Venue d'eau importante dans une galerie d'adduction de Roselend et moyens employés pour y faire face

A major inflow of water in a supply tunnel at Roselend
and the means employed to deal with it

PAR C. PAISANT,

INGÉNIEUR A LA R.E.H. ALPES-II

Difficultés prévues par l'étude géologique et rencontrées au cours des travaux dans une série d'écaillés triasiques broyées et saturées d'eau, au contact de la nappe de l'Embrunais et de la zone dauphinoise, traversées par la galerie destinée à dériver les eaux du bassin de l'Ormente et du torrent du Cormet d'Arèches dans la retenue du barrage de la Chapelle-Saint-Guérin : remblaiement de la galerie sur 135 m à l'attaque aval, côté Saint-Guérin et venue d'eau consécutive de 300 à 400 l/s, entraînant l'arrêt de l'attaque.

Obturation du fond de la galerie par un bouchon équipé d'un système de décharge avec dissipateur d'énergie et capable de résister à une forte charge (43 kg/cm²) et de permettre le revêtement à sec des 3 600 m de galerie déjà perforée.

Décharge complète du terrain à l'aide du dispositif équipant le bouchon et grâce à l'amélioration des conditions d'écoulement obtenue par la réalisation du revêtement (en particulier radier avec cunette). Reprise de l'avancement de la galerie.

Difficulties forecast by the geological survey and later encountered during work in a broken-up waterlogged Triassic shaly series which is in contact both with the main water table in the Embrun and Dauphiné regions, through which the tunnel diverting water from the Ormonte basin and Cormet d'Arèches torrent into the Chapelle-Saint-Guérin runs. Backfilling of the downstream (Saint-Guérin) end of the tunnel over a length of 135 m. Occurrence of a 300-400 litre/sec. inflow, which brought all tunnel boring work to a standstill.

Sealing of the tunnel head with a plug featuring a relief system and energy dissipation arrangements. This plug was designed to withstand pressures up to 43 kg/sq.cm and enabled the 3,600 m length of tunnel already drilled to be lined under dry conditions.

The relief system and the improved flow conditions due to the tunnel lining (especially the invert and its gutter) were so effective in relieving the load on the surrounding ground that tunnel boring operations could be resumed.

Les accidents géologiques que l'on a rencontrés au cours de la perforation des 60 km de galerie de l'aménagement de Roselend, sans être très nombreux, se sont à chaque fois présentés dans des conditions différentes. La conduite à tenir devant chacun d'eux, tout en étant réglée par le principe de l'économie, a dû être adaptée dans tous les cas.

La présente communication est une simple description des mesures prises dans un cas particulier, compte tenu des circonstances, pour

surmonter les difficultés créées par l'un de ces accidents.

Après avoir décrit sommairement la situation géologique et les circonstances de cet accident, nous exposerons les méthodes adoptées pour permettre à l'Entreprise de poursuivre son travail dans des conditions satisfaisantes et, en particulier, l'appareillage mis au point à cet effet. Nous terminerons, enfin, en donnant quelques indications sur l'état actuel d'avancement des travaux.

SITUATION ET GÉOLOGIE

L'adduction de l'Ormente collectera les eaux de ce bassin, affluent rive droite de l'Isère, et les dérivera dans la retenue du barrage de la Chapelle-Saint-Guérin, lui-même en communication avec la retenue de Roselend. Trois prises d'eau sur l'Ormente et sur ses deux affluents, la Portette et le torrent du Cormet d'Arèches, capteront environ 30 millions de mètres cubes d'eau provenant d'un bassin versant de 29,25 km². La galerie, longue de 9 600 m, traverse une région à la géologie assez complexe.

Plusieurs études détaillées, celle du Professeur Schoeller et celles des géologues du Service Géologie d'Electricité de France, avaient permis d'identifier, en schématisant, de l'est à l'ouest :

- * — le houiller de la nappe briançonnaise;
- les conglomérats de la Tarentaise, zone extrêmement variée, synclinaux et anticlinaux se succédant et présentant un échantillonnage de terrains très divers : quartzites, dolomies, cargneules et gypses du Trias, schistes noirs, conglomérats, flysch schisto-gréseux;
- la zone liasique dauphinoise;
- entre les conglomérats de Tarentaise et la zone liasique dauphinoise, une zone d'écaïlles.

