

EUROPEAN LABORATORY FOR PARTICLE PHYSICS  
LABORATOIRE EUROPEEN POUR LA PHYSIQUE DES PARTICULES

CERN-ST-99-042

February, 1999

**PROJET NEUTRINO – GRAN SASSO  
GENIE CIVIL**

L.A. Lopez Hernandez

**Résumé**

Le génie civil du projet Neutrino – Gran Sasso est présenté. A partir de protons de 400 GeV/c provenant du Super Proton Synchrotron (SPS) un faisceau de neutrinos est produit et dirigé vers le laboratoire souterrain Gran Sasso, en Italie, à 732 km du CERN. Les ouvrages de génie civil destinés à contenir les équipements de production du faisceau, les méthodes d'exécution, le planning et le budget sont décrits. La procédure retenue pour réaliser le prédimensionnement des ouvrages, la préparation du dossier d'appel d'offres et les études d'exécution, est analysée. Le prédimensionnement des ouvrages a été déterminé par le Groupe Génie Civil du CERN et la préparation du dossier d'appel d'offres a été menée par un Consortium de deux Consultants extérieurs.

Presented at the 2<sup>nd</sup> ST Workshop  
Chamonix, France, February 2 - 5, 1999

## 1 INTRODUCTION

Le projet Neutrino – Gran Sasso a pour objet la production d'un faisceau de neutrinos à partir de protons de 400 GeV/c du SPS et dirigés vers le laboratoire souterrain du Gran Sasso, en Italie, situé à 732 km du CERN (Fig. 1).

Un Comité Technique et un Groupe de Travail interne au CERN furent mandatés par le CERN et l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) pour l'étude de ce projet [1]. Le travail de ce Comité et Groupe de Travail commença en avril 1997.



Figure 1 : Vue d'ensemble du projet.

Les résultats de ce travail, en ce qui concerne le génie civil, sont analysés ci-après.

## 2 PRESENTATION DU PROJET DE GENIE CIVIL

L'ensemble du projet génie civil se compose de cinq tranches d'ouvrages souterrains.

Les ouvrages seront réalisés entièrement dans la molasse du bassin lémanique. Cette roche est composée de strates d'épaisseur métrique et de qualité variable qui vont de marnes relativement tendres à des grès très durs. La seule exception est le puits de la galerie d'accès au travers duquel la totalité des travaux de génie civil sera réalisée. Celui-ci traversera en effet une épaisseur de 15 m environ de moraines dans sa partie supérieure.

### 2.1 Proton beam tunnel

Depuis son raccordement sur une amorce en attente à la jonction avec le tunnel TI 8 jusqu'au premier ouvrage de l'ensemble Chambre des Cibles, le Tunnel de Jonction, la longueur du proton beam tunnel est de 590 m. Son diamètre est de 3,10 m. Les parois et voûtes seront réalisées en béton coffré. La pente générale est de 3,50%.

## **2.2 Chambre des Cibles et ses annexes (Fig. 2)**

La Chambre des Cibles proprement dite est un ouvrage cylindrique d'une longueur de 115 m pour un diamètre de 6,50 m. Elle est accolée en amont au Tunnel de Jonction permettant le raccordement de la galerie d'accès et du proton beam tunnel. Cet ouvrage, quant à lui, a une longueur de 8 m pour un diamètre de 9 m. Au voisinage des cibles, la chambre sera élargie du côté Sud à un diamètre de 8,50 m, sur une longueur de 15 m. Elle recevra sur toute sa longueur un pont roulant de 10 t de capacité, circulant sur voies de roulement métalliques.

En amont du Tunnel de Jonction ont été prévues :

- Une chambre de stockage de 20 m de longueur pour 3,10 m de diamètre.
- Une caverne destinée à recevoir les équipements de ventilation et refroidissement de 15 m de longueur pour un diamètre de 9 m. Les équipements seront disposés sur une plateforme métallique à 2,70 m de hauteur pour permettre le passage au-dessous.

Ces ouvrages annexes sont les seuls disposés horizontalement.

Parallèlement à la Chambre des Cibles a été prévue une galerie de service d'une longueur totale de 148 m pour un diamètre de 3,40 m. Elle est reliée à une extrémité directement à la caverne des équipements de ventilation, et à l'autre extrémité par l'intermédiaire d'une galerie perpendiculaire de 1,80 m de diamètre au decay tunnel pour permettre le raccordement des équipements destinés au vide.

