

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 108 (1982)
Heft: 12

Artikel: Des événements de Zeuzier et de la galerie de sondage du Rawyl RN6
Autor: Badoux, Héli
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-74659>

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: 20.02.2026

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

Des événements de Zeuzier et de la galerie de sondage du Rawyl RN6

par Héli Badoux, Lausanne

Si le projet de route nationale N6 passant sous le Rawyl est l'objet de contestations politiques et écologiques, il est également menacé par la relation entre la galerie de sondage pour le futur tunnel et les déformations du barrage de Zeuzier, telle qu'elle ressort du rapport des experts commis par les autorités fédérales.

Cette relation ne fait toutefois pas l'unanimité parmi les spécialistes. Dans un exposé présenté lors d'un débat organisé par la section Valais de la SIA en automne 1981, le professeur Héli Badoux, de l'Université de Lausanne, réfute l'hypothèse des experts fédéraux de façon détaillée. On trouvera ci-dessous la version écrite de sa conférence.

Dans le souci de présenter les deux points de vue, nous avons demandé à l'Office fédéral de l'Economie des eaux le texte de l'exposé donné par son représentant lors du même débat. Nous laisserons à nos lecteurs le soin d'apprécier le point de vue de cet Office, selon lequel la publication d'un article dans une revue alémanique, en 1980, suffit à l'information sur un sujet touchant au premier chef une région de Suisse romande.

1. Introduction

Le groupe technique du Rawyl comprenant trois bureaux d'ingénieurs¹ ainsi que deux géologues² a proposé, après de longues études, un tracé à la cote 1200 pour le tunnel routier du Rawyl, joignant directement la gorge de la Liène au vallon de Pöschennried.

Pour vérifier la structure profonde de la chaîne du Rawyl, pour connaître son hydrologie souterraine et le comportement des roches en profondeur, la Commission a proposé le percement, selon le tracé choisi, d'une galerie de reconnaissance, ouvrage qui serait par la suite incorporé au tunnel routier. Afin d'éviter toute surprise dangereuse, la galerie, de 13 m² de section, devait être précédée par des forages horizontaux. Avec l'accord des autorités fédérales, le percement de la galerie sud a commencé en juillet 1976.

Vers la fin de 1978, les pendules du barrage de Zeuzier ont présenté une dérive anormale, indiquant une déformation de l'ouvrage. Les travaux souterrains de la galerie du Rawyl, soupçonnés d'être la cause de ces désordres, furent stoppés par ordre des autorités fédérales. La galerie avait alors 3236 m de longueur. Un collège de trois experts fut ensuite mis en œuvre. Les mesures géodésiques qu'ils firent effectuer ont montré que d'importantes déformations s'étaient produites dans le site du barrage. Les

experts en ont rejeté l'entière responsabilité sur la galerie du Rawyl et plus précisément sur les fortes venues d'eau rencontrées en fin 1978-début 1979. Leur point de vue est consigné dans un volumineux rapport daté du 29 février 1980. En été 1980, M. Schneider, docteur ès sciences, en a publié un résumé très complet dans un périodique diffusé dans les milieux techniques spécialisés³.

2. Informations fournies par la galerie

Grosso modo, on constate que les résultats fournis par la galerie de reconnaissance confirment les pronostics contenus dans le rapport géologique préliminaire⁴ (fig. 1). Ils concernent la structure géologique, le comportement des roches, les venues de gaz et l'hydrologie souterraine. Ces divers aspects seront rapidement passés en revue, sauf l'hydrologie qui, à cause du rôle que lui ont attribué les experts, nous retiendra davantage.

2.1 Structure géologique

Conformément aux pronostics, la galerie qui s'ouvre dans le Crétacé (Barrémien) a traversé un anticlinal faillé — voûte dessinée par les calcaires du Malm et dont le cœur est occupé par les calcaires argilo-sableux du Dogger et les marnes sombres de l'Aalénien. L'anticlinal est plus asymétrique que prévu; c'est en fait un pli-faïlle. Son flanc NW est pratiquement escamoté le long de l'accident qui le limite (fig. 2).

A l'ouest du tracé de la galerie, cette voûte de Malm traverse la vallée de la Liène où elle détermine le verrou ou ride de Zeuzier qui supporte le barrage.

Il apparaît de plus en plus, dans notre pays, que les derniers cantons suisses appelés à être servis en matière de voies de communication autoroutières, selon les données du programme des routes nationales adopté pourtant dans les lois fédérales, sont appelés à connaître d'innombrables difficultés en matière de réalisation et d'amélioration de leur réseau d'autoroutes les reliant au restant de la Suisse.

Il en est ainsi pour le canton du Valais dont l'infrastructure routière ne connaît pas encore d'autoroute, ce qui vaut à la route cantonale actuelle de connaître de fréquents engorgements.

Alors que la RN6 était prévue sous forme de tunnel autoroutier traversant les Alpes bernoises à l'aide d'un tracé choisi pour son accès facile, sa pente peu accentuée, sa sécurité et surtout son ouverture toute l'année, voilà que ce qui devrait relier deux cantons et deux régions suisses actuellement d'accès difficile est contesté au nom de la sauvegarde d'intérêts strictement locaux.

Ce n'est pas seulement d'un axe autoroutier d'est en ouest dont le Vieux-Pays a besoin. C'est aussi, et surtout, d'un axe nord-sud le rapprochant rapidement des grands centres de la Suisse alémanique.

En effet, les problèmes du grave isolement du canton ne trouveraient pas une solution satisfaisante dans une seule route nationale de plaine conduisant hors du canton à l'ouest.

Il ne faut pas oublier que pour les usagers du centre du canton ou du Haut-Valais, c'est un parcours de 100 km et plus qu'il faut déjà accomplir pour simplement atteindre, chez nos amis vaudois, les axes autoroutiers constitués par la N1 ou la N12.

Dans l'esprit de ceux qui l'ont conçue à l'époque, et inscrite dans le programme des routes nationales, la percée nord-sud de la N6 permet d'accéder directement et rapidement au cœur d'une région de Suisse alémanique qui ouvre elle-même la porte aux grands axes autoroutiers du pays.

Et puis, il conviendra de tenir compte qu'en définitive la RN6 diminue dans une notable mesure les risques d'enclavement d'une Suisse romande et d'un Valais romand qu'on n'atteint présentement toute l'année que par l'étroit défilé de Saint-Maurice, que par l'ouest du pays dans les engorgements que l'on connaît bien.

C'est assez dire qu'à part les arguments d'ordre technique que le Conseil d'Etat valaisan ou Pro Rawyl Valais ont eu à maintes reprises l'occasion de faire valoir au maintien de la percée du Rawyl au réseau des routes nationales, il existe, sur le plan d'une desservance correcte des régions alpines et périphériques de notre pays, des raisons politiques suffisantes pour considérer que l'ouvrage routier de la N6 se révèle indispensable au canton.

Le Valais, on l'a déjà relevé dans divers milieux, subit lourdement un isolement routier comparable à nul autre, ce qui entraîne de lourdes conséquences de tout ordre.

Il sait que la solidarité confédérale n'est pas un vain mot lorsqu'il s'agit de lui procurer, comme à bien d'autres avant lui, en parfaite égalité de traitement et en équitable prise en considération de ses évidentes difficultés en matière de liaison routière, une ouverture indispensable vers le nord du pays.

(Extraits de l'exposé présenté par M^e Pierre de Chastonay, conseiller national valaisan et président de Pro Rawyl, à la section Valais de la SIA en automne 1981.)

¹ De Kalbermatten et Burri, de Sion, Ingénieur-Unternehmung, de Berne, et Motor Columbus, de Baden.

² Les professeurs W. Nabholz et H. Badoux.

³ Wasser, Energie, Luft 7/8, 1980.

⁴ Badoux et Nabholz, 30 mai 1972.

