

## *Decay tube: Etudes et installation*

### Decay tube: La vie d'un projet





## Sommaire:

Chronologie

Études

Pré dimensionnement et Étude d'options

Étude d'optimisation

Vérification thermique

Étude détaillée

Documents d'Appel d'Offres

Market Survey

Réalisation des travaux.

Organisation mise en place

Méthode d'exécution

Cycle journalier

Difficultés

Résultats du contrôle de qualité

Test d'étanchéité

Remerciements

# Decay tube: Etudes et installation



## Chronologie:

Avril 1997-Nov 1997:

Pré dimensionnement et Étude d'options (groupe TS-CE)

Janvier 1999-Mars 1999:

Étude d'Optimisation

Septembre 2001:

Vérification thermique

Octobre 2001:

Étude détaillée

Novembre 01-Mars 2002:

Préparation des documents d'Appel d'Offres

Décembre 2001:

Market Survey

Avril-Mai 2002:

Appel d'Offres

Décembre 2002:

Signature du Contrat des Travaux

Janvier 2003-Mai 2004:

Réalisation des travaux



## Prédimensionnement et Etude d'options (groupe TS-CE)

*Avril 1997-Nov 1997*

-Le prédimensionnement du Decay tube a été déterminé par le groupe TS-CE sur la base des indications fournies par le Comité Technique CERN-INFN et par le Groupe de Travail interne au CERN mandatés par le INFN et le CERN en Avril 1997 pour l'étude du Projet Neutrino-Gran Sasso

-De nombreuses options ont été étudiées et comparées entre elles durant l'année 1997 avant qu'une solution soit enfin retenue en Novembre 1997. Ainsi des solutions avec et sans béton, avec et sans ventilation, avec et sans drainage, avec et sans tube d'acier ont été analysées

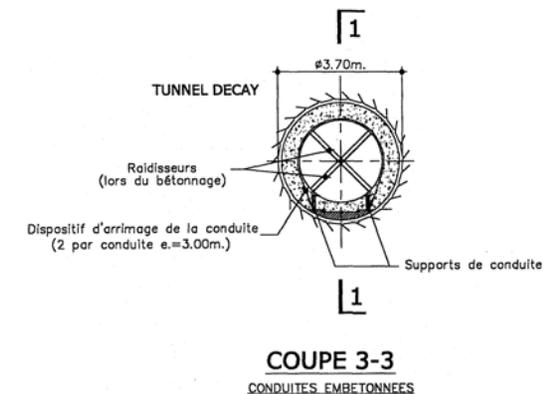
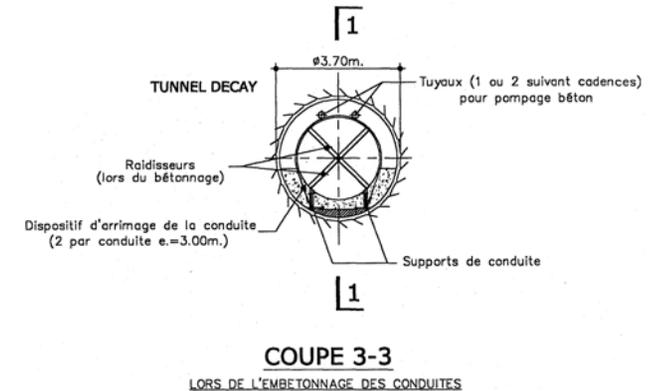
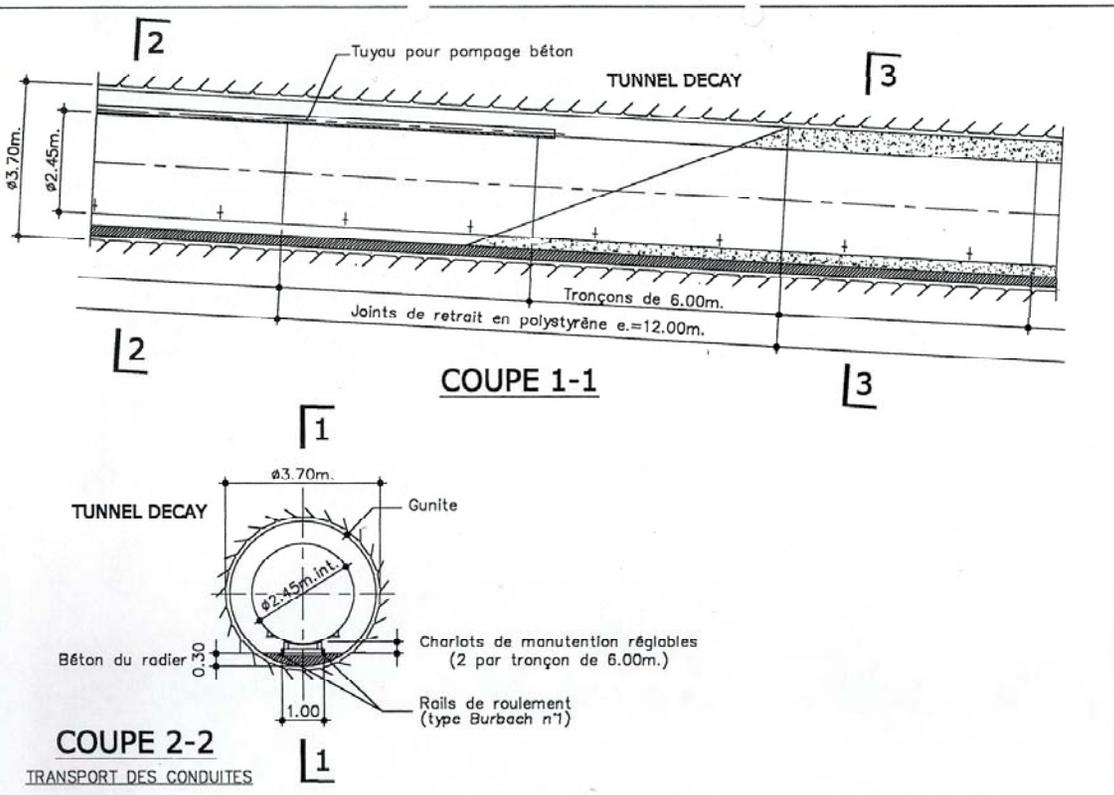


## Etude d'Optimisation *Janvier 1999-Mars 1999*

- L'étude d'optimisation du Decay tube et son dimensionnement final ont été confiés à la société belge TRACTEBEL
- L'étude d'optimisation réalisée en mars 1999 ne tenait pas compte des contraintes thermiques dérivées du dépôt d'énergie produit sur le tube.
- Le dimensionnement final réalisé en Septembre 2001 a intégré l'ensemble des actions appliquées sur l'ouvrage y compris les actions thermiques

# Decay tube: Etudes et installation

## Etude d'Optimisation. Premières ébauches d'une méthode d'exécution.

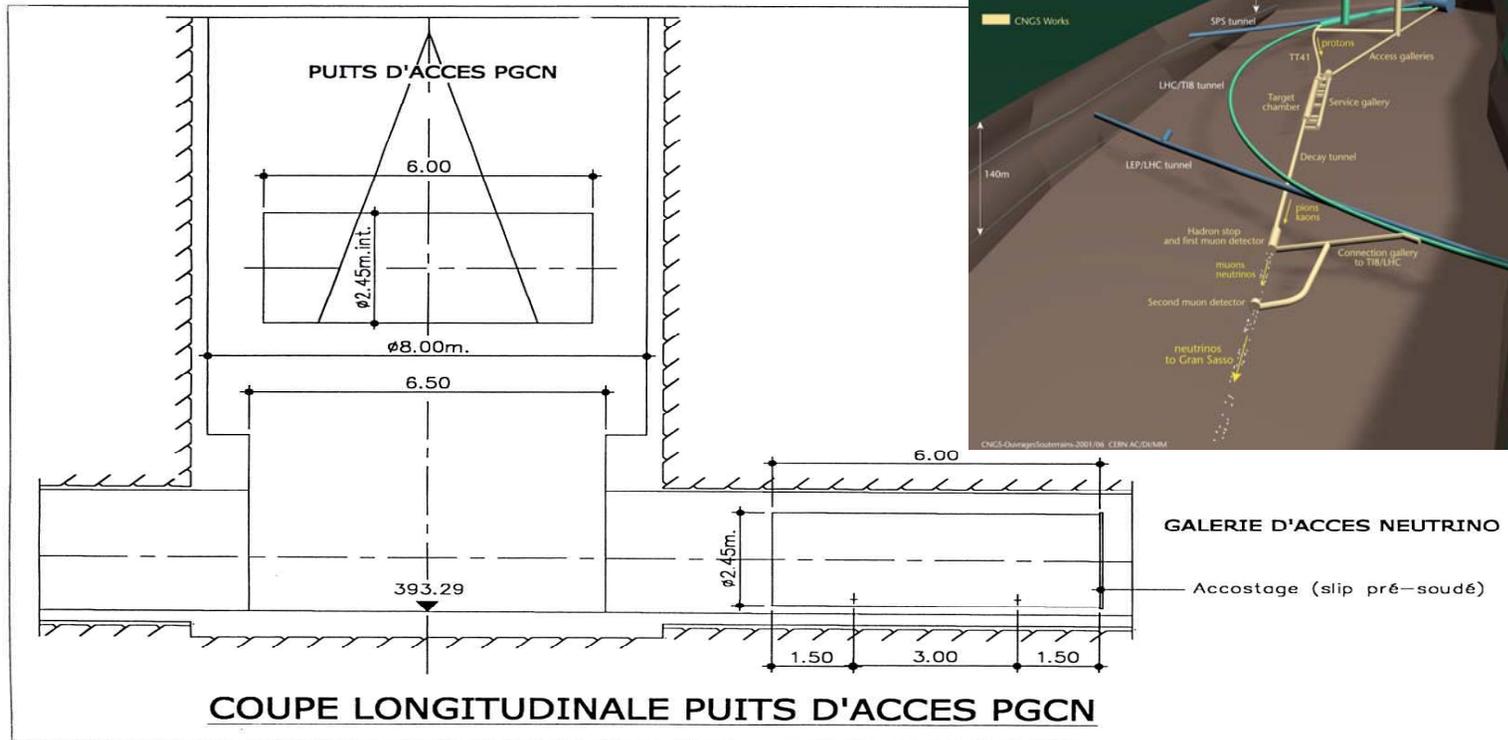


- Raidisseurs lors du bétonnage
- Dispositif d'arrimage de la conduite au tunnel empêchant son soulèvement

