14e Session d'étude sur les techniques de sautage
Les 28 et 29 octobre 1991

LA-1. Détournement de la rivière Laforge

***Donald Proulx**, Entreprises Bon Conseil Ltée*
*et **Pierre Groleau**, ICI Explosifs Canada*

BAIE-JAMES - LA-1

Détournement de la rivière LAFORGE

par

Donald Proulx, ing.
Gérant de Projet
Les Entreprises Bon Conseil Ltée

et

Pierre Groleau, ing.
Représentant technique
ICI Explosifs Canada

RÉSUMÉ

En septembre 1989, la firme "Les Entreprises Bon Conseil Ltée" s'est vue octroyer le contrat visant la construction d'une galerie de dérivation au projet de la future centrale hydro-électrique de LA-1.

Le but de ces travaux consiste à modifier la trajectoire naturelle de la rivière Laforge en vue de procéder à la construction du barrage principal par le biais d'un contrat ultérieur.

Au sein d'un projet d'une telle envergure, trois types de sautage distincts furent préconisés soit; le sautage conventionnel à ciel ouvert, la foncée d'une galerie souterraine et le sautage de deux bouchons de roc à demi submergés.

Le présent document traite des méthodes et opérations utilisées pour les sautages ci-haut mentionnés.

TABLE DES MATIERES

	Page
Introduction	1
Géologie	1
Excavation à ciel ouvert	2
Excavation souterraine	
Percée Frontale	4
Banquette	5
Bétonnage du portail d'entrée	7
Sautage des bouchons amont et aval	
Sautage à sec	8
Sautage en eau	8
Bouchon aval	9
Bouchon amont	11
Conclusion	14
Bilan des figures	15

INTRODUCTION

Le complexe de LA-1 est situé sur la rivière Laforge à environ 500 km à l'Est du complexe LG-2 qui est situé à plus de 1,500 km au nord de Montréal.

La future centrale de LA-1 sera en opération à partir de 1994. Son groupe de 6 turbines-alternateurs de type Francis produira plus de 840 mégawatts.

La séquence d'exécution des travaux du projet de LA-1 est la suivante:
-Galerie de dérivation
-Excavation de la centrale
-Excavation et bétonnage des conduites forcées
-Bétonnage de la centrale
-Bétonnage de la prise d'eau
-Barrage principal, digues Sud et évacuateur de crue
-Digues Ouest
-Digues Nord et barrage Vincelotte
-Excavation du canal de fuite et du bief aval

Le présent projet consiste en l'excavation de banquettes à ciel ouvert (91 000 m^3), d'une galerie souterraine (71 800 m^3), des bouchons amont et aval (27 900 m^3) ainsi que le bétonnage du portail d'entrée. On retrouve à la figure 1, une vue d'ensemble du site des travaux. Une coupe longitudinale et une vue en plan de la galerie de dérivation sont illustrées à la figure 2.

L'échéancier pour la réalisation du dit projet était de 18 mois soit de Septembre 1989 à Février 1991.

GÉOLOGIE

Le roc en place correspond à un gneiss granitique de couleur grise à rougeâtre. Sa densité moyenne est de l'ordre de 2.7 g/cc. Ce roc de dureté moyenne est de faible compétence puisqu'il est altéré par de multiples systèmes de joints. On le considère donc relativement facile à dynamiter.

EXCAVATION À CIEL OUVERT (91 000 M^3)

Après la construction de la route d'accès temporaire à la plate-forme des vannes permettant l'accès au site des travaux, les activités d'excavation du roc ont débuté le 8 octobre 1989 et se sont poursuivies jusqu'au début décembre de la même année aux sites suivants:

-Déblai de roc pour la route d'accès permanente à la plate-forme des vannes
-Banquette 1, 2, 3 et 4 du canal d'entrée
-Banquette 1, 2, 3, 4 et 5 du canal de sortie

On retrouve aux figures 3 et 4, les vues en plan et les sections longitudinales du canal d'entrée et de sortie sur lesquelles sont définies les séquences d'exécution.

Un rideau d'étanchéité a été foré et injecté au canal d'entrée afin d'assurer la réalisation des travaux souterrains sous des conditions minimales d'infiltration d'eau provenant de la rivière Laforge.

Les rampes d'accès aux différentes banquettes des canaux d'entrée et de sortie ont été réalisées à même les produits d'excavation de mort-terrain et de roc.

L'excavation de la banquette 4 du canal d'entrée et de la banquette 5 du canal de sortie constituaient les rampes d'accès au plancher de la percée frontale de la galerie.

La banquette 5 du canal d'entrée a été excavée à la fin des travaux d'excavation de la percée frontale et de la banquette du tunnel assurant ainsi l'accès aux zones de travail jusqu'en avril 1990. A ce moment, l'accès par le canal d'entrée n'était permis que par un escalier haut de 15 mètres situé contre le mur de roc du bouchon amont. Les équipements et le matériel de construction nécessaires au bétonnage du portail d'entrée étaient introduits dans la galerie par la rampe d'accès du canal de sortie.

Les équipements nécessaires à la réalisation de ces travaux sont:

Forage:	4 foreuses hydrauliques Atlas Copco ROC-722 HC-01
Marinage:	1 chargeur pneumatique CAT 988B 4 tombereaux CAT 769 C 2 tombereaux Volvo BM A-25 1 bouteur CAT D-8N 1 pelle hydraulique CAT-245 1 pelle hydraulique CAT-235

Consolidation: 2 grues hydrauliques P&H Omega 35 tonnes
1 pelle hydraulique 225 avec foreuse Fleximaster

Les explosifs utilisés pour les sautages à ciel ouvert sont l'agent de sautage AMEX II, la dynamite gélatinée POWERFRAC et l'émulsion MAGNAFRAC 5000.

L'émulsion en vrac repompable n'a pas été retenue pour ce projet étant donné que la majeure partie du roc se présentait sous des conditions sèches permettant l'utilisation d'AMEX II et qu'un volume de roc important de zone tampon nécessitait l'emploi d'explosifs en cartouche.

Les paramètres de forage et de chargement appliqués à l'excavation à ciel ouvert sont présentés au tableau ci-dessous:

	Trous de masse		Trous tampons	Trous périphériques
Diamètre	65 mm	90 mm	65 mm	65 mm
Patron de forage	1.5m x 2.1m	2.1m x 2.7m	1.5m x 1.8m (2 rangées)	0.6m (espacement)
Sous-forage	0.9m	0.9m	0.9m	0.6m
Collet	1.8m	1.8m	1.8m	Nil
Charge colonne	AMEX II (sec) ou MAGNAFRAC 5000 50 x 400mm (humide)	AMEX II (sec) ou MAGNAFRAC 5000 75 x 400mm (humide)	MAGNAFRAC 5000 40 x 400mm et 45 x 400mm	PRIMAFLEX
Charge de fond	POWERFRAC 75 50 x 400 mm	POWERFRAC 75 50 x 400mm	POWERFRAC 75 50 x 400mm	POWERFRAC 75 50 x 400mm
Facteur charge	0.77 kg/m^3 (sec) 0.70 kg/m^3 (hum.)	0.78 kg/m^3 (sec) 0.78 kg/m^3 (hum.)	0.50 kg/m^3 (sec)	0.52 kg/m^2 incluant charge de fond
Détonateur	NONEL XT & Micro-connecteurs			Nil
Cordeau détonant	PRIMACORD XT			PRIMACORD Renforcé

EXCAVATION SOUTERRAINE

Percée frontale

Une percée frontale définit une excavation à partir de forage horizontal.

Les séquences d'exécution des différentes volées sont illustrées à la figure 5.

A partir des faces des portails, l'entrepreneur devait commencer la percée frontale de la galerie à l'aide d'une galerie-pilote. Ce procédé laisse une couche de roc de 2.5 mètres d'épaisseur minimum entre la galerie-pilote et la ligne d'excavation finale des murs et de la voûte. La percée frontale est ensuite agrandie aux dimensions définitives par dynamitage périphérique contrôlé selon la méthode de sautage adouci. Le sautage adouci consiste à sauter les trous périphériques simultanément lors de la dernière période d'amorce de la volée. Les paramètres de forage et sautage pour les tirs de la galerie pilote et d'agrandissement sont indiqués aux figures 6 et 7 respectivement.

La galerie-pilote est exécutée sur une distance minimale de 10 mètres à partir de la face de chacun des portails et la longueur maximale des volées dans la galerie pilote n'excède pas 2.5 mètres. L'espacement initial des trous périphériques dans la galerie pilote est de 60 cm centre à centre.

Par la suite, la percée frontale de la galerie progresse selon des volées pleine section d'une longueur maximale de 4.0 mètres. On retrouve aux figures 8 et 9 une percée frontale type indiquant les paramètres de forage et sautage pour des conditions sèches et humides.

Selon les exigences du devis, le diamètre maximum de forage pour les travaux de la percée frontale était limité à 51 mm. Le diamètre de forage choisi pour les trous d'alésage (3 trous) fut de 90 mm.

Les trous tampons devaient exclusivement être chargés avec des explosifs en cartouches.

Pour le raccordement de sautage de volée, on a utilisé des détonateurs Macro-retard de type NONEL LD. Le temps nominal de mise à feu était de l'ordre de 8 secondes, soit des périodes #1 à #18.

Pour chacune des volées, la séquence d'exécution des travaux était la suivante:

Activités	Equipements
Forage	2 Jumbos Boart R-302 (2 mâts)
Consolidation	2 grues P&H Omega 35 tonnes 1 Camion flèche 14 tonnes
Chargement d'explosif	1 grue P&H Omega 35 tonnes 2 chargeurs ANOLOADER 120-R
Marinage	1 chargeur CAT 988B 4 tombereaux CAT 769C 1 tracteur CAT D-8N 1 pelle CAT 235
Ecaillage mécanique	1 pelle CAT 235
Ecaillage manuel, arpentage et marquage des fonds de trous	1 grue P&H Omega 35 tonnes

Banquette

Une banquette définit une excavation à partir de forages verticaux.

Les restrictions imposées au devis pour le sautage de banquette étaient:

- Diamètre maximum de forage 65 mm
- Longueur maximale de volée 10 m
- Facteur de cisaillement maximum 0.5 Kg/m^2
- Espacement des trous périphériques 600 mm
- Zones tampons Deux rangées adjacentes à chacune des parois.
  Explosifs en cartouche seulement.
  Facteur charge maximum de 50% de celui des trous de masse pour la première rangée.
  Facteur charge maximum de 75% de celui des trous de masse pour la seconde rangée.