De l'avis des géologues, la zone des écaïlles constituait l'accident majeur pouvant présenter, pour la galerie, les complications les plus sérieu-

ses : terrains très laminés, broyés avec venues d'eau importantes.

L'existence de cette « zone des écaïlles » conduisait à rejeter la solution directe vers la retenue de Roselend, solution suivant laquelle la galerie aurait recoupé en biais, sur une grande longueur, la zone dangereuse.

Enfin, précisons que cette difficulté se situait au milieu des 7 300 m du tronçon le plus long, de la galerie d'amenée, desservi par les attaques de Saint-Guérin et du Cormet d'Arèches.

Au début de 1959, l'attaque de Saint-Guérin démarrait dans les schistes du Lias, roche extrêmement feuilletée, plastique, mais d'une tenue suffisante, et se poursuivait sans incident pendant les campagnes 1959 et 1960. Dès l'approche de la zone des écaïlles, vers le PM 2200, une protection par sondage à l'avancement, ce que nous avons appelé les « sondages du dimanche », permettait de reconnaître en permanence une couverture horizontale de l'ordre de 25 m. Ce dispositif renforcé par des sondages longs, dont certains atteignirent 300 m, permit de reconnaître plusieurs coupes d'anhydrite se présentant d'ailleurs sous une forme parfaitement sèche. Le passage de ces lentilles d'anhydrite ne souleva aucune difficulté particulière et nous avons ainsi confirmation de l'opinion émise par le Professeur Farran sur le comportement de ce matériau en profondeur.

COUPE GEOLOGIQUE

Fig. 1

L'INCIDENT DU 3 FÉVRIER 1961

Le 3 février 1961, l'avancement était au PM 3695. Un sondage horizontal au marteau lourd avait atteint le PM 3715,50. Ce sondage était resté dans les schistes. Néanmoins, dès la première volée (PM 3697), la galerie était remblayée sur 135 m et une venue d'eau, évaluée à 400 l/s, se stabilisant dans les jours suivants à 300 l/s environ, interrompait l'avancement. L'accident triasique était incliné de l'aval vers l'amont et le coin de schistes, trop mince, qui

séparait le toit de la galerie de la zone écrasée aquifère, n'avait pu résister à la pression.

Un sondage de reconnaissance ultérieur, poussé à partir d'un rameau de galerie, a permis d'atteindre l'accident triasique et de reconnaître sa nature. Après une succession d'écailles de Houiller, de Permien et de Trias, dans un ordre quelconque, la zone écrasée et aquifère est composée de cargneules sableuses, d'argile, de quartzites, de schistes verts, etc.

PREMIÈRES OBSERVATIONS

Lors des accidents similaires déjà rencontrés, en particulier lors de la perforation des adductions amont de Roselend : galerie des Chapieux, deux fois à la galerie du Versoyen, etc., les débits d'eau en galeries étaient relativement faibles ou bien décroissaient assez rapidement; en particulier la deuxième venue d'eau du Versoyen qui, au moment de l'accident, atteignait 6 m³/s, avait décréu jusqu'à 180 l/s seulement.

Nous espérions ici être dans une situation semblable et voir, après quelques jours ou quel-

ques semaines, le débit de venue d'eau diminuer sensiblement et permettre une reprise normale des travaux. Contrairement à nos prévisions, le débit se stabilisa remarquablement à une valeur à peine inférieure au débit initial (300 l/s). A noter qu'un débit continu de 300 l/s correspond, dans la région, à un bassin versant d'environ 5 à 10 km², superficie qu'il est difficile de situer sur les versants dominant la galerie, d'autant plus qu'aucune modification appréciable ne fut enregistrée, à cette époque, dans le régime du réseau hydrographique de surface.

CHOIX DES OBJECTIFS ET DES MOYENS

Quelques semaines après la date de l'accident, nous nous trouvions devant la situation suivante :

- l'attaque de Saint-Guérin était perforée sur 3 697 m, dont 135 m étaient remblayés. Sur cette longueur, 3 000 m environ nécessitaient un revêtement. Le point atteint par cette attaque correspondait sensiblement à la longueur prévue au marché de cette galerie;
- en face, l'attaque du Cormet d'Arêches était perforée sur 1 800 m et le bétonnage, dans les

parties nécessitant un revêtement, avait déjà été exécuté.

