

PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONGRESS ON TUNNELS AND WATER  
MADRID / 12-15 JUNE 1988

# TUNNELS AND WATER

*Water and its influence on the design,  
construction, and exploitation of  
tunnels and underground works*

*Edited by*

J.MANUEL SERRANO

*Spanish Tunnelling Association (AETOS)*

OFFPRINT



A.A.BALKEMA / ROTTERDAM / BROOKFIELD / 1988

# Emergence Valtellina; éboulement de la Val Pola; galeries hydrauliques de by-pass

P.Lunardi

Université de Florence, Italie

RESUME: Dans cet exposé, après avoir décrit les aspects de dérivation des eaux du Fleuve Adda en correspondance de l'éboulement de la "Val Pola", on confrontera les résultats obtenus par les machines foreuses utilisées pour les excavations des deux galeries de by-pass. En conclusion on analysera les paramètres d'avancement et de fonctionnement des machines foreuses d'après les critères de la "Méthode RS", en obtenant ainsi les caractéristiques géomécaniques de résistance du massif rocheux et la comparaison des résultats avec d'autres expériences sur des galeries récemment construites en Italie.

## 1 INTRODUCTION

Le 28 juillet 1987 au matin, 40 millions de mètres cubes de roche (diorite et granodiorite) se détachaient du versant droit du Fleuve Adda dans la localité "Val Pola" et en s'écroutant dans la vallée située au-dessous interrompaient sur 2.5 Km les liaisons routières et hydrauliques (Figure 1).

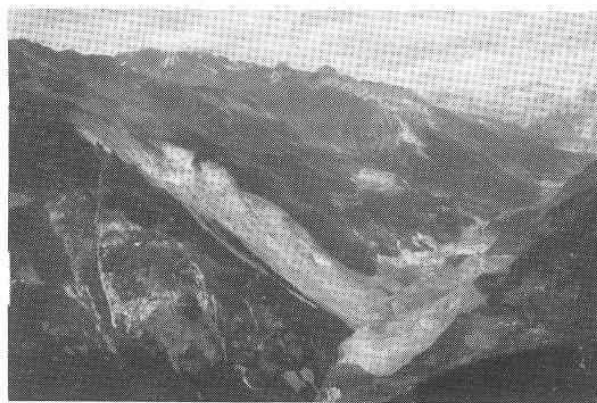


Fig. 1 Vue générale de l'aire intéressée par l'éboulement

Les techniciens de la "Commission Valtellina", instituée immédiatement par un arrêté du Ministère de la Protection Civile, avaient la tâche, en plus de celle d'éviter d'ultérieurs dommages aux personnes et aux choses, d'affronter et de résoudre trois thèmes :

- 1) la condition de stabilité de la niche

d'éboulement dont la connaissance était indispensable pour accéder à l'éboulement et au plan d'eau qui se créait en amont, en vue d'une exécution rapide des interventions nécessaires pour affronter l'état d'urgence ;

2) les conditions de stabilité de l'éboulement qui par ses dimensions ( 2300 m de longueur et en moyenne 70 m de hauteur et 200 m de largeur ) pouvaient apparemment ne pas présenter trop de préoccupations, même devant les poussées hydrostatiques qui allaient augmentant. La

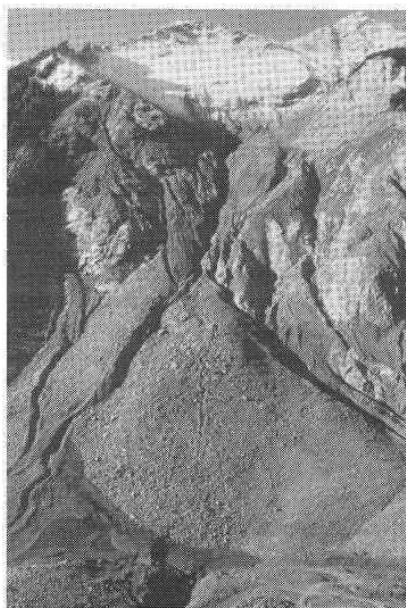


Fig. 2 Corps de l'éboulement

stabilité de l'éboulement était bien sûrlie à la nature granulométrique et à la perméabilité du matériel détritique et, enfin à son étanchéité dans des conditions de saturation et à la possibilité d'érosion en cas de débordement ;

3) l'élimination de l'eau qui était en train de former un lac en amont de l'éboulement et qui en peu de temps aurait pu créer un afflux de 18 millions de mètres cubes.

Le premier thème a été affronté en créant un réseau de monitoring qui, en se basant sur des mesures topographiques, déformométriques, microsismiques et optiques, conçu et réalisé avant le 20 août 1987 (Société Ismes), résolut le problème de la praticabilité du fond de la vallée. Le deuxième thème a été affronté en peu de temps en simulant, sur un modèle à fond mobile à l'échelle 1:250, réalisé par CRIS-ENEL en un temps record de 10 jours, le débordement du lac sur l'éboulement à des conditions de granulométrie et de débit variables (Fig. 3). A long terme la stabilité de l'éboulement est garantie par la stabilisation du parement

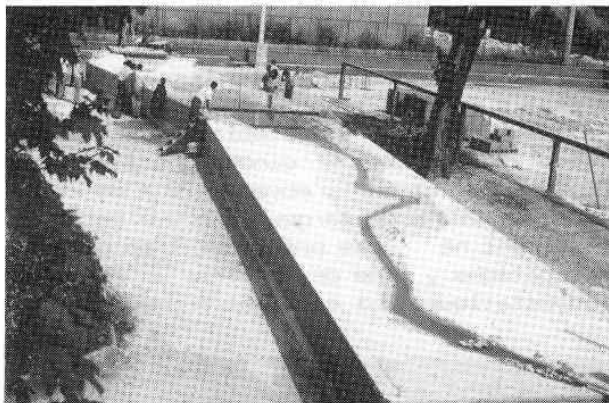


Fig. 3 Maquette de simulation du débordement

d'aval entre la cote 1070 et la cote 1000, grâce à un système d'entretoises à plan arqué bâties sur un terrain consolidé par jet-grouting, et réalisée en avril 1988 (Association CO.RI.VAL comprenant les Sociétés Lodigiani, Cogefar, Cariboni, Pizzarotti) dans le cadre d'une réglementation du régime hydraulique de l'éboulement qui comprend aussi un nouveau canal de débordement.

Le troisième thème a été résolu en confiant, à bref terme, le vidage de l'eau, en cas de faibles précipitations durant le mois d'août, à trois stations de pompage pour un débit global de 13.5 mc/sec (Sociétés Condotte, Aem, Snamprogetti), ou bien, en cas de fortes précipitations, à

une opération de "débordement contrôlé" qui devait également servir de vérification pour l'étanchéité de l'éboulement. A long terme le vidage du lac a été résolu par la construction de deux galeries hydrauliques de by-pass (Fig. 4) qui, en fonctionnant comme évacuation du fond du lac, pourront garantir l'écoulement des crues du fleuve Adda pour des débits allant jusqu'à environ 400 mc/sec.

L'objet de cet exposé est la réalisation des deux galeries de by-pass avec des ouvrages de prise et de retour annexes, qui portée à terme en temps record entre novembre 1987 et avril 1988 (Groupement des Entreprises Italstrade, Torri, Magri et Poscio) garantira, pour les 25.000 personnes en aval de l'éboulement, la solution complète du problème de l'eau dans le cadre de l'état d'urgence "Val Pola", avant les pluies et le dégel du printemps.