On retrouve les paramètres de sautage dans le tableau ci-dessous.

	Trous de masse	Trous tampons	Trous périphériques
Diamètre foré	65mm	65mm	65mm
Patron de forage	1.5m x 2.1m	1.5m x 1.8m (2 rangées)	0.6m (c/c)
Sous-forage	0.9m	0.9m	0.9m
Collet	1.5m	1.5m	Nil
Charge de colonne	MAGNAFRAC 5000 50 x 400mm	MAGNAFRAC 5000 45 x 400mm (1ère rangée) 45 & 50 x 400mm (2e rangée)	PRIMAFLEX
Charge de fond	MAGNAFRAC 5000 50 x 400mm	MAGNAFRAC 5000 50 x 400mm	MAGNAFRAC 5000 50 x 400mm
Facteur charge	0.77 kg/m^3	0.50 kg/m^3 (1ère rangée) 0.60 kg/m^3 (2e rangée)	0.56 kg/m^2 incluant charge de fond
Détonateur	NONEL XT	NONEL XT	Nil
Cordeau détonant	PRIMACORD XT	PRIMACORD XT	PRIMACORD Renforcé

Les travaux ont été réalisés selon la séquence suivante:

- Le pré-découpage du mur droit a été effectué lors de l'avancement de la percée frontale.

- Une rampe d'accès a été construite selon une pente maximale de 10%, permettant ainsi l'accès au radier de la banquette pour les opérations de marinage.

- Forage et sautage des trous de masse, tampons et périphériques du côté gauche du mur.

- Marinage du volume de roc de la banquette.

Les équipements utilisés pour la réalisation de ces travaux sont:

Activités	Equipements
Forage	3 foreuses Atlas Copco ROC-722 HC-01
Marinage	1 chargeur CAT 988B 1 pelle CAT 235 4 camions CAT 769 35 tonnes 1 bouteur CAT D8-N

BÉTONNAGE DU PORTAIL D'ENTRÉE

Le portail d'entrée consiste en une structure de béton permettant la fermeture de la galerie de dérivation via l'installation des vannes permanentes. Cette structure est érigée à l'entrée de la galerie. Les dimensions de cet ouvrage sont de 28 mètres de hauteur, 20 mètres de largeur et de 25 mètres de longueur (fig.10). Le volume total de béton requis pour cet ouvrage est de l'ordre de 5 000 m^3.

Il est important de noter que l'installation des vannes permanentes est prévue pour l'année 1993 par le biais d'un contrat ultérieur.

Les travaux de bétonnage du présent contrat consistaient à:

- Installation d'un plan de béton Johnson CS-430
- Préparation et nettoyage des faces rocheuses et du radier
- Chauffage du roc au niveau du radier
- Bétonnage de la dalle de propreté
- Bétonnage du radier, des murs, du pilier central et de la voûte, tel qu'illustré à la figure 10.
- Fourniture et installation de l'acier d'armature
- Fourniture et installation des pièces métalliques diverses, ainsi que l'installation et le bétonnage des guides encastrés des vannes.
- Travaux de forage et d'injection du portail

SAUTAGE DES BOUCHONS AMONT ET AVAL

Sautage à sec

Dans un premier temps, l'entrepreneur a procédé en décembre 1990, à deux sautages à sec au niveau du bouchon aval ainsi qu'un sautage à sec au niveau du bouchon amont. Dans les deux cas, cette méthode fut préconisée pour des raisons d'ordre économique puisqu'on cherchait à maximiser le volume de roc à extraire selon des méthodes conventionnelles.

Par contre, au niveau du bouchon amont, cette mesure s'avérait également très importante puisqu'elle nous permettait de maximiser la distance entre le bouchon et la structure de béton à l'entrée de la galerie. Aussi, le dernier sautage à sec du bouchon amont constituait le sautage du rideau d'étanchéité du dit bouchon, ce qui entraina par le fait même la mise en eau de la galerie de dérivation. Cette mise en eau naturelle a dure plus de quatre jours.

Sautage en eau

La séquence d'exécution des travaux prévoyait le sautage du bouchon aval dans un premier temps. En second lieu, on a procédé au sautage du bouchon amont. Il était important de respecter cette séquence afin d'éviter d'inonder le bouchon aval, compte tenu du fort débit d'eau de la Rivière Laforge (1200m^3/sec) et des embâcles possibles. Nous nous sommes également servis des résultats du sautage du bouchon aval pour optimiser le sautage du bouchon amont qui correspondait au sautage critique, vue la proximité de la structure au portail d'entrée.

Les sautages des bouchons amont et aval étaient tous deux confinés sous des conditions d'eau de part et d'autre puisque la galerie de dérivation était noyée lors du sautage de chacun de ces bouchons.

En ce qui concerne le forage, l'Entrepreneur a construit des plate-formes de remblai en vue d'avoir accès au roc submergé. Le forage par tubage d'acier a donc été utilisé pour ce type d'opération.

Le contrat de forage a été octroyé en sous-traitance à Forage LBM de Victoriaville. Ce dernier a utilisé deux foreuses, soit une Barber et une Ingersoll-Rand TH-60.

Les conditions climatiques étaient très rigoureuses. Les températures quotidiennes en janvier fluctuaient entre -30°C et -50°C. Il était donc essentiel de dégeler chaque trou avant le chargement d'explosif. A cet effet, l'Entrepreneur a utilisé une bouilloire à vapeur montée sur une unité mobile. L'équipe désignée au dégel des trous forés a travaillé conjointement avec l'équipe de chargement tout au long des travaux.

En conséquence, pour éviter de sérieux problèmes de chargement d'explosif dans des trous aux parois gelées, nous avons rejeté l'option du chargement d'explosif encartouché. Ainsi, nous avons plutôt choisi l'explosif en vrac, soit le MAGNAFRAC BR-9130. Cet explosif bénéficiait déjà d'une excellente réputation suite au succès obtenu lors du sautage du bouchon du projet LG-2A.

Le MAGNAFRAC BR-9130 est un explosif de type émulsion, additionné de 30% de TNT. Cet explosif offre une performance supérieure grâce à l'interaction intime existant entre les molécules matricielles de l'émulsion et les granules de TNT. La densité de ce produit est de 1.45 g/cc.

L'unité de pompage utilisée pour le chargement d'explosif fut le camion GELMASTER. Cette unité possède une capacité de chargement de plus de 12 tonnes par voyage. La pompe installée sur ce véhicule est de type BREDEL.

Le boyau de chargement utilisé pour le chargement des deux bouchons avait un diamètre intérieur de 50 mm.

Suite à nos calibrations mesurées sur le terrain, nous avons établi qu'une révolution de pompe correspondait à 2.04 Kg d'explosif. Ainsi, dépendamment des quantités d'explosif à charger dans chacun des trous, l'opérateur du camion GELMASTER pouvait suivre le chargement à partir d'un cadran-compteur installé dans le camion. Cette procédure nous permettait d'effectuer un chargement précis à chaque trou.

BOUCHON AVAL

Le sautage du bouchon aval consiste au dynamitage de 8000 m^3 de roc en majeure partie submergé. En incluant le matériel de remblai servant de plate-forme d'accès, le volume total de matériel à mariner à l'issue du sautage est d'environ 15 000 m^3.

Ce bouchon est localisé entre les PM 556 et PM 610. Les hauteurs de coupe de roc varient entre 0m et 9.0m.

La seule structure à protéger dans cette zone est le portail d'entrée localisé face au bouchon amont. Cette structure, étant située à plus de 400 mètres du site de sautage, ne présentait aucun danger apparent.

Forage

Les trous de forage sont exécutés avec une foreuse Barber et une foreuse Ingersoll-Rand TH-60. Un caisson d'acier de 200mm (I.D.) est enfoncé par rotation dans le roc jusqu'à une profondeur de +/-300mm. Un marteau en fond de trou de 200mm guide le caisson jusqu'au roc et termine le forage dans le roc jusqu'au niveau requis. Un tuyau de PVC de 150mm (I.D.) est ensuite inséré jusqu'au fond du trou. On procède ensuite au retrait du caisson d'acier. Il est important de mentionner que les conditions in-situ étaient constamment humides et que l'espace situé entre la paroi rocheuse et le tubage de PVC était saturé d'eau.

Paramètres de forage et sautage

Diamètre chargé	150 mm
Nb trous chargés	161 trous
Fardeau	3.5 m
Espacement	3.5 m
Sous-forage	3.0 m
Collet	0 m à 4 m
Hauteur de coupe	0 m à 9 m
Volume de roc théorique	8 000 m^3
Quantité d'explosifs pompés	23 105 Kg
Facteur Charge	2.86 Kg/m^3
Charge max. par délai	2914 Kg
Nb de trous max. par délai	16 trous

On retrouve à la figure 11, un schéma représentant le chargement typique d'un trou. On remarque l'utilisation de 2 renforçateurs TROJAN par trou. Les détonateurs utilisés en fond de trou sont de type EXEL CONSTADET #32 (800ms). Le choix de cette période nous permettait d'initier tous les détonateurs en fond de trou avant la mise à feu du premier trou.

On retrouve à la figure 12, le patron de raccordement en surface du bouchon aval. Nous avons opté pour un tel design afin d'optimiser les opérations de marinage.

En effet, tel qu'on peut le constater sur la figure 12, nous procédons au sautage d'un bouchon central (cut) suivi par l'abattage, rangée par rangée, de la masse rocheuse restante. Cette masse rocheuse résiduelle saute de part et d'autre du bouchon en direction du centre de ce même bouchon. La dimension du bouchon central est délimitée par la charge explosive allouée par délai. Ainsi à l'issue du sautage, le volume de roc abattu sera confiné au centre sur une surface minimale.

BOUCHON AMONT

Le sautage du bouchon amont consiste au dynamitage de 3 500 m^3 de roc en majeure partie submergé. Tout comme dans le cas du bouchon aval, une plate-forme de remblai donnait accès aux opérations de forage et dynamitage. Le volume total de matériel à mariner à l'issue de ce sautage est d'approximativement 9 000 m^3.