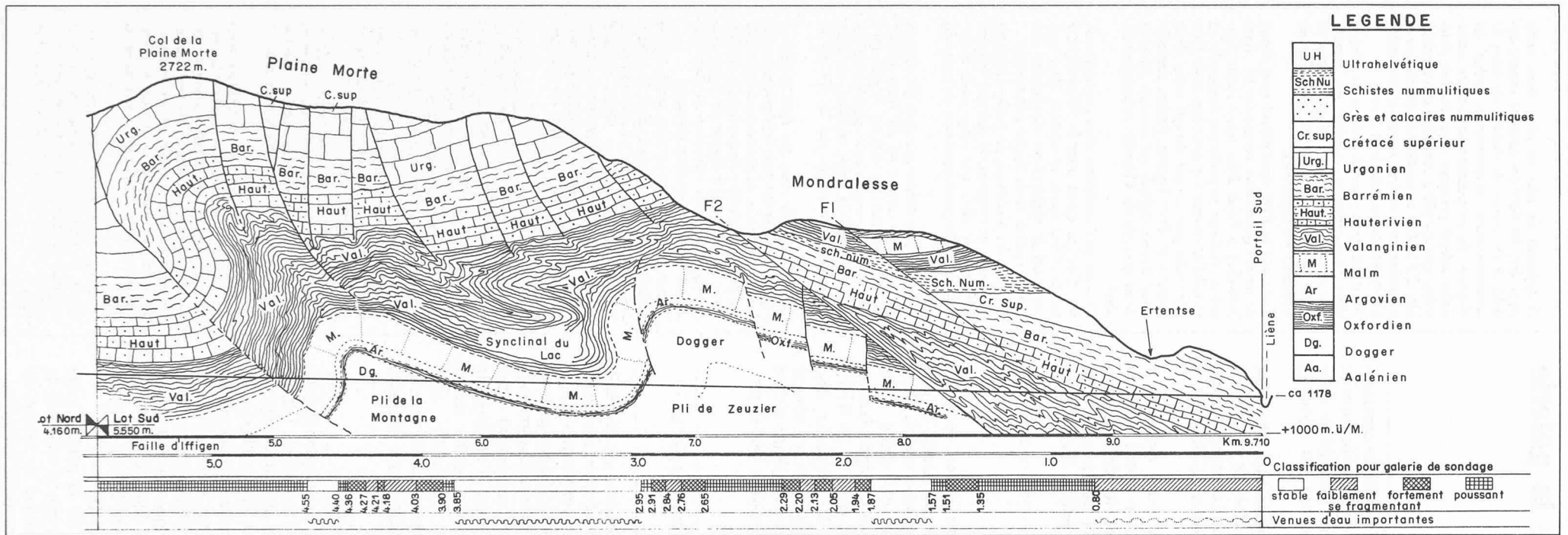


Fig. 1. — Tunnel du Rawyl. Coupe longitudinale provisoire.

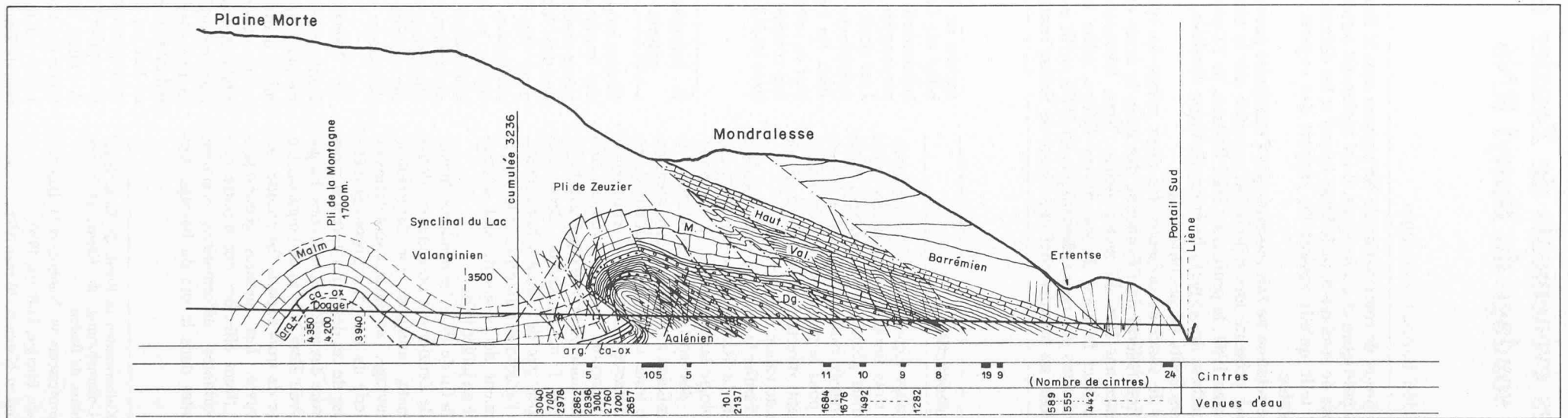


Fig. 2. — Tunnel du Rawyl. Coupe géologique suivant l'axe de la galerie de sondage.

Au-delà du cœur de Dogger de l'anticlinal, la galerie est entrée directement dans le flanc S du synclinal suivant, structure en forme de cuvette qui, vers l'ouest, coïncide avec la retenue de Zeuzier. Ce sont les fissures de ce flanc S du synclinal «du lac» et non de la voûte portant le barrage qui ont fourni les grosses venues d'eau de fin 1978-début 1979.

2.2 Le comportement des roches

Ce comportement s'est en général conformé aux prévisions et n'a pas posé de problèmes particuliers, sauf lors de la traversée de l'Aalénien. Ce terrain argileux et relativement plastique se soulevait au radier de la galerie en déformant les semelles des cintres. Le profil de cette section a été repris et bétonné; il n'a pas bougé depuis.

Résumé de l'exposé de M. E. Fardel, ing. géol., sur la galerie de sondage du Rawyl

Le but visé est de porter à la connaissance de l'assemblée les prévisions géologiques sur le projet et les résultats acquis par la galerie de sondage dont le percement s'est fait avec le financement approuvé par la Confédération. Les travaux ont débuté le 12 juillet 1976, sur un pronostic des géologues H. Badoux et Nabholz, suivant un projet à moyenne altitude (1200-1300 m) et en s'éloignant du lac de 1,5 km. Ce projet inclut un tunnel de 9,800 km entre la Liène et le vallon de Pöschennried. Un abaissement du crédit par le Parlement a fait adopter des profils modestes de 11,5 à 13 m² de section. Cette restriction est appliquée côté valaisan.

Le profil géologique provisoire dresse une coupe des terrains à traverser (voir fig. 1 de l'article du prof. Badoux). Ils appartiennent à l'importante nappe du Wildhorn. Les roches dominantes sont des calcaires purs ou argileux, siliceux ou sableux, et d'épais niveaux de marnes plus ou moins calcaires. Les couches de la nappe du Wildhorn sont plissées et faillées. Superposant cette nappe vers le nord, apparaissent des terrains calcaires, gréseux, schisteux du Tertiaire.

Le comportement mécanique des roches a été également préalablement décrit et le levé géologique reporté (fig. 2).

Compte tenu de la marge d'interprétation due à la profondeur, les terrains rencontrés par la galerie de sondage jusqu'à la cumulée 3236 m correspondent bien au profil provisoire.

La valeur mécanique des diverses roches est plutôt meilleure que ce à quoi on pouvait s'attendre. Grâce à une surveillance constante à l'avancement et au percement préalable par un sondage horizontal, l'eau et les gaz ont été contrôlés. L'eau vient par des failles. Son chimisme et sa température en font une eau différente de celle de la surface.

Le gaz de méthane provenant de la décomposition de produits organiques, grâce à une ventilation appropriée, n'a jamais atteint une cote dangereuse. Ce gaz n'est pas abondant, mais en traces. La tenue de la roche est en général bonne, et la seule roche poussante dans le schiste aalénien a été maîtrisée par des cintres et du béton, sans difficulté majeure.

La galerie est maintenue ouverte et le travail peut recommencer sans autre.

Cette zone et quelques autres moins poussantes ont été consolidées par des cintres, au nombre de 181; pour le reste de la galerie, le cloutage s'est révélé suffisant. Le radier de la galerie est bétonné et les parois gunitées sur une bonne partie du tunnel.

Le prof. Descoeudres, de l'EPFL, a contrôlé le comportement des roches. Notons, en ce qui concerne le Malm au-delà de 2760, qu'aucune déformation n'a été constatée.

2.3 Les venues de gaz

La teinte sombre de certaines roches sédimentaires est due à la présence de matière organique disséminée dans la roche ou à de la pyrite finement divisée ou souvent des deux à la fois. Enfouie en profondeur, cette matière organique subit une distillation sous pression (cracking) avec libération de méthane (CH₄) et résidu charbonneux. Ce gaz inodore demeure «sorbé» dans la roche ou s'accumule dans les fissures. Il va se dégager à l'avancement de la galerie, lentement dans le premier cas, brusquement dans le second.

Mélangé à l'air dans une proportion de 6 à 15%, il donne un gaz détonant — le grisou. Avec l'aération normale de la galerie, la teneur en CH₄ est toujours demeurée au-dessous de 1%, valeur limite tolérée. Mais lorsque l'aération a été arrêtée pendant deux jours, cette teneur a parfois été atteinte. Les teneurs sont contrôlées avec des méthanomètres types GFG et Biomarin: un appareil portatif est utilisé au front de taille, un est fixé sur le jumbo, un autre sur la foreuse et un quatrième, avec bande enregistreuse, à 100 m environ de l'avancement.

On a noté aussi des traces d'hydrogène sulfuré (H₂S), qui proviennent de l'action des bactéries sulfuraires sur les eaux chaudes qui contiennent une faible teneur en sulfate dissous.