# Decay tube: Etudes et installation



## Etude d'Optimisation. Premières ébauches d'une méthode d'exécution.



- Longueur de viroles 6m
- Atelier d'assemblage en tronçons de 12 ou 18 m dans la Target Chamber



## Etude d'Optimisation. Hypothèses retenues.

- Diamètre intérieur du tube 2.45 m: l'augmentation d'intensité du faisceau devient négligeable pour des diamètres supérieurs
- Longueur du tube 1000 m: cette longueur est un compromis entre l'augmentation d'intensité du faisceau et l'augmentation de coût liées à l'exécution d'un tunnel plus long
- Tube sous vide 1 Torr: pour limiter les pertes de pions et kaons lors des interactions avec l'air (28% de pertes en présence d'air et 7% en présence d'hélium)
- L'accès dans le tube ne sera pas possible dès le démarrage de l'expérience: radioactivité
- Fenêtres d'entrée et de sortie du Decay tube: fournies et installées par le CERN

# Decay tube: Etudes et installation

Caractéristiques du tunnel « decay »:

- Excavé au moyen de TBM
- 992 m de longueur
- diamètre intérieur de 3.50 m
- 5.6% de pente
- Soutènement constitué de béton projeté, boulons, treillis soudé et cintres d'acier
- situé à une profondeur entre 55 et 125 m



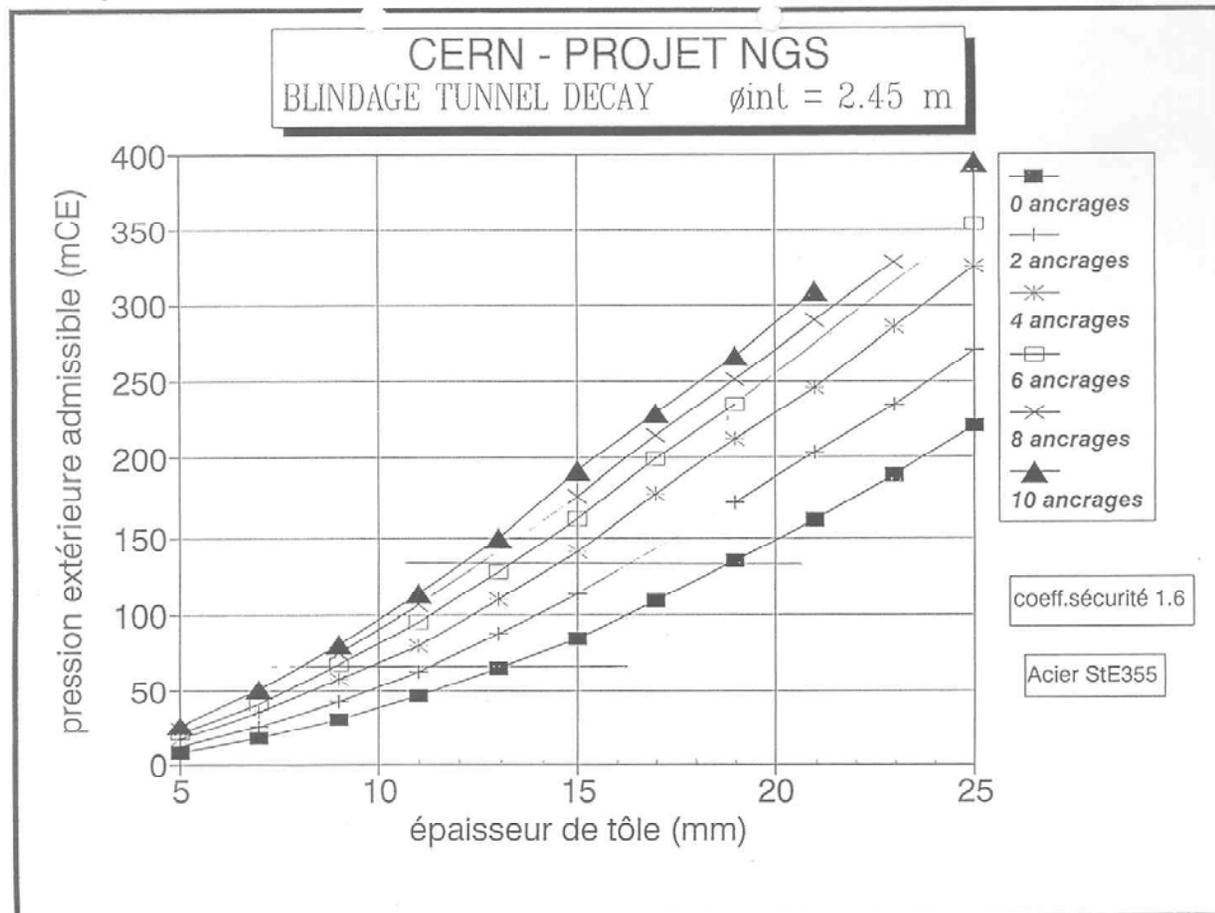


## Etude d'Optimisation. Analyse de Variantes.

- L'étude de variantes a porté principalement sur le choix du type d'acier et l'utilisation ou non d'ancrages.
- Les trois qualités d'acier utilisées couramment en blindage et conduites forcées, à savoir StE255, StE355 et StE460 sont prises en compte dans l'étude
- Le nombre d'ancrages analysé varie de 0 à 10 par section et sont placés en quinconce
- La théorie utilisée pour le dimensionnement à la pression extérieure est celle de Jacobsen. Elle tient compte d'un jeu radial entre le tube et le béton

## Etude d'Optimisation. Analyse de Variantes.

Exemple de résultats:





## Etude d'Optimisation. Analyse de Variantes.

### -Qualité de l'acier StE255, StE355, StE460?

Le tube en acier StE255 nécessite 150t d'acier plus que StE355, et ce dernier 65t de plus que StE460

L'acier StE255 possède une meilleure soudabilité que StE355 et ce dernier meilleure que StE460

### -Utilisation ou non d'ancrages?

Pour un tube en acier StE355 une solution avec 6 ancrages nécessite 292t moins d'acier que le tube lisse, mais il faut aussi considérer:

- \*la fabrication des ancrages et leur soudure au tube
- \*les difficultés du transport
- \*les difficultés du bétonnage autour des ancrages
- \*l'impossibilité d'accès entre le tunnel et le tube durant son bétonnage



## Etude d'Optimisation. Analyse de Variantes.

D'après d'analyse de variantes effectuée, la solution retenue, hors prise en considération des contraintes thermiques est:

- tube lisse
- qualité d'acier StE355
- épaisseur du tube variable de 13 à 19 mm selon sa profondeur



## Vérification thermique. Introduction

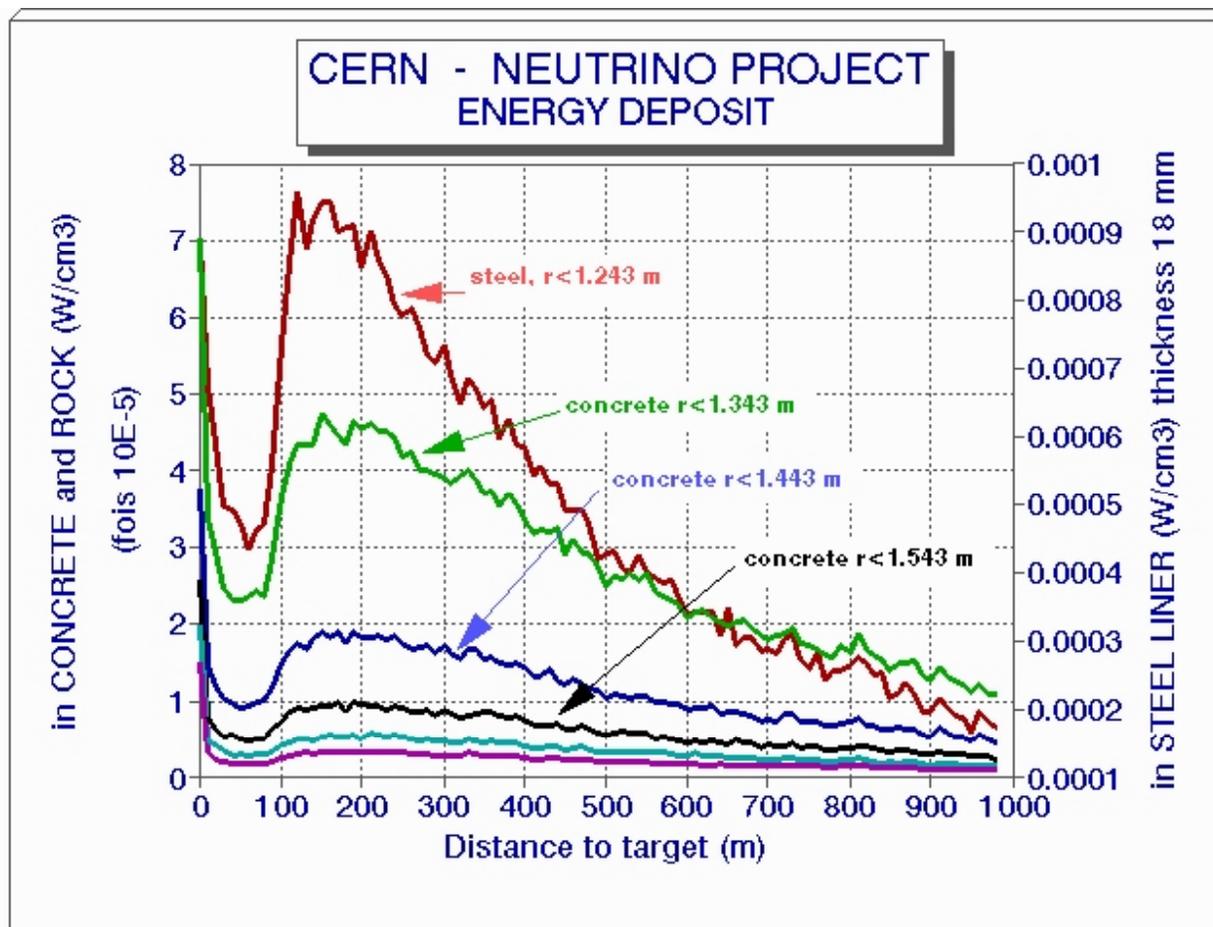
*Septembre 2001*

Le processus de désintégration des particules produit un dépôt d'énergie dans la matière environnante. Ce phénomène entraîne une dissipation de chaleur dans le matériaux (environ 116600 W sur toute la longueur du tunnel).