Ce bouchon est localisé entre les PM 37 et PM 67.5. Les hauteurs de coupe de roc varient entre 0 m et 10 m.

Ce sautage est particulier puisque la masse rocheuse à sauter est localisée à moins de 33 mètres du portail d'entrée. La vitesse résultante maximale permise à cette structure est de 50 mm/sec.

Forage

Les trous de forage sont à nouveau exécutés avec une foreuse Barber et foreuse Ingersoll-Rand TH-60. Un caisson d'acier de 150 mm (I.D.) est enfoncé par rotation jusqu'à 300 mm dans le roc. Un marteau fond de trou de 150 mm guide le caisson jusqu'au roc et termine le forage dans le roc au niveau requis. Un tuyau de PVC de 100 mm (I.D.) est ensuite déposé jusqu'au fond du trou avant de retirer le caisson d'acier. Compte tenu des conditions humides, l'espace situé entre la paroi rocheuse du trou et le tubage de PVC était saturé d'eau.

Paramètres de forage et sautage

Diamètre chargé	100 mm
Nb trous chargés	105 trous
Fardeau	2.0 m
Espacement	2.5 m
Sous-forage	2.5 m
Collet	0 m à 5 m
Hauteur de coupe	0 m à 10 m
Volume de roc théorique	3500 m^3
Quantité d'explosifs pompés	8276 Kg
Facteur Charge	2.36 Kg/m^3
Charge max. par délai	109 Kg
Nb de trou par délai	1 trou
Distance sautage-structure	33 m
Localisation du séismographe	Dessus du portail d'entrée sur surface de béton.
Vitesse enregistrée	58 mm/sec
Constante de tir calculée	K = 16
Vitesse max. permise	50 mm/sec

On retrouve à la figure 13, un schéma représentant le chargement typique d'un trou.

On constate l'utilisation de détonateurs non électriques de type EXEL EXADET SPECIAL (1225ms). Nous avons opté pour ce type de détonateur afin d'optimiser la précision de mise à feu lors du sautage. En effet, ce type de détonateur à haute précision possède un écart inférieur à 1% par rapport à son temps nominal de mise à feu.

Ainsi, en conservant un écart minimal du feu de surface de 16 ms entre la mise à feu de deux trous, on évite tout risque potentiel de chevauchement dans la séquence de mise à feu. Il est à noter que les micro-connecteurs de surface étaient également de type EXADET.

Tel que pour le sautage du bouchon aval, nous avons utilisé deux amorces par trou afin de s'assurer d'une mise à feu complète sur toute la longueur du trou dans ce roc altéré.

On retrouve à la figure 14, le schéma du patron de raccordement en surface pour le sautage du bouchon amont.

Nous avons opté pour un tel design afin d'optimiser les opérations de marinage et de minimiser le volume de roc projeté vers le portail d'entrée. Ce design consiste à ouvrir une brèche le long du mur droit et d'abattre ensuite le volume de roc principal vers cette brèche.

La proximité du portail d'entrée par rapport au site de tir nous a contraint à effectuer la majorité du sautage en se limitant au tir d'un seul trou par délai.

Résultats du sautage des bouchons

Les résultats obtenus suite au sautage des deux bouchons furent excellents. En effet suite à l'achèvement des opérations de marinage du matériel abattu, on constate que:

- La fragmentation obtenue était excellente permettant ainsi aux pelles hydrauliques Komatsu PC-1000 et Caterpillar-245 de compléter les opérations de marinage selon l'échéancier prévu par l'Entrepreneur.

- Le sous-forage préconisé a permis l'excavation du roc jusqu'au radier.

- Le déplacement du matériel abattu des deux bouchons a permis de restreindre l'étendue des déblais et ainsi, d'optimiser les opérations de marinage.

- Les hauteurs de collet préconisées pour le chargement du bouchon amont et, principalement pour la rangée adjacente au portail, ont également résulté au succès de ce sautage compte tenu de la proximité du portail d'entrée et du garage de l'Entrepreneur. Les projections observées furent minimes en considérant l'envergure d'un tel sautage.

- Au niveau des vibrations du sautage du bouchon amont, la proximité du portail d'entrée engendrait plusieurs restrictions quant aux paramètres de forage et sautage. La vitesse engendrée à l'issue de ce sautage s'élevait à 58.3 mm/sec. La vitesse maximale permise au portail était cependant de 50.0 mm/sec. Toutefois, on doit prendre note que cette vitesse fut enregistrée au sommet de la structure et qu'une telle structure est apte à prendre des vibrations de beaucoup supérieures à celle enregistrée lors de ce sautage. En observant les fréquences selon les trois axes (35 hz, 54 hz et >100 hz), on peut confirmer cette hypothèse puisque ces fréquences correspondent à des fréquences considérées de moyenne à haute.

CONCLUSION

Une planification adéquate et un travail d'équipe de l'entrepreneur avec le groupe ICI-Explonor ont permis de réaliser avec succès les sautages du présent projet et, plus particulièrement, ceux des bouchons de roc submergés.

Ce projet aura permis à l'entrepreneur d'acquérir et de consolider une bonne expérience dans différents types de sautage. La firme, Les Entreprises Bon Conseil Ltée, a également profité de ce projet afin de développer une expertise dans des travaux de bétonnage d'ouvrage majeur de génie civil. Ces diverses connaissances seront utiles pour la réalisation de projets ultérieurs.

Bilan des figures

Figure 1	Plan d'aménagement des travaux
Figure 2	Coupe longitudinale et vue en plan de la galerie de dérivation
Figure 3	Canal d'entrée
Figure 4	Canal de sortie
Figure 5	Séquence d'exécution des travaux: percée frontale et banquette
Figure 6	Galerie-pilote
Figure 7	Sautage d'élargissement de la galerie-pilote
Figure 8	Percée frontale, pleine section: condition sèche
Figure 9	Percée frontale, pleine section: condition humide
Figure 10	Bétonnage du portail: vue isométrique
Figure 11	Bouchon aval: chargement type
Figure 12	Bouchon aval: patron de raccordement en surface
Figure 13	Bouchon amont: chargement type
Figure 14	Bouchon amont: patron de raccordement en surface