2.4 L'hydrologie souterraine

D'après les prévisions, il fallait s'attendre à des venues d'eau lors de la traversée de certaines formations et des failles principales repérées en surface. Mais seule la galerie de reconnaissance pouvait permettre d'en reconnaître la localisation exacte, le chimisme, et d'en estimer la pression et le débit. Dans le cas d'eau sous pression, la galerie de reconnaissance devait permettre d'en réduire la pression, voire de l'annuler et ainsi de faciliter le creusement du tunnel routier. Un premier groupe de petites sources fut rencontré entre 400 et 600 m (les distances sont comptées à partir de l'entrée S). Elles se situent à la traversée des calcaires siliceux de l'Hauterivien et au droit de l'Ertentse. Elles ont probablement une origine mixte: eaux souterraines et infiltrations de la rivière. Actuellement, elles subsistent sous forme de suintements.

tuellement, elles subsistent sous forme de suintements.

La galerie traverse ensuite les couches argileuses du Valanginien et sur 600 m, soit de 600 à 1200 m, elle est sèche; aucune source n'a été recoupée.

A cette zone sèche succède, entre 1200 et 1684 m, une douzaine de venues d'eau sortant des fissures de la roche. C'est vers le milieu de cette zone que la galerie recoupe les calcaires du Malm et que doit passer un accident majeur, la faille des Andins. Cette faille active du point de vue sismique, d'après Pavoni, se suit du Châble-Court jusqu'à Sex-Mort. Les fissures aquifères ne sont que des cassures secondaires liées à cet accident principal.

La galerie pénètre ensuite dans les calcaires argilo-sableux du Dogger qui débute par une zone sèche de 450 m de longueur, suivie de 2133 à 2400 m de 11 fissures aquifères.

Dans ces trois premières zones aquifères, les débits des sources libérées par la galerie étaient faibles; trois seulement d'entre elles ont eu pendant quelques jours des débits initiaux supérieurs à 10 l/sec. Dès le printemps 1979, le débit total de ces trois groupes s'est établi entre 4 à 5 l/sec.

Puis après 200 m sans eau, on retrouve deux sources dans le cœur aalénien de la structure; et, dès 2750, les venues les plus importantes sortant des fissures du Malm du flanc S du «synclinal du lac». Les sources principales ont été rencontrées à 2760 m (environ 200 l/sec), à 2866 m (environ 300 l/sec) et à 3042 m (environ 700 l/sec). Ces débits initiaux ont rapidement baissé et actuellement l'ensemble des eaux du Malm accuse un débit de 34 l/sec, mesuré par un Venturi placé à la cumulée 2648 m.

On constate ici, comme de 1200 à 1680 m, que les fissures aquifères se sont développées dans les calcaires rigides du Malm au voisinage de l'importante faille inverse limitant au NW l'anticlinal chevauchant de Zeuzier.

Remarques sur le régime fissural des eaux

Les roches de la région sont pratiquement imperméables et les eaux qu'on y rencontre ne font qu'occuper et ne circulent que dans les fissures de la roche. Ces fissures aquifères sont plus ou moins groupées autour des failles principales, les groupes étant séparés les uns des autres par des zones sèches importantes. Elles sont donc trop isolées pour constituer de véritables nappes, ce terme devant être réservé à des ensembles hydrologiques dont les constituants sont en communications faciles les uns avec les autres; ce qui n'est pas le cas dans la galerie du Rawyl. Ainsi dans le groupe 2750 à 3042 m, lorsque la galerie atteint une fissure aquifère, l'eau en sort avec force, jaillissant de tous les points de la

fissure; puis rapidement, alors que le débit diminue, le niveau des exutoires s'abaisse et au bout de quelques jours l'eau ne sort plus qu'au plancher de la galerie. On reprend alors l'avancement et, à la prochaine fissure aquifère, le même scénario se reproduit: la vidange de la première fissure n'a pas influencé la pression d'eau de la suivante.

La zone d'influence d'une venue est donc peu étendue. Il est donc peu vraisemblable que, dans le cas de la venue à 2760 m, elle se soit rapidement étendue jusqu'à la zone du barrage, distante de 1,5 km, sans affecter les fissures aquifères proches de 2866 et 3040 m.

Les forts débits initiaux sont dus à deux causes principales: la décompression de l'eau et la vidange de la partie de la fissure située au-dessus de la galerie. Ensuite l'eau monte du fond, avec dégagement gazeux (bulles continues).

Relations des eaux superficielles avec celles de la galerie

Avant le commencement des travaux, soit dès 1972, on a procédé au contrôle bimensuel des sources voisines du tracé du tunnel, quand les conditions de neige le permettaient. Durant les premières années, ces mesures comprenaient, en plus du débit, la température de l'eau et sa résistivité électrique.

D'autres tunnels, celui de Glion par exemple, en drainant l'eau en profondeur, ont provoqué la disparition des sources de surface. Le cas de la galerie du Rawyl est complètement différent. Jusqu'à ce jour, aucune influence de la galerie sur les sources n'a été constatée.

D'autre part, les sources de surface présentent de très fortes variations de débit au cours de l'année avec une crue très marquée de mai à août, soit lors de la fonte des neiges. La source de la Loquesse est très démonstrative à cet égard. L'augmentation du débit est due au remplissage des fissures qui guident l'eau de l'impluvium à la source, ce qui augmente les pressions en ce point. Si les circulations froides, superficielles, étaient en relations faciles avec celles du tunnel, ces dernières présenteraient elles aussi des variations saisonnières de débit, ce qui n'est pas le cas.

Pour ces deux raisons, on doit conclure que les eaux superficielles et les eaux profondes de la galerie forment deux systèmes hydrologiques distincts et séparés.

Un argument supplémentaire est fourni par le *chimisme des eaux*: celui des eaux superficielles froides est caractérisé par une dominance du calcium dans le groupe des cations, du bicarbonate et du sulfate dans celui des anions. Les eaux de la galerie ont un pH plus élevé, donc une forte alcalinité due à une abondance de *bicarbonate de sodium*. Elles sont pauvres en Ca^{++} et SO_4 avec une teneur relativement forte de fluor,

jusqu'à près de 10 mg/l. Ces eaux sont chaudes: 19 à 20° à 1400 m, 21° à 2100 m, 25° à 2627 m et 28° à 3042 m. Nous leur avons attribué à tort le qualificatif de thermales; en fait les températures mesurées s'expliquent par la profondeur de la venue sous la surface et un degré géothermique normal.

Les eaux de la galerie diffèrent de toutes les eaux thermominérales des Alpes suisses. Elles se rapprochent de celles de Vichy et de celles de Schimbergbad dans le canton de Lucerne ou de la Hallenquelle de Walzenhausen en Appenzel Rhodes extérieures.

Deux hypothèses peuvent être avancées pour en expliquer les propriétés. Il pourrait s'agir d'eau montant de la profondeur, du socle cristallin enfoui sous les nappes helvétiques; ou bien, autre hypothèse, d'eaux fossiles, sulfatées et calcaïques à l'origine, que des échanges ioniques avec les roches encaissantes auraient profondément modifiées. Ce qui est certain, c'est qu'elles ne résultent pas d'infiltrations récentes. Elles sont dépourvues de tritium, donc âgées de plus de 25 ans. De plus, le rapport $\text{O}^{18}/\text{O}^{16}$ indique qu'elles n'ont pu pénétrer dans leur gisement qu'au cours d'une période beaucoup plus froide que l'actuelle, peut-être lors d'un des derniers stades glaciaires.

En résumé, les venues d'eaux sodiques, chaudes, libérées par la galerie du Rawyl ne constituent pas vraiment une nappe. Elles remplissaient des fissures groupées autour des failles principales. Elles étaient isolées les unes des autres ou au moins en communications précaires entre elles.

Elles appartiennent à un ensemble hydrologique fossile ou ascendant distinct et sans relation avec les circulations superficielles dont les eaux calcaïques et froides descendent des impluviums vers les sources.

Les eaux du Malm supportant le barrage rentrent dans cette dernière catégorie, ce qui jette un doute sur la vraisemblance du modèle proposé dans le rapport du Dr Schneider. Il nous faut donc l'examiner de plus près.

3. Le modèle hydrologique du rapport Schneider

Le mécanisme invoqué est le suivant: avant septembre 1978, les calcaires du Malm servant d'appui au barrage contenaient des eaux sous une pression telle qu'elle maintenait ouvertes les fissures, joints et autres défauts de la roche. Par contre, sous les versants de la vallée, cette pression était insuffisante pour ouvrir les fissures à cause du poids des masses sus-jacentes. Là, les fissures étaient donc fermées.

La galerie recoupant les fissures aquifères du Malm en automne 1978 aurait rapidement drainé les eaux du Malm du

barrage (situé à 1,6 km), provoquant la fermeture des fissures, donc le tassement, c'est-à-dire réduisant l'épaisseur du massif calcaire. Ce tassement ne pouvant se produire sous les versants, ainsi se trouvait expliqué la forme en cuvette du tassement.

Le mécanisme admis par les experts implique au moins deux conditions:

- a) Une *pression d'eau très élevée*, car elle doit permettre l'ouverture des fissures dans le Malm du barrage,
- b) un réseau serré de *fissures aquifères* communiquant facilement entre elles à l'intérieur de ce massif.

