

DOMAINE D'APPLICATION	
FILIERE	PALIER EVENTUEL
REP <input checked="" type="checkbox"/>	CP1 - CP2 et CRUAS
RNR <input type="checkbox"/>	

MEMENTO TECHNIQUE DE L'EQUIPEMENT

MTE

FICHE N°: 086

TITRE : ENCEINTES SIMPLES DE CONFINEMENT

OBJET : Cette fiche traite des principes de conception et de construction des enceintes simples (CP1 - CP2 et CRUAS)

N° de la Note d'Etudes correspondante: E-REAM-G1-86-001

TABLEAU DES REVISIONS

INDICE	DATE	UNITE ET SERVICE RESPONSABLES	AUTEURS
0	03/80	REAM	TRIA Y
1	01/86	REAM	TRIA Y (additif concernant CRUAS)

PALIER W 900 MW - CP 1

M.T.E. N° 86

Enceinte de Confinement

1. GENERALITES

1.1. Fonctions

L'enceinte des réacteurs 900 MW constitue la barrière ultime dans le confinement des produits de fission pouvant résulter des accidents très hypothétiques que constituent un APRP ou un séisme.

L'étanchéité est assurée par un revêtement métallique communément appelé "peau d'étanchéité" qui est ancré au béton de l'enceinte par l'intermédiaire de cornières et goujons.

L'enceinte de confinement en béton précontraint protège aussi la structure intérieure à celle-ci, en béton armé, contre les agressions extérieures, projectiles ou missiles de l'aviation, l'explosion. Elle est calculée pour résister à la pression de l'accident de référence.

1.2. Description générale

Les générations d'enceintes jusqu'au palier du contrat programme n° 2 sont très semblables compte tenu des directives de reconduction données par la Direction de l'Équipement, les différences majeures provenant essentiellement des radiers qui constituent les infrastructures d'adaptation aux différents sites sur lesquels sont implantées les centrales.

Le tableau ci-dessous donnent les caractéristiques essentielles entre les enceintes de FESSENHEIM, BUGEY CP 1 et CP 2.

DESIGNATION	FESSENHEIM	BUGEY	CP 1 - CP 2
1. INFRASTRUCTURE -----			
. Côte de la sous-face du radier	variable -9 à -5	uniforme -10.50	variable -9,5 à -8
. Nature du radier	plein	alvéolaire	plein
. Diamètre extérieur du radier	38,70 m	39,65 m	38,80 m
. Cote supérieure du radier	- 4.00	- 4.50	-4.50 + tenon central sous puits de cuve à -3.80
. Galerie de précontrainte	Sous radier	incorporée	incorporée
2. SUPERSTRUCTURE BETON -----			
2.1. <u>Fût-dôme</u>			
. Epaisseur	0,85 m	0,85 m	0,90 m
. Diamètre intérieur	37 m	37 m	37 m
Sas personnels -----			
. Niveau	0 et 9,15	0 et 9,15	0 et 9,15
. Diamètre	5,30 m	6,50 m	7,40 m
Accès matériel -----			
. Niveau	0	0	20 m
. Diamètre	5,30 m	6,50 m	7,40 m
Précontrainte -----			
. Unité	12 T 15	12 T 15	19 T 15
Familles de câbles -----			
. Nervures	4	4	4
2.2. <u>Dôme</u>			
. Côté supérieure du dôme	51,25 m	52,85 m	56,63 m

DESIGNATION	FESSENHEIM	BUGEY	CP 1 - CP 2
. Epaisseur	0,75 m	0,75 m	0,80 m
. Rayon de la zone sphérique	29 m	24 m	24 m
. Précontrainte	câbles retournés	câbles dans des plans verticaux	câbles dans des plans passant par le centre de la sphère.
3. REVETEMENT METALLIQUE -----			
. Epaisseur tôle	6 mm	6 mm	6 mm
. Niveau de la soudure de raccordement fût-dôme.	30,83 m	41,05 m	44,83 m
. Conception	dôme non autoportant	dôme autoportant d'une couche de 30 cm de béton	idem BUGEY
. Levage du dôme	calotte centrale en 1 seul élément	par 1/2 dôme	par 1/2 dôme
4. PARTICULARITES -----			
. Pont tournant	appuyé sur les structures internes	appuyé sur les structures internes	appuyé sur l'enceinte par l'intermédiaire de consoles.
. Structures internes	ancrées dans le radier au travers du revêtement métallique du fond	ancrées dans le radier au travers du revêtement métallique du fond	appuyées sur le radier sans traverser le revêtement métallique du fond.