Figure 1

PLAN D'AMENAGEMENT DES TRAVAUX

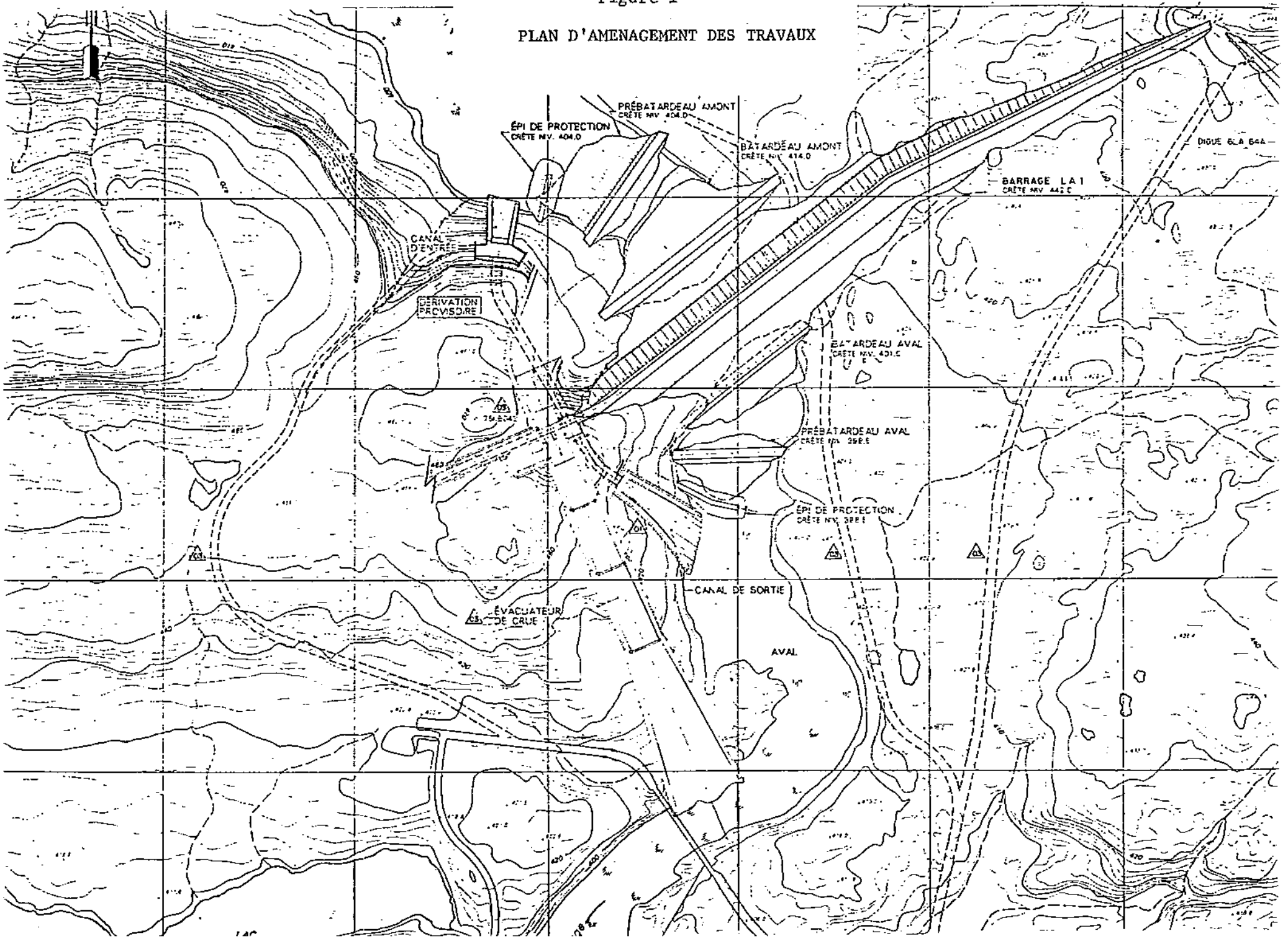
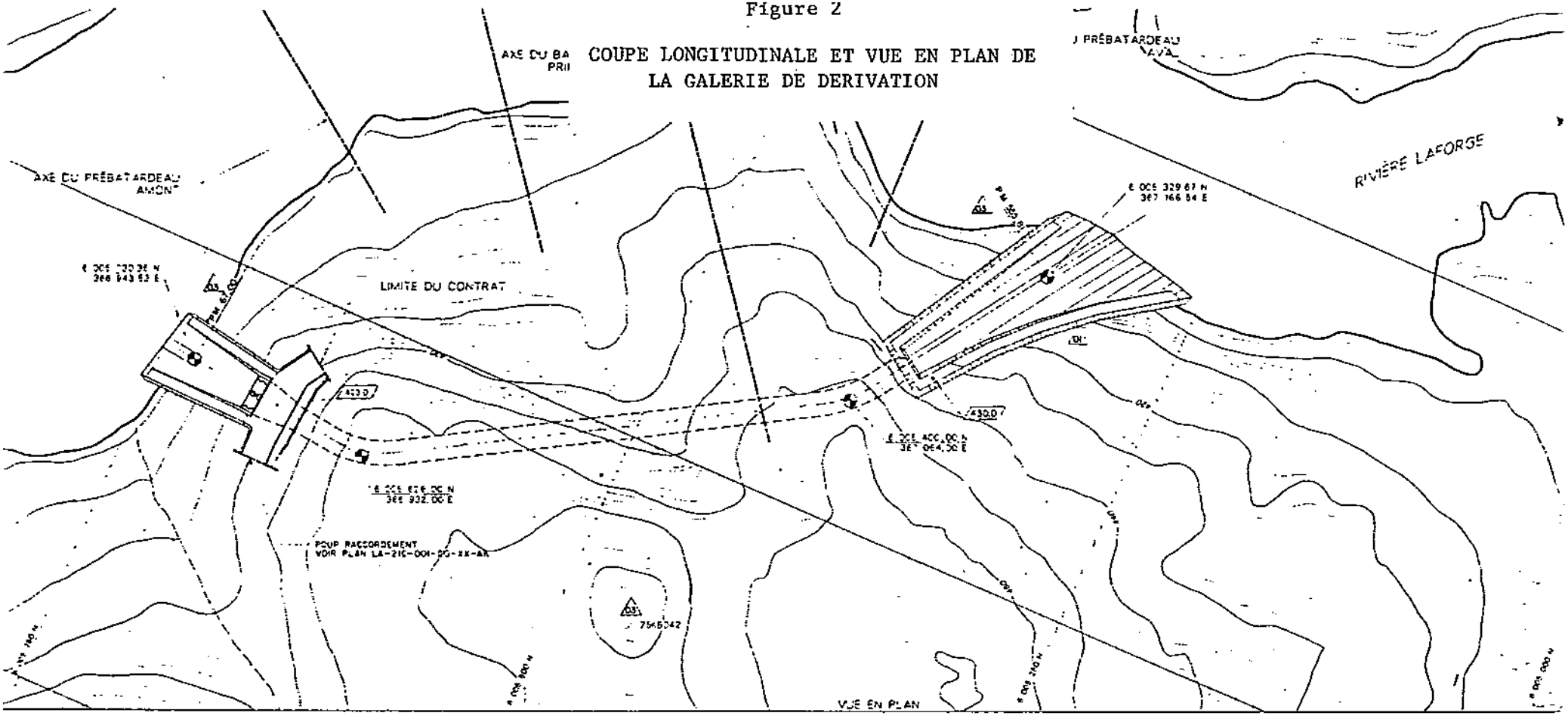
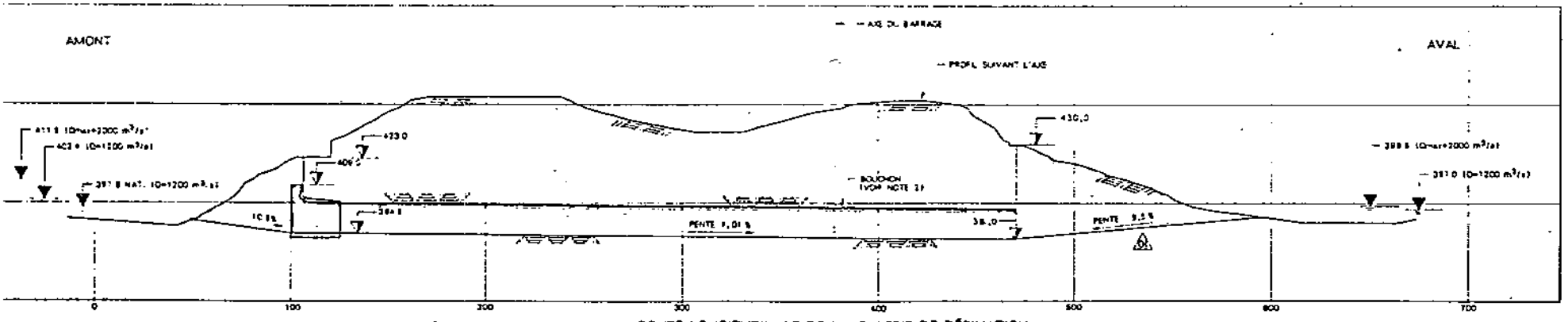