En outre, la Chambre des Cibles et la galerie de service seront reliées entre elles par six galeries transversales de 1,80 m de diamètre pour permettre le passage des personnes et des dispositifs d'alimentation.

Les parois et voûtes de ces ouvrages seront réalisées en béton coffré à l'exception de celles de la galerie de service, en béton projeté.

La pente générale de ces ouvrages est de 5,62%.

## **2.3 Galerie d'accès et puits**

La galerie d'accès permettra d'acheminer matériel et personnel depuis les installations du Point 4 de l'accélérateur SPS, en l'occurrence la caverne existante ECA 4 jusqu'à la chambre des cibles, via le Tunnel de Jonction. Elle est rectiligne et sa longueur est de 768,80 m pour un diamètre de 3,10 m. La pente générale de l'ouvrage est de 2,20%. Ses parois et voûtes seront réalisées en béton projeté.

Le puits général d'accès depuis la surface à l'ensemble des ouvrages du projet est situé à 130 m de la caverne existante ECA 4. Il présente un diamètre de 8 m pour une profondeur de 57 m. Il s'agit d'un ouvrage d'usage provisoire. Ses parois seront donc protégées seulement par un béton projeté. Une fois le projet entièrement terminé, ce puits sera obturé en surface par une dalle en béton armé de façon à rétablir l'environnement à son état initial.

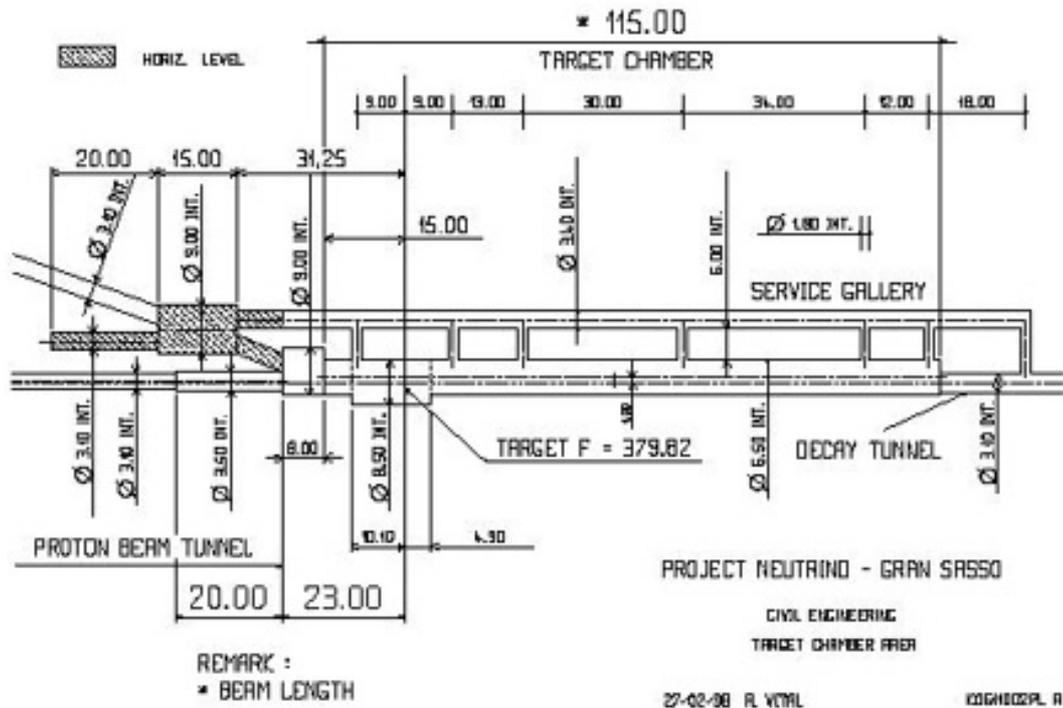


Figure 2 : Chambre des cibles

## 2.4 Decay tunnel

Le Decay tunnel est rectiligne et se situe entre l'extrémité aval de la Chambre des Cibles et celle amont du Hadron Stop. Il recevra le tube acier dans lequel un vide poussé sera fait pour permettre la désintégration des particules issues de la Chambre des Cibles. Sa longueur est de 992 m pour un diamètre intérieur avant la mise en place du tube acier, de 3,10 m. A ce stade, ses parois et voûtes seront réalisées en béton projeté. La base de ce tunnel est réalisée en segments préfabriqués pour permettre une utilisation en voie de roulement pour les chantiers de pose du tube acier et d'amenée des blocs acier vers le Hadron Stop.