2. REGLEMENTATION

2.1. Etudes

- . Règles IP 65 complétées par certaines directives de l'IP 73 pour le béton précontraint (circulaire n° 44 du 12 Août 65).
- . Code ASME pour le revêtement métallique section III, sous section NE pour composants de la classe MC (1974).
- . Règles CCBA 68 pour le béton armé et leur complément.
- . Code neige et vent 67 complété 1970.

2.2. Construction

- . Normes AFNOR,
- . Agréments du MEL,
- . C.P.C. Gros Oeuvre,
- . RCCN 103 et CADS,
- . C.P.S. et spécifications d'exécution.

Compte-tenu de la particularité de l'ouvrage des recommandations résultants de documents divers définitifs ou provisoires, et mieux adaptés à certains points d'étude peuvent être utilisés, en particulier il est tenu compte de certaines règles que l'on trouve dans des documents tels que :

- . recommandations de la F.I.P.,
- . règles CEB-FIP,
- . D.T.U.,
- . directives provisoires concernant l'injection,
- . conclusion des C.C.E. E.D.F.,

3. CONCEPTION

3.1. L'étude de dimensionnement comprend la prise en compte de sollicitations et combinaisons de sollicitations résultantes d'actions diverses.

3.1.1. Parmi les sollicitations élémentaires sont comprises :

- . Les charges gravitaires permanentes,
- . les surcharges gravitaires non permanentes,
- . les sollicitations climatiques normales et exceptionnelles,
- . Les sollicitations d'ensemble en service normal :
 - .. la température,
 - .. retrait et fluage du béton,
 - .. effet de la précontrainte,
 - .. effet de poussée du revêtement métallique,
- . Les sollicitations d'ensemble en cas d'accident de perte de réfrigérant primaire (APRP) :
 - .. température d'APRP,
 - .. pression de l'APRP (4 bar effectifs),
 - .. poussée du revêtement métallique en APRP.
- . Les sollicitations locales :
 - .. réactions de tuyauteries en service normal,
 - .. réactions de tuyauteries en cas accidentel.
- . Les sollicitations dues aux projectiles (avion, turbine),
- . Les sollicitations dues à une explosion extérieur à l'en-
ceinte.

3.1.2. Les combinaisons de sollicitations sont détaillées dans les documents cités en référence.

Douze cas de combinaisons sont envisagés, cas résultants de cas de construction, service normal ou service accidentel.

Référence : C.S.T. SEPTEN - REAM
C.S.C. REAM

3.2. Limitation des contraintes

3.2.1. Parties en béton armé

Les prescriptions des règles du CCBA 68 sont applicables ainsi que les limitations relatives aux caractéristiques à prendre en compte pour les matériaux dans les conditions de calcul des premier et second genre.

Les sollicitations normales ou de service normal sont considérées comme des sollicitations totales pondérées du 1er genre (article 7).

3.2.2. Parties en béton précontraint

Les prescriptions des règles IP 65 sont appliquées.

Le domaine de sécurité vis à vis du domaine de résistance est déduit du domaine de résistance par une réduction homothétique dans le rapport de 1 à 0,42 par rapport à l'origine des vecteurs représentatifs des contraintes.

Quelques dérogations précisées, dans les prescriptions des règles IP 73 et relatives aux pourcentages minimaux des ferraillements passifs dans la structure ont été appliquées.

La contrainte maximale dans les armatures de précontrainte est limitée à 0,82 fois la rupture garantie dans le cas le plus défavorable.

Les contraintes de membrane et de flexion cumulées en partie courante du revêtement métallique pendant la construction, l'épreuve à froid et le service normal restent inférieures aux limites spécifiées par le code ASME division 2 sous section NE.

3.3. Caractéristiques prises en compte dans les calculs

3.3.1. Béton

. Module dynamique (séisme)	:	450 000 bar
. Module instantané	:	400 000 bar
. Module pour régimes thermiques transitoires	:	300 000 bar
. Module pour régimes thermiques permanents	:	200 000 bar
. Module pour charges permanentes	:	150 000 bar
. Coefficient de poisson	:	0,2
. Densité	:	$2,5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
. Coefficient de dilatation thermique	:	$10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$
. Conductivité calorifique	:	2 Kcal/mh $^\circ\text{C}$
. Chaleur spécifique	:	0,21 Kcal/kg $^\circ\text{C}$
. Retrait et fluage	:	recommandations C.E.B..