Figure 2

COUPE LONGITUDINALE ET VUE EN PLAN DE LA GALERIE DE DERIVATION





COUPE LONGITUDINALE DE LA GALERIE DE DÉRIVATION

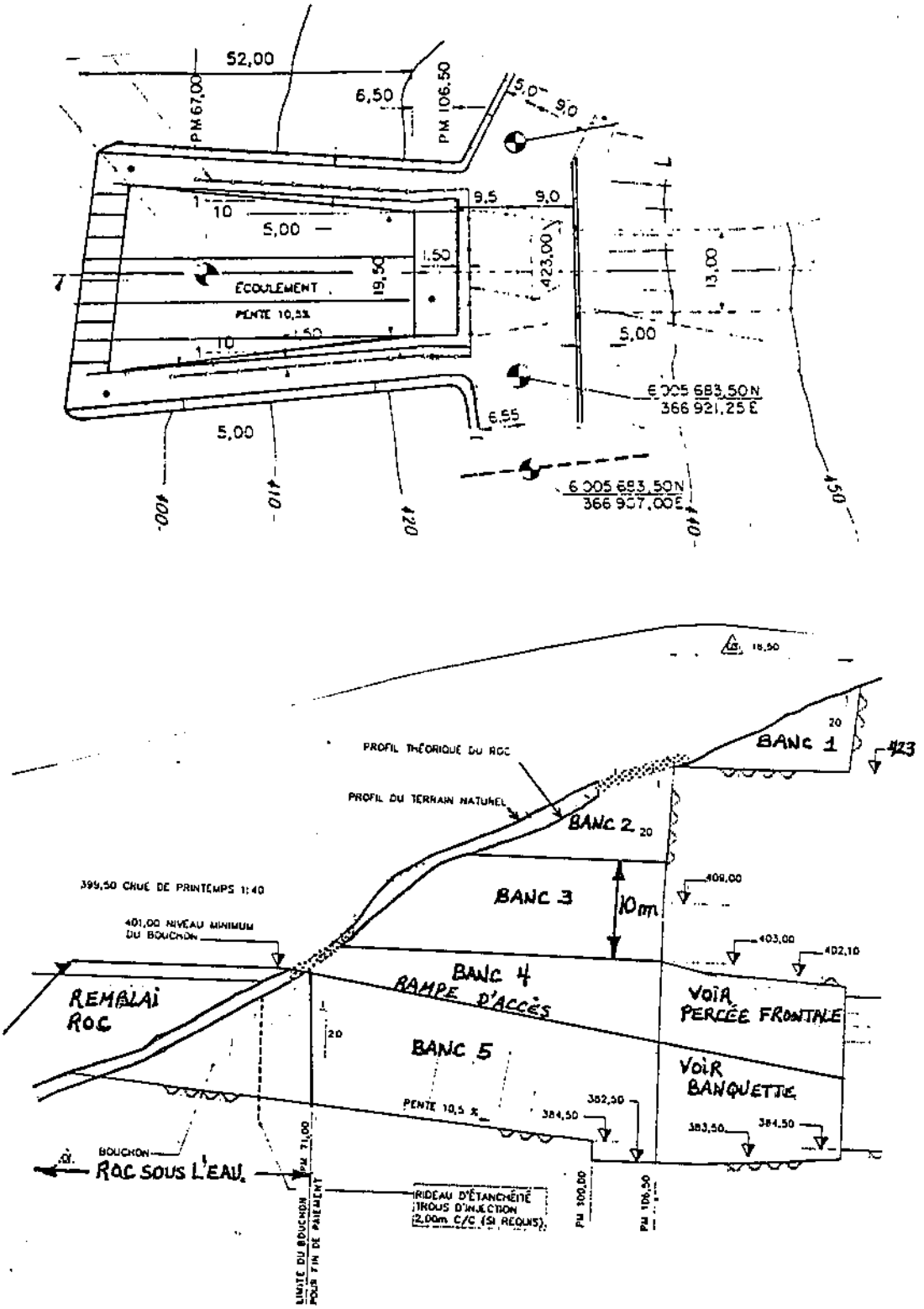


Figure 3

GALERIE DE DERIVATION - LA-1

CANAL D'ENTREE

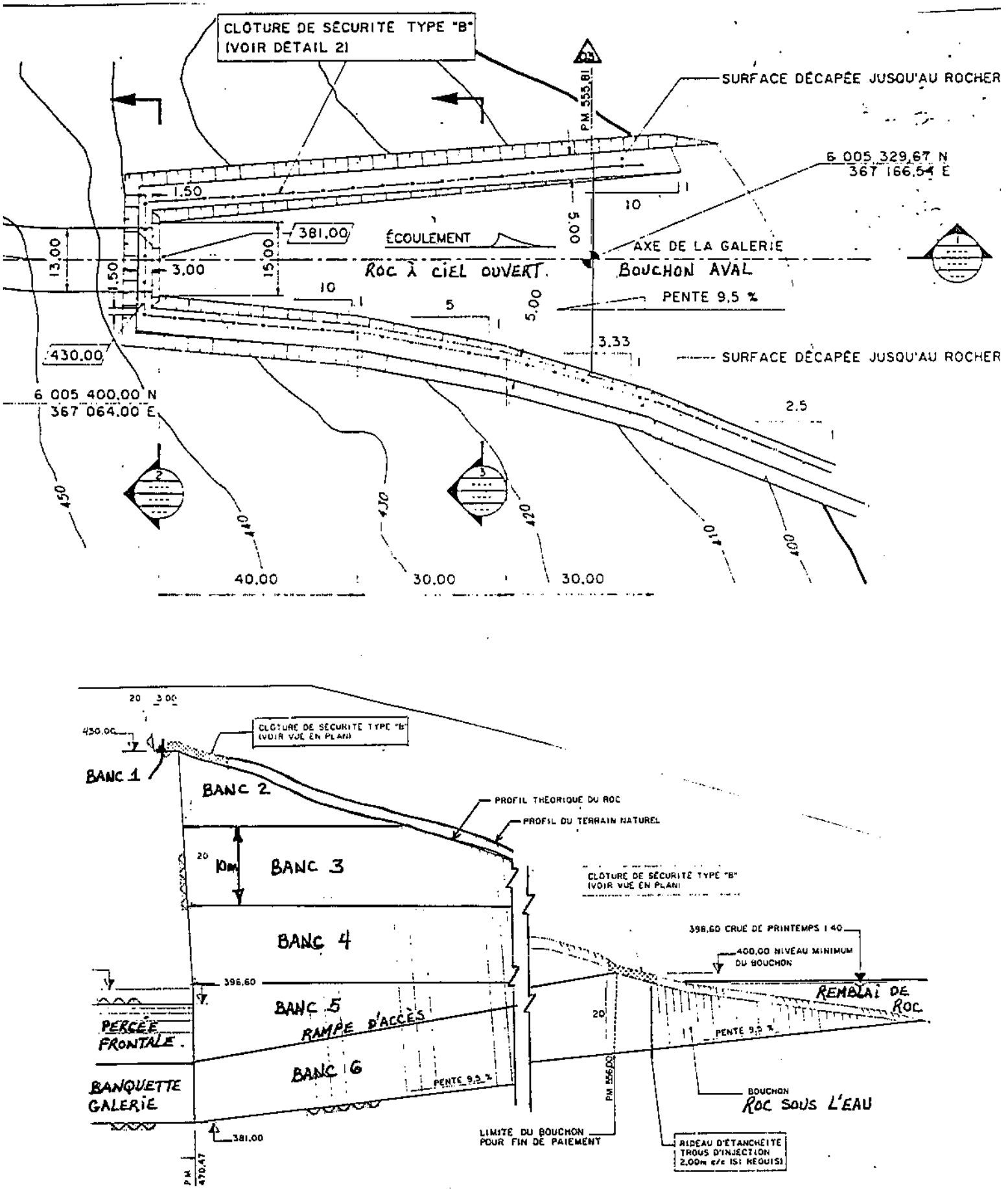


Figure 4

GALERIE DE DERIVATION - LA-1

CANAL DE SORTIE

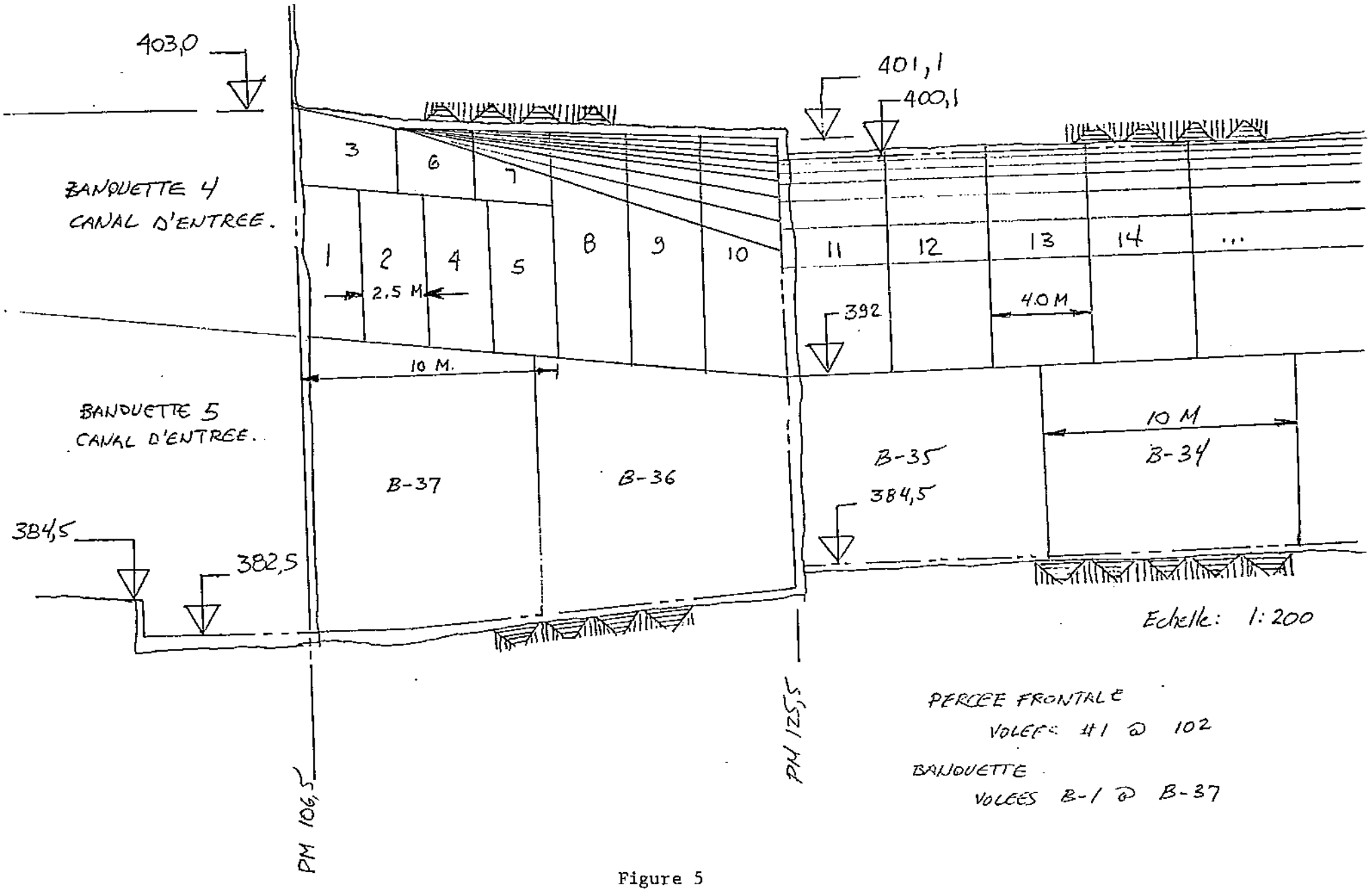


Figure 5

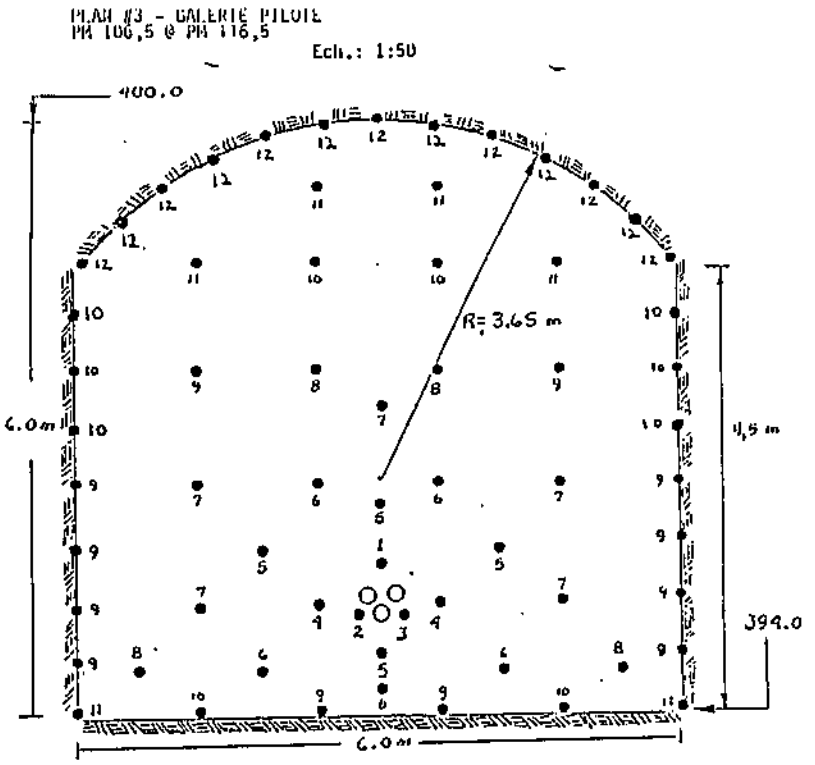
GALERIE DE DERIVATION - LA-1

SEQUENCE D'EXECUTION DES TRAVAUX

PERCEE FRONTALE ET BANQUETTE

Figure 6

GALERIE-PILOTE



Sommaire

Condition: Humide

Diamètre des trous	51 mm.	Echelle: 1:50
Profondeur forée	2.8 m.	
Nombre de trous de 51 mm.	50 u.	
Nbre de trous de dégagement de 90 mm	3 u.	
Longueur de la volée	2.5 m.	