Le point a) n'est pas rempli, car des eaux sous pression ne peuvent exister dans un massif calcaire affleurant. Elles se seraient échappées par les affleurements, les galeries traversant le massif et par les forages d'injection de la galerie X sous le barrage. Dans tous les massifs calcaires à l'affleurement, les pressions d'eau d'une nappe fissurale statique sont toujours hydrostatiques, c'est-à-dire égales en kg/cm^2 au dixième de la différence d'altitude entre la base de l'affleurement et le niveau considéré. Dans le cas du barrage, la cote maximum de l'eau est celle de la galerie X à 175 m au-dessus de la base du Malm, de sorte qu'à la base du Malm la pression n'a jamais dépassé $17 \text{ kg}/\text{cm}^2$ (fig. 3). C'est une valeur maximum, car en aval immédiat du barrage, le Malm affleure jusqu'à la cote 1350-1400 m.

Quant au point b), il faut remarquer que si les fissures et autres défauts du Malm sont abondants, fort peu sont aquifères. La galerie du Rawyl avec ses 200 derniers mètres fissurés, mais sans venues d'eau, le prouve. Les forages récents dans le Malm de la galerie N° X, dont deux sur trois étaient secs, le confirment.

Les mesures géodésiques et les enregistrements des extensomètres prouvent que le Malm de Zeuzier ne s'est pas tassé, mais qu'il s'est affaissé d'un bloc sans que son épaisseur varie. On constate en effet qu'en octobre 1979, les points 4 et 5 situés sur les appuis du barrage s'étaient abaissés respectivement de 8,6 et de 9,6 cm; que le point 10 situé au flanc gauche de la gorge était descendu de 9,5 cm et les points 9 et 8 au fond de la gorge de 9,7 et 10,8 cm. On voit donc qu'à quelques millimètres près, tous les points sont descendus de la même valeur, prouvant qu'aucun tassement ne s'était produit dans la partie supérieure du massif de Malm. On ne voit aucune raison qu'il en ait été différemment pour sa partie inférieure.

L'affaissement s'est poursuivi et, d'octobre 1979 à juin 1980, les points mentionnés ci-dessus et tout le réseau qui les encadre sont tous descendus de 1 cm;

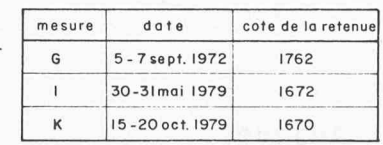


Fig. 3. — Situation.

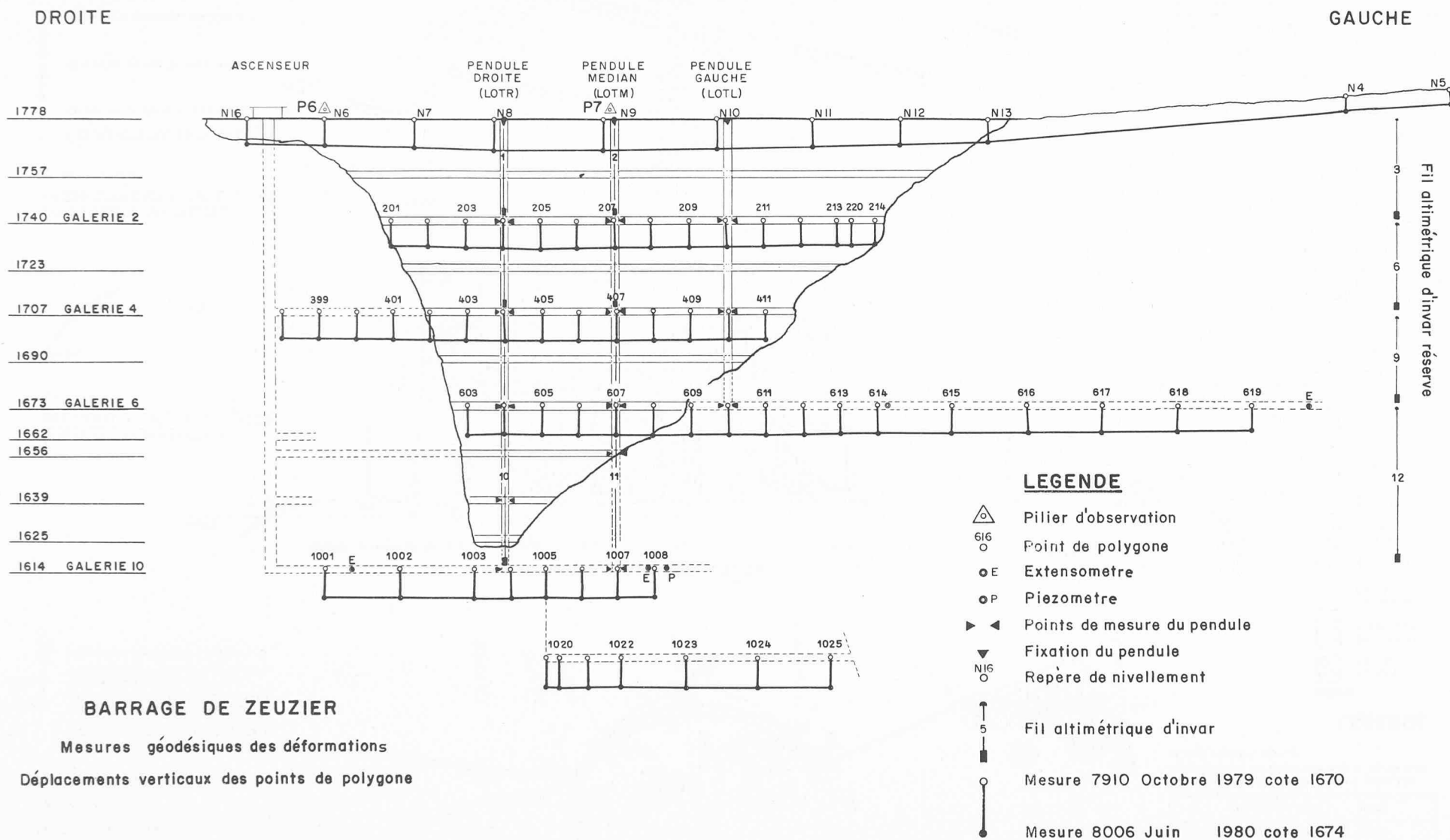


Fig. 4. — Vue développée de l'aval.

donc, à nouveau constatons l'absence de tassement dans la partie supérieure du Malm. Les extensomètres prouvent cette fois qu'il en est de même pour la partie inférieure. Le Malm s'est affaissé d'un bloc (fig. 4).

Par conséquent, les venues d'eau dans la galerie du Rawyl n'ont joué aucun rôle direct dans la déformation du Malm.

Reste la possibilité avancée dans le rapport Schneider que tout ou partie du tassement se soit produit au-dessous du Malm dans les terrains plus argileux du Dogger et de l'Aalénien, et cela jusqu'au niveau du tunnel et même plus bas, mais selon le même mécanisme «hydraulique» évoqué pour le tassement du Malm.

Remarquons tout d'abord que dans le Dogger et l'Aalénien les fissures aquifères sont rares et leurs débits faibles. Cette faible perméabilité fissurale s'accorde mal avec la rapidité des mouvements du site du barrage et n'explique plus la localisation des affaissements. Il ne faut pas perdre de vue que le tunnel est éloigné au minimum de 1,5 km et qu'un tassement, s'il avait lieu, devrait avoir un caractère plus général et décroître de la zone de la galerie en direction de Zeuzier, ce qui n'est pas le cas.

D'ailleurs, une telle baisse de pression s'est-elle produite sous le site du barrage? La réponse est négative. En effet, le sondage X3 qui explore le Dogger à l'aplomb de l'ouvrage y a trouvé de l'eau sodique sous pression (6 kg/cm² en tête de puits), alors que le gros du «tassement» s'était déjà produit et que, dans la galerie, les pressions d'eau étaient nulles depuis longtemps. Cette constatation est en contradiction directe avec l'hypothèse envisagée. Elle corrobore par contre notre opinion exprimée antérieurement — qu'il n'y a pas de véritables nappes aquifères, mais des fissures ou groupes de fissures aquifères isolées les unes des autres et que l'influence de la galerie ne s'est pas étendue jusqu'à Zeuzier.

Une liaison hydrologique entre le Dogger à l'aplomb du barrage et celui de la galerie du Rawyl paraît d'ailleurs à priori douteuse, parce que ce terrain affleure dans le vallon de la Liène entre ces deux localités.

De plus, signalons l'existence dans le lit de la Liène, peu au-dessus de son confluent avec l'Ertentse, d'une source sulfureuse alimentée par le réseau profond, connue depuis des années et qui n'a eu, semble-t-il, aucune influence sur les pressions dans la galerie et sous le barrage.

En conclusion, le mécanisme invoqué dans le rapport Schneider pour relier les déformations du barrage aux venues d'eau de la galerie ne peut être maintenu. Les deux phénomènes paraissent donc indépendants l'un de l'autre.