Trois solutions se présentaient pour réaliser les 1 200 m de galerie restant à perforer :

- soit forcer le passage, comme on l'avait déjà fait dans d'autres cas, mais le problème du trafic dans une galerie de petit diamètre, avec une venue d'eau de 300 l/s, était difficile à résoudre;
- soit abandonner l'attaque de Saint-Guérin jusqu'à la percée, puis envoyer les eaux vers

le Cormet d'Arêches au moyen d'un batardeau et exécuter ensuite le bétonnage du tronçon Saint-Guérin;

- soit bétonner la galerie côté Saint-Guérin et, en améliorant l'écoulement en radier, rétablir des conditions de trafic normales permettant la reprise ultérieure de la perforation, pour passer l'accident, si l'avancement de la galerie de l'Ormente le nécessitait.

C'est cette dernière solution qui a été choisie, mais le bétonnage en galerie, avec un débit de 300 l/s débordant largement de la cunette déjà exécutée, impliquait des délais plus longs, des prix plus élevés et des difficultés d'exécution rendant plus aléatoire la qualité des bétons de revêtement. C'est la raison pour laquelle nous avons envisagé l'exécution d'un bouchon provisoire arrêtant les venues d'eau et permettant à l'Entreprise de travailler dans des conditions normales; ce bouchon devait être exécuté le plus rapidement possible, le chantier étant pratiquement arrêté.

Les conditions dans lesquelles s'était produit l'accident, en particulier la rupture du coin de schistes d'une épaisseur relativement importante, ainsi que l'étude de la topographie de surface, pouvaient laisser supposer que le bouchon aurait à supporter une charge considérable et il

n'était pas exclu que cette charge puisse atteindre 70 à 80 kg/cm².

D'autre part, il paraissait dangereux de réaliser une obturation définitive et une remise en pression du terrain sans aucune possibilité de contrôle ou de limitation des pressions; le problème de la décharge se posait d'ailleurs, de toute façon, pour la reprise ultérieure de l'avancement. En effet, le sautage du bouchon au fond d'une galerie de près de 4 km présentait de gros aléas et la décharge d'un dispositif supportant de telles pressions ne pouvait s'effectuer avec de simples vannes débouchant à l'air libre. Notons, au passage qu'un orifice de 100 mm de diamètre, avec une charge de 50 kg/cm², met en jeu une puissance de l'ordre de 4 000 kW. Il devenait nécessaire de mettre en place un système de vidange comportant un dissipateur d'énergie. Ce dissipateur devait être conçu pour fonctionner d'une façon continue, soit dans le cas où la pression monterait au-dessus des 50 kg/cm² que nous nous étions fixés comme limite de sécurité, soit pour décharger le terrain pendant les arrêts de bétonnage. La puissance de dissipation de cet appareil, en admettant invariable le débit de 300 l/s et une charge de 500 m, atteignait la valeur de 1 500 kW environ, puissance non négligeable.

DESCRIPTION DES OUVRAGES ET APPAREILS

Le 17 avril 1961, Electricité de France remettait à l'Entreprise les premiers plans du bouchon, pendant que l'on recherchait les vannes nécessaires et que commençait l'étude des déchargeurs.

Les qualités mécaniques assez médiocres des schistes dans toute la zone précédant l'accident nous ont amenés à concevoir un bouchon long sollicitant assez peu le rocher. Les dispositions finalement adoptées furent les suivantes : un bouchon de 6 m de long, prolongé à l'aval par un anneau de béton de 15 m de longueur et de 30 cm d'épaisseur sur pointes, pour un diamètre intérieur de 2 m. Cet anneau était destiné à augmenter l'adhérence et à permettre le traitement par injections du bouchon proprement dit.

Pendant le bétonnage, un blindage de 500 mm de diamètre intérieur traversant le masque laissait passer le débit d'apport. Cet orifice devait être obturé, au moment de la mise en pression, par un fond plein boulonné.