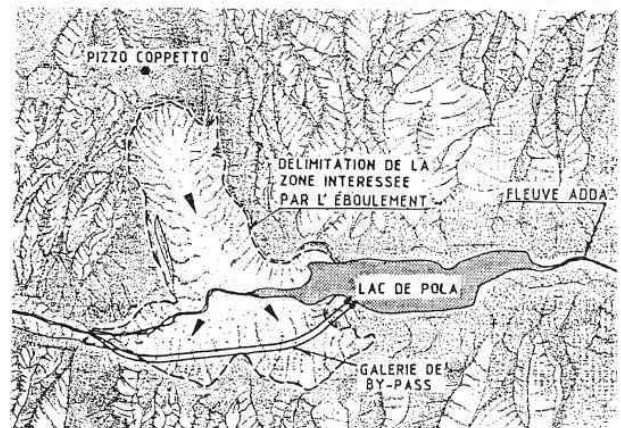


Fig. 4 Chorographie

## 2 DESCRIPTION DE L'OUVRAGE ET DES CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES

Le projet général d'aménagement de l'aire intéressée par l'éboulement de la "Val Pola" prévoit la dérivation du Fleuve Adda par la réalisation de deux galeries hydrauliques, l'une polycentrique d'environ 6.00 m de diamètre, et l'autre circulaire ayant un diamètre de 4.20 m (Fig. 5).

Successivement, pour une majeure rapidité de l'exposé, lorsque nous voudrions nous référer aux deux galeries, nous appellerons la première  $\phi$  6.00 m et la deuxième  $\phi$  4.20. Celles-ci se développent sur la rive gauche orographique du fleuve et coulent côte à côte avec un entraxe qui varie entre 20 - 30 m, la longueur de  $\phi$  6.00 est de 2854 m environ, celle de  $\phi$  4.20 de 2898 m environ.

Leur tracé planimétrique est représenté à la Fig.5, tandis qu'altimétriquement elles ont un pendage constant ( $i = 0.0252$

EMERGENCE "VALTELLINA" - EBOULEMENT DE LA "VAL POLA"  
GALERIES HYDRAULIQUES DE BY-PASS

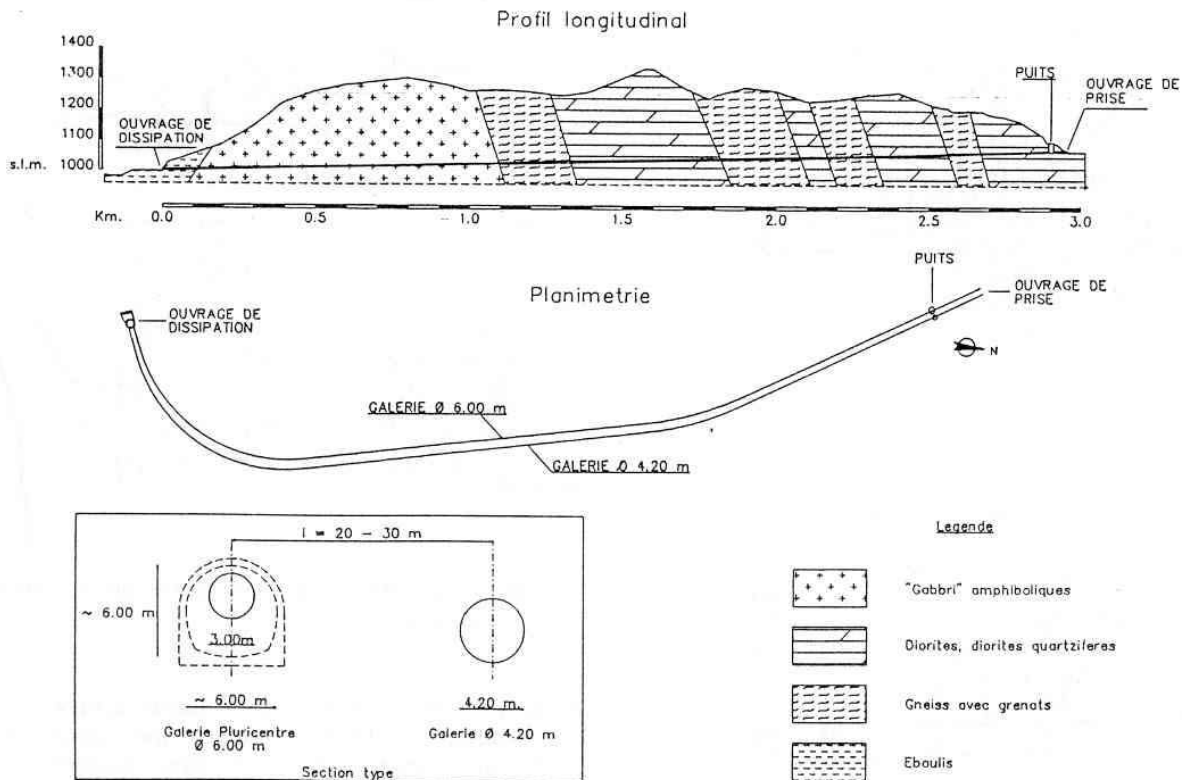


Fig. 5 Caractéristiques géométriques et géologiques des galeries de by-pass

pour  $\varnothing 6.00$  et  $i = 0.0238$  pour  $\varnothing 4.20$ ) et des couvertures qui varient entre 200 et 300 m. Un ouvrage de prise ( Fig. 6 ) a été réalisé à l'entrée d'amont de chacune des galeries pour prélever l'eau du lac artificiel qui s'est formé suite à l'éboulement. Celui-ci est formé d'ouvrages en béton pourvus d'une grille à larges mailles avec un fond à cote 1078.00 pour  $\varnothing 6.00$  et à cote 1075.00 pour  $\varnothing 4.20$  ( Fig. 7 ).

Cet ouvrage est complété par un tronçon de galerie d'environ 25 m qui fonctionne sous pression et qui se jette dans un puits circulaire d'environ 15 m de diamètre. Le puits de  $\varnothing 4.20$  a un sommet à cote 1107.00, le puits de  $\varnothing 6.00$  aura pendant la phase opérative d'excavation la même cote de sommet qui sera cependant ramenée à 1094.50, au terme des travaux.

En aval des galeries naturelles, un tronçon de galerie artificielle planimétriquement divergent, accompagne l'eau dans un puits cylindrique de diamètre interne de 25.00 m qui fonctionne comme dissipateur avant de la jeter dans le canal de raccord et de retour des eaux dans le Fleuve Adda ( Fig. 8 ).