Le tube acier, de même longueur que le tunnel, présente un diamètre intérieur de 2,45 m (96 inches). Il sera réalisé à partir d'éléments de 6 m de long soudés en place. L'espace entre le tube acier et le tunnel est rempli de béton.

La pente générale de ce tunnel est de 5,62%.

Il croise le tunnel LEP/LHC peu avant son extrémité côté Hadron Stop, à une distance de 9,80 m sous celui-ci.

## 2.5 Chambre Hadron Stop, muon detector pits et galeries d'accès (Fig. 3)

La chambre du Hadron Stop proprement dite a une longueur totale de 26 m pour un diamètre de 6,00 m. Elle est principalement destinée à recevoir un volume de 4 m 3 4 m 3 18,20 m d'acier, de graphite et d'aluminium pour l'arrêt des hadrons. La pénétration du decay tunnel dans cette chambre est de 2,50 m. L'élargissement ainsi dégagé autour de l'extrémité du decay tunnel est destiné à permettre l'amenée et le positionnement des blocs d'acier composant le hadron stop. La dernière tranche aval de 5 m de long de cette chambre abritera le muon detector No 1. Les parois de cette chambre recevront un béton coffré. De même les vides entre le blindage et les parois de la chambre seront remplis de béton. La zone du muon detector pit No 1 recevra perpendiculairement côté Sud un tronçon de galerie de 20 m de long et 3,10 m de diamètre. A l'extrémité de celui-ci se trouve une chambre de raccordement de 10 m de long sur 4,00 m de diamètre destinée à permettre le passage des équipements de

détecteurs et à abriter des équipements électroniques et de ventilation/refroidissement. Cette chambre se trouve elle-même reliée à l'extrémité de l'alvéole RE 88 existante du tunnel LEP/LHC par une galerie de 224 m de longueur et 3,10 m de diamètre permettant l'accès et divers raccordements. Cette galerie se compose d'une partie rectiligne et d'une partie courbe. Les pentes sont respectivement de 5,64% et 10,8%.

Une deuxième chambre de 6 m de diamètre et 3,50 m de long est située à 67 m de la première dans l'axe du faisceau. Elle est destinée à loger le muon detector No 2. Elle est reliée à la chambre de raccordement déjà mentionnée par une galerie de 104 m de long pour 3,10 m de diamètre. Elle se compose de deux éléments rectilignes formant un angle de 75° relié par un élément courbe. Sa pente générale est de 3,76%.

Les parois et voûtes de toutes les galeries de liaison et chambres de raccordement sont réalisées en béton projeté, alors que la finition des muon detector pits est assurée par du béton coffré.