L'expérience devant fonctionner en continu 200 jours par an et ce pendant une durée totale estimée à 10 ans, la question est de savoir si l'énergie dissipée ne produira pas une augmentation excessive de la température dans les matériaux qui conduirait à de fortes contraintes thermomécaniques voire risque d'évaporation d'eau dans la roche saturée.

# Decay tube: Etudes et installation

## Vérification thermique. Énergie dissipée



Source: TIS-RP (h.Vincke)



## Vérification thermique. Modélisation

La température et les contraintes dans l'acier, le béton et la roche sont calculées au moyen d'un programme d'éléments finis

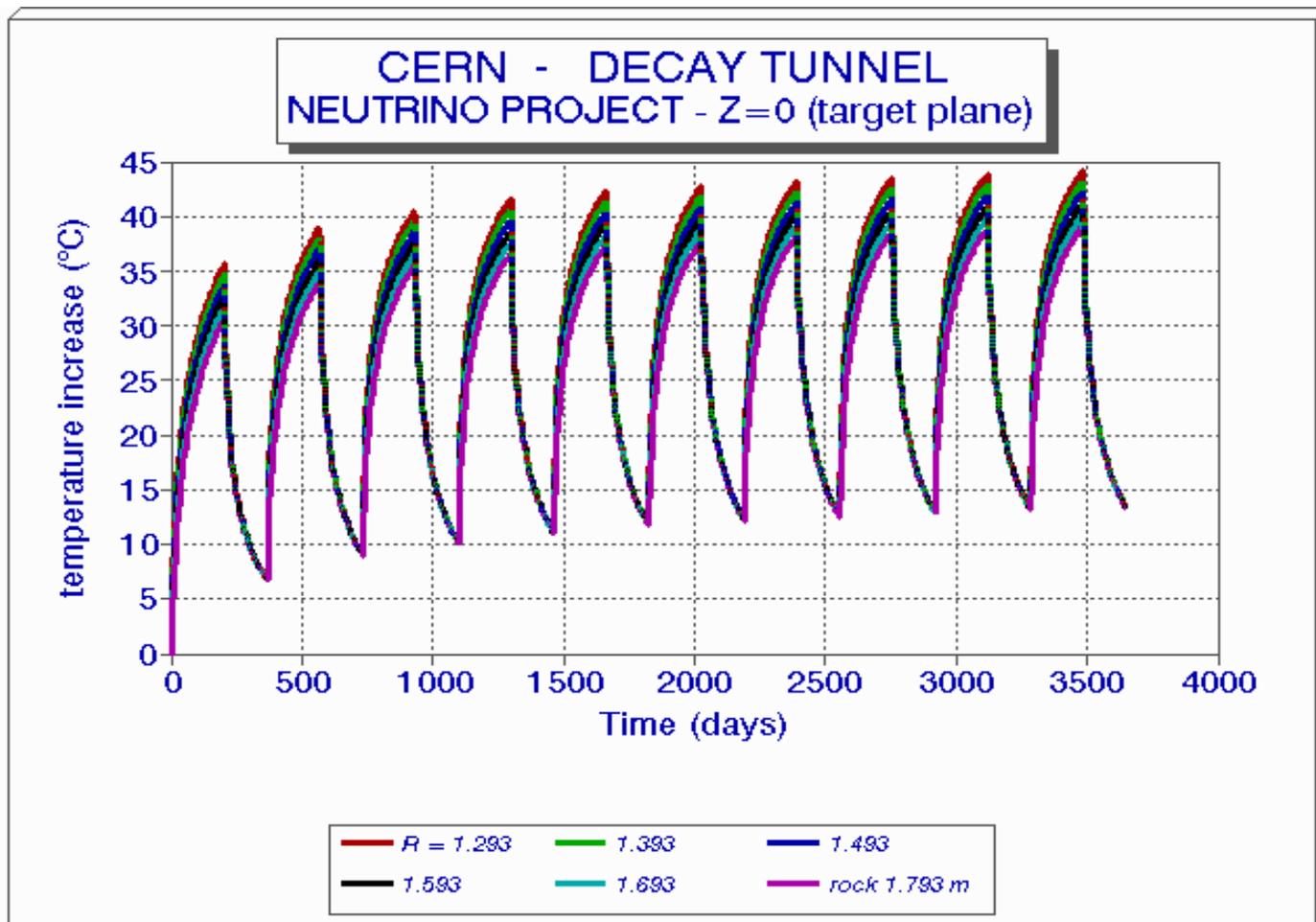
Les caractéristiques thermiques les plus pessimistes de la roche sont prises en compte

Le programme de l'expérience est le suivant: 200 jours d'opération suivis de 165 jours d'arrêt et ce durant 10 années. Aussi un fonctionnement continu sur 27 ans sans arrêt de l'expérience est simulé

# Decay tube: Etudes et installation

## Vérification thermique. Modélisation

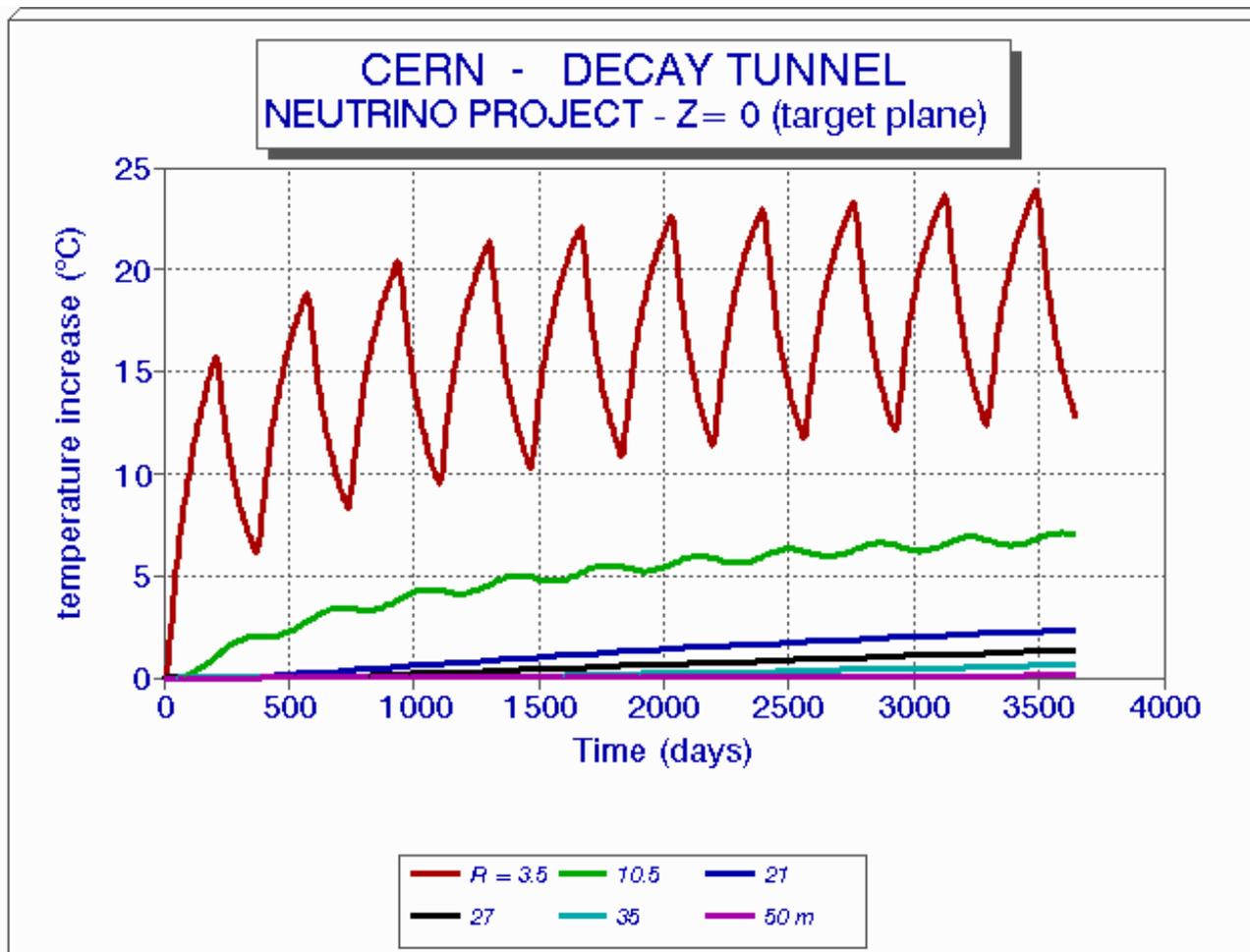
Évolution de la température dans le tube à vide et le béton



# Decay tube: Etudes et installation

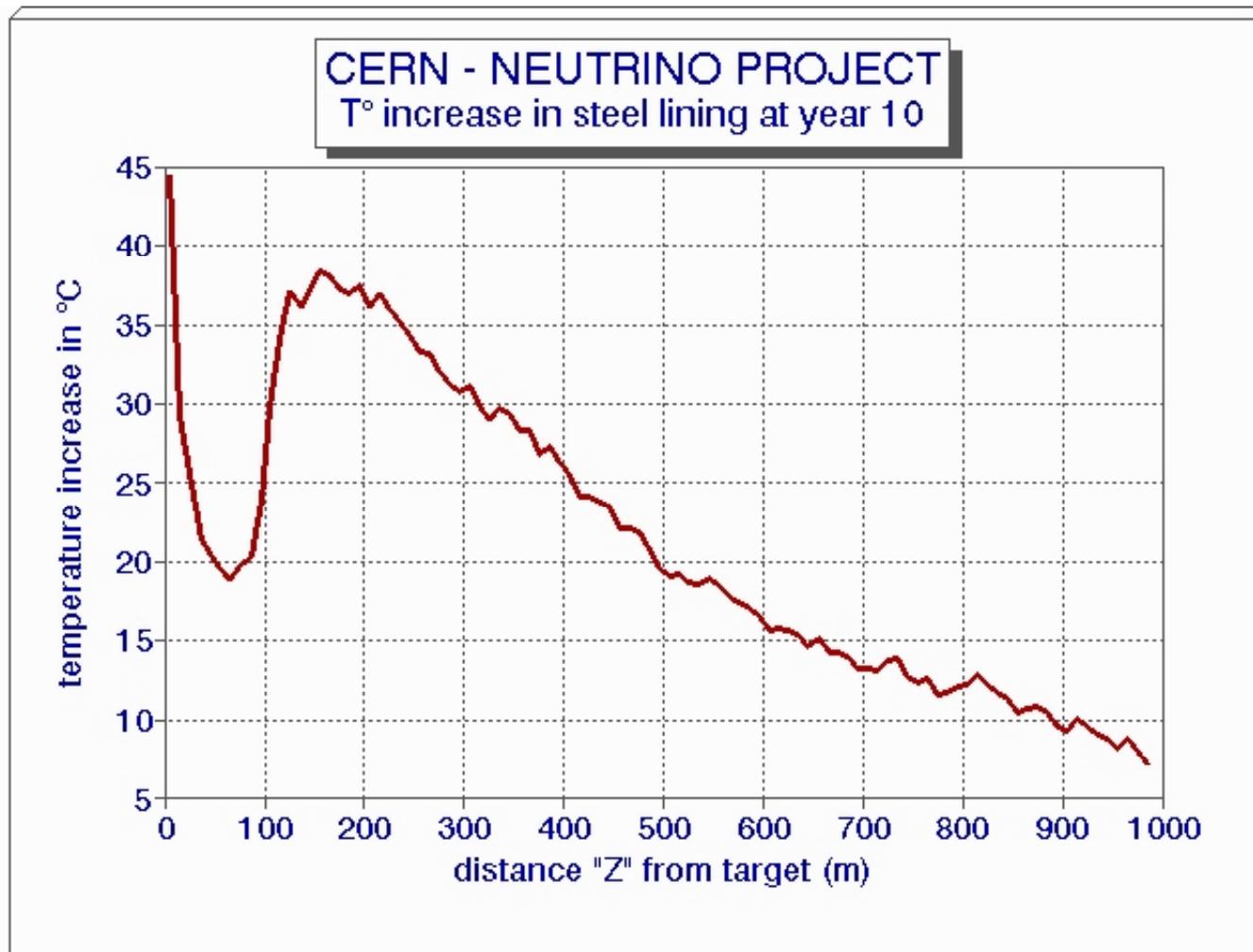
## Vérification thermique. Résultats.