3.3.2. Revêtement métallique

- . Limite d'élasticité : 26 kg/mm²
- . Limite de plasticité : 32 kg/mm²
- . Coefficient de dilatation thermique : 12×10^{-6}
- . Conductivité calorifique : 40 Kcal/mh°C
- . Chaleur spécifique : 0,12 Kcal/kg°C

3.3.3. Précontrainte

- . Câble 19 T 15 TBR classe III
- . Section 2641 mm²
- . F.T.G. = 4840 KN
- . R.G. = 4789 KN (0,82 RG = 3927 KN)

3.4. Calculs

Les calculs d'ensemble ont été effectués par la Division
Théorie du S.E.P.T.E.N..

Les éléments de réduction et la détermination des ferrail-
lages passifs ont été déterminés par le Bureau d'Etudes
COYNE et BELLIER.

4. REALISATION

4.1. Béton

Les caractéristiques imposées par le Bureau d'Etudes pour
le béton sont :

- . $\sigma'_{28} = 400$ bar
- . granulat 0-32 (limitation à 0-16 dans une zone très parti-
culière).

La définition des diverses compositions de béton sont fonctions
de la qualité des agrégats trouvés sur le site ou à proximité.
Elle tient compte des exigences mécaniques demandées et surtout
des bonnes conditions de mise en oeuvre.

Le bétonnage à la pompe est interdit.

Les bétons de l'enceinte sont des bétons strictement contrôlés et dont l'objet d'une surveillance définie par le C.P.S. des différents contrats passés avec les entreprises de Génie Civil.

L'enceinte est constituée de goussets d'épaisseur variable et de 25 levées de béton.

Les goussets inférieurs (levées F, G, H) et supérieurs (phases A, B, D) sont bétonnés par plots alternés compte-tenu des grosses masses de béton mises en oeuvre.

Le Bureau d'Etudes définit l'astreinte de mise en oeuvre des zones courantes qui doit se faire par rouleau continue de 50 cm de hauteur et ce afin de limiter la poussée hydrostatique du béton frais sur la peau. La mise en oeuvre d'un rouleau de béton sur le précédent peut se faire sans repiquage à condition que le rouleau précédent présente un aspect "dur au doigt" mais non durci.

Le projet au point de vue ferrailage ou raccordement des tronçons de tube de précontrainte est conçu par "levées fictives" de 2,00 m de hauteur, la reprise entre les dites levées étant exécutée conformément aux règles de l'art.

Le Bureau d'Etudes interdit le bétonnage en une seule fois des levées B et D par suite des encombrements résultants de croisements des câbles verticaux, câbles de dôme et ferrailages passifs.

Le Bureau d'Etudes conseille le coffrage du dôme pour une pente supérieur à 15°:

Le dôme est réalisé par phases :

- . la phase C de 20 cm rend le dôme auto-porteur pour la suite des opérations de bétonnage,
- . les phases A, B, D concernent la ceinture du dôme,
- . la phase D a été découpée en 2 sous-phases afin de permettre la mise en tension au plus tôt de 50 % des câbles verticaux,
- . la phase D a été découpée en 2 sous-phases afin de permettre la mise en tension au plus tôt de 50 % des câbles verticaux.
- . les phases E, F, G sont des anneaux concentriques coulés en continu.

4.2. Coffrage

Les coffrages utilisés par l'entreprise sont des coffrages grimpants du type "barrage".

L'aspect général requis pour l'ouvrage est un parement fin.

Les tolérances sont définis au C.P.C. Gros Oeuvre.

4.3. Précontrainte : Aciers passifs

4.3.1. Précontrainte

Le Bureau d'Etudes, sans imposer les zones de "slippage" (1) des tubes verticaux, impose la mise en oeuvre d'un minimum de slippage par manchon thermorétractable et la réalisation du raccordement par manchon au milieu d'une levée de béton (rap- pel une levée 2 mètres).

Pour les cerces dont les gaines sont des feuillards spiralés :

- . les tronçons de cerces traversant une reprise sont rem- placés par du tube,
- . les cerces au voisinage d'une reprise sont en tube,
- . enfin toutes les déviations autour des sas personnels ou de l'accès matériel sont en tube.