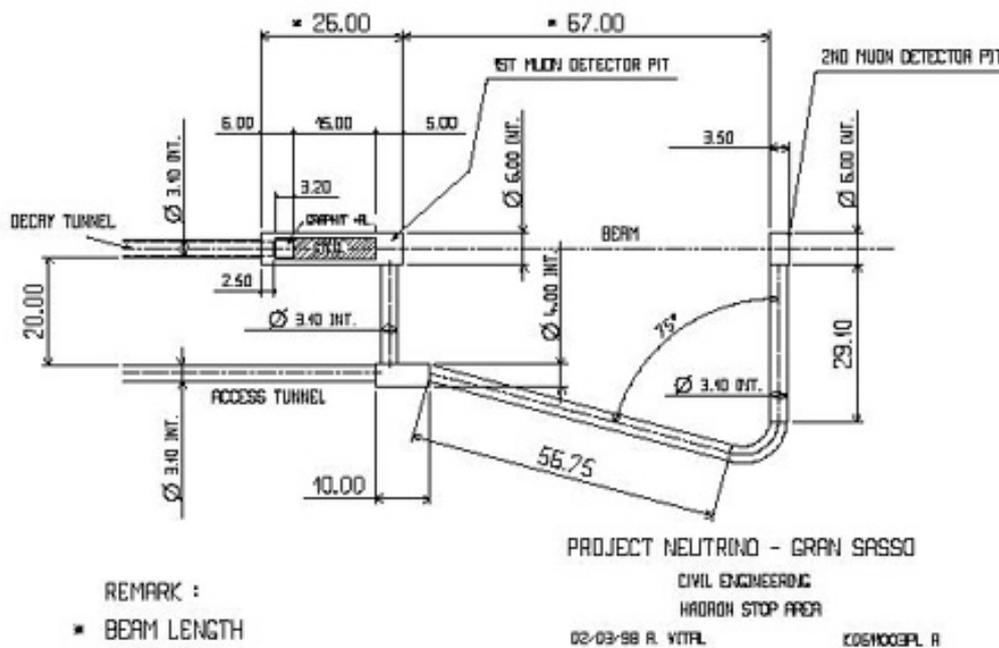


Figure 3 : Chambre Hadron Stop.

### 3 ETUDES DE GENIE CIVIL

Le prédimensionnement des ouvrages souterrains composant le projet Neutrino – Gran Sasso a été déterminé par le Groupe Génie Civil du CERN sur la base des indications fournies par le Comité Technique CERN–INFN et par le Groupe de Travail.

L'état du projet tel qu'il a été décrit ci-dessus a été figé en novembre 1997 de façon à permettre le lancement des études de génie civil à la même date.

Les études de génie civil ont été menées par un Consortium de deux Consultants [2] extérieurs au CERN, dont l'un d'entre eux était déjà titulaire, en Joint Venture, de l'un des trois contrats d'études du projet LHC.

Les études de génie civil du projet Neutrino ont été décomposées en trois phases bien distinctes :

- a) Phase 1. Pendant cette phase le Consultant devait se familiariser avec le projet et les spécifications fournies par le CERN. En particulier, il devait effectuer une visite du site, analyser toute l'information géotechnique disponible, et préparer un ensemble de plans préliminaires, lesquels, après approbation du CERN, permettaient de figer les caractéristiques dimensionnelles et fonctionnelles des ouvrages.
- b) Phase 2. Durant cette phase le Consultant devait produire l'ensemble des documents techniques de l'appel d'offres, c'est à dire, des plans, des spécifications techniques, et le bordereau de prix unitaires. Les documents administratifs qui complétaient le dossier d'appel d'offres étaient préparés par ST-CE en collaboration avec le Service Juridique et le Service des Achats.
- c) Phase 3. Cette phase comprenait la production des documents d'exécution.

La coordination entre le travail effectué par le Consultant et le CERN était assurée grâce à l'intervention d'un sous-groupe de travail. Celui-ci était constitué par des membres propres au Comité Technique et extérieurs qui, chacun d'entre eux, représentaient les divers corps d'état susceptibles d'avoir une incidence sur le génie civil. Les équipements électriques et le câblage, les réseaux d'eau, la machine, les équipements de physique (cible, hadron stop, etc.), la ventilation, la radioprotection, le planning et la coordination avec le projet LHC, la manutention, le contrôle et communications, la sécurité, y étaient ainsi représentés.

A la fin de chaque phase de travail décrite plus haut, les plans étaient soumis à l'approbation du sous-groupe de travail utilisant le système informatique CDD. Une fois cette approbation obtenue, le projet pouvait passer à la phase suivante.

#### **4 PLANNING**

Avec l'hypothèse que les travaux de génie civil pourront commencer en octobre 1999, juste après l'autorisation d'adjudication lors du Comité de Finances de septembre 1999, le premier faisceau pourrait être obtenu fin 2003.

Les séquences d'exécution des travaux d'excavation prévues pour respecter ce planning sont les suivantes :

- Excavation du puits d'accès et d'une chambre en pied de puits (cf. § 3.2 ci-avant).
- Descente puis montage du tunnelier dans cette chambre.
- Excavation au moyen du tunnelier successivement et sans interruption :
  - de la galerie d'accès,
  - du tunnel de jonction et de la chambre des cibles (en diamètre du tunnelier),
  - du decay tunnel,
  - de la chambre pour le hadron stop jusqu'à son extrémité le detector pit No 1 (au diamètre du tunnelier).
- En parallèle, excavation du tronçon de la galerie d'accès depuis le puits jusqu'à la chambre ECA 4 au moyen d'une haveuse.
- Egalement en parallèle et en fonction de la compatibilité avec l'évacuation des déblais en provenance du tunnelier, élargissement des différentes chambres amont à leur gabarit définitif au moyen d'une haveuse. Il en sera de même pour les ouvrages non

directement situés sur le parcours du tunnelier dont, par exemple, la galerie de service ou la chambre de stockage.