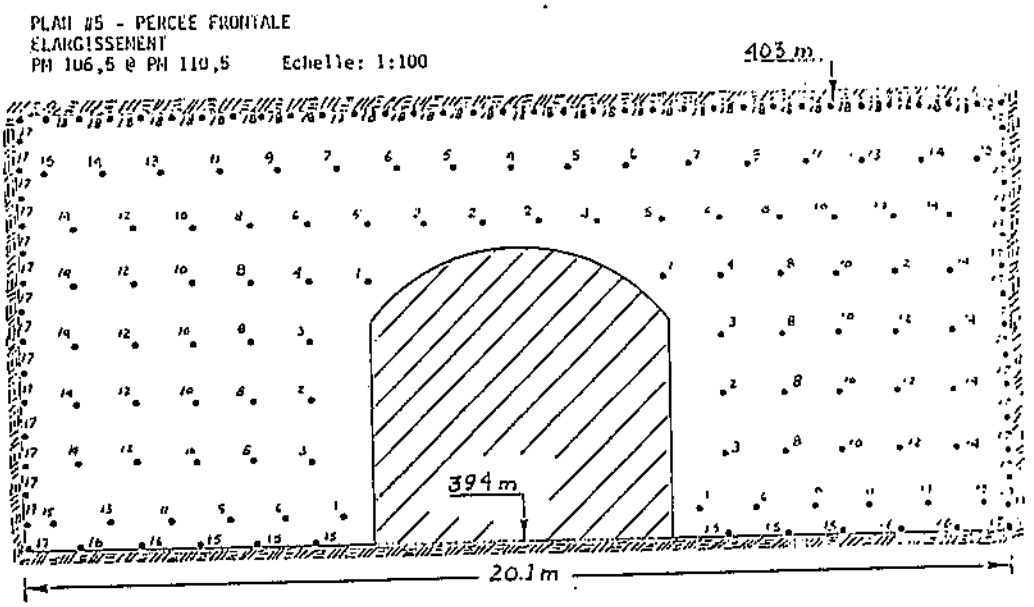
Chargement

Trous du bouchon: (8 trous)	Charg./trou	Charg.total
6 cartouches Hagnafrac 5000 45 mm x 400 mm (0.68 kg/ct)	4.08 kg	32.64 kg
1 Nonel LD 5 mètres/trou		
Trous de production: (23 trous)		
6 cartouches Hagnafrac 5000 45 mm x 400 mm (0.68 kg/ct)	4.08 kg	93.84 kg
1 Nonel LP 5 mètres/trou		
Trous de relevage: (6 trous)		
6 cartouches Hagnafrac 5000 45 mm x 400 mm (0.68 kg/ct)	4.08 kg	24.48 kg
1 Nonel LD 5 mètres/trou		
Trous périphériques: (27 trous)		
1 cartouche Hagnafrac 5000 45 mm x 400 mm (0.68 kg/ct)	0.68 kg	18.36 kg
3 cartouches Xactex 19 mm x 600 mm (0.22 kg/ct)	0.66 kg	17.82 kg
Chargement total:		187.14 kg
Facteur de charge		2.26 kg/m.cu.

Figure 7

SAUTAGE D'ELARGISSEMENT DE

LA GALERIE-PILOTE



Sommaire

Condition: Humide

Diamètre des trous	51	mm.
Profondeur forée	4.3	m.
Nombre de trous de 51 mm.	161	u.
Nbre de trous de dégagement de 90 mm	0	u.
Longueur de la volée	4	m.

Echelle: 1:100

Chargement

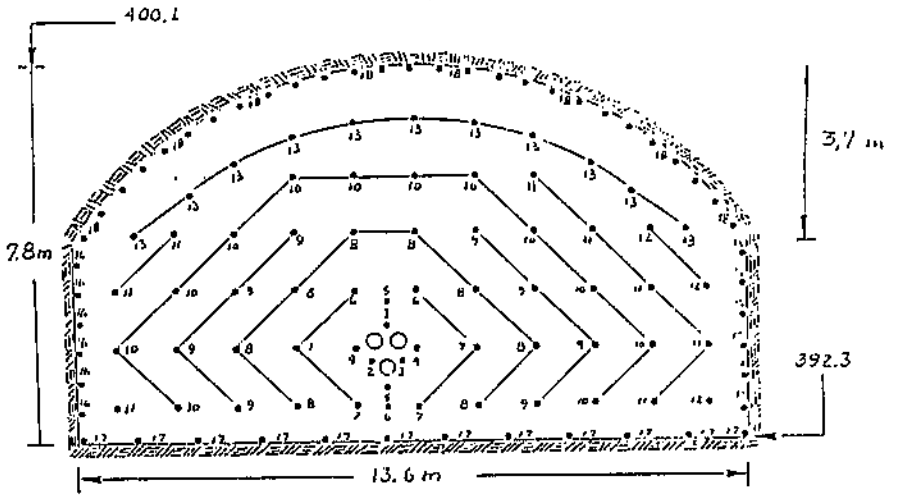
	Charg./Trou	Charg.total
Trous Lumeau (27 trous)		
10 cartouches Magnafrac 5000 45 mm x 400 mm (0.68 kg/ct)	6.80 kg	183.60 kg
1 Nonel LD 5 mètres/trou		
Trous de production: (60 trous)		
10 cartouches Magnafrac 5000 45 mm x 400 mm (0.68 kg/ct)	6.80 kg	408.00 kg
1 Nonel LP 5 mètres/trou		
Trous de relevage: (12 trous)		
10 cartouches Magnafrac 5000 45 mm x 400 mm (0.68 kg/ct)	6.08 kg	81.60 kg
1 Nonel LD 5 mètres/trou		
Trous périphériques: (82 trous)		
1 cartouche Magnafrac 5000 45 mm x 400 mm (0.68 kg/ct)	0.68 kg	42.16 kg
6 cartouches Xactex 19 mm x 500 mm (0.22 kg/ct)	1.32 kg	81.84 kg
Chargement total:		797.20 kg
Facteur de charge		1.35 kg/m.cu.

Figure 8

PERCEE FRONTALE, PLEINE SECTION

(Condition sèche)

PLAN #8
GALERIE - PERCEE ONTALE
PM 125.5 @ PM 460.47 Echelle: 1:100



Sommaire		Condition: Sec
Diamètre des trous	51 mm.	Echelle: 1:100
Profondeur forée	4.3 m.	
Nombre de trous de 51 mm.	115 u.	
Nbre de trous de dégagement de 90 mm	3 u.	
Longueur de la volée	4 m.	

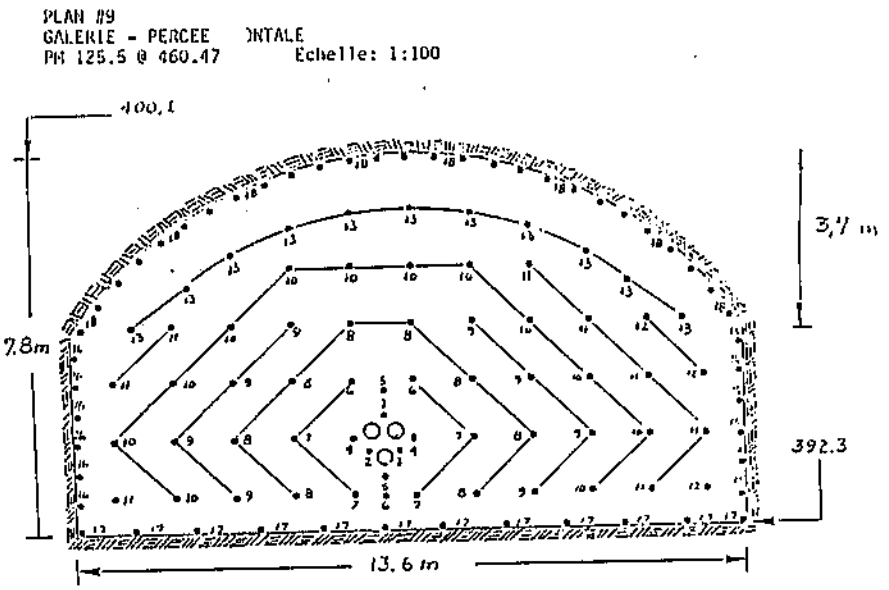
Chargement

Trous du bouchon: (8 trous)	Charg./trou	Charg.Total
10 cartouches Magnafrac 5000 45 mm x 400 mm (0.68 kg/ct)	6.80 kg	54.40 kg
1 Nonel LD 5 mètres		
Trous tampon: (17 trous)		
10 cartouches Magnafrac 5000 45 mm x 400 mm (0.68 kg/ct)	6.80 kg	115.60 kg
1 Nonel LD 5 mètres/trou		
Trous de production: (39 trous),		
1 cartouche Magnafrac 5000 45 mm x 400 mm (0.68 kg/ct)	0.68 kg	26.52 kg
3.6 mètres Amex II 1.0 gr/cc (2.02 kg/m)	7.27 kg	283.53 kg
1 Nonel LP 5 mètres/trou		
Trous de relevage: (12 trous)		
10 cartouches Magnafrac 5000 45 mm x 400 mm (0.68 kg/ct)	6.08 kg	81.60 kg
1 Nonel LD 5 mètres/trou		
Trous périphériques: (39 trous)		
1 cartouche Magnafrac 5000 45 mm x 400 mm (0.68 kg/ct)	0.68 kg	26.52 kg
6 cartouches Xactex 19 mm x 600 mm (0.22 kg/ct)	1.32 kg	51.48 kg
Chargement total:		639.65 kg
Facteur de charge		1.71 kg/m.cu.

Figure 9

PERCEE FRONTALE, PLEINE SECTION

(Condition humide)