Tous les ouvrages ont été projetés en tenant compte de la fonctionnalité hydraulique maximum. Dans les puits d'amont, les galeries naturelles sont précédées par un tronçon de raccord façonné de manière à garantir l'écoulement libre des eaux dans la galeries même, le puits de  $\varnothing 6.00$  aura le profil du bord supérieur façonné de manière à pouvoir servir de



Fig. 6 Réalisation de l'ouvrage de prise en amont

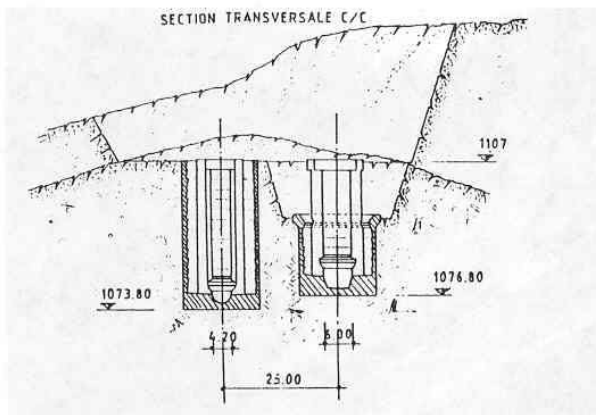
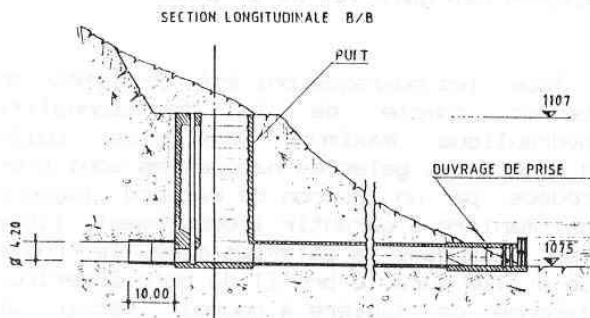
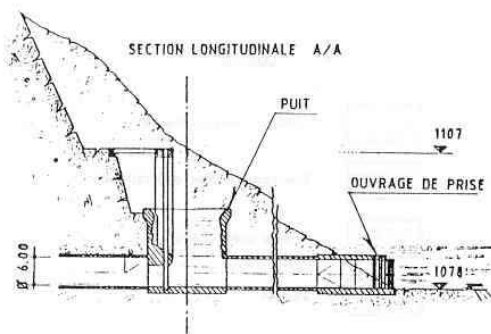
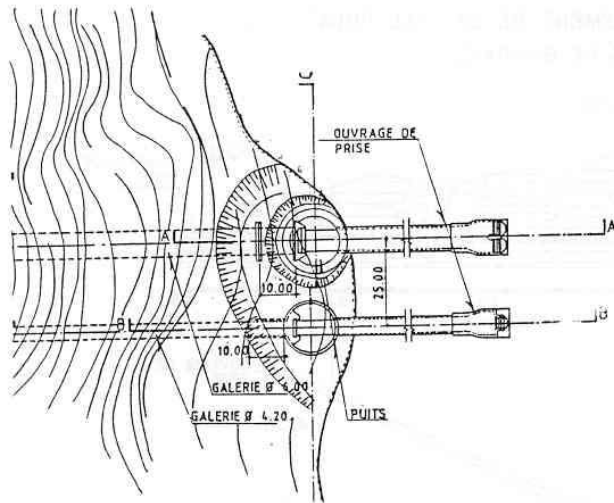


Fig. 7 Planimétrie et sections de l'entrée d'amont

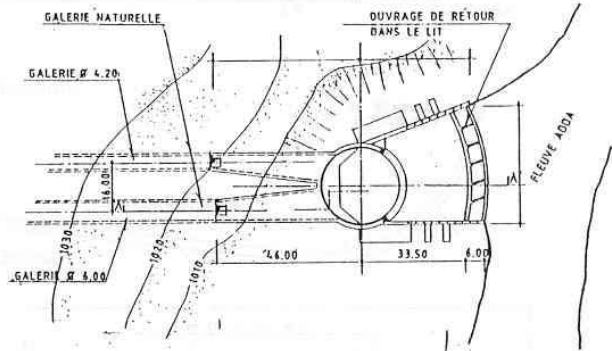
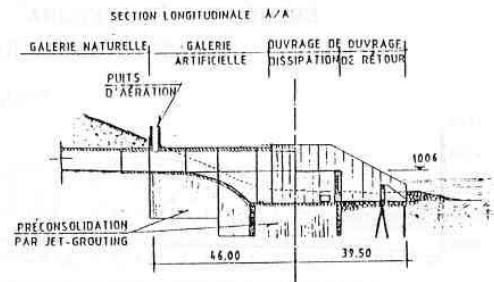


Fig. 8 Planimétrie et sections de l'entrée d'aval

prise de sécurité en cas d'obstruction de l'ouvrage d'entrée; tandis que pour le puits dissipateur d'aval, des ouvertures de fond sont prévues pour consentir l'éloignement de l'éventuel matériel de transport et pour garantir le passage à un régime de courant lent, avant le retour de l'eau dans le lit du fleuve Adda.

Une vérification expérimentale de l'ensemble des ouvrages prévus par le projet a été faite grâce à un modèle hydraulique (Fig. 9). Après avoir considéré les phénomènes à analyser, le modèle a été réalisé d'après la théorie de Froude à l'échelle de 1:40, en employant selon les ouvrages considérés, différents matériaux comme l'acier, des matériaux plastiques et du bois. Le débit d'eau utilisé pour l'ali-

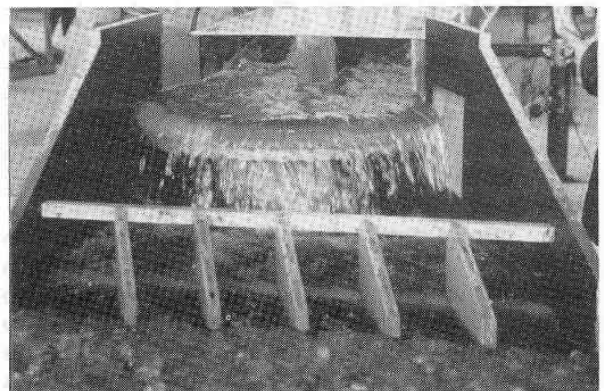


Fig. 9 Modèle hydraulique  
Vue de l'ouvrage de retour

mentation du modèle était de 50 l/sec de façon à pouvoir simuler un débit réel maximum de 500 mc/sec.

Durant les essais la fonctionnalité de chaque élément particulier (ouvrage de dissipation, ouvrage de prise et puits, galeries, ouvrage de retour dans le lit) a été vérifiée pour différentes valeurs de débits, ceci a permis une mise au point complète de tout le système et l'indivision de quelques modifications nécessaires pour un fonctionnement optimal.

### 3 CADRE GEOLOGIQUE-GEOTECHNIQUE

Le versant sur la rive gauche orographique du fleuve Adda, intéressé par la réalisation des galeries hydrauliques de bypass, est constitué de roches éruptives intrusives qui appartiennent à la formation du "Gabbro de Sondalo" ( Cycle magmatique Alpin-Cénozoïque ) et à la formation du "Gneiss du Mont Tonale" ( Archéozoïque ).

Plus précisément, et ceci est confirmé ensuite par l'excavation même, les principaux lithotypes présents le long du tracé sont ( Fig. 5 ) :

- "gabbri" amphiboliques et oliviniques à grain moyen-fin, généralement foncés et massifs, d'une extrême compacité et résistance qui représentent les faciès fondamentaux du corps intrusif de Sondalo et qui sont surtout présents dans la partie en aval du tracé des galeries;

- diorites biotitiques et/ou grenatifères, en général à grain plus grossiers des "gabbri" caractérisées par de possibles intercalations, même de grande puissance, de gneiss encastrants

- gneiss grenatifères, encastrants à l'intérieur de la masse intrusive généralement métamorphosé par contact, avec des intercalations de calcaires dolomitiques.