Évolution de la température pendant 10 ans dans la roche



# Decay tube: Etudes et installation

## Vérification thermique. Résultats.





## Vérification thermique. Résultats.

Les résultats de la vérification thermique effectuée montrent que l'augmentation de température dans l'acier et le béton est de +45°C seulement, et de 38°C pour la roche

Les dilatations thermiques occasionnées produisent des contraintes mécaniques largement inférieures aux seuils limites

Il est recommandé qu'un système de mesure de températures soit installé dans le tunnel afin de surveiller l'évolution de ces dernières et de calibrer le modèle théorique

## Étude détaillée. Dimensionnement final.

*Octobre 2001*

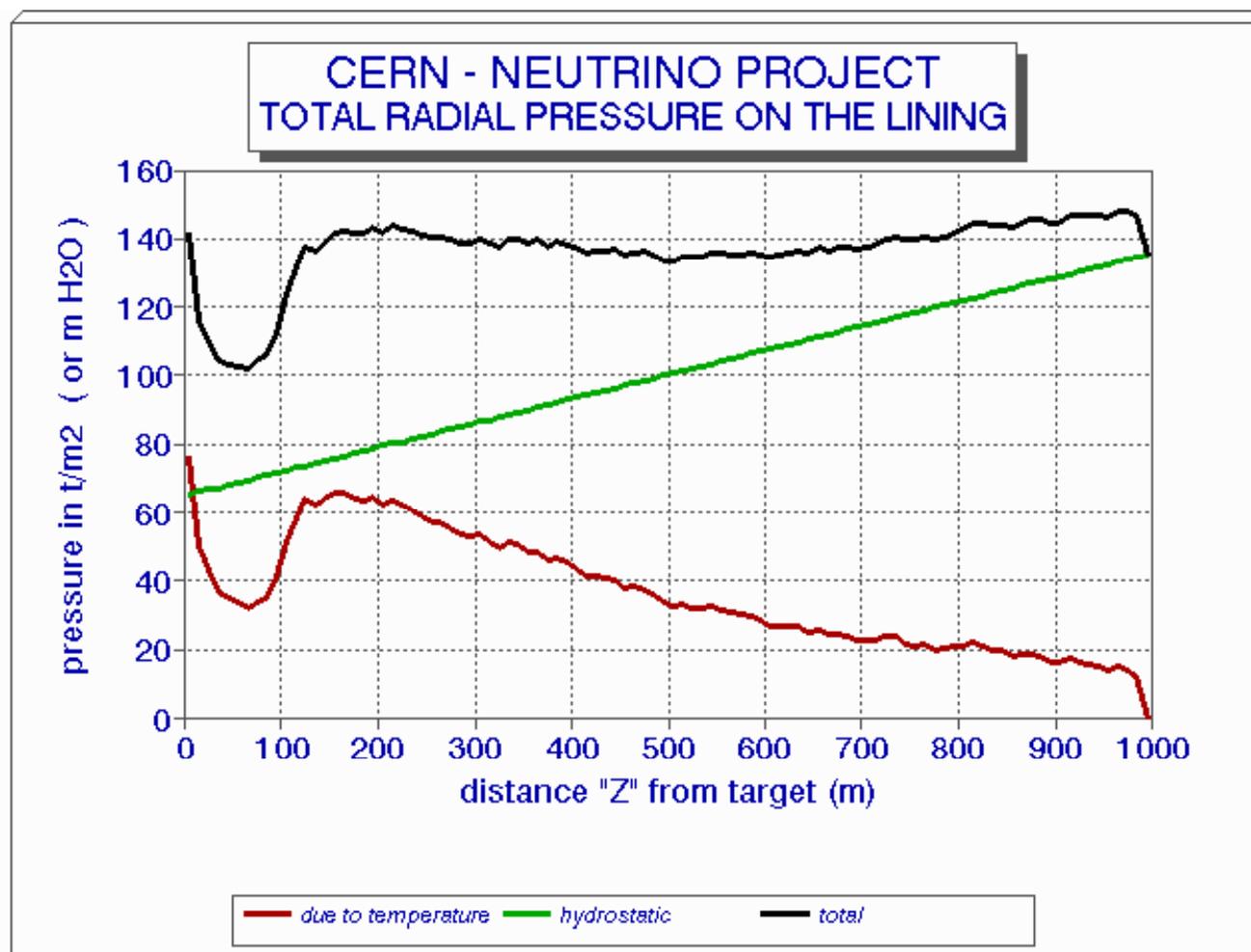
Les actions appliquées dans le tube en acier sont les actions thermiques induites par l'expérience et la pression hydrostatique générée par la nappe phréatique

Selon la théorie de Jacobsen, la pression extérieure LIMITE sur un tube d'acier StE355 de 18 mm d'épaisseur, à 100°C, sans jeu radial entre l'acier et le béton, et avec un coefficient de sécurité de 1.6 est de 147 t/m<sup>2</sup>

La valeur obtenue en additionnant la pression extérieure équivalente aux effets thermiques et la pression hydrostatique reste en dessous de la limite de 147 t/m<sup>2</sup> sur toute la longueur du tube

# Decay tube: Etudes et installation

## Étude détaillée. Dimensionnement final.



## *Decay tube: Etudes et installation*



### Documents d'Appel d'Offres. Particularités

*Novembre 2001-Mars 2002*

- Système de mesure de la température du tube, du béton et de la roche à trois emplacements différents
  
- Test de vide du tube à la fin de sa pose



## Documents d'Appel d'Offres. Contrôle de qualité du tube

L'ensemble du contrôle de qualité du tube est effectué par le Contractant des travaux et par un Bureau de Contrôle indépendant rattaché au CERN

Le Bureau de Contrôle indépendant émet des commentaires sur le système de contrôle du Contractant et réalise, par sondage, des tests complémentaires

Tous les certificats de contrôle établis par le Contractant sont vérifiés et contresignés par le Bureau de Contrôle indépendant

## *Decay tube: Etudes et installation*



### Documents d'Appel d'Offres. Contrôle de qualité du tube

#### Quality control of plates:

Control of dimensions, shape and weight

100% of the plates

Control of Chemical analysis

One per heat

Ultrasonic test

20% of the plates

Control of mechanical characteristics

One per lot

**Dimensional check of the pipe sections**

100% of the pipe sections

# Decay tube: Etudes et installation



## Documents d'Appel d'Offres. Contrôle de qualité du tube

### Quality control of the welds

#### Quality control of the welds in the workshop

-Visual examination	100%
-Ultrasonic examination	85%
-Dye penetrant testing	100%
-Radiographic examination of all welding joints non controlled by ultrasonic examination	15%

#### Quality control of the welds in the Decay tunnel :

-Visual examination	100%
-Ultrasonic examination	100%
-Dye penetrant testing	100%

### Tightness test of Decay tube

One at the end of the works



## Market Survey

*Décembre 2001*

50% des fournitures/services provenant d'Italie

71 entreprises contactées

7 consortiums qualifiés

# *Decay tube: Etudes et installation*



## Appel d'Offres

*Avril 2002-Mai 2002*

7 consortiums consultés

4 réponses

Adjudicataire: consortium Spie (FR)/Condotte d'Acqua (I)

## *Decay tube: Etudes et installation*



### Réalisation des travaux. Organisation mise en place

*Janvier 2003-Mai 2004*

Contractant: **Spie (FR)/Condotte d'Acqua (IT)**

Sous-traitants principaux:

Fabrication de tubes 6 m : **De Iuliis Machine (IT)**

Contrôle de soudures en atelier: **DeMI (IT)**

Fourniture d'acier : **ILVA (IT)**

Assemblage et pose sur site: **SDEM (FR)**

Contrôle de soudures in situ: **SGS (FR)**

Bureau de contrôle indépendant: **NORISKO Équipement**

Coordination de Sécurité: **NORISKO Coordination**

Supervision de chantier: **Gibb (GB)/Gibb Hellas(GR)**

# *Decay tube: Etudes et installation*



## Réalisation des travaux. Méthode d'exécution.



# *Decay tube: Etudes et installation*

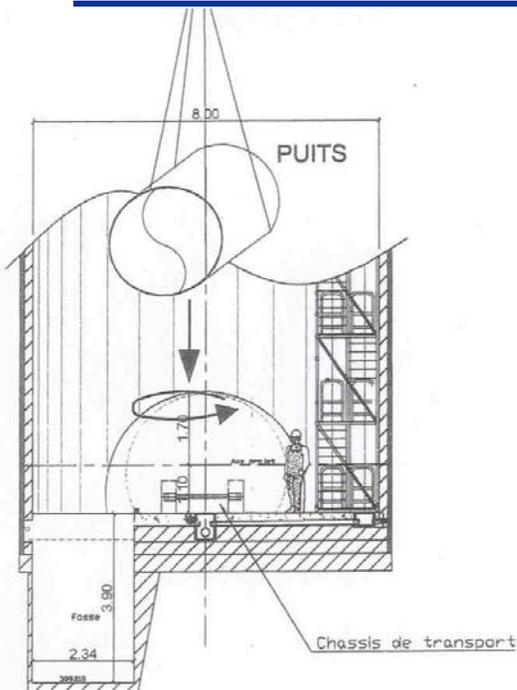


## Réalisation des travaux. Méthode d'exécution.

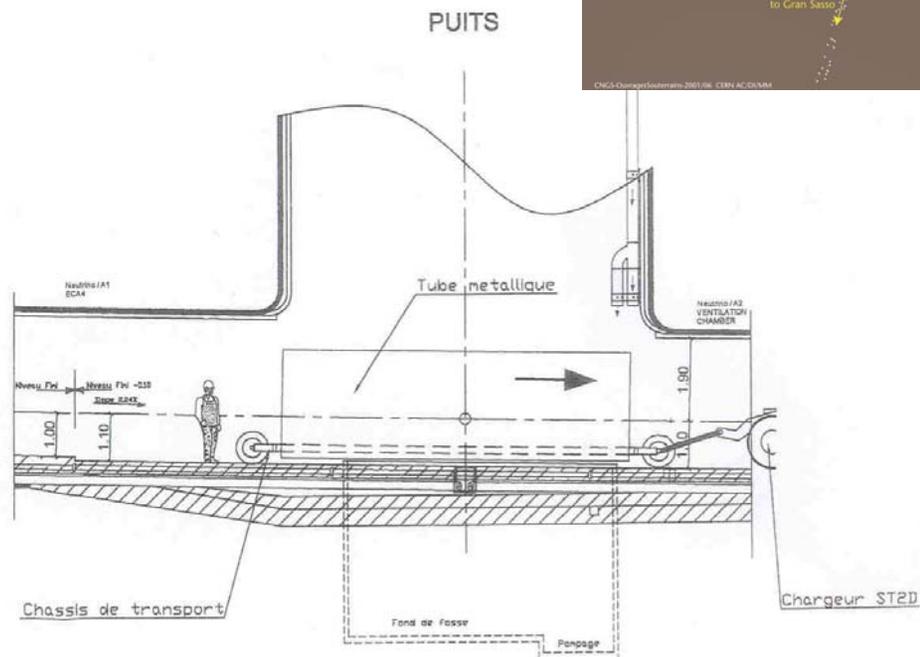


# Decay tube: Etudes et installation

## Réalisation des travaux. Méthode d'exécution.



PRINCIPE DE DESCENTE DES TUBES PAR LE PUIT



## *Decay tube: Etudes et installation*



### Réalisation des travaux. Méthode d'exécution.



# *Decay tube: Etudes et installation*



## Réalisation des travaux. Méthode d'exécution.

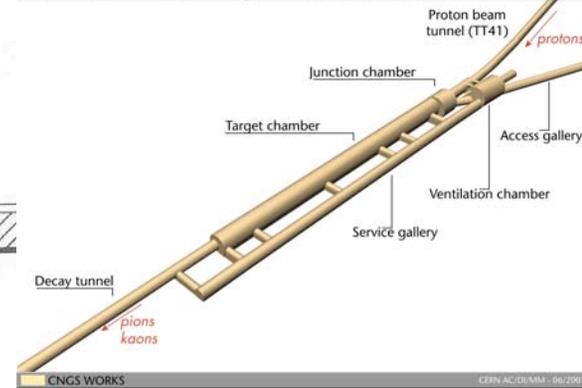


# Decay tube: Etudes et installation



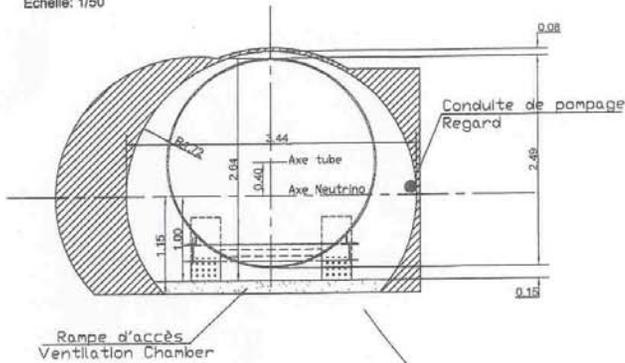
## Réalisation des travaux.

CNGS underground structures - target chamber area (not to scale)



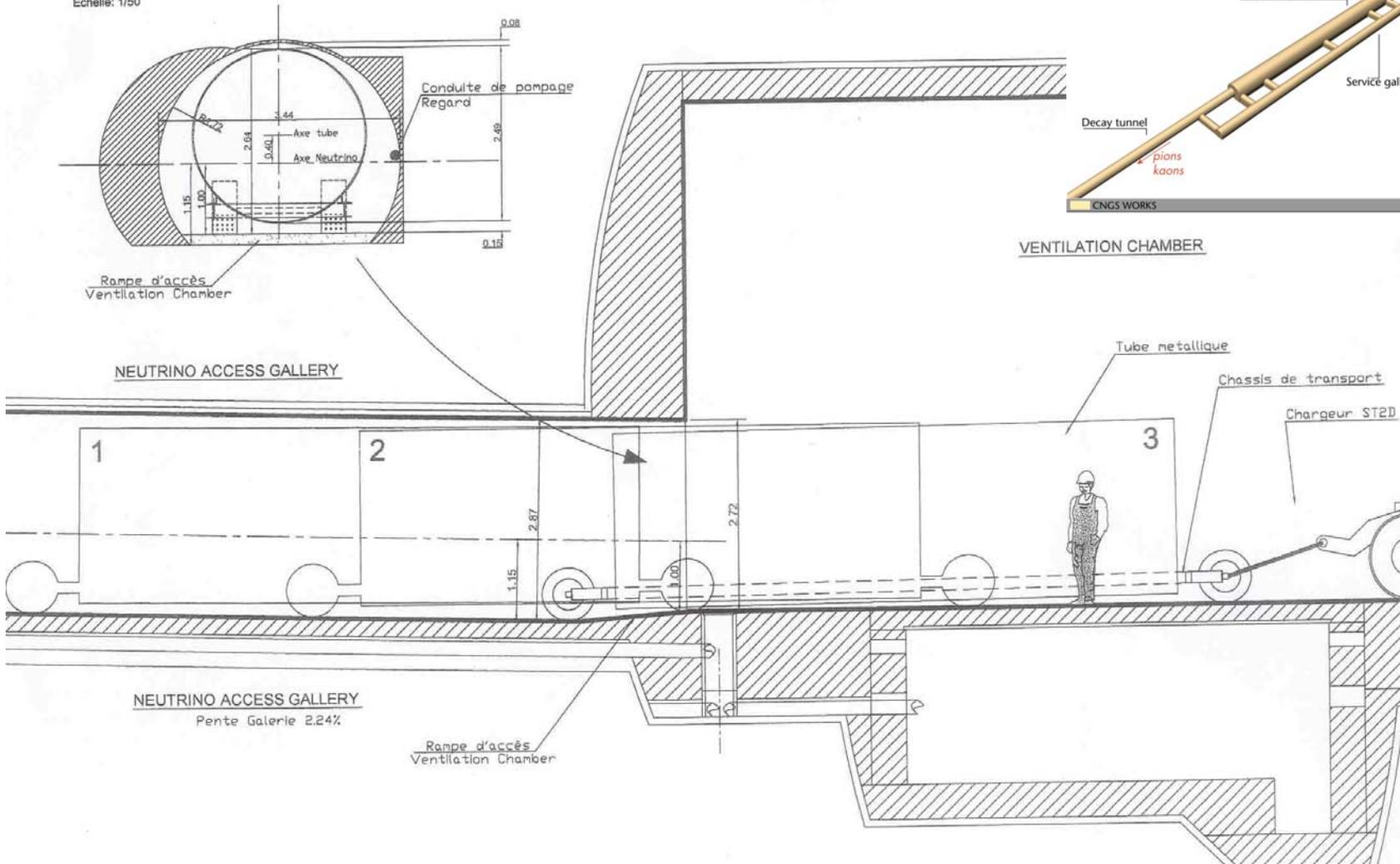
VENTILATION CHAMBER

COUPE  
Echelle: 1/50



NEUTRINO ACCESS GALLERY

COUPE LONGITUDINALE  
Echelle: 1/50



NEUTRINO ACCESS GALLERY  
Pente Galerie 2.24%

Rampe d'accès  
Ventilation Chamber

## *Decay tube: Etudes et installation*

### Réalisation des travaux. Méthode d'exécution.



## *Decay tube: Etudes et installation*

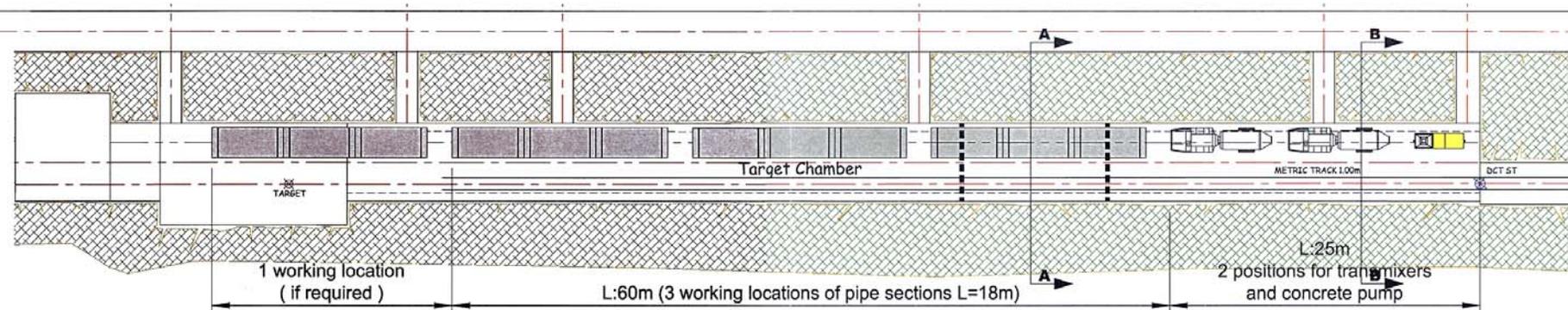
### Réalisation des travaux. Méthode d'exécution.