Des déchargeurs d'une puissance analogue à celui qui nous était nécessaire sont utilisés assez

souvent dans des installations industrielles, en particulier pour la vidange des conduites forcées. Mais les délais qu'aurait demandés un constructeur étaient évidemment incompatibles avec la nécessité de rétablir le plus rapidement possible des conditions normales sur ce chantier. Nous avions l'avantage d'avoir, sur place, grâce à l'Entreprise exécutant les travaux de cette galerie, des moyens de travail et, en particulier, un atelier possédant un équipement qu'il est peu courant de trouver en pareil cas. Ces moyens nous permettaient de construire rapidement l'appareil nécessaire, à condition de prévoir un système simple et ne demandant pas de longs usinages.

Tous les systèmes « destructeurs d'énergie » sont plus ou moins basés sur le même principe. On provoque une mise en vitesse locale de l'eau, suivie d'un élargissement brusque créant une perte de charge à la Borda. Au droit de cette mise en vitesse, il y a, à la fois, abaissement de la pression et, en même temps, augmentation de la hauteur cinétique. Comme il y a, en plus, for-

mation de tourbillons, il est nécessaire d'examiner le problème de la cavitation si l'on veut éviter des chocs et des vibrations dangereuses. Pour réaliser une chute de pression importante, on est amené à procéder par paliers successifs et à adopter un dispositif à étages. D'autre part, le passage de l'eau à travers les diaphragmes provoque une réaction dont il y a lieu de tenir compte pour la stabilité de l'appareil.

Inspiré d'un appareil réalisé pour la vidange de la conduite forcée de Montpezat, le dissipateur que nous avons exécuté à l'Ormente était suffisamment simple pour être construit avec les moyens du bord, c'est-à-dire, dans l'atelier de l'Entreprise de génie civil. Il comporte quatre étages identiques constitués chacun principalement par un cylindre extérieur de 500 mm de diamètre et un cylindre intérieur concentrique

COUPE LONGITUDINALE DU BOUCHON

A. ELEMENT AMONT

B. ELEMENT MEDIAN

C. ELEMENT AVAL

COUPE 1-

EQUIPEMENT DES TUBAUTERIES

- A 1 fond plein
- B 1 vanne $\varnothing 100$
- C 1 vanne $\varnothing 100$ + 1 dissipateur

FIG. 2

de 250 mm de diamètre, fermé à l'amont par un cône et percé d'un grand nombre de trous de petit diamètre (156 trous de 10 mm). Cette disposition, réalisant une auto-destruction de l'énergie, améliore le rendement de l'appareil et les réactions dues au passage de l'eau à travers les trous s'exercent radialement et s'annulent pratiquement.

Le dispositif de vidange finalement mis en place comprenait :

— un fond boulonné de 500 mm de diamètre;

— huit tuyauteries de 100 mm de diamètre dont :

- deux étaient équipées chacune d'une vanne et d'un dissipateur,
- deux autres simplement d'une vanne,
- les quatre dernières, obturées par un fond plein, restaient en réserve.

Le Groupe de Production Hydraulique Alpes avait heureusement mis à notre disposition quatre vannes de 100 mm de diamètre et de 100 kg/cm² de pression de service, vannes qui pouvaient fonctionner, éventuellement, à ouverture partielle.

UTILISATION DU DISPOSITIF

Le 25 mai 1961, soit moins de quatre mois après l'accident de février, l'obturation était réalisée.

La remise en charge s'effectua de la façon suivante :

- les quatre vannes complètement ouvertes, mise en place du fond de 500 mm;
- puis fermeture des quatre vannes.

Nous avons ensuite procédé à divers essais d'ouverture et, en particulier, l'avarie d'un joint à une vanne nous avait amenés à faire la vidange complète, y compris l'ouverture du fond. Ceci nous a confirmé la possibilité d'exécuter toutes les manœuvres prévues dans des conditions normales.

On a pu vérifier, en particulier, le bon fonctionnement des dissipateurs, en marche continue, avec un débit de 100 l/s. Le fonctionnement de l'appareil était satisfaisant. Aucune vibration dangereuse ne se manifesta et, à part

un son, de fréquence très élevée, produit par le passage de l'eau à travers les orifices du dissipateur, le problème de la cavitation paraissait correctement résolu.