Nous décrivons maintenant avec plus grand détail la succession lithologique effective, que les machines foreuses utilisées pour les excavations ont rencontré dans la phase d'avancement du Sud vers le Nord.

Dans les deux galeries on a rencontré la même séquence lithologique avec quelques légers déphasages que l'on peut rapporter à des épisodes structuraux d'origine tectonique.

Pendant les premiers 1100 ÷ 1200 m l'excavation s'est produite presque complètement dans du "gabbro" sain et compact ( Fig. 10 ), à l'exclusion de 3 zones ( autour des progr. 300, progr. 500 et progr. 750 ), communes aux deux galeries, où il a



Fig. 10 Galerie  $\phi$  4,20  
Zone de "gabbro" avec intrusion

fallut mettre en oeuvre des panneaux modulaires en acier pour soutenir les parois de l'excavation à cause de la fracturation intense. La zone qui est comprise entre les progr. 1150 ÷ 1300, caractérisée lithologiquement par du gneiss encastrant, est celle qui a procuré les plus grands problèmes en ce qui concerne la stabilité de la cavité. Dans ce tronçon l'importante fracturation a imposé une intervention avec des ouvrages de confinement provisoires importants ( fig. 11 ); cette zone marque le passage du "gabbro" aux diorites. De la progr.  $\approx$  1300 jusqu'à la fin de la galerie l'excavation a intéressé presque exclusivement les diorites si l'on omet quelques bandes de gneiss grenatifère dont une fort étendue entre les progr. 1800 et 2100. Les diorites se sont révélées généralement moins fracturées que les "gabbri" et n'ont pratiquement demandé aucun ouvrage de soutien en phase d'excavation. Intéressante la correspondance entre les situations géolithologiques des deux galeries mise en évidence par la présence sur les deux conduits, et dans la même position, de deux points singuliers ; une veine de matériel carbonatique métamorphosé en marbre (  $\approx$  progr. 1260 ) et une source (  $\approx$  progr. 1580 ).

Le relevé continu et de détail effectué en phase d'excavation ( rendu possible par le système d'excavation mécanisé ) nous a permis de définir avec exactitude l'incidence des trois lithotypes le long du tracé :

- "Gabbro" 35%
- Diorite 35%



Fig. 11 Galerie  $\phi$  6.00  
Zone fracturée avec blindages

- Gneiss enc. 25%
- Autres 5%

L'aire où s'introduisent les deux galeries hydrauliques de by-pass est caractérisée structurellement par trois systèmes principaux de lignes tectoniques avec des directions NO-SE, E-O, N-S. Le premier système, relevé aussi en galerie, est le principal et est bien mis en évidence par la morphologie de surface, le deuxième système est diffusé sur toute l'aire sous forme de fracturations subverticales, une représentation typique de ce système est la "Valle delle Pressure". Le troisième système, avec une direction N-S, déplace les précédents et est plus présent dans la partie en aval par rapport au tracé. La présence d'eau dans la galerie s'est révélée assez faible, et est en général sous forme de stillation avec des pointes d'humidité diffusée dans les zones caractérisées par une fracturation plus intense.

#### 4 ASPECTS CONSTRUCTIFS ET OPERATIFS

L'ensemble des ouvrages qui font partie du projet de dérivation des eaux du Fleuve Adda en correspondance de l'éboulement de la "Val Pola" comprend (de l'amont vers l'aval) :

- des ouvrages de prise et des puits d'accès
- des galeries hydrauliques au naturel
- une galerie artificielle de raccord
- un ouvrage de dissipation
- un ouvrage de retour dans le lit.

L'état d'urgence des ouvrages à réaliser a nécessité l'emploi continu des ouvriers avec trois tours de travail, sept jours sur sept. Les travaux ont commencé au mois d'octobre 1987 par l'exécution, en



Fig. 12 Phase d'excavation des puits



Fig. 13 Vue générale des puits de l'entrée

amont, des puits d'accès réalisés par le sous-murage des anneaux en béton armé de la hauteur de  $\approx$  2 m (Figures 12, 13).

En même temps en aval, on procédait à la préparation des entrées des deux galeries de by-pass et des ouvrages de sous-fondation de la galerie artificielle de raccord, de l'ouvrage de dissipation et de l'ouvrage de retour dans le lit (Fig. 14). L'attaque d'aval des galeries a intéressé un cône détritique sur une longueur d'environ 170 m.

En ce qui concerne l'avancement au delà du dépôt détritique, l'exigence d'avoir, avant la période de dégel, au moins une des deux galeries opérative et fonctionnante (de façon à pouvoir régimer d'éventuelles ondes de crues) et les bonnes caractéristiques géomécaniques du massif intéressé par le tracé ont demandé à le Groupement chargée des travaux d'utiliser deux machines foreuses à attaque intégrale et continue; une WIRTH TBS IIE de 4.20 m de diamètre et une WIRTH TB IE de 3.00 m de diamètre (les caractéristiques mécaniques et électriques principales des deux machines sont reportées à la Fig. 16).

La première foreuse a creusé, en une

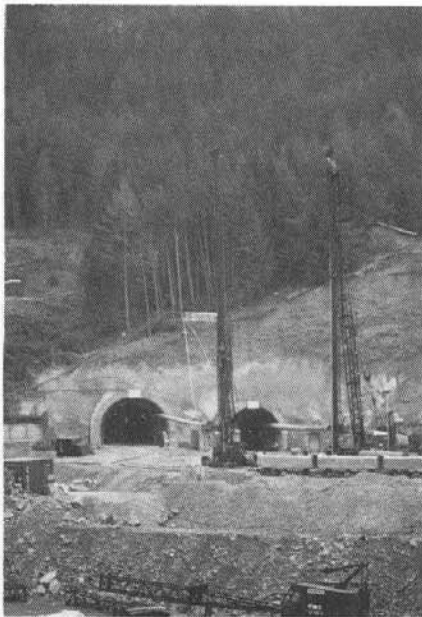


Fig. 14 Vue de l'entrée d'aval



Fig. 15 Les deux tunneliers en phase de montage

MACHINE WIRTH	TBS II 390/420 E	TB I 262/300 E
DIAMETRE DE LA TETE DE FORAGE	4200 mm	3000 mm
VITESSE DE ROTATION DE LA TETE	9 t/mn	11.4 t/mn
MOTEURS ELECTRIQUES DE LA TETE	4 x 145 Kw	3 x 100 Kw
COUPLE DE ROTATION MAXI	560 KNm	238 KNm
POUSSEE MAXIMALE SUR LA TETE	7000 KN	4300 KN
LONGUEUR DES PASSES	1200 mm	1000 mm

Fig. 16 Caractéristiques techniques des tunneliers

seule solution, la galerie circulaire  $\varnothing$  4.20 m, la deuxième a effectué un forage pilote à l'intérieur de la section définitive de  $\varnothing$  6.00 qui sera dans une deuxième phase, sujet à alésage par l'emploi d'explosifs.

Par les entrées d'aval on a dû creuser, au début, de façon traditionnelle avec l'aide de moyens mécaniques et par la réalisation préalable dans la zone de calotte, d'un arc de terrain préconsolidé pour dépasser un tronçon d'éboulis et rejoindre le substrat rocheux. Vu la nature du terrain, la consolidation à l'avancement a été effectuée avec des colonnes sub-horizontales en jet-grouting d'une longueur de 10 m et armées avec des tubes en acier.