4. Coïncidence entre venues d'eau et mouvements des pendules du barrage

C'est cette «coïncidence» qu'il nous faut maintenant examiner. En octobre 1978, la galerie a rencontré une venue d'eau à 2760 et peu après la dérive anormale des pendules du barrage s'accéléra. Ce mois d'octobre 1978 fut donc considéré par les experts comme le début des mouvements. Mais il faut remarquer que les pendules n'enregistrent que les mouvements horizontaux du couronnement du barrage par rapport à sa base. Les mouvements verticaux leur échappent. Il convient donc de reprendre l'histoire du site et du barrage à partir de 1957, année de sa mise en eau.

- 1) Lors d'une secousse sismique, le 28 octobre 1965, deux petites sources sont apparues de part et d'autre de la galerie N° VI, avec de faibles débits (0,1 et 2,2 l/sec). La secousse avait donc ouvert dans la roche une casure ayant livré passage à l'eau.
- 2) En 1971, une fissure est apparue dans le tapis bitumeux de la digue, probablement en relation avec un mouvement du corps de cette dernière.
- 3) Entre les relevés E et F, soit vers 1972, soulèvement des points P5 et N5, soit de l'appui gauche de 4 mm par rapport à celui de droite.
- 4) Entre 1972 et 1976, on constate un affaissement du rocher à la base du barrage (points 8 et 9) de 7,4 et 9,5 mm et un déplacement de la console médiane (P7) de 2 mm vers l'amont (rapport résumé des mesures 1979-1981).
- 5) Par une analyse statistique des mouvements des pendules, MM. H. et O. Gicot démontrent que les mouvements anormaux de l'ouvrage sont déjà décelables entre la mi-novembre 1977 et le début de janvier 1978.
- 6) A la fin de septembre 1978, libération dans le Malm d'une source d'un débit initial de 200 l/sec et en octobre reprise de la dérive, donc de la déformation du barrage.
- 7) Le 20 décembre, sans relation visible avec une autre venue, la courbe de la dérive du pendule, donc de la déformation de l'ouvrage, s'accélère. Cela marque peut-être le début de la fissuration du mur. Les poussées des appuis partiellement libérées de la résistance du barrage vont développer tous leurs effets, d'où le déplacement plus rapide du pendule et la forme irrégulière de la courbe au fur et à mesure de l'apparition de nouvelles fissures. Ce point a été traité dans le rapport du prof. Descoedres du 22 décembre 1980, p. 5 (fig. 5).

- 8) Actuellement, les mouvements paraissent se calmer. Mais nous ne pensons pas que ce soit définitif.

Nous constatons que la déformation de la région a débuté par un certain nombre de petits mouvements sans rapport avec les travaux souterrains, cela avant les déformations de fin 1978 et 1979, et qui les annoncent.

De nombreux phénomènes naturels sont des phénomènes «à seuil». Ainsi, certains éboulements se préparent pendant des années imperceptiblement, puis un jour, le seuil de stabilité étant dépassé, ils se déclenchent brusquement. On peut penser qu'il en est ainsi dans le cas du barrage de Zeuzier; alors la déformation du barrage et les venues du Malm seraient par hasard simultanées et cela restera une simple coïncidence tant qu'une relation de cause à effet n'aura pas été établie entre ces deux phénomènes. A notre avis, c'est au contraire leur indépendance qui paraît démontrée.

5. Recherche des causes des déformations du verrou de Zeuzier

Les raisons évoquées dans les chapitres précédents rendant inacceptable le modèle proposé par les experts, c'est dans une autre direction que doit s'orienter la recherche des causes des déformations du verrou de Zeuzier.

On remarque que le lieu où ces déformations sont les plus fortes coïncide avec le site même du barrage. C'est donc là qu'il faut en chercher les causes; ce sera l'objet des lignes suivantes.

5.1 Asymétrie de la morphologie et de la structure du verrou de Zeuzier

Au point de vue morphologique, la Liène a creusé dans l'étroit verrou de Zeuzier une gorge asymétrique. Le versant droit de la gorge est fortement penté, presque vertical vers le bas, alors que le flanc gauche, plus régulier, l'est moins (environ 45°).

Géologiquement, la ride ou verrou de Zeuzier est déterminée par la présence d'un anticlinal de Malm à flanc NW vertical, localement chevauchant, que coupe une série de failles perpendiculaires à son axe, dont le côté NE est relevé par rapport au compartiment SW. L'une de ces failles (FII du rapport Schneider) passe dans l'axe de la gorge et du barrage. Elle sépare ainsi l'anticlinal en deux segments différents l'un de l'autre:

- Dans le segment de droite, la voûte anticlinale est complète. Son flanc SE est subdivisé en deux blocs par une double faille EW. Ces deux blocs, d'après les données de la télé-détection, sont plus ou moins désolidarisés l'un de l'autre.

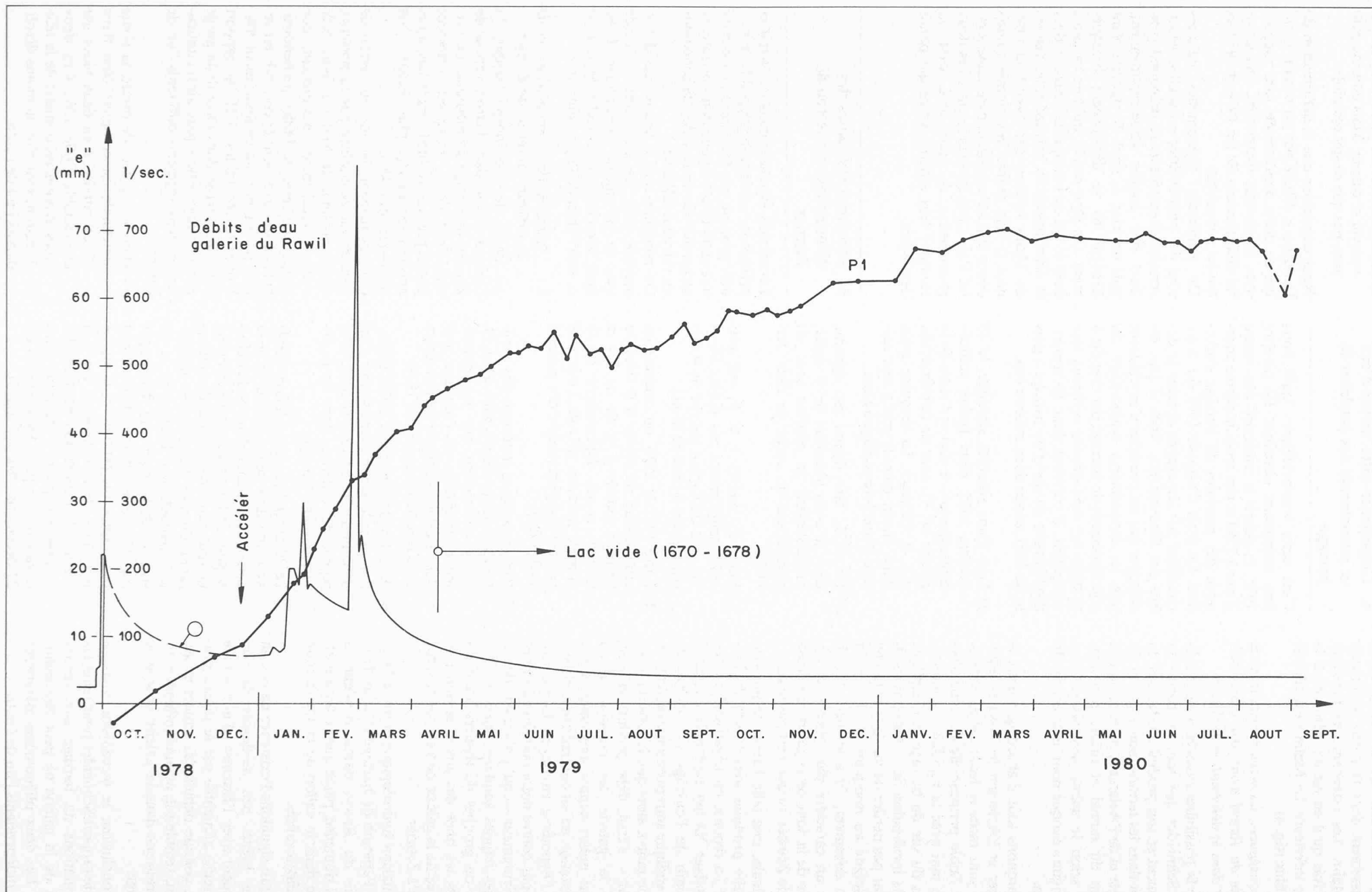


Fig. 5. — Rawyl. Excédent des déformations au couronnement du barrage, console M.

— Dans le segment de gauche, l'anticlinal de Malm est réduit à son seul flanc NE. L'autre a disparu, enlevé par les éboulements et l'érosion.

Cette asymétrie se retrouve dans le détail de la structure des appuis du barrage.

En plus de ces grands traits structuraux, on note un grand nombre de diaclases, des bancs décollés des bancs voisins, etc., ce qui confère à ce massif de Malm une relative fragilité.