Sommaire

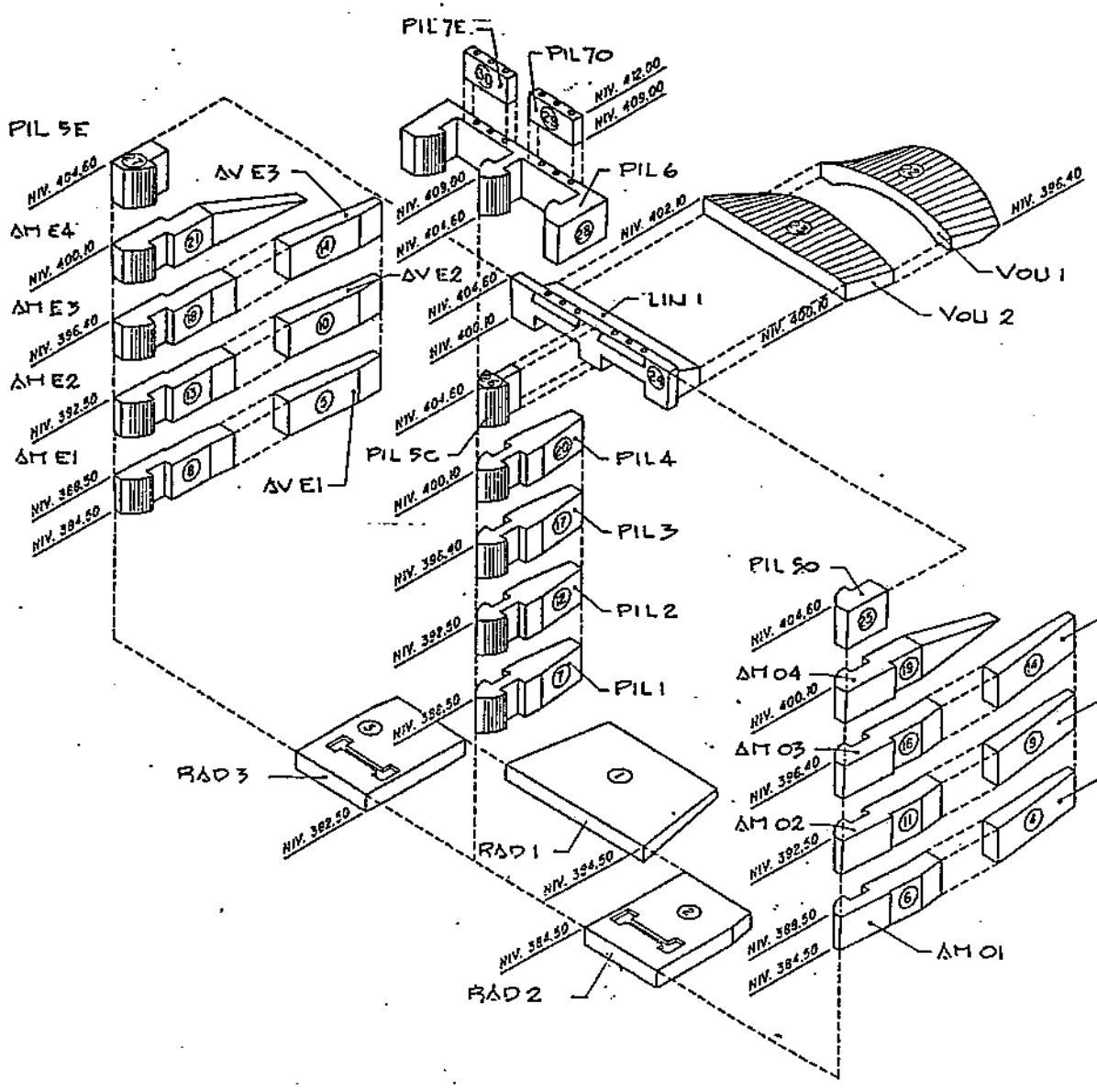
Condition: Humide

Échelle: 1:100

Diamètre des trous	51	mm.
Profondeur forée	4.3	m.
Nombre de trous de 51 mm.	115	u.
Nbre de trous de dégagement de 90 mm	3	u.
Longueur de la volée	4	m.

Chargement

	Charg./trou	Charg.total
Trous du bouchon: (8 trous)		
10 cartouches Nagnafrac 5000 45 mm x 400 mm (0.68 kg/ct)	6.80 kg	54.40 kg
1 Nonel LD 5 mètres		
Trous tampon: (17 trous)		
10 cartouches Nagnafrac 5000 45 mm x 400 mm (0.68 kg/ct)	6.80 kg	115.60 kg
1 Nonel LD 5 mètres/trou		
Trous de production: (39 trous)		
10 cartouches Nagnafrac 5000 45 mm x 400 mm (0.68 kg/ct)	6.68 kg	265.20 kg
1 Nonel LP 5 mètres/trou		
Trous de relevage: (12 trous)		
10 cartouches Nagnafrac 5000 45 mm x 400 mm (0.68 kg/ct)	6.08 kg	81.60 kg
1 Nonel LD 5 mètres/trou		
Trous périphériques: (39 trous)		
1 cartouche Nagnafrac 5000 45 mm x 400 mm (0.68 kg/ct)	0.68 kg	26.52 kg
6 cartouches Xactex 19 mm x 600 mm (0.22 kg/ct)	1.32 kg	51.48 kg
Chargement total:		594.80 kg
Facteur de charge		1.62 kg/m.cu.



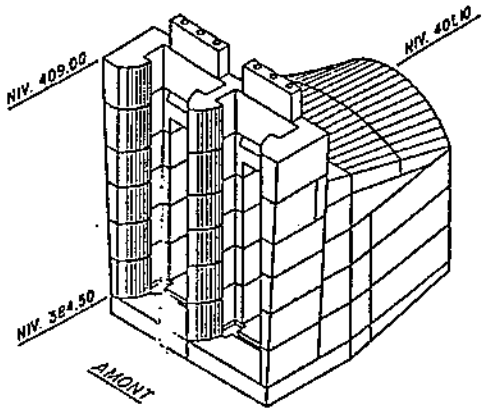


Figure 10

GALERIE DE DERIVATION - LA-1

BETONNAGE DU PORTAIL

(Vue isométrique)

Sautage du BOUCHON AVAL – Projet LA-1
(figure 11)

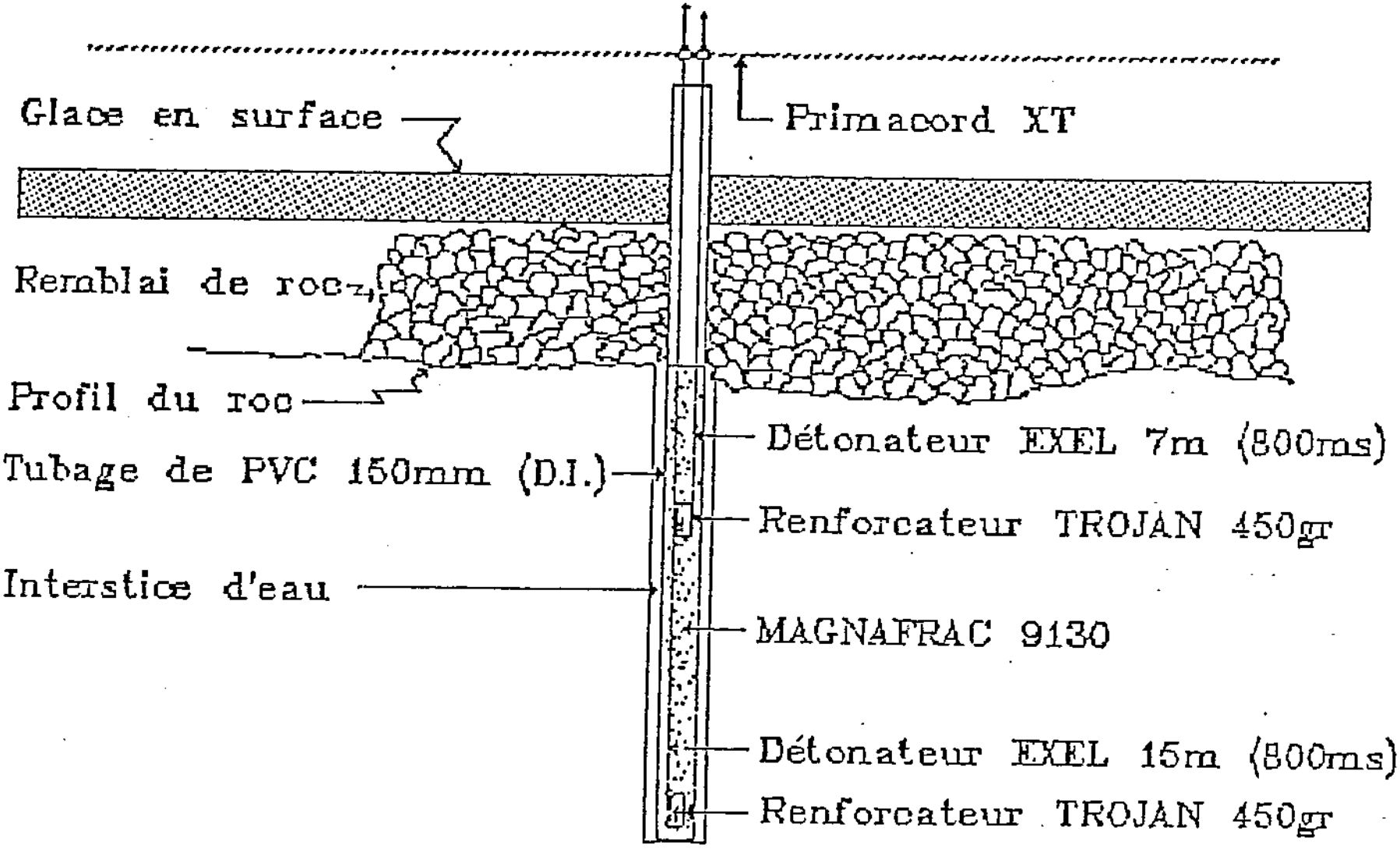
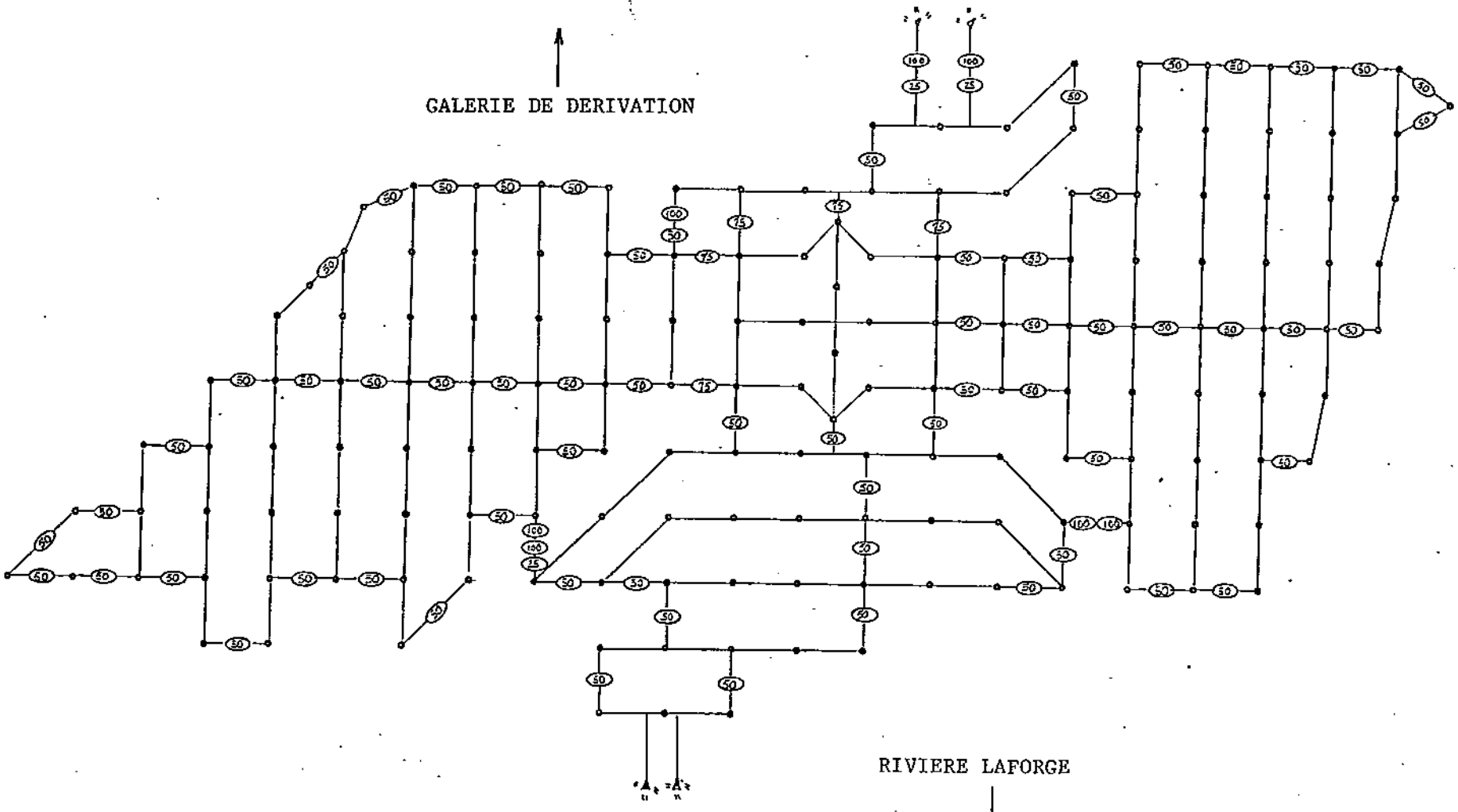