La précontrainte du dôme est entièrement conçue avec du tube.

Les tolérances de mise en place des gaines de précontrainte + 1,5 cm par rapport à la position théorique sont déterminées par les défauts de forme de la peau métallique, le montage s'effectuant en pratique par rapport à la peau métallique du fût.

Pour le dôme, les trois nappes de câbles doivent rester à l'intérieur d'un fuseau défini par les spécifications de montage définies par le Bureau d'Etudes.

L'opération de mise en tension des armatures fait l'objet de phases définies par le Bureau d'Etudes. L'objectif des chantiers étant de terminer au plus tôt la précontrainte horizontale dans les zones des traversées (jusqu'à 20 m), le phasage a été établi comme suit :

- . précontrainte verticale 50 %,
- . précontrainte horizontale jusqu'à 30 mètres 100 % soit 80 % de l'ensemble des horizontaux,
- . précontrainte verticale 100 %,
- . dôme 20 %,
- . précontrainte horizontale 100 %,
- . précontrainte du dôme 100 %.

(1) slippage : raccordement

Après mise en tension, les câbles verticaux et câbles de dôme sont recalés afin de compenser les pertes de tension par rentrées de clavettes jugées trop importantes.

L'injection des câbles est effectuée avec un coulis de ciment selon une méthodologie mise au point au cours d'essais définis et suivis par REAM-CEMETE-STUP.

La notice de mise en oeuvre de la précontrainte, définie par le Bureau d'Etudes, spécifie en particulier les points principaux suivants :

- . nombre de rupture de fils admis lors de la mise en tension : 0
- . délai maximal entre enfilage des armatures et mise en tension : 1 mois,
- . délais maximal entre mise en tension et injection : 15 jours.

Une campagne d'essais de frottement réalisée sur la lère tranche de chaque site permet d'apprécier la qualité de la mise en oeuvre des conduits de précontrainte.

Une campagne d'essais très poussée sur la tranche 1 du TRICASTIN a permis l'ajustement des valeurs caractéristiques des coefficients de pertes par frottement qui avaient été prises trop optimistes au niveau de l'avant-projet.

La donnée de base de la mise en tension est la pression au vérin en fin de tension, la fourchette d'allongement choisie est de + 5 %.

4.3.2. Aciers passifs

Le radier en béton armé est soumis à l'essentiel des sollicitations définies au §3.1.1..

La nature, très compressible, des différents sols du Palier CP 1 notamment ainsi que la prise en compte d'un séisme majoré de sécurité du degré VIII de l'échelle Mercalli-Modifiée ; a conduit à la réalisation de radiers "épais" nécessitant par conséquent un découpage en plusieurs phases, chaque phase étant elle-même découpée en plot.

Le pourcentage d'armature du radier (gousset compris) du site du TRICASTIN s'élève à 157 kg/m³.

Dans le fût, le pourcentage minimal d'armatures passives recommandé par les IP 73 a été respecté.

La nappe extérieure est conditionnée par les phénomènes de retrait, défaut d'excentricité de la précontrainte et le missile.

La nappe intérieure prend en compte les effets de flexion liés aux phases transitoires de précontrainte.

Le pourcentage moyen d'armatures du fût y compris les zones renforcées telles que traversées, sas, accès matériels, consoles de pont s'élève à 80 kg/m³.

Le dôme a été ferrailé essentiellement pour prendre en compte la chute du missile turbine. Le liaisonnement de la couche de 20 cm (couche d'enrobage du dôme) avec le reste du dôme est assuré.

Un épinglage minimal de $12 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ a été prise en compte afin d'éviter le phénomène de feuilletage lors des opérations tra satoires de mise en tension du dôme.

Le pourcentage d'armature du dôme, ceinture comprise, s'élève à 160 kg/m³.

4.4. Peau métallique d'étanchéité

4.4.1. L'ensemble du fût métallique est constitué par 12 rondeaux de 3778 mm de hauteur chacun.

Chaque rondeau est constitué de 9 ou 11 tôles soudées entre elles in situ, les soudures étant contrôlées pendant que s'effectue la présentation des tôles du rondeau suivant.

Chaque tôle arrive, en principe, équipée des traversées qui ont été soudées en atelier; seules les traversées nécessitant une implantation très rigoureuse sont soudées sur place, la tôle étant trépannée après que toutes les soudures voisines pouvant entraîner des déformations aient été effectuées.