- En fin d'excavation par le tunnelier, deux options sont possibles :
  - soit démontage, transport et évacuation du tunnelier par le puits. Réalisation des travaux d'excavation du proton beam tunnel au moyen d'une haveuse,
  - soit démontage, transport jusqu'à la chambre des cibles et réinstallation du tunnelier dans la direction opposée. Réalisation des travaux d'excavation du proton beam tunnel par le tunnelier.
- En parallèle avec les travaux ci-avant, exécution au moyen d'une haveuse de l'ensemble des travaux d'excavation restants :
  - Elargissement au gabarit final de la chambre du hadron stop et du detector pit No 1.
  - Réalisation de la galerie d'accès à la chambre du detector pit No 2 et de la chambre proprement dite.
  - Réalisation de la galerie de jonction à l'alvéole RE 88 existante du LEP/LHC.
  - Le cas échéant, achèvement des travaux d'excavation des chambres et ouvrages annexes au voisinage de la chambre des cibles.

En ce qui concerne la mise en oeuvre des revêtements de finition des ouvrages, celle-ci est prévue pour être exécutée de la façon suivante :

- Pour les galeries d'accès et de service :
  - Mise en oeuvre d'un béton projeté au fur et à mesure de l'avancement des travaux d'excavation.
  - Réalisation d'un radier plat en béton coulé en place, après repli du chantier d'excavation.
- Pour les autres ouvrages du projet à l'exception du Decay tunnel :
  - Réalisation de la voûte, du radier et des tympanes au moyen de béton coulé en place et finitions habituelles.
- Pour le decay tunnel :

Mise en place du tube métallique transporté à pied d'oeuvre, via le puits et la galerie d'accès par tronçons de 6,00 m de long. Les tronçons sont soudés sur place et contrôlés après calage et alignement soigneux. L'espace annulaire entre le tube et l'excavation est rempli de béton 'sans retrait', tronçon après tronçon.
- Pour la chambre hadron stop :

La mise en oeuvre des calages et remplissages autour et en avant des blocs d'acier se fera un fois tous ceux-ci en place et réglés, également au moyen de bétons 'sans retrait'.

## **5 BUDGET**

Le coût estimé de l'ensemble du projet Neutrino – Gran Sasso est de 71 MCHF. Le génie civil proprement dit a un coût prévisionnel de 41.6 MCHF qui se décompose comme suit :

Proton Beam Tunnel, Galerie d'Accès et puits PGCN	13.9MCHF
Cavernes (Chambre des Cibles, Hadron Stop et galeries d'accès aux Muon Detector pits)	11.1 MCHF
Decay Tunnel (y compris tube d'acier et bétonnage)	12.9 MCHF
Etudes et Supervision des travaux	<u>3.7 MCHF</u>
<b>TOTAL GENIE CIVIL</b>	<b>41.6 MCHF</b>

La base des prix utilisée pour l'estimation a été celle des meilleurs prix reçus lors de l'appel d'offres du projet LHC.

## 6 CONCLUSION

La procédure choisie par ST – mener les études de génie civil s'est révélée, d'une part, souple, grâce aux mécanismes mis en place pour assurer la transmission des besoins des physiciens au Consultant dans des bonnes conditions, et, d'autre part, sûre, grâce à l'emploi de bureaux d'études extérieurs, de prestige reconnu, qui assurent l'application d'un «design» et des technologies d'exécution de pointe.

Malheureusement, à l'heure actuelle, le projet Neutrino – Gran Sasso n'est pas encore approuvé puisqu'il est dans l'attente du financement nécessaire.

Toute l'équipe qui, depuis près de deux ans, travaille sur ce projet, attend avec impatience le démarrage d'un projet qui s'est révélé passionnant tout au long de son élaboration.

### References

- [1] CERN 98-02 et INFN/AE-98/05, The CERN Neutrino Beam to Gran Sasso (NGS). Conceptual Technical Design, 19 May 1998.
- [2] TEAM-GIBB joint venture, Civil Engineering Neutrino Project, 12 May 1998.