Dès la fermeture du fond plein et des vannes, la pression mesurée au manomètre monta à 31,6 kg/cm² en 50 mn. Cinq jours après, elle était de 34,5 kg/cm² et, le 15 septembre, elle était pratiquement stabilisée à 43 kg/cm², puisqu'à la fin novembre elle atteignait 43,2 kg/cm².

Le 29 novembre 1961, les travaux de bétonnage étant terminés, nous procédions à la vidange complète de la façon suivante :

- ouverture complète du premier dissipateur, pression résiduelle : 31,5 kg/cm²
- ouverture du deuxième dissipateur, pression résiduelle : 17,5 kg/cm²;
- ouverture successive de deux vannes, pression résiduelle : 6 kg/cm²;
- ouverture du fond plein.

L'ACHÈVEMENT DES TRAVAUX

Pendant cette période, l'attaque du Cormet d'Arêches avait progressé avec des difficultés diverses ralentissant l'avancement. Il restait encore 800 m environ à perforer; cependant l'hiver approchait et nous avions l'espoir de voir le terrain s'améliorer. Nous avons donc replié le

chantier de Saint-Guérin en laissant la montagne s'essorer et en espérant qu'au printemps les débits auraient diminués, peut-être grâce à un certain drainage par la galerie côté Cormet d'Arêches.

Au printemps 1962, les débits sortant de

l'accident de Saint-Guérin gardaient sensiblement la même valeur; l'attaque du Cormet d'Arêches, gênée par des terrains médiocres et même mauvais, progressait lentement. Nous avons donc décidé de reprendre l'attaque par Saint-Guérin pour venir reconnaître de plus près l'accident et le passer.

Une déviation exécutée à partir du PM 3575 a permis d'approcher de l'accident suffisamment près pour qu'on puisse le délimiter par sondages. Ceux-ci nous ont montré l'existence d'une zone broyée, d'épaisseur variable, de l'ordre de quelques mètres, dans laquelle la pression était encore de 35 kg/cm² environ, malgré le drainage

réalisé par la galerie abandonnée située environ à 60 m de là. Cette zone a été traitée par injections et elle est, actuellement, en cours de perforation; dès que celle-ci sera terminée, on pourra préciser plus en détail un nouvel accident dont on connaît déjà l'existence, quelque 30 m plus loin et, suivant les résultats de cette reconnaissance, le traiter et entreprendre la perforation ou attendre que l'attaque opposée, qui n'est plus qu'à 250 m, permette de faire la jonction. Déjà, nous pouvons constater que le drainage des terrains s'effectue des deux côtés à la fois, la diminution du débit côté Saint-Guérin coïncidant avec les venues d'eau côté Cormet d'Arêches.

CONCLUSION

Au terme de cet exposé, il aurait été intéressant de dresser un bilan économique de l'opération. Ce bilan n'a pas été fait en détail. Il est d'ailleurs très difficile à établir et il serait, d'autre part, prématuré d'énoncer des conclusions définitives sur une opération qui n'est pas encore terminée à l'heure actuelle.

On peut penser néanmoins que ce bilan est positif :

— tant au point de vue économique : bétons moins chers puisqu'exécutés sans eau, délais

d'exécution au moins maintenus, sinon écourtés;

— que sur le plan de la qualité de l'ouvrage;
— et même peut-être sur le plan social : puisque les conditions de travail en galerie ont été grandement améliorées.

Si ce résultat très satisfaisant est difficilement contestable, il faut toutefois observer que la solution retenue conserve un champ d'application limité; les conditions locales de terrains, de délais d'exécution, de marchés, essentiellement variables, sont en effet déterminantes dans le choix des moyens à employer.

DISCUSSION

Président : M. CHAPOUTHIER

M. le Président remercie M. PAISANT d'avoir exposé notamment la réalisation de l'appareil de dissipation car c'est la première fois que M. le Président entend parler de la réalisation d'un appareil de ce genre, aussi important.