Les traversées soudées sur place sont celles de diamètre 900 mm et 1300 mm ainsi que celles des sas.

4.4.2. Traversées

On compte au total 163 traversées réparties comme suit :

Diamètre nominal du fourreau en mm	250	300	500	575	730	750	900	1300	2900	7400
Nombre par type	37	83	24	5	1	4	3	3	1	1
Epaisseur du fourreau en mm	12,7	12,7	16 ou 12	16	20	20	30	35	20	25 et 16

4.4.3. Zones particulières

Le sas personnel de secours d'un diamètre intérieur de 2900 mm qui sert d'accès principal pendant la construction dont l'axe est à la cote +1.15 m.

Le sas personnel d'un diamètre intérieur de 2900 mm, accès normal en exploitation dont l'axe est à +9,15 m.

Les trois traversées des tuyauteries d'eau alimentaire à 12.20 m.

Les trois traversées des tuyauteries vapeur à 16,70 m.

L'accès matériel de 7400 mm de diamètre intérieur dont l'axe est à la cote 22.90 m.

Enfin au niveau 40,00, 36 consoles supports de la poutre-rail du pont tournant intérieur à l'enceinte.

4.4.3.1. Les sas personnels

=====

Ils sont constitués de viroles dont les raccordements se font par soudure sur la partie courante du "liner"(1) par l'intermédiaire d'un renfort circulaire.

A chacune des extrémités de ces viroles, une porte permet le confinement de l'enceinte en service. Les accès, en marche normale, sont astreints à des séquences de fonctionnement qui garantissent dans tous les cas à ces ensembles la fonction de sas et par conséquence l'interdiction de toute communication entre l'intérieur de l'enceinte et l'environnement extérieur.

L'étanchéité des portes sur les dormants est assurée par deux joints gonflés à la pression de 6,5 bar relatifs par l'intermédiaire du réseau d'air comprimé de régulation.

L'étanchéité des joints est vérifiée par mesure du taux de fuite de l'espace inter-joints.

Après chacune des interventions dans l'enceinte, les joints sont testés, ils peuvent être, en outre, remplacés si leur étanchéité est jugée insuffisante.

4.4.3.2. Les traversées des tuyauteries eau ou vapeur de 30 ou 35 mm d'épaisseur et de 900 ou 1300 mm de diamètre, au nombre de 3 pour chaque type forment une "batterie" de trous, la distance d'axe en axe de chacune d'entre elles est de 3800 mm.

4.4.3.3. L'accès matériel de 7400 mm de diamètre intérieur est constitué par un fourreau de 16 et 26 mm d'épaisseur.

En marche normal, l'accès est obturé par un tampon en acier de même nuance que le "liner".

La fermeture de l'accès est effectuée par serrage des brides du tampon et du fourreau au moyen de 88 boulons.

L'étanchéité est assurée par un joint souple comprimé, et est contrôlée en permanence par pressurisation de l'espace inter-joints.

(1) liner : peau métallique

L'effacement du tampon lors des introductions de matériel s'effectue au moyen de deux treuils posés sur une charpente métallique dont les ancrages sont transmis dans le béton de l'enceinte à travers de "liner".

4.4.4.4. Les consoles supports
=====

Au niveau 40 m, 36 consoles en acier, d'environ 1,2 t chacune sont soudées sur le "liner".

Chacune d'entre elles de 1300 mm de hauteur et 700 mm de largeur est constituée par :

- . une semelle d'épaisseur 30 mm,
- . des montants et raidisseurs d'épaisseur 16 mm.

Dans la zone de soudure des consoles, l'épaisseur du "liner" est de 20 mm.

Côté béton, trois raidisseurs verticaux de 16 mm permettent la soudure des ronds d'acier de 32 mm qui reportent dans le béton les efforts de traction. Deux plots de 40 mm d'épaisseur transmettent au béton les compressions.

4.4.4. Le dôme

Le dôme métallique est constitué d'un arrondi torique de 6 m de rayon et d'une portion de sphère de 24 m de rayon.

Le raidissage est constitué par des cornières de 70 x 50 x 6 mm en cerces et de 200 x 100 x 10 mm en rayonnantes.

L'épaisseur de la tôle comme pour le fût est de 6 mm.