De cette façon 161.00 ml de galerie  $\varnothing$  4.20 et 176.00 ml de galerie  $\varnothing$  6.00 ont été réalisées avant de rejoindre le contact éboulis-roche et de commencer l'excavation avec les machines foreuses.

En même temps du côté amont, après avoir complété les puits et pour abréger les temps d'exécution, on a continué par l'excavation vers l'aval en allant à l'encontre des machines foreuses (Fig. 17). L'avancement dans ce cas a été de type traditionnel : emploi d'explosif avec volées successives et avancements d'environ 4 m.

De cette façon on a réalisé 370.00 ml de galerie  $\varnothing$  4.20 et 185.00 ml de galerie  $\varnothing$  6.00.

Les figures 18, 19 mettent en évidence les différences de profilage entre l'avancement par explosif et l'avancement par foreuse. Dans ce dernier cas le plus petit dérangement provoqué au massif rocheux en phase d'excavation nous a permis de minimiser les surprofils. L'emploi d'explosif, par contre, a mis en évidence les systèmes de fracturation préexistants dans le massif en favorisant la formation de surépaisseurs.

Actuellement nous sommes dans une phase transitoire de fonctionnement du système de dérivation prévu; en effet l'eau s'écoule seulement par la galerie  $\varnothing$  4.20 en garantissant le maintien du niveau de l'eau dans le lac dans les limites prévues. Les travaux pour l'élargissement du forage pilote dans la galerie  $\varnothing$  6.00 sont en phase d'organisation et on est en train de compléter les ouvrages définitifs d'écoulement de façon à terminer, à bref délai, l'ouvrage entier prévu par le projet.

Avant de mettre en service la galerie  $\varnothing$  4.20, on a pourvu à la recouvrir dans les sections où des situations particulières de la fracturation, des caractéristiques



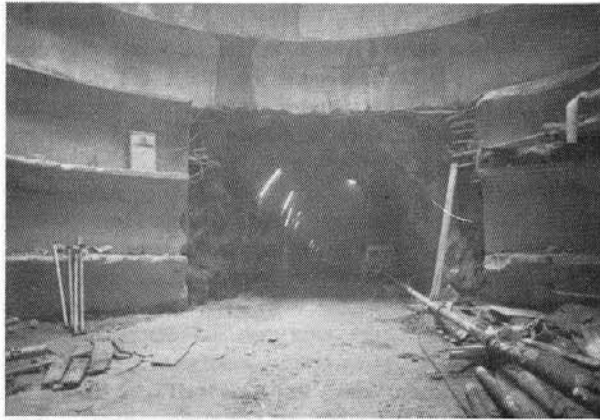


Fig. 17 Vue de l'entrée de la galerie  $\varnothing 4.20$  depuis les puits



Fig. 18 Profilage obtenu par avancement avec explosif

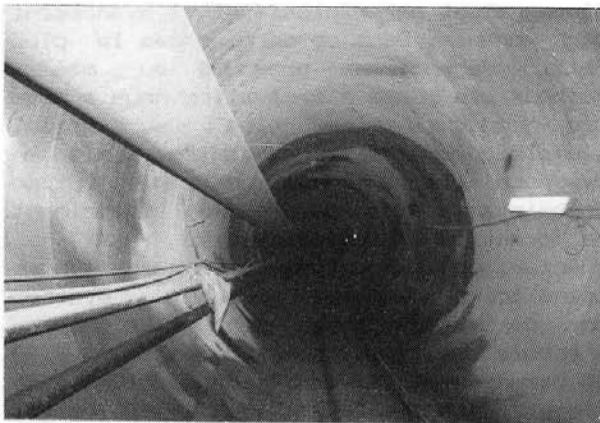


Fig. 19 Profilage obtenu par avancement avec tunnelier

chimique-physique de la matrice, du massif et du matériel de remplissage des fractures, suggéraient d'opérer une protection des surfaces d'excavation pour garantir la pleine fonctionnalité de la galerie pendant l'écoulement de l'eau. Deux genres d'interventions ont été faites: l'une dans

les sections qui avaient demandé la mise en oeuvre d'ouvrages de confinement déjà pendant l'excavation avec la foreuse, l'autre pour les sections non blindées mais considérées à risque. Dans le premier cas, les blindages réalisés, ont été intégrés par la mise en oeuvre de ancrage à adhérence continue ( nombre = 8  $l = 2.50$  m  $i = 1.50$  m ) cimentés avec du mortier antiretrait exécuté sur le "périmètre mouillé" de la galerie et avec une couche d'environ 8 cm de spritz béton, armé avec un grillage soudé électriquement. Dans le deuxième cas l'intervention a consisté dans la mise en oeuvre des seuls ancrage à adhérence continue ( nombre = 6  $l = 2.50$  m  $i = 2.00$  m ) et dans la réalisation sur le "périmètre mouillé" d'une couche de spritz béton de  $\approx 5$  cm, armé avec un grillage soudé électriquement. Dans l'ensemble le premier genre d'intervention a été exécuté sur environ 195 m et le deuxième sur environ 180.

#### 5 ANALYSE DES RESULTATS

A la Fig. 20 sont mis en évidence les types d'avancement adoptés pour les deux galeries et les diagrammes des productions moyennes obtenues dans les différentes sections.

En ce qui concerne l'excavation réalisée avec la méthode traditionnelle et à égalité de type d'avancement, les plus petites valeurs de production moyenne journalière de la galerie  $\varnothing 6.00$  par rapport à la  $\varnothing 4.20$  semblent évidentes. Ceci est tout à fait justifié si l'on considère la plus grande section d'excavation ( environ 24 mq pour  $\varnothing 4.20$  et environ 51 mq pour  $\varnothing 6.00$  ) et donc les temps plus longs nécessaires pour chacun des travaux indispensables pour l'avancement ( l'exécution des préconsolidations, la préparation des volées, les détritrus, le placement du revêtement de première phase, etc...).

Nous pensons qu'il est opportun à ce point d'examiner le comportement des machines foreuses (rappelons que la foreuse  $\varnothing 4.20$  a été utilisée pour l'excavation à pleine section de la galerie hydraulique circulaire, tandis que la foreuse  $\varnothing 3.00$  a été utilisée pour réaliser un forage pilote dans la section définitive de la galerie polycentrique  $\varnothing 6.00$ ).

L'analyse et les élaborations des enregistrements continus des paramètres de fonctionnement et d'avancement de la foreuse ( "Méthode RS", Lunardi 1986 ), nous permet d'avoir une documentation précise et objective de ce que la machine rencontre en phase d'excavation.