# Decay tube: Etudes et installation



## Réalisation des travaux. Méthode d'exécution.



**PLAN VIEW**

Un pont roulant de 32 t de capacité est installé dans la chambre de cibles permettant le levage des viroles de 6 m et du tronçon de 18 m

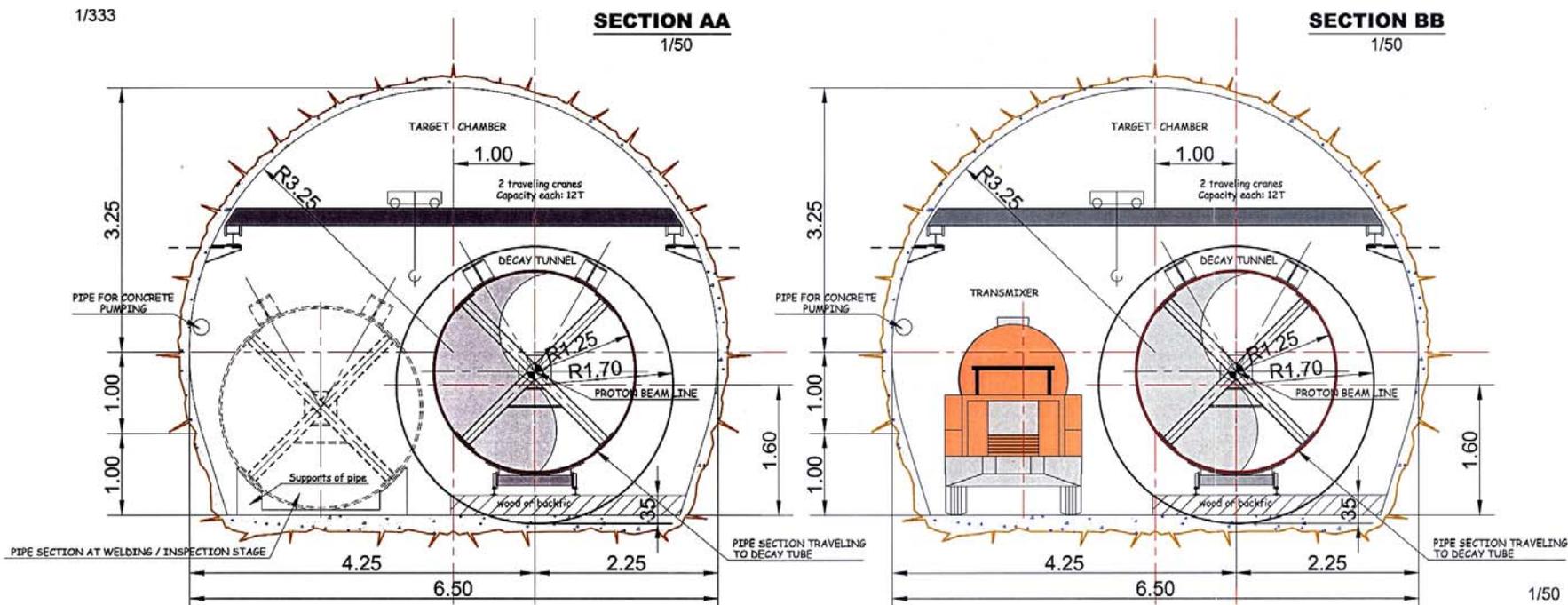
Trois plateformes de travail sont aménagés: 1) pour le pointage de viroles, 2) pour la soudure automatique et 3) pour le contrôle de soudures

# Decay tube: Etudes et installation

## Réalisation des travaux. Méthode d'exécution.

Les viroles de 6 m sont installées dans la première plateforme à l'aide du pont roulant.

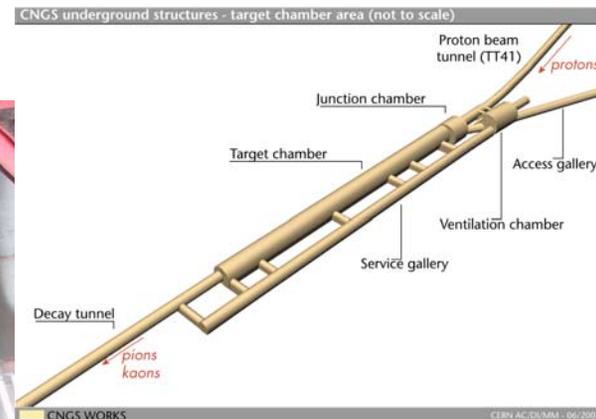
Le tronçon de 18 m est transporté depuis la dernière plateforme à l'intérieur de Decay tunnel.



# Decay tube: Etudes et installation



## Réalisation des travaux.



## *Decay tube: Etudes et installation*

### Réalisation des travaux. Méthode d'exécution.



# *Decay tube: Etudes et installation*



## Réalisation des travaux. Méthode d'exécution.



## *Decay tube: Etudes et installation*



### Réalisation des travaux. Méthode d'exécution.

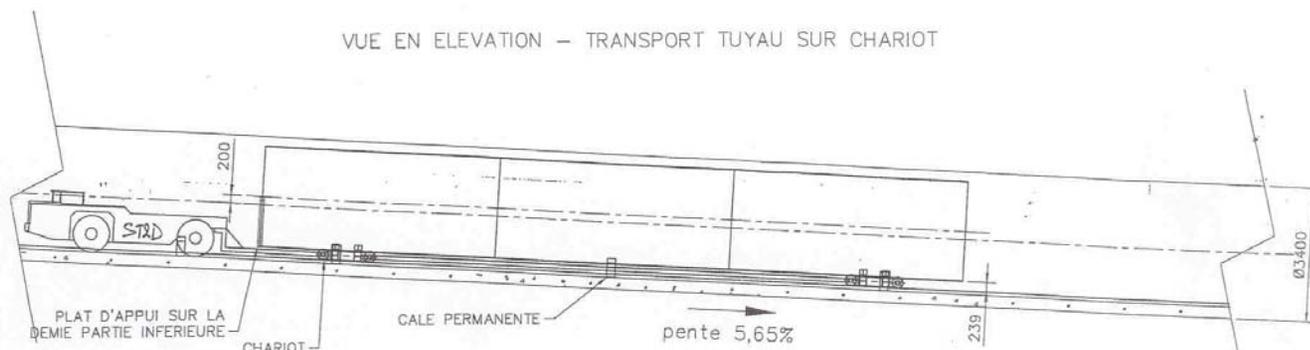


# Decay tube: Etudes et installation

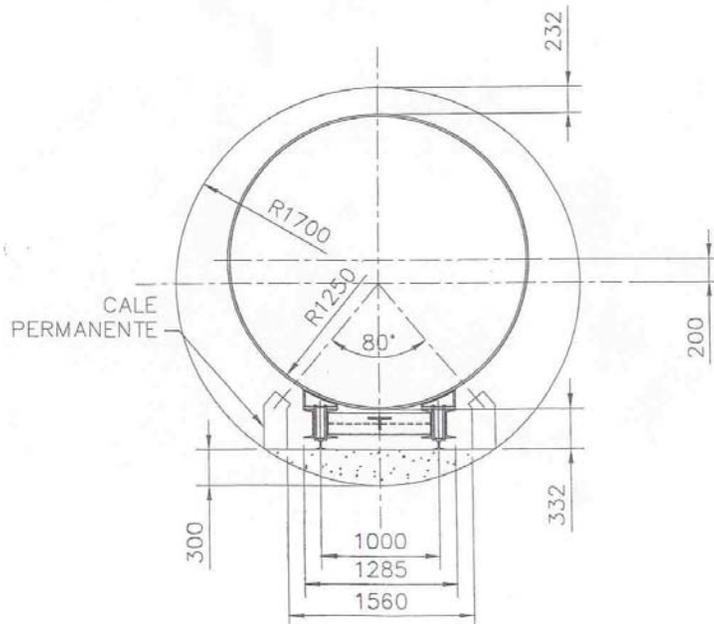
## Réalisation des travaux. Méthode d'exécution.

PHASE 01 : MONTAGE DU 1er TUYAU DE 18m - ECH.1/100

VUE EN ELEVATION - TRANSPORT TUYAU SUR CHARIOT



SECTION CHARIOT - ECH.3/1



Le tronçon de 18 m est transporté dans le Decay tunnel



# *Decay tube: Etudes et installation*



## Réalisation des travaux. Méthode d'exécution.



# *Decay tube: Etudes et installation*



## Réalisation des travaux. Méthode d'exécution.



# *Decay tube: Etudes et installation*



## Réalisation des travaux. Méthode d'exécution.



## *Decay tube: Etudes et installation*

### Réalisation des travaux. Méthode d'exécution.

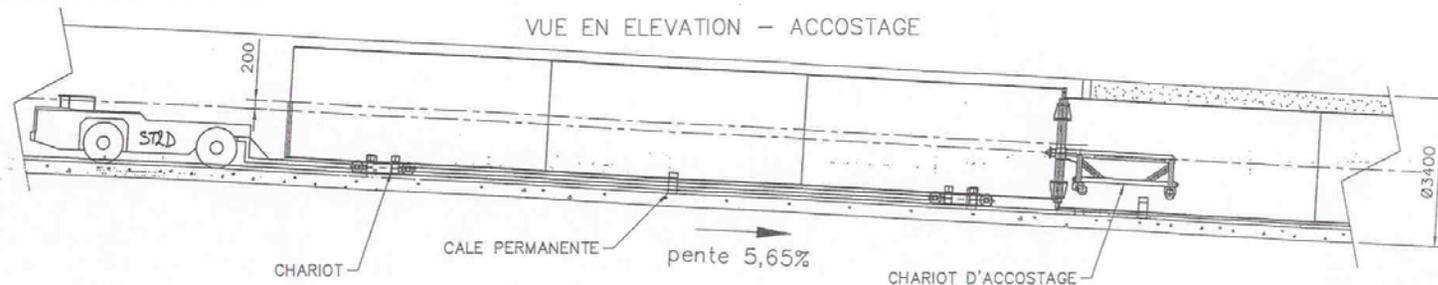


# Decay tube: Etudes et installation

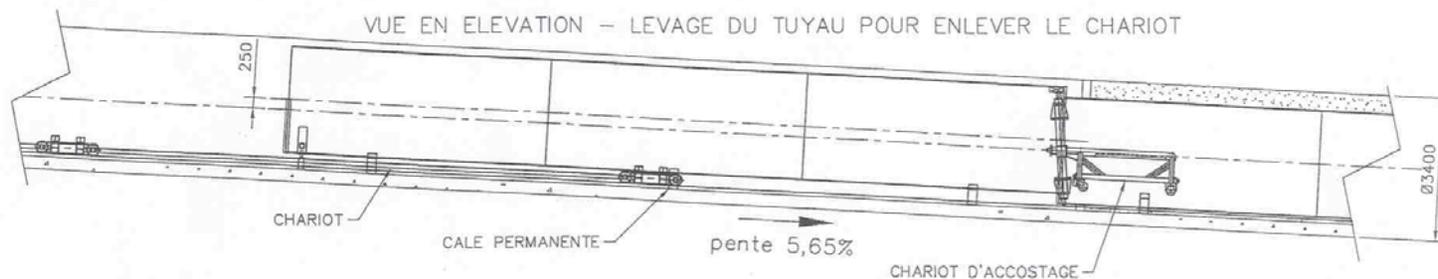
PHASE 04 : MONTAGE DES TUYAUX – ECH.1/100  
MISE EN PLACE DES OUTILLAGES DE LEVAGE DES TUYAUX  
LEVAGE ET DEPOSE DU TUYAU