4.4.5. Montage

Les contraintes principales de tenue du revêtement métallique au montage sont liées :

- . à la présence du gousset qui constitue une rupture dans la descente de charge du fût, il est donc nécessaire avant "l'empilage" des rondeaux du fût de bloquer le tronc de cône dans le béton,
- . pour le montage du fût non bétonné : aux effets combinés du vent et d'un éventuel chargement en tête du revêtement (console + pont par exemple).

Les principaux critères retenus pour l'ensemble des sites construits ou en construction sont les suivantes :

- . décalage maximal de 7 ou 8 rondeaux entre tôle et béton,
- . mise en place des consoles du pont de façon symétrique (soudage des consoles en place conseillé),

. mise en place de la poutre-rail du pont, et de celui-ci, après bétonnage de la levée 22 (consolés bétonnés et béton durci),

. essai du pont après la levée 24.

Le dôme métallique est construit au sol en deux parties d'environ 60 tonnes chacune. Chaque demi-dôme est ensuite levé à la grue, posé, clamé et soudé sur la partie haute du fût.

4.4.6. Tolérances

L'ensemble du revêtement métallique doit se trouver au rayon théorique avec une tolérance de ± 5 cm en fin de construction (après bétonnage).

Des tolérances locales plus sévères limitent les flèches et assurent ainsi la stabilité locale au flambement lors des mises en compression accidentelles.

4.5. Planning -----

Le programme de construction d'une enceinte est essentiellement fonction des circonstances dans lesquelles se déroulent le chantier (exigences du programme d'ensemble, grèves intempéries) en conséquence, il est difficile de définir un programme standard de construction d'une enceinte.

Les principales astreintes d'études, dont certaines ont déjà été signalées ci-dessus, sont les suivantes :

4.5.1. Revêtement métallique

- . Montage du rondou 1 du fût après blocage au tronc de cône inférieure par la levée de béton correspondante sauf étaie-ment particulier,
- . Décalage entre fût métallique et béton limitée à 7 ou 8 ron-deaux selon les conditions de vent du site donné.
- . Mise en place des consolés du pont tournant de façon symé-trique,
- . Montage de la poutre-rail du pont et des poutres de pont, lorsque le béton est au niveau des consolés et durci.
- . Essai du pont lorsque le fût est bétonné.
- . Bétonnage des 20 cm de béton recouvrant le dôme selon un phasage bien précis.

4.5.2. Précontrainte

- . Début de la précontrainte verticale lorsque la phase D contenant les culôts d'ancrage est durcie (400 b, 28 jours) et nécessité d'avoir bétonné la phase des 20 cm qui recouvrent le dôme.
- . Enchaînement des différentes phases de précontrainte selon la logique définie au sous-chapitre 4.3.1..

4.5.3. Béton

- . Bétonnage en plots alternés dès qu'il y a mise en oeuvre de grosses masses de béton (radier, tronc de cône inférieur, ceinture du dôme).
- . Bétonnage des levées du fût par rouleaux de 0,50 mètres.

5. AUSCULTATIONS ET ESSAIS

5.1. Auscultations

L'auscultation des enceintes diffère en principe d'un site à un autre de par son radier et d'une tranche à une autre sur un même site en fonction du rang de la tranche dans le contrat-programme. C'est ainsi que TRICASTIN 1, première tranche du CP 1, a reçu une instrumentation particulière plus poussée que les autres tranches.

Une instrumentation standard a néanmoins été définie par l'ensemble des tranches des contrats-programmes 1 et 2. Les principes en sont donnés ci-après.

5.1.1. Radier

- . Un dispositif de nivellement à niveau d'eau de 9 pots de mesure,
- . Un dispositif de nivellement topographique,
- . Deux extensomètres horizontaux à fin d'Invar, suivant deux diamètres orthogonaux,
- . Deux points de mesure équipés de 2 témoins sonores et d'un thermocouple,
- . Un point de mesure équipé de 1 thermocouple.

5.1.2. Fût

- . 4 pendules verticaux dont les points fixes sont aux niveaux 10,26 et 42 m instrumentent les verticales 24, 106, 220 et 306 grades.
- . 8 points de mesure équipés de deux témoins sonores et de 1 thermocouple.
- . 8 points de mesure équipés de 1 témoin sonore et de 1 thermocouple.

5.1.3. Dôme

- . 2 points de mesure équipés de 2 témoins sonores et de 2 thermocouples situés au sommet du dôme.