EMERGENCE "VALTELLINA" - EBOULEMENT DE LA "VAL POLA"  
DIAGRAMMES DE PRODUCTION

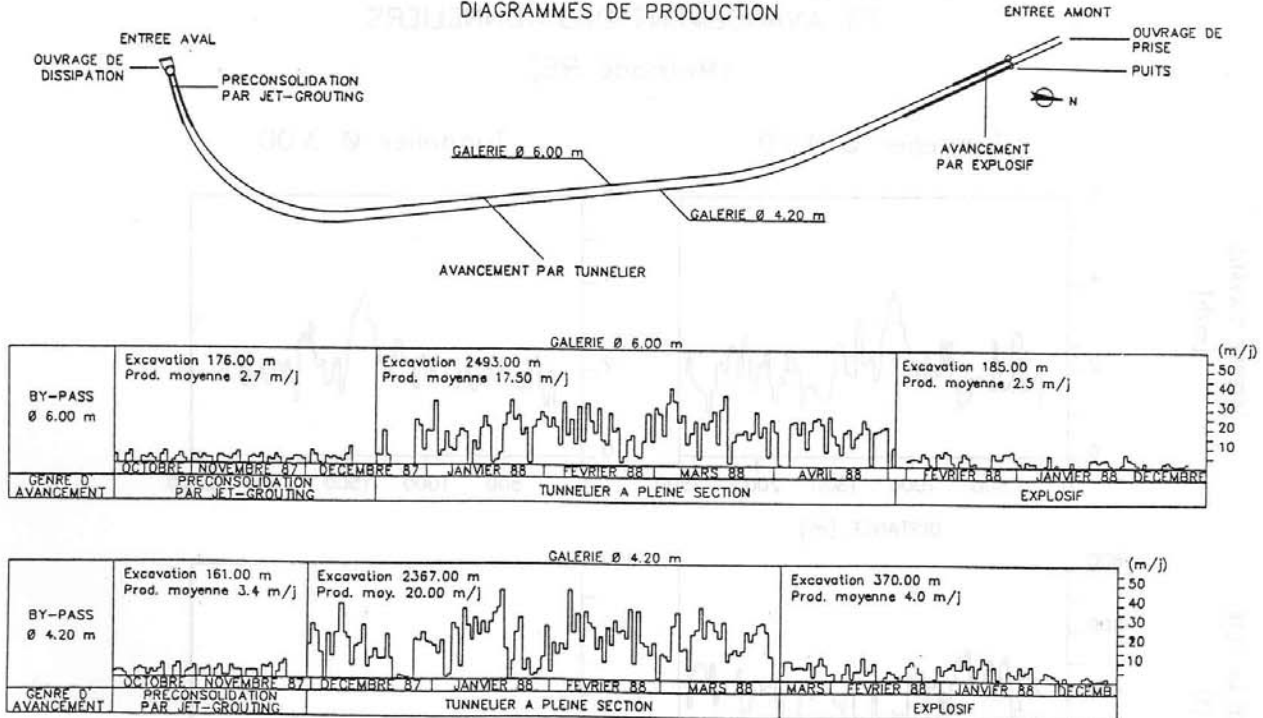


Fig. 20 Diagrammes de production

La Fig. 21, indique pour les deux machines le cadre résumé des grandeurs suivantes ( les valeurs réportées représentent la moyenne des valeurs exactes sur des segments d'excavation de 25 m ) :

- vitesse d'avancement instantanée
- poussée à la tête de forage
- absorption électrique de la tête de forage
- énergie spécifique d'excavation ( ce paramètre représente l'énergie dépensée pour attaquer un mètre cube de roche ),

Pour la galerie Ø 4.20 la vitesse d'avancement est en général comprise entre 1.5 et 2.5 m/h. Seulement pour les zones caractérisées par une plus grande fracturation et par une tectonisation plus intense, on a des valeurs plus élevées de vitesse, avec des maximum de l'ordre de 3.5 ÷ 4 m/h dans la bande de gneiss encastrant fort fracturé et qui se trouve entre les progr. 1100 et ≈ 1300.

En ce qui concerne la poussée à la tête on a des valeurs comprises entre 400 ÷ 500 t avec un minimum d'environ 300 t pour la zone de gneiss la plus fracturée.

Les valeurs d'absorption sont généralement restées constantes tout le long du tracé, elles sont comprises entre 500 et 600 Kw, on observe de toute façon une absorption mineure dans la partie finale, lithologiquement caractérisée par

les diorites, par rapport à la partie initiale caractérisée par les "gabbri".

L'énergie spécifique est généralement comprise dans une échelle de valeurs qui varient entre 15 et 25 Kwh/mc ; même dans ce cas on a un minimum égal à ≈ 10 ÷ 12 Kwh/mc dans la zone de gneiss encastrant ( progr. 1100 ÷ 1300 ), tandis qu'on a une pointe considérable, d'environ 30 ÷ 35 Kwh/mc entre les progr. 600 ÷ 700.

Examinons maintenant la galerie Ø 6.00 m où a travaillé la foreuse Ø 3.00. La vitesse d'avancement, décelable aussi à la Fig. 21, ne présente pas de différences essentielles par rapport à Ø 4.20. En effet les valeurs sont en général comprises entre 1.5 et 2.5 m/h avec des pointes de 3.5 ÷ 4 m/h dans la zone la plus fracturée. La poussée sur la tête résulte par contre constante en moyenne autour de 300 t avec un minimum de 100 ÷ 150 autour des progr. 1330. L'absorption est stable autour de la valeur de 250 Kw avec un minimum d'environ 150 Kw.

L'énergie spécifique est généralement comprise entre 15 et 25 Kwh/mc avec une valeur moyenne significative de 20 Kwh/mc et un minimum de 10-12 Kwh/mc.

Quelques observations intéressantes apparaissent d'après ce que nous avons dit 1) dans la réalisation des galeries les machines d'excavation ont presque toujours été utilisées aux limites de leur

PARAMETRES DE FONCTIONNEMENT  
ET AVANCEMENT DES TUNNELIERS  
(Methode RS)