5.2 Remarques sur la déformation du verrou de Zeuzier

Dès le début de 1979, MM. Gicot, ingénieurs, avaient déduit de l'étude des mouvements des pendules qu'un déplacement de l'appui droit vers la gauche, particulièrement de sa partie haute, s'était produit.

Cette conclusion a été corroborée par les mesures géodésiques qui ont montré que les déplacements horizontaux dans le haut du secteur droit atteignaient, à fin 1979, 22 à 28 mm, alors qu'ils n'étaient que de 12 à 16 mm du côté gauche.

D'autre part, la rive gauche s'affaisse plus rapidement que la rive droite, ainsi que le démontre la figure 6, où sont reportés les affaissements de juillet à octobre 1979 (fig. 6).

Tout se passe donc durant cette première année de déformations, comme si le bloc de droite basculait vers le NE et venait, le long de la faille FII, surcharger le compartiment de gauche, d'où l'enfoncement plus rapide de ce dernier. Cette tendance s'est poursuivie en 1980. On voit donc que l'asymétrie des mouvements entre les deux rives reflète celle de la structure et de la topographie. La liaison entre ces trois ordres de phénomènes ne saurait être fortuite.

Les experts ont interprété tous les mouvements verticaux de la région de Zeuzier comme des affaissements. La possibilité de soulèvements a été écartée sans discussion; cela paraît d'autant plus bizarre que l'on sait de façon certaine que les Alpes dans leur ensemble se soulèvent. Cette montée générale de la chaîne n'est pas uniforme; des nivellements de précision effectués dans le tunnel du Gothard ont montré que certaines zones se soulevaient alors que d'autres s'affaissaient. Il en est peut-être de même de Zeuzier, dont la structure est plus hétérogène que celle du Gothard. Il faut remarquer ici que des mouvements verticaux positifs sont incompatibles avec le modèle proposé par les experts; on comprend donc pourquoi ils ont été écartés.

Un autre domaine très instructif est celui des variations de distance. Deux longueurs ont été régulièrement contrôlées depuis 1979: celle qui sépare les points P1 (rive droite) de P2 (rive gauche) situés aux extrémités du verrou de Zeu-

zier et distants de 924 m et celle qui sépare les points P4 (rive droite) et P5 (rive gauche), situés de part et d'autre de la gorge, distants de 173 m (fig. 7).

La vitesse de diminution de la distance P1-P2 est environ le double de celle de P4-P5. De mai 1979 à août 1980, elle a été de 30 mm pour P1-P2 et de 16 mm pour P4-P5. Autrement dit, la vallée tend à se fermer plus vite que la gorge. D'autre part, le déplacement de la rive droite est supérieur à celui de la rive gauche. A mon avis, cela ne peut s'expliquer que par une composante de la poussée tectonique venant du SW vers le NE. On retrouve donc la même asymétrie, mais à plus grande échelle que celle signalée précédemment.

5.3 Les causes

Les déformations du site de Zeuzier résulteraient, d'après le rapport Schneider, d'une cause unique: les venues d'eau libérées par la galerie du Rawyl. Nous pensons au contraire que les causes efficientes sont multiples, sans qu'il soit possible d'établir parmi elles une hiérarchie. Trois d'entre elles me paraissent particulièrement importantes:

- la tectonicité élevée de la région
- l'état du site de Zeuzier
- l'influence sur le site de l'alternance des remplissages et des vidanges du lac.

a) La tectonicité élevée de la région

Les tensions internes qui subsistent dans quelques zones de l'écorce terrestre provoquent en profondeur des déplacements de matière souvent accompagnés de tremblements de terre. La sismicité nous renseigne donc sur l'activité tectonique. Elle est très élevée dans le Valais central. On y a recensé en 1946 517 tremblements de terre, dont trois secousses importantes. Cette sismicité varie d'une année à l'autre.

Les mouvements profonds, qui ne sont pas nécessairement accompagnés de séismes, se traduisent en surface par des déformations qui passent généralement inaperçues, mais que des mesures géodésiques précises peuvent mettre en évidence. Ce fut le cas du Valais central, où la comparaison des nivellements 1924-1927 et 1947 ont montré des affaissements importants par rapport au point 513 de Granges, choisi arbitrairement comme référence. On a mesuré des affaissements atteignant 9 cm à Montana, 16 à Randogne, 3 à Sion, 5 à Flanthey, 2 à Lens, 6 à Icogne, etc.

On sait que dans le plissement des Alpes, les mouvements verticaux ne sont qu'une conséquence du serrage de la zone alpine entre les masses continentales ou «plaques» africaine et européenne, donc des mouvements horizontaux. Ces derniers sont difficiles à mettre en évidence et ne l'ont pas été

dans le cas ci-dessus. Mais il est possible que les points de ce nivellement aient aussi subi des déplacements vers le NNW, soit selon le sens des mouvements alpins dans ce secteur de la chaîne. A Zeuzier, ces mouvements sont responsables du raccourcissement du segment P1-P2.

La zone tectoniquement active s'étend vers le N et inclut la «zone du Wildhorn» de Pavoni qui accompagne de part et d'autre une faille importante qui peut se suivre du Châble-Court au Sex-Mort en passant par le vallon des Andins. La région de Zeuzier appartient à cette zone; on doit donc admettre que dans son sous-sol règnent des tensions importantes capables de déterminer des déformations profondes, dont les directions et l'intensité seront influencées en surface par les structures géologiques et la morphologie.

b) L'état du site de Zeuzier

Nous avons décrit en 5.2 les conditions topographiques et géologiques du verrou de Zeuzier, en insistant sur l'asymétrie des compartiments droit et gauche séparés par la faille FII. Cette asymétrie se retrouve dans les mouvements de surface, ce qui prouve l'importance des conditions topographiques et structurales dans les déformations observées.

Je ne m'appesantirai pas sur l'abondance des failles et des diaclases qui zèbrent les calcaires du Malm, ni sur les décollements de couches décrits dans un de mes rapports, signes évidents de la décompression de la structure de Zeuzier.

Cet ensemble de faits met en évidence la fragilité du site de Zeuzier, peu propice à recevoir un barrage de cette importance.

c) L'influence sur le site de l'alternance des remplissages et des vidanges du lac

L'alternance de remplissages et de vidanges de la retenue a joué un rôle important. Lorsqu'on remplit la retenue, on crée en amont du barrage une surcharge de 50 millions de tonnes; l'eau exerce d'autre part une pression non négligeable sur la partie centrale de la ride de Zeuzier; elle provoque aussi une poussée sur le barrage avec une dérive du pendule médian atteignant, paraît-il, jusqu'à 2 cm. Le barrage transmet cette poussée à ses appuis selon des directions obliques sur les couches. Il en résulte des déformations des appuis, qui préfigurent celles beaucoup plus importantes de 1978-1980.

L'annexe b du rapport AB du Service topographique fédéral (janvier 1962) donne les mouvements de quelques points du rocher entre la mesure A de mai 1961 (cote du lac 1709 m) et celle B de septembre de la même année (cote du lac 1777 m). On constate que tous les points (5, 10, 9) se sont déplacés à peu près comme ils le feront en 1979; sauf le