Figure 12

BOUCHON AVAL

PATRON DE RACCORDEMENT EN SURFACE



NOTE:

- 50 Micro-connecteur NONEL (50ms)
- Cordeau détonant en surface - XT PRIMACORD
- Détonateur en fond de trou - EXEL CONSTADET #32 (800 ms)

Sautage du BOUCHON AMONT - Projet LA-1
(figure 13)

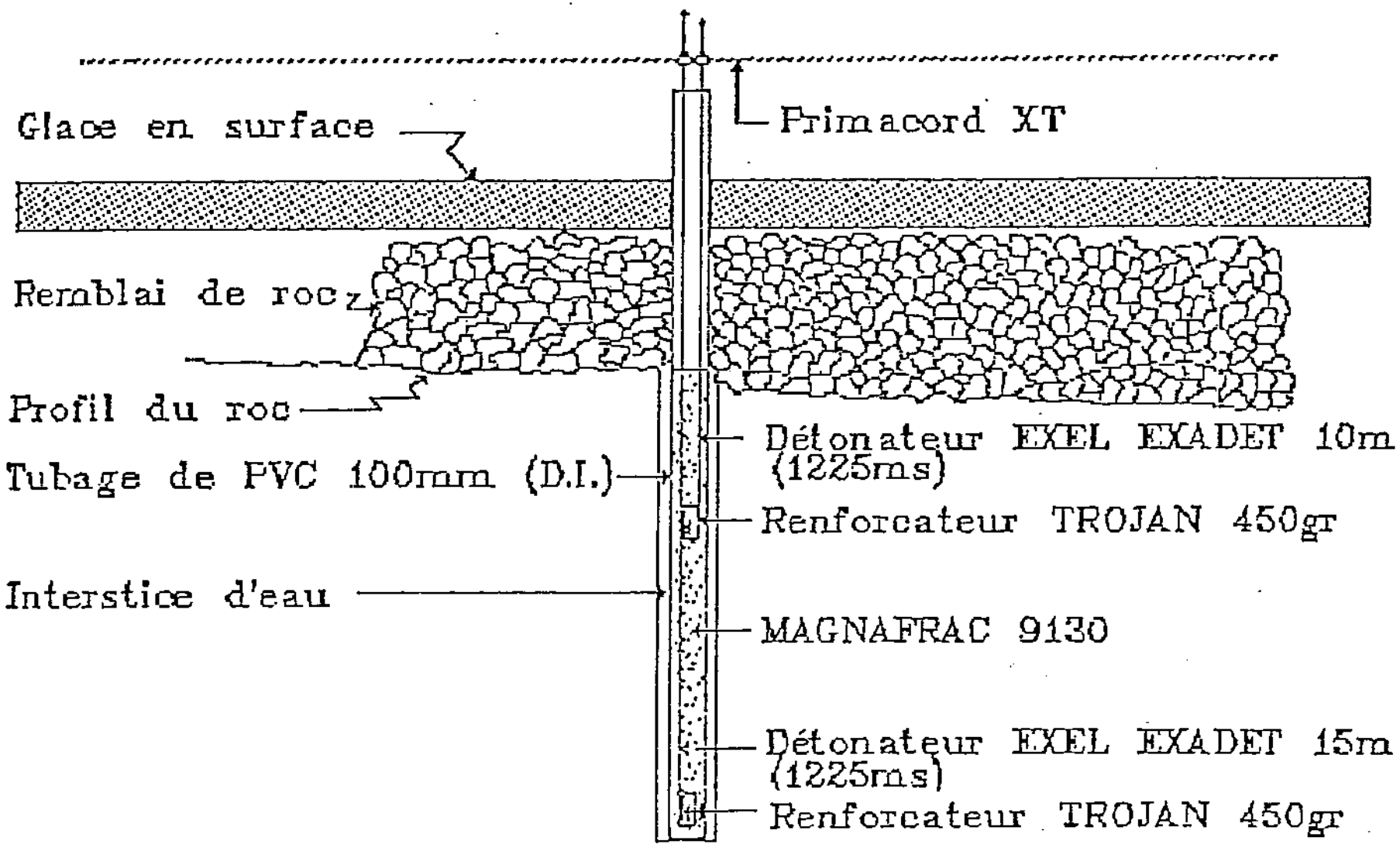
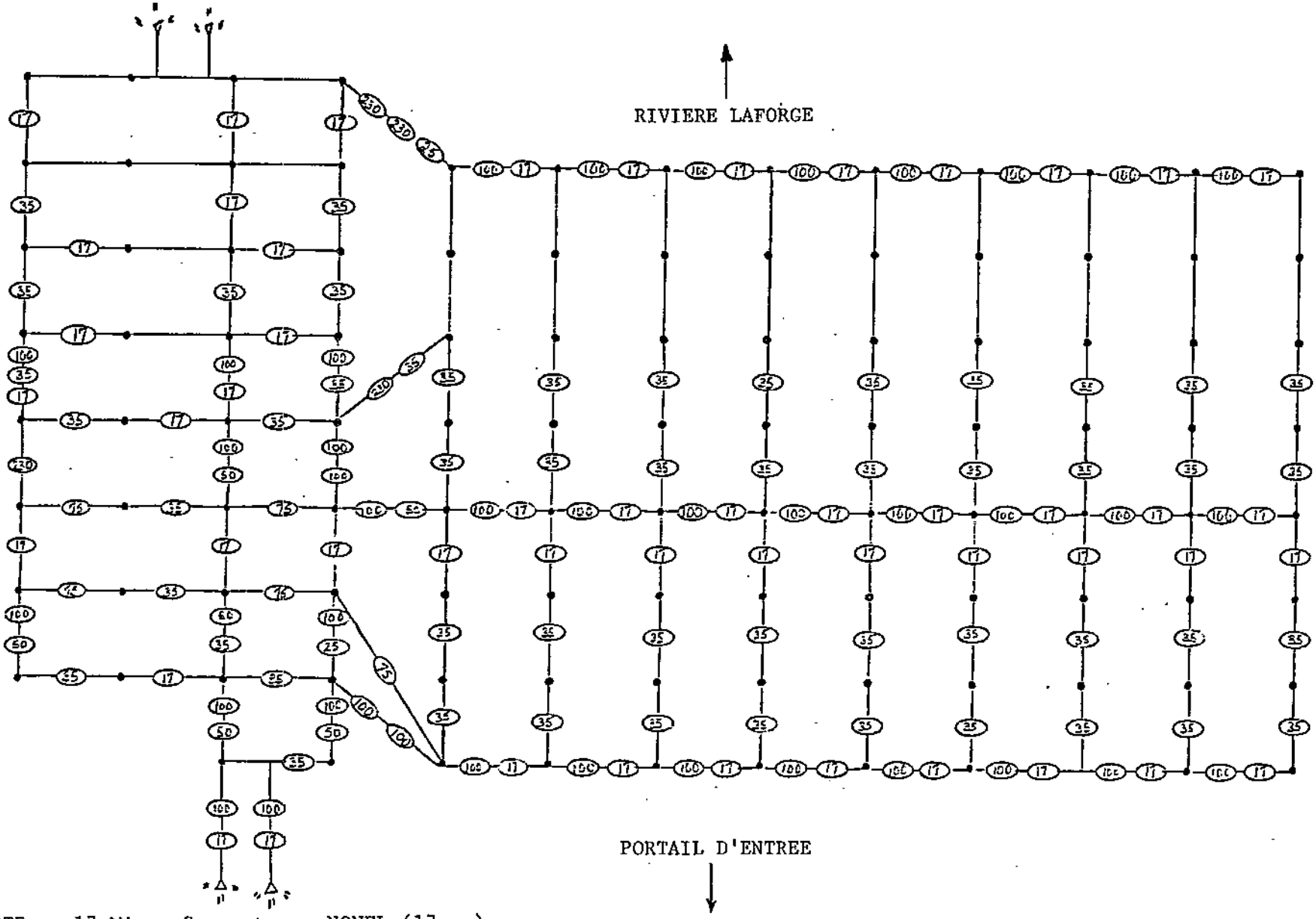


Figure 14

BOUCHON AMONT

PATRON DE RACCORDEMENT EN SURFACE



NOTE: - 17 Micro-Connecteurs NONEL (17 ms)
- Cordeau détonant de surface - XT PRIMACORD
- Détonateur en fond de trou - EXEL CONSTADET SPECIAL (1225 ms)