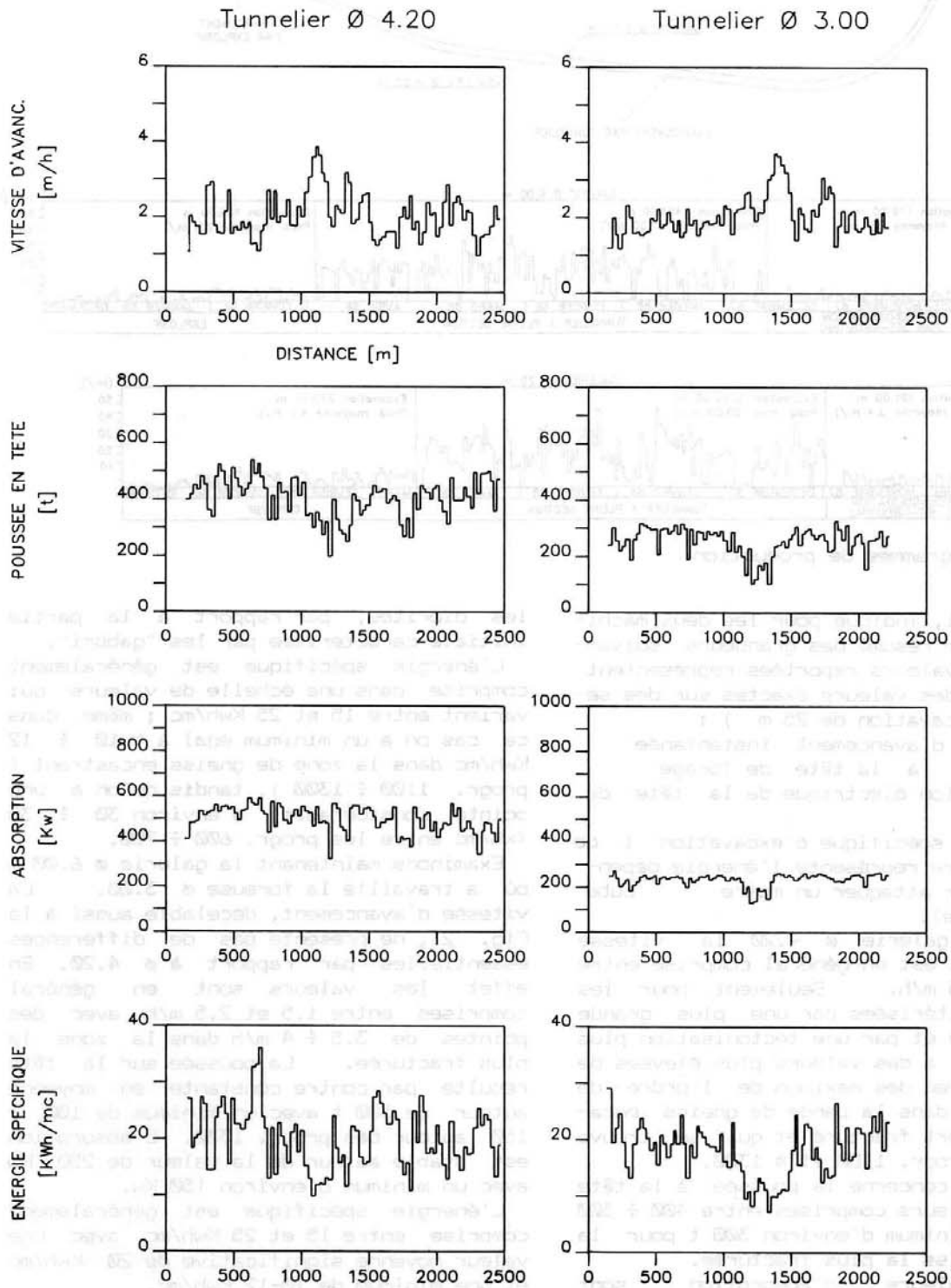


Fig. 21 Tableau résumé

potentialité, ( Fig.16) à cause des importantes caractéristiques intrinsèques de résistance du massif à creuser ;

2) même en étant utilisées jusqu'aux limites, et bien que ce soient des machines avec des caractéristiques géométriques et de puissance fort diverses, elles ont donné des résultats fort semblables soit par la vitesse instantanée d'avancement que par l'énergie spécifique d'excavation. Ceci est une réponse au correct processus de détermination des dimensions du point de vue constructif des machines;

3) il faut attribuer fort probablement le sommet dans le graphique de l'énergie spécifique de  $\varnothing 4.20$  à une situation locale liée, aux caractéristiques minéralogiques de la roche qui possède, dans cette zone, une extrême dureté qui n'a pu être comparé à d'autres parties des galeries ;

4) il est évident que les machines foreuses peuvent être utilisées comme "élément sensible" en mesure de différencier les zones qui ont une résistance géomécanique différente, même dans les limites et avec les précisions propres de la grande échelle.

En effet, en observant les graphiques de l'énergie spécifique d'excavation soit de  $\varnothing 4.20$  que de  $\varnothing 3.00$ , on peut distinguer deux amples sections de caractéristiques presque égales (celles de la première zone sont légèrement meilleures que celles de la seconde) qui sont séparées par une bande ayant des caractéristiques manifestement plus mauvaises. Une telle différenciation peut être réellement confrontée sur les deux galeries, en effet les premiers 1000 m d'excavation sont caractérisés par des "gabbri", généralement sains et peu fracturés, tandis que la section au delà de la progr. 1400 intéresse des diorites, elles aussi généralement saines et peu fracturées.

La bande comprise entre les progr. 1000 et 1400, comprenant du gneiss encastrant en plus des "gabbri" et des diorites, est celle qui a subi les plus grandes perturbations tectoniques. C'est ici que l'on rencontre la plus grande fracturation, et c'est ici qu'a été mis en oeuvre 75% de toutes les structures de confinement provisoires en phase d'excavation.

Cette dernière observation nous permet d'attirer l'attention sur l'importance que peut avoir une étude attentive des paramètres de fonctionnement et d'avancement d'une machine foreuse.

Depuis quelques années déjà, par l'application de la "Méthode RS" de forage

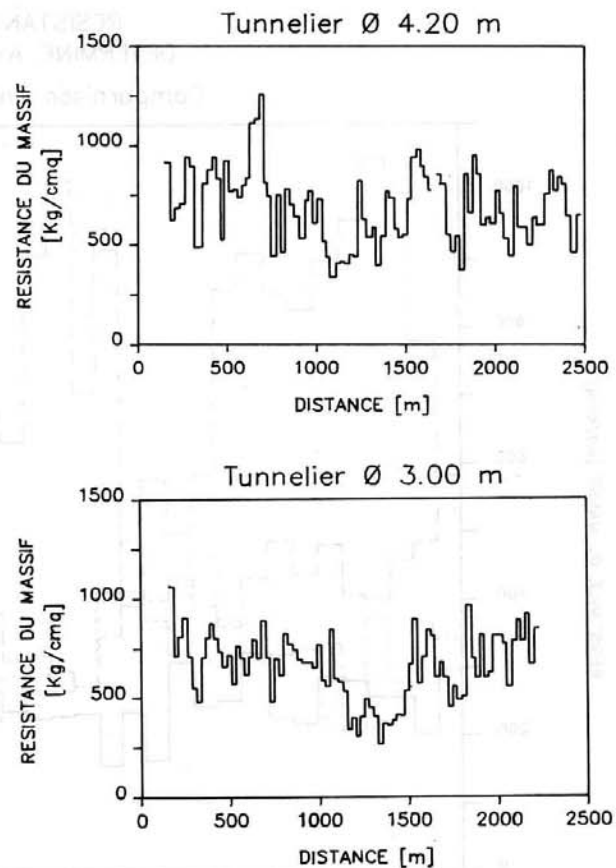


Fig. 22 Tableau résumé de résistance déterminé avec "Méthode RS"

pilote ( Lunardi 1986) à de nombreux projets de galeries ferroviaires actuellement en phase d'exécution, on a essayé de vérifier le critère selon lequel l'énergie spécifique de l'excavation, calculée comme puissance employée par les moteurs de la tête de forage pour attaquer un mètre cube de roche, est fonctionnellement liée, par l'approximation de la grande échelle, à la résistance intrinsèque du massif ( $\sigma_{gd}$ ).

A la Fig. 22, on a reporté la résistance du massif, calculée d'après les critères de la "Méthode RS", pour les galeries hydrauliques de by-pass tout le long de leur développement. Les diagrammes que l'on obtient pour les deux galeries sont fort semblables, les résistances semblent généralement pouvoir varier en moyenne entre 600 et 800 Kg/cmq.