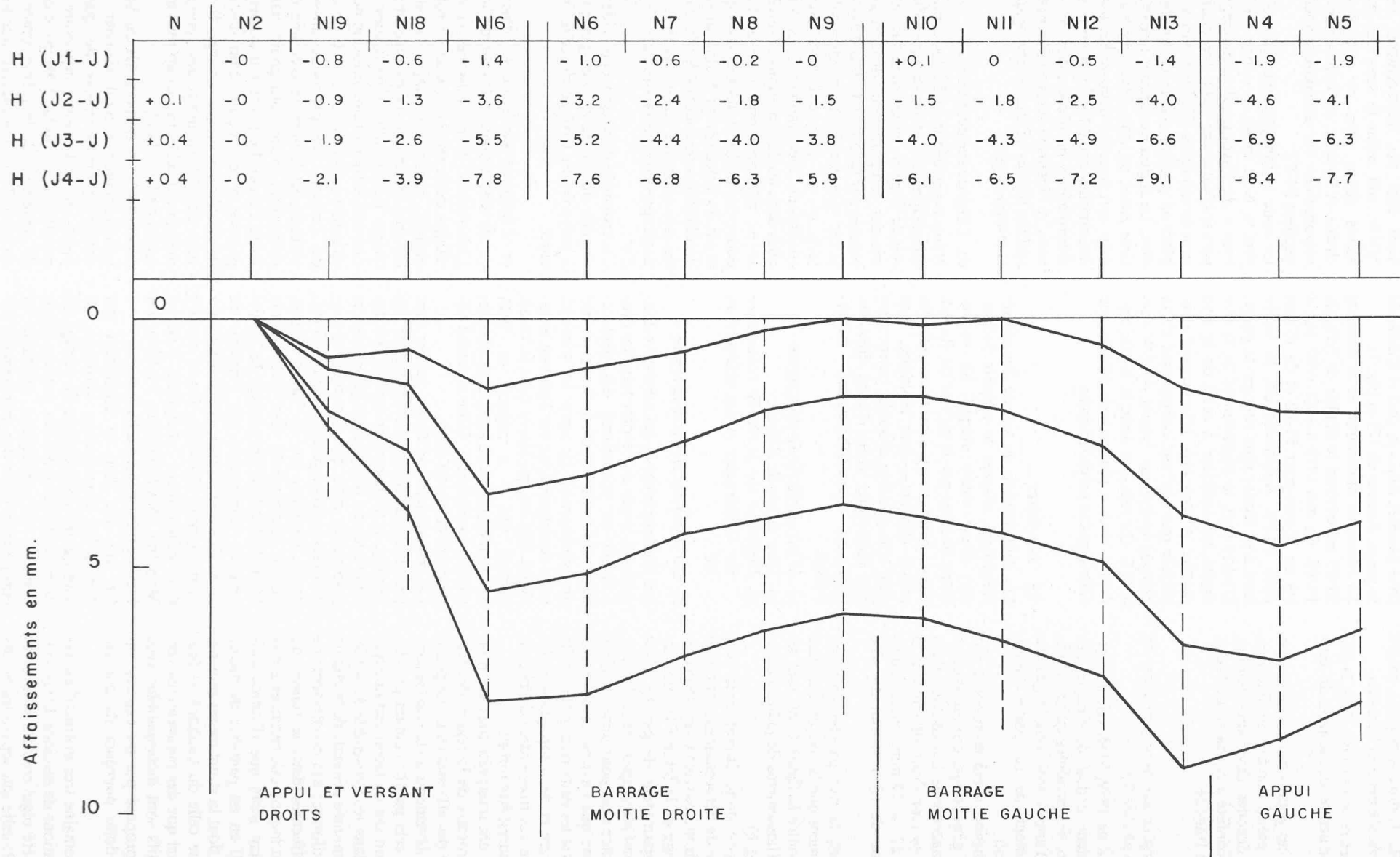
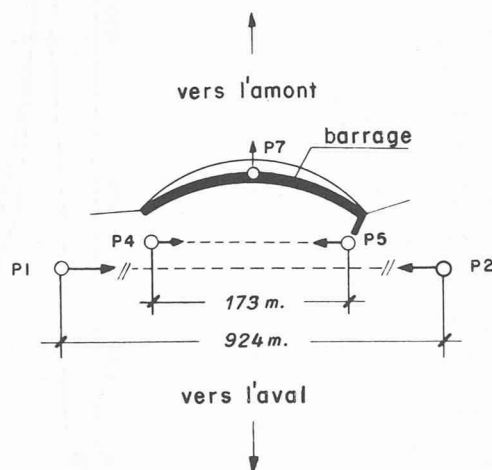
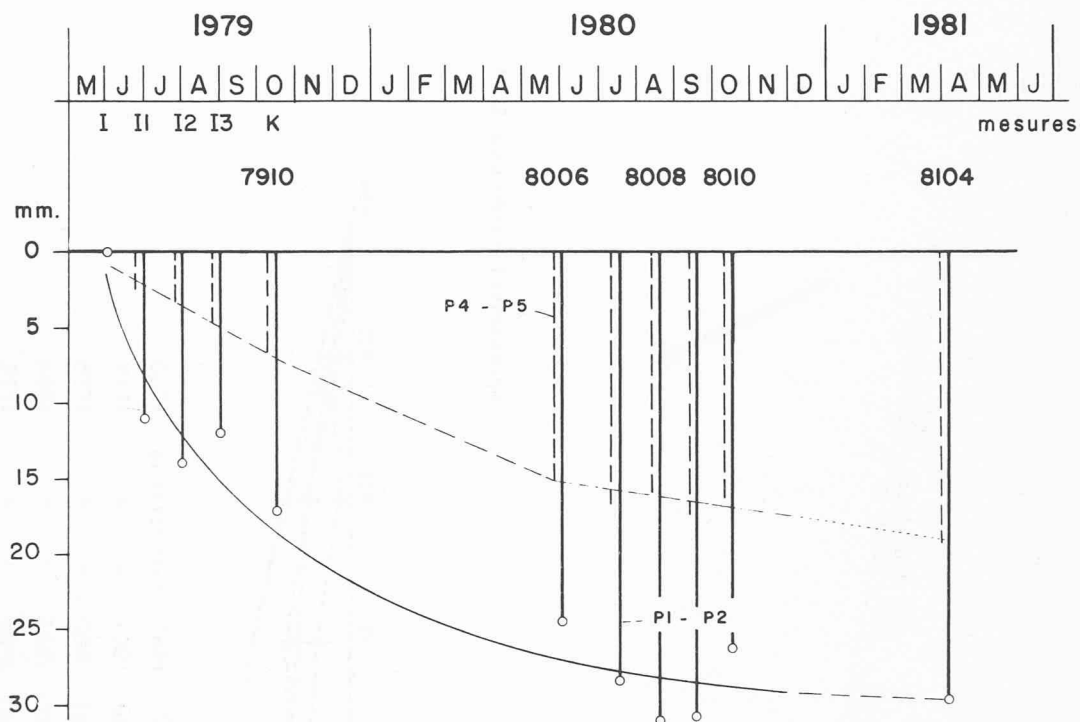


Fig. 6. — Mini-mesures J, juillet-octobre 1979.



Déplacement radial géodésique du P7

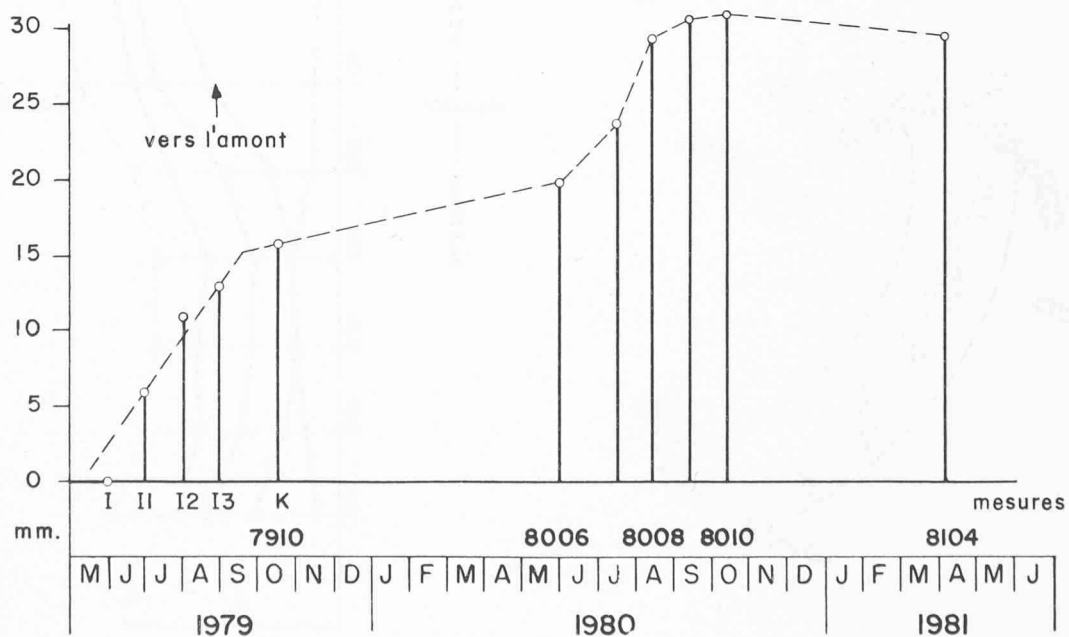


Fig. 7. — Diminutions des distances P1-P2 et P4-P5.

