence du glacier qui couvre la surface topographique à la base de la face nord-nord-ouest de l'Aiguille-du-Midi. Le tracé de la galerie passe à la verticale de ce glacier entre les P.K. 2,150 et 2,500. Entre ces deux P.K., l'épaisseur de recouvrement va croissant de 1,300 à 1,450 environ. Cette épaisseur est donc encore modérée, et l'on peut admettre que les ruissellements dispersés observés en galerie au long de cette zone correspondent à des eaux issues de ce glacier, qui s'infiltrant et circulent jusqu'au niveau du souterrain, à la faveur des réseaux de fractures ou diaclases, et des joints accusant le délitage des roches cristallophylliennes. Ces eaux provenant du glacier exercent un effet de refroidissement certain ; cependant, les ruissellements sont trop dispersés et d'un débit trop faible pour influencer uniformément toute la masse rocheuse dans laquelle ils circulent ; ils sont en tous cas insuffisants pour déterminer un équilibre de températures de l'eau et de la roche.

3.2.2 Zone de 3,360 à 4,093

Au long de cette zone, les températures de l'eau, toujours supérieures à la température de la roche, déterminent une courbe très irrégulière, aux indentations accentuées.

L'écart maximal entre les deux courbes est de 3,5°C au P.K. 3,360 (à 3615 m l'écart est de 2°).

Cette même zone, qui se situe sous le bassin glaciaire supérieur de la Vallée blanche, est d'autre part caractérisée par d'importantes venues d'eau, notamment entre 3510 et 3620 m (34 l/s) drainées par de grandes fractures subverticales.

3.2.2.1 Température de l'eau exceptionnellement élevée au P.K. 3,360. — A 3,360 m, à la base du parement gauche, une grande fracture s'élargit en anfractuosités. Elle draine un petit ruissellement concentré en un seul écoulement, de débit très constant (inférieur à 1 l/s) dans lequel on a relevé une température de 34°C (la plus élevée constatée dans cette galerie).

L'eau est sulfureuse, dégage une nette odeur de H₂S (à proximité de ce point d'écoulement, la température originelle de la roche est de 30,55° à 3341,50 m ; 30,8° à 3461 m).

C'est probablement une réaction chimique (en l'occurrence oxydation de la pyrite par l'eau de ruissellement, sulfatée calcique) qui est à l'origine de ce dégagement de chaleur. On relève en effet la présence abondante de pyrite répartie dans toute la masse de la zone voisine, entre les P.K. 3,392 et 3,408.

3.2.2.2 Au P.K. 3,615, la température de l'eau — (32,5° contre 30,5° pour la roche) — a été prise à la faveur d'un point d'émission situé en radier, duquel l'eau sourd suivant un mouvement ascendant, à l'aplomb d'une grande fracture subverticale bien visible en voûte. Cette eau peut provenir d'une plus grande profondeur.

3.2.2.3 Conclusion. — En résumé, pour cette zone de 3,360 à 4,093, deux points particuliers peuvent être retenus, pour lesquels peut s'expliquer une température de l'eau supérieure à celle de la roche :

- à 3,360 = réaction chimique - oxydation des pyrites ;
- à 3,615 = venue d'eau ascendante en radier.

3.2.3 Zone de 4,093 à 4,562

Au long de cette zone, la courbe de température de l'eau passe en dessous de la courbe de température originelle de la roche.

L'écart maximal entre les deux courbes est de 1° au point de mesure 4,300 (où la température de l'eau est de 28,5°).

Aucune observation particulière ne se rattache à cette zone. On n'y relève pas de venues d'eau importantes, mais seulement des ruissellements dispersés.

On ne peut donc attribuer à l'importance des débits le fait que la température de l'eau est inférieure à celle de la roche.

3.2.4 Zone de 4,570 à 5,056

Les deux courbes thermométriques se croisent à nouveau vers le P.K. 4,570, à partir duquel la température de l'eau accuse une brusque élévation, et, bien que très irrégulière, se maintient supérieure à celle de la roche jusqu'au P.K. 5,056.