Ces résultats confirment la validité du critère choisi, qui a d'ailleurs déjà été vérifié dans d'autres galeries. La nouvelle donnée qui en est issue est que le critère choisi ne semble absolument pas ressentir l'"effet échelle" due à la foreuse, c'est à dire qu'à grande échelle l'énergie spécifique d'excavation est une donnée intrinsèque de la roche qui consti-

RESISTANCE DU MASSIF  
 DETERMINE AVEC "METHODE RS"  
 Comparaison entre type lithologique

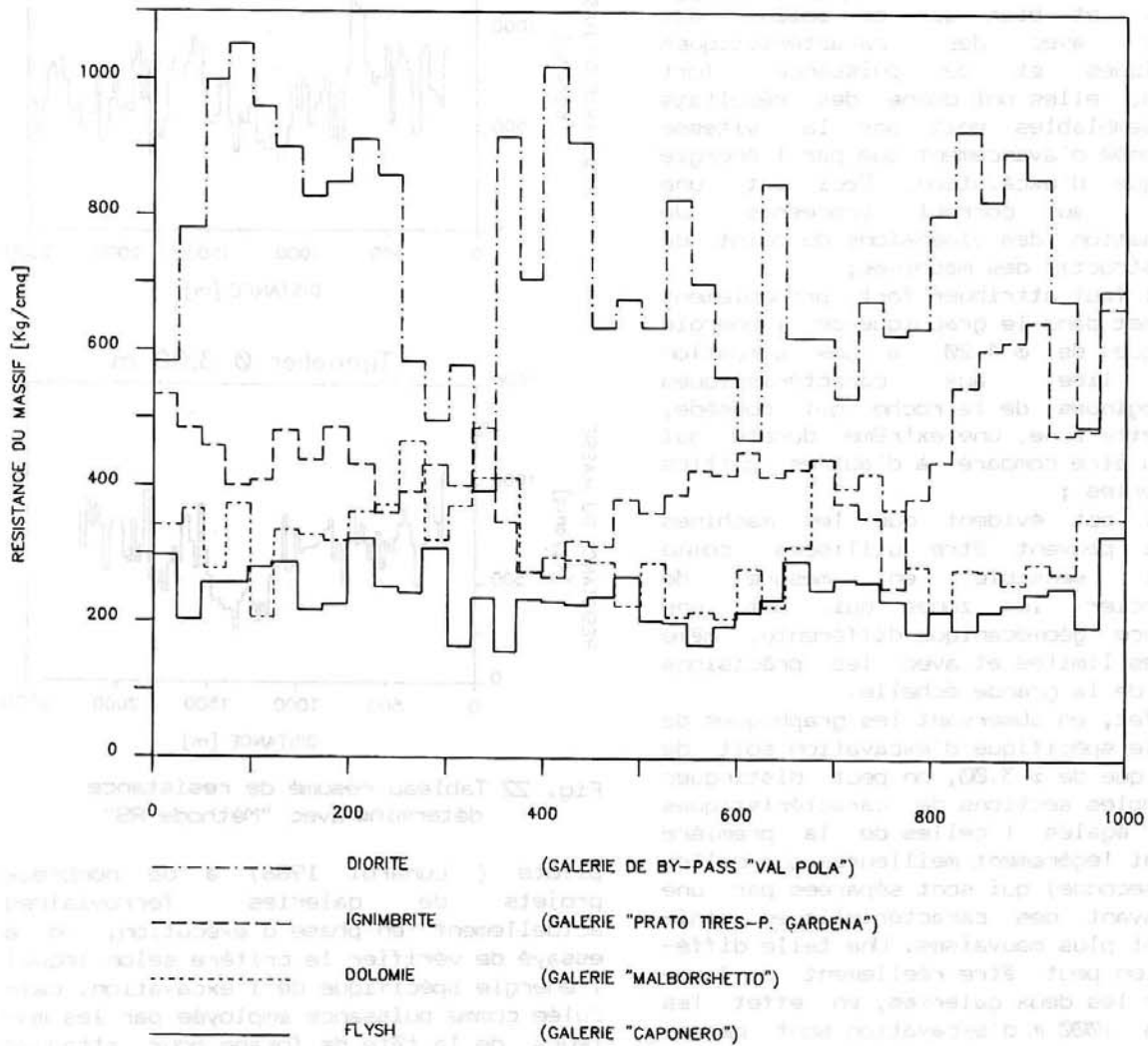


Fig. 23 Comparaison entre types lithologiques

tue un certain massif rocheux et n'est pas fonction de la machine qui effectue l'excavation.

Une comparaison intéressante, qui lors d'une première approximation confirme la validité de la proposition d'utiliser la foreuse comme "élément sensible" à l'intérieur du massif rocheux, est reportée à la Fig. 23 où est indiqué pour quatre types lithologiques différents, "ignimbrite", dolomie, flysh et "gabbro", référés à un tronçon échantillon de 1000 m de galerie, la courbe des valeurs de résistance du massif  $\sigma_{gd}$  calculées avec les paramètres caractéristiques de la foreuse.

6 CONCLUSIONS

L'ouverture des galeries de by-pass dans le cadre de l'état d'urgence "Eboulement de la Val Pola" représente, après l'opération de débordement contrôlé du mois d'août 1987 le moment le plus important, parce qu'il résout de façon définitive le problème de la sécurité des populations qui habitent en aval de l'éboulement de la "Val Pola". Le système by-pass qui, à ouvrage terminé, sera en mesure de garantir un écoulement de plus de 400 mc/sec. a été réalisé en un temps record grâce à d'attentifs choix de projet et à une organisation adéquate du chantier, qui a demandé de façon significative également la participation des entreprises locales. De tels facteurs

nous ont permis de respecter, d'après ce qui avait été prévu par les programmes, le rendez-vous avec les crues du printemps. Le projet permet aussi une pluralité d'utilisations, en fonction d'ultérieures finalités des ouvrages.

#### REMERCIEMENTS

L'auteur remercie parmi les protagonistes de ce travail:

- la Région Lombardie, et particulièrement  
On. Bruno Tabacci  
Président de la Région  
Ing. Giovanni Verga  
Assesseur aux Travaux Publics  
Ing. Lorenzo Capodiferro  
Ingénieur Responsable  
Dott. Michele Presbitero  
Responsable du Service Géologique
- le Groupement d'Entreprises  
Italstrade, Torri, Magri e Poscio  
et particulièrement  
Dott. Nanni Fabris  
Ing. Giorgio Corsi  
Ing. Luciano Fariello  
Ing. Giorgio Golinelli  
Ing. Ugo Polettini  
Geom. Leopoldo Pinotti  
Ing. Luigi Segale  
Ing. Guido Furlanetto  
Ing. Luigi Da Deppo  
Geom. Antonio Tocalli  
Dott. Fabio Quintavalle
- la Société Rocksoil, et particulièrement  
Ing. Sirio Orsi

#### BIBLIOGRAPHIE

Lunardi P. 1986

"Lo scavo delle gallerie mediante cunicolo pilota" Torino MIR86 Vol.4

Becchi I., Calistri E., Lunardi P., Orsi S. 1986 "Nuovi orientamenti nella progettazione delle gallerie mediante foro pilota" Firenze IB6, Vol.2 Sessione F

Focacci C. 1986

"La galleria quale soluzione tecnica indispensabile nel potenziamento della rete ferroviaria italiana Nord-Orientale" Firenze IB6, Vol.1 Sess.A

Ianniello C., Leonardi C., Lunardi P., Pelizza S. 1986 "Problemi tecnici di costruzione in sotterraneo del nuovo tratto di linea ferroviaria in Liguria fra San Lorenzo al mare e Ospedaletti" Firenze IB6, Vol. 1 Sessione A

Lunardi P. 1979

"Application de la mécanique des roches aux tunnels autoroutiers, exemple des tunnels du Fréjus (coté Italie) et du Gran Sasso" Revue Française de Géotechnique n° 12