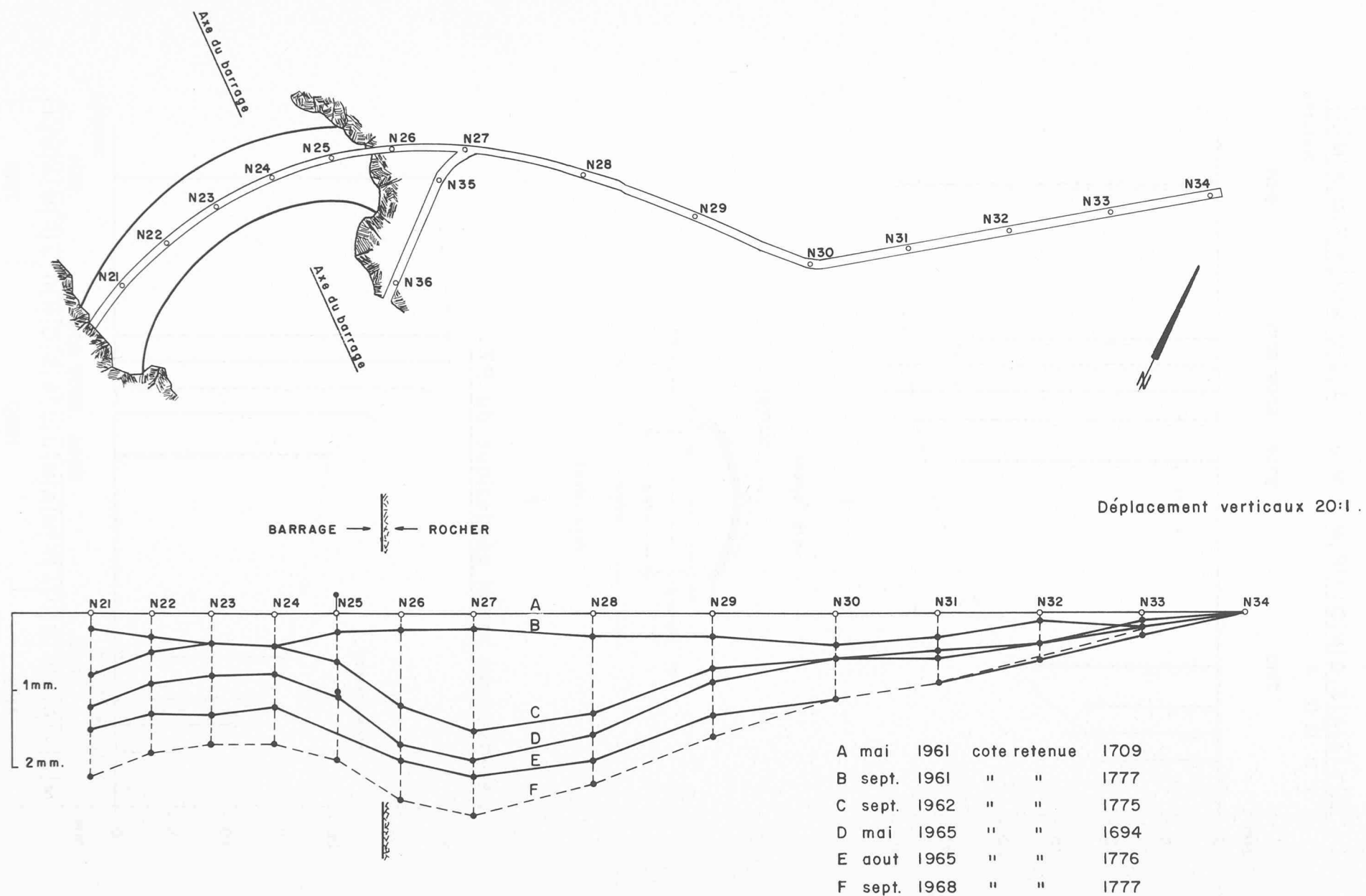


Fig. 8. — Galerie No VI, cote 1673.2, situation.

P4 qui s'est faiblement éloigné de la gorge.

Une autre donnée extrêmement intéressante est fournie par le rapport du Service topographique fédéral de février 1969. Il concerne les nivellements de la galerie N° VI, le point 34 du fond de la galerie étant supposé fixe. On constate d'abord que la déformation est tout à fait du même type que celle de 1978-1980 (fig. 8) et ensuite que la déformation n'est pas entièrement élastique. En comparant au point N27 B et F, C et E, on constate qu'avec le temps la déformation a augmenté de 0,6 mm.

Le mécanisme de ces déformations est clair. Le poids de l'eau de la retenue provoque un affaissement selon l'axe de la Liène. Cet enfoncement entraîne un déplacement des points vers la gorge que tend à contrebalancer la poussée du barrage sur ses appuis. Cette dernière suffit à repousser vers l'extérieur l'appui de droite, plus instable que le gauche. Les mouvements du et dans le rocher ne sont pas complètement élastiques. Après chaque remplissage, une petite déformation permanente subsiste, due au fluage ou plus probablement au réajustement des diaclases. Ainsi le massif rocheux évolue.

Entre 1972 et 1976, les déformations deviennent sensibles en surface; elles s'accroissent en 1976 avec des affaissements de 7,4 et 9,5 mm au pied du barrage, de 2-3 mm dans les hauts avec *dérive vers l'amont du pilier 7*, axe du couronnement (voir rapport Egger, résumé mai 1979-avril 1981).

En hiver 1977-1978, le barrage commence à se déformer. Son mouvement freiné par le remplissage de la retenue

va se développer rapidement dès l'automne 1978. Dès lors, le verrou de Zeuzier va poursuivre son évolution, aidé par la tension tectonique locale, à la recherche d'un nouvel équilibre qui, en 1981, n'est pas encore atteint.

Ces importants mouvements de surface doivent être liés à des déplacements de matière en profondeur. Je pense que l'Aalénien, dont la plasticité a été démontrée par son comportement dans la galerie du Rawyl, peut fort bien avoir joué ce rôle compensateur.

d) Autres facteurs

D'autres facteurs moins importants ont joué un rôle dans les déformations de la région ou du barrage. Parmi eux, j'en citerai deux:

- 1) La gravité qui tend à entraîner les masses rocheuses vers le bas et qui provoque une lente poussée au vide des versants.
- 2) Une cause climatique. On remarque en effet un curieux comportement de la *courbe corrigée* du déplacement de la console médiane située au centre du couronnement. Durant l'été 1979, la dérive du pendule est nulle; elle tend même à régresser légèrement. De septembre 1979 à mars 1980, le mouvement vers l'amont reprend, provoquant un déplacement d'environ 1,5 cm. Puis le mouvement de la console cesse durant l'été, pour reprendre d'octobre 1980 à février 1981, avec un déplacement d'environ 1 cm. La cause de ce phénomène n'est pas évidente.

Ces déformations de l'ouvrage coïncident avec la saison froide. Il en est de

même des premiers mouvements du barrage qui ont eu lieu durant l'hiver 1977-1978 et également des forts déplacements de 1978-1979.

6. Reprise du creusement de la galerie du Rawyl

En ce qui concerne le barrage, les risques causés par une reprise du creusement sont très faibles parce que:

- 1) on s'éloigne du pli-faille de Zeuzier
- 2) la tectonique est moins violente
- 3) les dernières sources recoupées n'ont pas eu d'effet sur la stabilité du barrage.

En ce qui concerne le lac, son étanchéité semble assurée dans sa plus grande partie par une forte couverture de Valanginien marneux. Par contre, le Malm affleure plus en amont, dans la partie haute du lac (pli de la montagne) où la pression de l'eau sera faible. Il est donc peu probable qu'une relation puisse s'établir entre la retenue et la galerie. Cependant, on continuera comme par le passé à avancer avec prudence en éclairant l'avancement par des forages de reconnaissance et en prenant toutes les dispositions pour contrôler immédiatement les venues, en mesurer la pression, le débit, le chimisme et la température. En se basant sur ces données, on pourra prendre les décisions qui s'imposent.

Adresse de l'auteur:
Héli Badoux, professeur
Chemin de la Vallombreuse 43
1004 Lausanne

Postface

On le sait, le Conseil fédéral s'est rangé à l'avis de ses experts; estimant établie la relation entre les dégâts du barrage de Zeuzier et la galerie de sondage, il a mis fin aux travaux dans cette dernière.

Cette décision a deux aspects:

1. Le tracé prévu pour la route du Rawyl est condamné. Il est trop tôt pour dire quelle sera la solution de rechange prévue. Les commentaires faits par certains fonctionnaires fédéraux ne sont pas encourageants et donnent l'impression que l'on accepte avec beaucoup de facilité, à Berne, l'idée que soit condamnée une liaison autoroutière à l'épreuve de l'hiver entre le Valais et le Plateau suisse.

Nous connaissons assez nos amis valaisans pour savoir qu'ils ne s'avouent pas si facilement battus. Attendons donc de voir quelles propositions ils soumettront, forts de

l'appui de la commission Biel, peu suspecte de favoritisme à l'égard du Vieux Pays.

2. Le sentiment que l'on peut avoir de la justice est choqué par le caractère irrévocable et apparement partial de la décision du Conseil fédéral (qui a suivi son administration). En effet, il semble que le point de vue exposé ci-dessus avec compétence et conviction par le professeur Héli Badoux a été délibérément ignoré. Sans vouloir juger de l'exactitude des conclusions émises dans cet article, nous pensons qu'il est regrettable de les rejeter sans appel.

Le refus opposé par le responsable de la sécurité des grands barrages à notre offre d'une information dans nos colonnes ne contribue en rien à dissiper ce malaise. Les choix, dans les domaines techniques et scientifiques, doivent découler de la discussion ouverte des hypothèses, des faits et des arguments qui en découlent.

Dans le cas qui nous occupe, il est difficile de se débarrasser de l'impression que la discussion est indésirable, et inutile lorsqu'elle est inévitable, par le fait du prince.

A moins d'un revirement fort aléatoire, on ne saura jamais où est le vrai: la seule preuve objective et irréfutable d'une relation causale entre les dommages observés sur le barrage et les sondages de la N6 aurait pu être obtenue en poursuivant avec prudence les seconds, moyennant une surveillance minutieuse du premier à l'aide de l'instrumentation disponible aujourd'hui; le risque couru serait minime, la réponse inattaquable. *Quelle* preuve craint-on donc?

Il est navrant de voir nos autorités devoir assumer de telles responsabilités en étant privées du conseil d'experts extérieurs à l'administration.

Jean-Pierre Weibel