L'écart maximal entre les deux courbes est de 3,4°C au P.K. 4,974 (où la température de l'eau est de 32,3°).

Cette température de l'eau nettement supérieure à celle de la roche va pourtant de pair (comme précédemment pour la zone de 3,360 à 4,093) avec de fortes venues d'eau échelonnées au long de cette zone (débits cumulés : environ 100 l/s, dont 50 l/s au P.K. 5,035).

Toutes les venues importantes sont drainées par les nombreux réseaux de fractures qui affectent la formation.

S'il existait une relation directe entre ces venues d'eau et la présence du glacier couvrant la surface¹, l'eau devrait être plus froide que la roche, et contribuer à abaisser le degré géothermique. Or, c'est l'inverse que l'on constate.

Notons cependant qu'au voisinage de la venue d'eau à fort débit du P.K. 5,035, la température de la roche n'est que très peu inférieure (0,2°) à celle de l'eau.

Plusieurs venues d'eau de cette zone ayant révélé d'appréciables teneurs en uranium, la radioactivité peut-elle être invoquée comme cause possible de l'élévation de température de l'eau ?

3.2.4.1 Disparité des températures entre certaines venues d'eau rapprochées. Indépendance des conduits naturels qui les drainent. — Une constatation assez étonnante semble démontrer que les fractures, même rapprochées, ne sont pas toutes communicantes, qu'il n'y a pas forcément interconnexion entre fractures d'une même zone, ou même au sein d'un même réseau.

On a en effet relevé des différences notables de température entre plusieurs points d'écoulement successifs mais rapprochés, groupés sur 15 m, entre 4968 et 4983 m.

Dans cette section de galerie, d'importants ruissellements s'écoulent, à la base du parement gauche, par les fractures qui divisent la formation.

On a relevé dans ces griffons les températures suivantes :

à 4968,70 m =	29,8°C
à 4970,20 m =	29,8°C
à 4974,00 m =	32,3°C
à 4982,10 m =	30,7°C

¹ Dans la partie italienne de la galerie, entre les P.K. 2,500 et 3,700 environ, sous le glacier de Toule, la température de la roche a été considérablement abaissée par d'importantes venues d'eau issues du glacier (voir fig. 3).

Ces différences de température de l'eau, entre points d'émission voisins sont, d'autre part, corroborées par les résultats des analyses effectuées par le CEA pour doser les teneurs en uranium des eaux prélevées dans ces différents ruissellements.

Ces teneurs varient en effet de 18 à 89 ppb d'U (prélèvements du 10.8.1962) :

P.K. 4,972 = 24,6 ppb d'U

P.K. 4,974 = 18 ppb d'U

P.K. 4,978 = 89 ppb d'U

3.2.4.2 Conclusion. — Les eaux de ces points d'émission proches les uns des autres sont donc bien différenciées, individualisées, et les conduits qu'elles empruntent pour cheminer jusqu'au souterrain sont indépendants.

Dans la zone avoisinant le P.K. 4,974, des venues d'eau jaillissant sous une forte pression (pendant perforation) témoignent d'une accumulation sur une grande hauteur, dans certaines fractures subverticales.

Ces observations viennent en confirmation de la remarque déjà faite pour la zone de 3,360 à 4,093, sur la complexité des réseaux de circulation des eaux d'exhaure drainées par le tunnel.

3.2.5 Zone de 5,703 à 5,800

Entre les points de mesure 5,703 et 5,790, la température de l'eau monte de 29,8° à 32,3°, et s'élève nettement au-dessus de la température de la roche, qui est de 29,85° à 5757 m (dernière mesure effectuée).

Ecart maximal entre les deux courbes : de l'ordre de 2,5°C. La température de 32,3° a été relevée dans un écoulement drainé par une fracture (base du parement gauche) dont les parois sont tapissées de minéraux d'origine hydrothermale (= zéolites).

3.3 CONCLUSIONS

La complexité des réseaux de circulation rend bien aléatoire de préjuger de l'origine des eaux d'exhaure drainées par le tunnel.