M. HUG demande ce que l'on pouvait craindre du point de vue cavitation.

M. PAISANT dit que les raisons principales qui nous ont amenés à examiner de près le problème de la cavitation sont les suivantes : tout d'abord, il est pénible d'entendre un appareil caviter, et, ensuite, l'on pouvait craindre que la cavitation développant des vibrations dangereuses provoque, compte tenu des pressions élevées,

la rupture d'un organe. Pour ces raisons, une cavitation importante aurait été assez inquiétante au fond d'une galerie de 4 km.

M. le Président demande si le bruit observé provenait de la cavitation.

M. DUPORT indique que ce bruit est celui du jet; ce sont les caractéristiques du jet qui en donnent le ton.

M. DUPORT cite un exemple de dissipation d'énergie dans des conditions un peu comparables. Il s'agissait de vider un puits de mine du Katanga rempli sur une hauteur de 800 m, à la suite d'un incendie. A la partie inférieure, il y avait un bouchon permanent traversé par un tuyau reliant directement le bas du puits à la tuyau-

terie d'aspiration des pompes d'exhaure. Cette tuyauterie de liaison était munie d'un robinet destiné à dissiper l'énergie et à abaisser la pression à l'entrée des pompes. Le problème de dissipation d'énergie dans une tuyauterie « en charge » était assez analogue à celui exposé par M. PAISANT. L'appareil initialement installé par le personnel de la mine donna lieu à d'intenses cavitations sources de vibrations jugées dangereuses. On a donc mis au point et construit dans un délai raisonnable un dissipateur d'énergie qui a donné satisfaction. L'appareil était basé sur le même principe de cylindres en tôle perforée, mais il était plus ramassé; au lieu de mettre les cylindres en cascade longitudinalement, on les avait mis en cascade les uns autour des autres, les trous étant en quiconce. Il restait un peu de cavitation, mais, d'après le témoignage des utilisateurs, acceptable. Cet appareil avait un débit de 300 l/s sous une charge de 800 m.

M. LABAYE signale que la conception du déchargeur mis en œuvre à Roselend a été adaptée aux moyens relativement réduits de l'atelier de l'entreprise chargé de sa construction (en particulier, capacité de la rou-leuse) et, également, aux caractéristiques du chantier. C'est ainsi que la mise en place en galerie a conduit à mettre des éléments bout à bout plutôt que concentriques.

M. GENTHIAL demande une explication au sujet de l'économie réalisée au moyen du bouchon.

M. PAISANT indique que les eaux du bassin de l'Ormente coulent en dehors de l'ensemble de Roselend, puisque la galerie est destinée à ramener ces eaux dans la retenue de Roselend. Tant que la percée n'est pas

faite, on perd cette énergie et le bouchon, en permettant de réaliser le bétonnage des 3 000 m à revêtir côté Saint-Guérin, ainsi que le traitement de l'accident, pendant que l'attaque du Cormet d'Arèches progressait, aura, en définitive, permis de gagner — sinon une campagne entière, du moins quelques mois, — puisqu'on peut espérer dériver les hautes eaux de 1963.

M. le Président constate que le délai initial a été maintenu, que l'on a évité une perte, mais que l'on n'a pas écourté les délais par rapport aux prévisions initiales.

M. LABAYE signale qu'il y a quand même un certain retard.

M. le Président souligne que, parmi les différentes options indiquées au début, on ne regrette pas d'avoir choisi ce système.

M. DUFFAUT cite un exemple déjà assez ancien relatif à la vallée de l'Aude. Sur cet aménagement, il a fallu, pendant un certain temps, évacuer l'eau stockée dans le barrage sans passer par l'usine. Il avait été réalisé un dissipateur constitué par une sorte de fût comportant des orifices, ce fût étant placé dans un bassin plein d'eau. La chute était de l'ordre de 100 m et le débit de 4 m³/s, ce qui représentait la puissance appréciable d'environ 3 500 kW, mais il faut dire que cette installation était à l'air libre.

M. le Président remercie à nouveau M. PAISANT.

M. le Président ajoute ses remerciements à ceux de M. le Président de la Société Hydrotechnique de France, pour MM. les Conférenciers Hollandais qui sont restés pour entendre la conférence sur Roselend.

La séance est levée à 17 h 55.