PHASE COURANTE

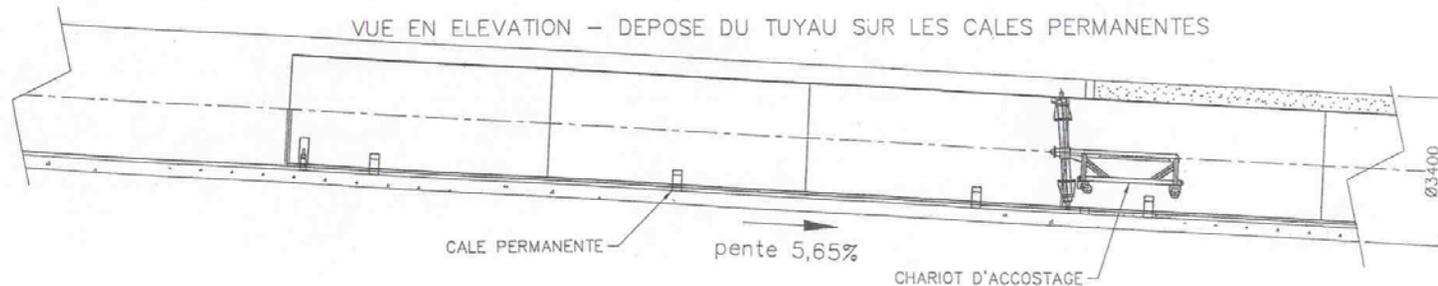
VUE EN ELEVATION – ACCOSTAGE



VUE EN ELEVATION – LEVAGE DU TUYAU POUR ENLEVER LE CHARIOT



VUE EN ELEVATION – DEPOSE DU TUYAU SUR LES CALES PERMANENTES



## *Decay tube: Etudes et installation*



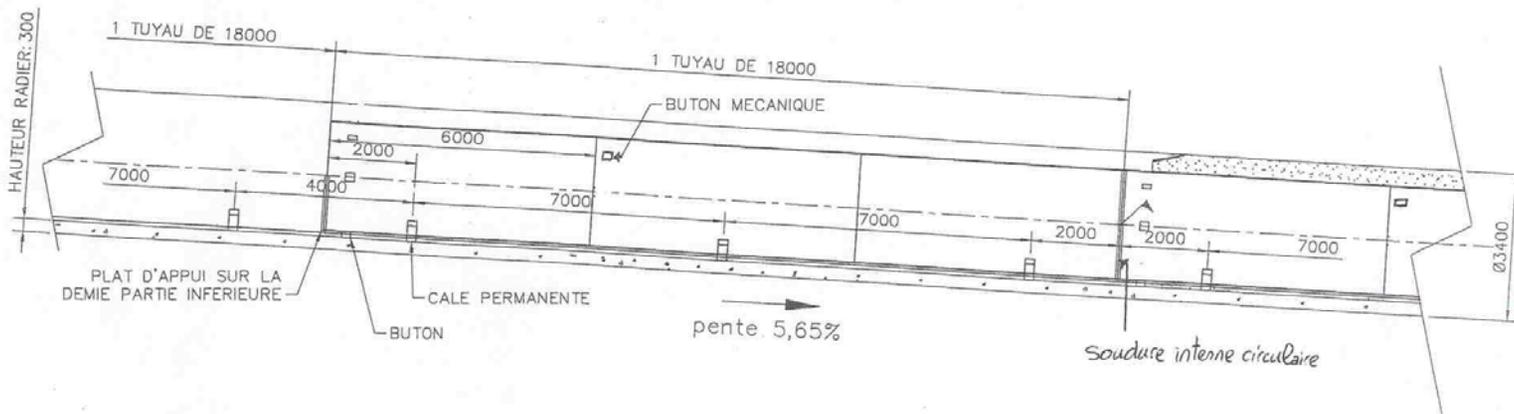
### Réalisation des travaux. Méthode d'exécution.



# Decay tube: Etudes et installation

PHASE 05: MONTAGE DES TUYAUX – ECH.1/100  
SOUDAGE  
MISE EN PLACE DES BUTONS ET BETONNAGE

VUE EN ELEVATION – MISE EN PLACE DES BUTONS  
ENLEVEMENT DES ETAIS INTERIEURS APRES BETONNAGE  
CONTROLE SOUDURE ET REPARATION EVENTUELLE APRES BETONNAGE



PHASE 06: Bétonnage  
(voir procédure de bétonnage)

Note: calage Tube suivant Note de calcul  
JP HGSK 1180 4100 et nomenclature d'  
installation JP HGSK 4300.

## *Decay tube: Etudes et installation*



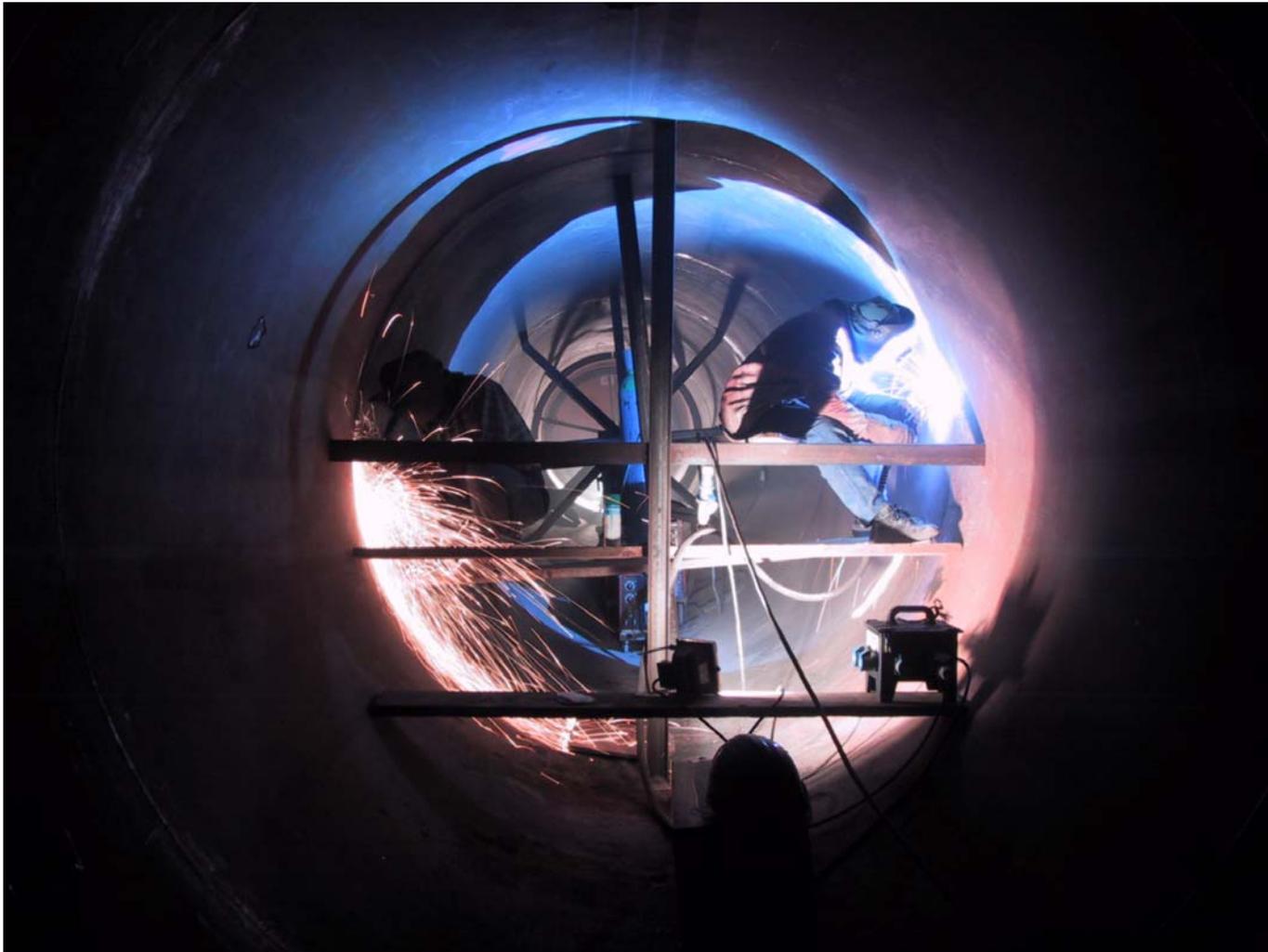
### Réalisation des travaux. Méthode d'exécution.