De même (en dehors de quelques points particuliers pour lesquels peuvent être invoquées des causes possibles, telles que réaction chimique ou cheminement profond et ascendant de l'eau, pour expliquer une température anormalement élevée de cette dernière par rapport à celle de la roche), on ne possède pas d'argument satisfaisant pour définir les causes précises des divergences de température, constatées d'une part entre points d'émission rapprochés, d'autre part entre température de l'eau et température de la roche encaissante.

En un seul point précis : une venue d'eau drainée par une fracture à 5254/5256 m, il est permis d'établir une relation entre la présence du glacier et l'influence refroidissante de l'eau sur la température originelle de la roche.

Par contre, dans la partie italienne de la galerie, l'influence des venues d'eau, en relation avec le glacier de Toule, a perturbé le degré géothermique et provoqué un abaissement considérable de la température de la roche, la courbe thermométrique chutant jusqu'à un point bas de

12° environ, vers le P.K. 3,650 (compté à partir de l'entrée italienne).

4. Conclusions générales

Les venues d'eau réparties au long du chantier français du tunnel sous le Mont-Blanc totalisent un débit modéré (200 l/s environ) et n'ont pas causé de gêne excessive dans la conduite des travaux.

Du point de vue de l'hydrogéologue, elles sont intéressantes à étudier, compte tenu en particulier de la nature des terrains cristallins recoupés par le souterrain, et de la présence des glaciers et neiges éternelles couvrant une grande partie du bassin versant.

C'est essentiellement dans la zone centrale du granite que se situent les secteurs à circulation privilégiée, se manifestant à la faveur des grandes fractures alpines. Les faits observés font apparaître la complexité des réseaux de circulation, au sein desquels peuvent être individualisés des conduits indépendants, comme le révèlent des divergences de température et de teneur en uranium.

L'origine de ces venues d'eaux n'est pas démontrée ; la probabilité de leur infiltration à partir de la surface sous-glaciaire n'exclut pas cependant l'éventualité d'une origine plus profonde pour certaines venues.

À défaut de mesures permanentes du débit de l'exhaure drainée par le tunnel, nous ne sommes pas encore à même d'y déceler d'éventuelles variations (saisonnières par exemple).

Enfin, il est intéressant de souligner ici l'appréciable contribution de la thermométrie en matière de détection à distance des importantes venues d'eau froide.

À défaut de données précises, la thermométrie a au moins le mérite d'attirer l'attention en signalant, par la chute de la courbe thermométrique de la roche encaissante, la présence d'une anomalie se manifestant par une perturbation du milieu géothermique.

BIBLIOGRAPHIE

- CLUSEAU R., GRIVEAU P. (1960) : Procédure pratique pour la mesure de température originelle de la roche au cours du percement du tunnel sous le Mont-Blanc. 1.2.1960 (rapport BRGM, inédit).
- CORBIN P., OULIANOF N. (1956) : *Carte géologique au 1/20 000*. Feuille Chamonix et notice explicative 1928. Feuille Aiguille-du-Midi et notice explicative 1956.
- GRIMBERT A. (CEA) (1965) : Possibilité de déplacement de l'uranium dans les eaux souterraines profondes. *C.R. Soc. géol. Fr.*, n° 8, p. 256.
- GRIVEAU P. (1961) : Mission géothermique au tunnel du Mont-Blanc (février 1961). Programme général (rapport BRGM, inédit GPH 101).
- OLIVERO S. (1962) : Primi dati sulle temperature del sottosuolo nel Traforo del Monte Bianco (février 1962). *Acad. Naz. LINCEI* (8), 32, n° 2.
- PUYRABAUD Y., POCHE R. (1960 à 1963) : Rapports de missions au tunnel sous le Mont-Blanc. Etudes radiométriques n°s 1 à 12 (CEA-DPRM).

Adresse de l'auteur :

H. Gudefin, Bureau de recherches géologiques et minières, 20, route de Strasbourg, Caluire et Cuire, 69 Lyon.