# *Decay tube: Etudes et installation*

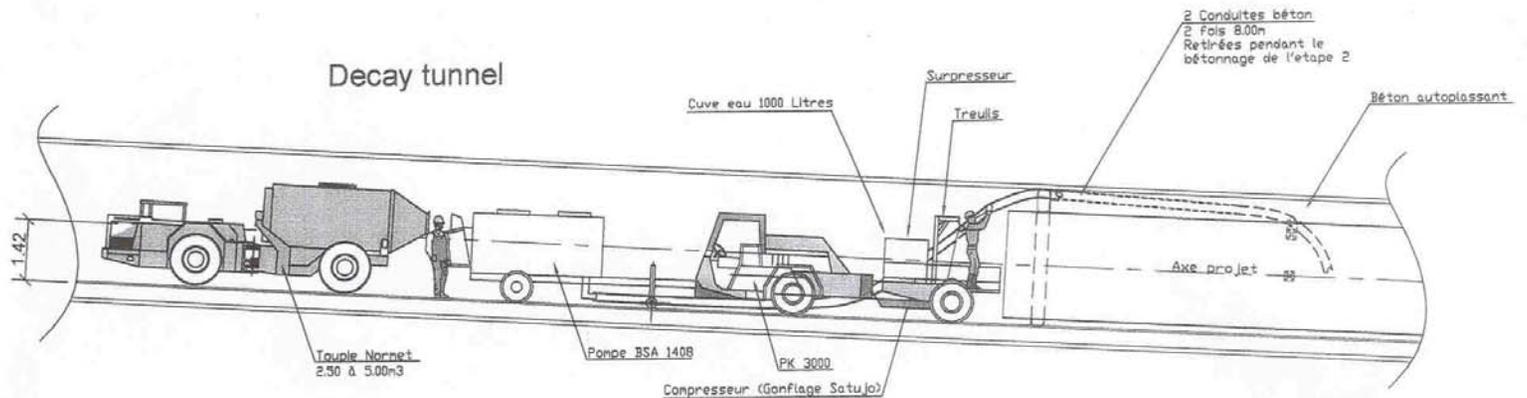


## Réalisation des travaux. Méthode d'exécution.



# Decay tube: Etudes et installation

## COFFRAGE ET BETONNAGE DU VIDE ANNULAIRE SYNOPTIQUE DE BETONNAGE



**ELEVATION**

Echelle 1/100

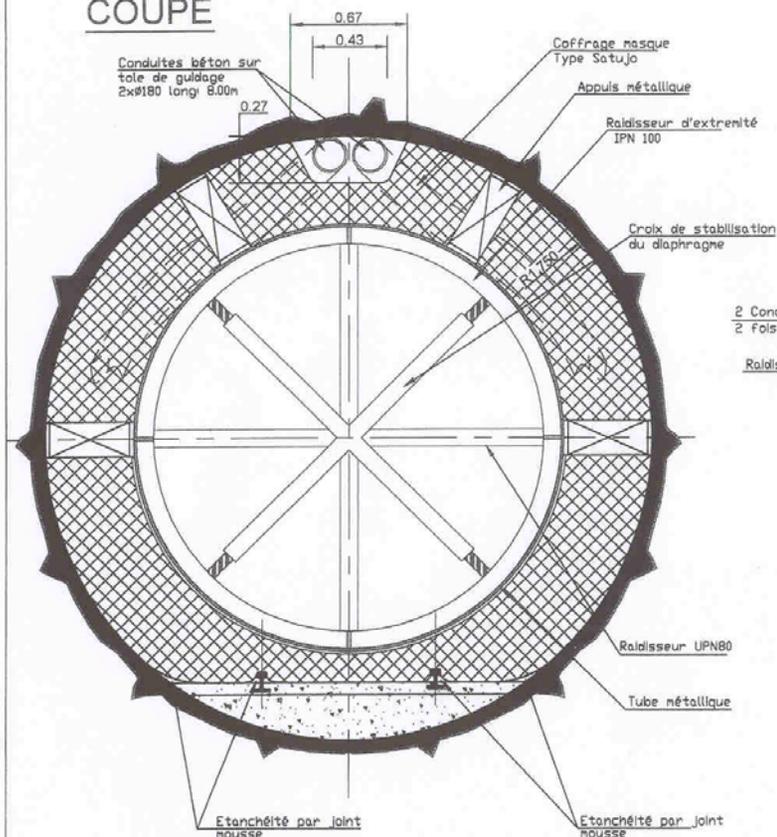
NOTA: Les chutes de béton (conduite à vider...) ne seront pas évacuées.  
Elles seront réparties entre les rails de l'élément H+1 en fin de bétonnage de l'élément H.

# Decay tube: Etudes et installation

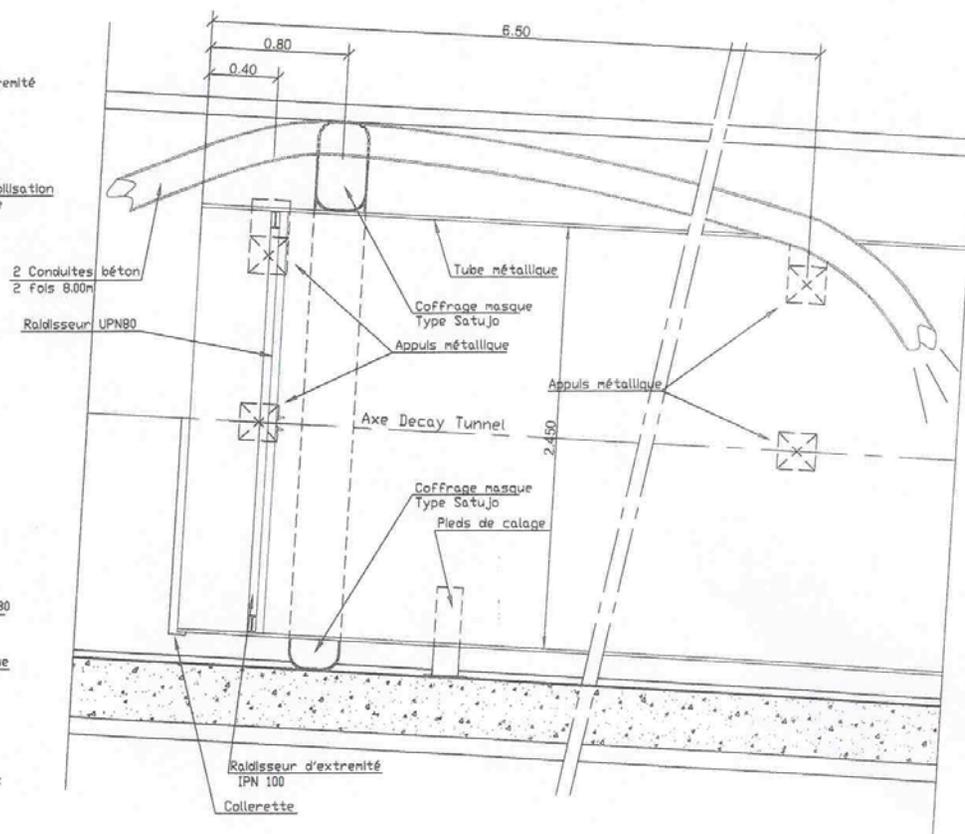
## COFFRAGE DU VIDE ANNULAIRE SECTION COURANTE AVANT BETONNAGE

2

### COUPE



### ELEVATION



Joint Satujo: Pression de gonflage maximum 1 Bar, minimum 0.7 Bar.

## *Decay tube: Etudes et installation*



### Réalisation des travaux. Méthode d'exécution.



## *Decay tube: Etudes et installation*

### Réalisation des travaux. Méthode d'exécution.



# *Decay tube: Etudes et installation*



## Réalisation des travaux. Méthode d'exécution.



# Decay tube: Etudes et installation



## Réalisation des travaux. Cycle journalier.

### CYCLE JOURNALIER DES TRAVAUX

15	16	17	18	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----

<b>TRAVAUX DANS LE DECAY TUNNEL</b>																									
<b>Tube N</b>	Decoffrage N-1 et mise en place pieds de calage N	16-17																							
	Transport dans le Decay tunnel			19-22																					
	Soudure 1ere phase avec N-1					23		0		1		2		3		4		5		6		7			
	Bétonnage																					7-14			
<b>Tube N-1</b>	Demontage de la croix de transport	16-22																							
	Soudure 2ème phase avec N-2	16-22																				7-9			
<b>Tube N-2</b>	Contrôle de soudure avec N-3	16-22																							
<b>TRAVAUX DANS LA TARGET CHAMBER</b>																									
<b>Tube N+3</b>	Transport de 3 tubes de 6 m dans la Target Chamber	16-17																							
	Assemblage et pointage 18 m			19-22																					
	Soudure des 2 joints circulaires					23		0		1		2		3		4		5		6		7		8	
<b>Tube N+2</b>	Fin soudure 2 joints circulaires	16-18																							
	Début du contrôle des soudures																					7-14			
<b>Tube N+1</b>	Fin du contrôle des soudures	16-22																							

Nota: SDEM   
 SPIE/CONDOTTE   
 SGS/NORISKO 



## Réalisation des travaux. Difficultés.

- Lors de la préparation par l'entreprise des méthodes d'exécution, difficultés à obtenir des procédures pleinement conformes au Cahier de Charges contractuel
- Au démarrage de la fabrication du tube en atelier, difficultés à obtenir la qualité des soudures requise: multiplication des contrôles intermédiaires, changement du mode opératoire (jusqu'à trois changements!), changement des procédures de contrôle des soudures
- Peu avant le démarrage du montage du tube sur site changement de dernière minute du sous-traitant de montage pour des raisons commerciales

## *Decay tube: Etudes et installation*



### Réalisation des travaux. Difficultés.



-En cours d'exécution, un incident de chantier majeur, la chute du pont roulant servant à la manutention des tubes, a entraîné un arrêt des travaux de trois semaines

## Réalisation des travaux. Résultats du contrôle de qualité.

Pourcentage de défauts hors tolérance décelés et réparés  
**3.6 km de soudures!**

### -Soudures réalisées en atelier

Ressuage: 0.54%

Ultrasons: 1.83%

Radiographie: 2.89%

### -Soudures réalisées dans la chambre de cibles

Ressuage: 0.47%

Ultrasons: 0.00%

Radiographie: 0.60%

### -Soudures réalisées dans le Decay tunnel

Ressuage: 0.73%

Ultrasons: 0.41%



## Réalisation des travaux. Test d'étanchéité.

### Critère d'acceptation:

Vide requis: 100 Pa

La remontée de pression maximale admissible est de 150 Pa par période de 24 h

### État initial requis:

- Tube nettoyé
- Fenêtres d'entrée et sortie installées par le CERN et protégées au moyen d'une pâte à vide et une poche vinyl
- Mise en place de l'outillage du test



## Réalisation des travaux. Test d'étanchéité.

### Phase de pompage:

- 1°) Descente de pression jusqu'à 3,700 Pa (19 heures)
- 2°) Démarrage de la pompe roots
- 3°) Descente de pression jusqu'à 100 Pa (12 heures)
- 4°) Fermeture de vannes

### Mesures de pression:

Établissement de la courbe de remontée de pression en fonction de relevés réguliers durant 10 jours au minimum. Détermination des effets de dégazage (?)

## *Decay tube: Etudes et installation*

### Réalisation des travaux. Test d'étanchéité.



## *Decay tube: Etudes et installation*

### Réalisation des travaux.



# *Decay tube: Etudes et installation*



**Remerciements** pour leur participation à ce projet passionnant:

Entreprises:

- Spie/Condotte d'Acqua
- De Iuliis
- Demi
- SGS
- SDEM
- Gibb/Gibb Hellas
- Tractebel
- Norisko Coordination
- Norisko Equipement

Et au CERN:

- Konrad Elsener et Malika Meddahi
- M.Clement
- S.Sgobba et G.Favre