Référence :

=====

. Instrumentation de l'enceinte :

.. PW A 10 17 EAU 000 REAM GFR

FICHE MTE 086

ADDITIF CONCERNANT L'ENCEINTE DE CRUAS

1. GENERALITE

L'enceinte de CRUAS a été réétudiée afin de prendre en compte dans les calculs, en situation accidentelle, une pression supplémentaire de 1 bar par rapport à l'enceinte type CP1 - CP2.

La reprise des études a été l'occasion de prendre en compte diverses considérations relatives à l'amélioration des délais et aux conditions de construction des bâtiments voisins.

Chacun des paragraphes de la MTE 086 est repris et complété par un additif lorsque le dit paragraphe présente une différence par rapport à CP1 - CP2.

1.2 Description générale - CaractéristiquesAdditif CRUAS

DESIGNATION	CRUAS		CP1 - CP2
1 - <u>INFRASTRUCTURE</u>			
Cote de la sous-face du radier	- 7,50		Variable - 9,5 à - 8
Nature du radier	Plein, repose sur des appuis néoprène		Plein
Diamètre extérieur du radier	39,20 m		38,80 m
Cote supérieure du radier	- 4,50 + tenon central sous puits de cuve à - 3,90		- 4,50 + tenon central sous puits de cuve à - 3,80
Galerie de précontrainte	Non Incorporée dans le radier sous face à -10		Incorporée
2 - <u>SUPERSTRUCTURE BETON</u>			
2.1 <u>Fût-dôme</u>			
Fût épaisseur	1,10		0,90 m
Ø intérieur	37,00 m		37 m
<u>Sas personnels</u>			
Niveau	axe 1,15 et 9,15		1,15 et 9,15
Diamètre	2,90 m		2,90 m
<u>Accès matériel</u>			
Niveau	axe 22,90		22,90 m
Diamètre	7,40		7,40 m
<u>Précontrainte</u>			
Unité	37 T 15		19 T 15

DESIGNATION	CRUAS		CP1 - CP2
<u>Familles de câbles</u> Nervures	Tour complet 2 Verticaux, dôme		Cerces 3/4 de tour, verti- caux, dôme 4 nervures
2.2 <u>Dôme</u>			
Cote supérieure du dôme	57,08		56,63 m
Epaisseur	0,90		0,80 m
Rayon de la zone sphérique	24 m		24 m
Précontrainte	en 3 nappes dont les axes font 60° en- tre eux et deux niveaux de sortie		câbles dans des plans passant par le centre de la sphère dans la partie sphérique . 3 nappes et 2 niveaux de sortie
<u>3 - REVETEMENT METALLIQUE</u>			
Epaisseur tôle	6 mm	6 mm	6 mm
Niveau de la soudure de raccordement fût-dôme	44,83		44,83 m
Conception	Idem CP1-CP2	Idem CP1 - CP2	Idem BUGEY sauf épaisseur béton 20 cm
Levage du dôme	Par demi-dôme		par 1/2 dôme
<u>4 - PARTICULARITES</u>			
Pont tournant	Comme CP1-CP2		Appuyé sur l'enceinte par l'intermédiaire de consoles métalliques

DESIGNATION	CRUAS		CP1 - CP2
Structures internes CF MTE correspondante	Appuyées sur le radier par l'intermé- diaire de la jupe. Le puits de cuve est suspendu		Appuyées sur le radier sans traverser le revêtement métallique du fond

3. CONCEPTION

Additif CRUAS : CCE N°520 et Note technique E/REAM 130 :
"Centrale de Cruas. Enceinte de confinement. Hypothèses de calcul des
parties en béton précontraint ou en béton armé".

§ 3.3.3 page 11 ADDITIF CRUAS

PRECONTRAINT

- Câble 37 T 15 TBR Classe III conformément au fascicule 4
Fournitures d'acier approuvé par le décret n°73-439 du
26.03.1973.
- Section 5143 mm²
- FTG : 8346 KN charge garantie à la limite conventionnelle
d'élasticité
- FRG : 9325 KN (0,82 R_G = 7647 KN)

Coefficient de frottement

- Câbles verticaux f = 0,16 = 0,008
- Câbles horizontaux
 - sous tube f = 0,16 = 0,0015
 - sous gaine f = 0,18 = 0,0015
- Câbles de dôme (sous tube)
f = 0,16 = 0,0015

Rentrée de mors : g = 8 mm

4. REALISATION

4.3.1 Précontrainte Additif CRUAS

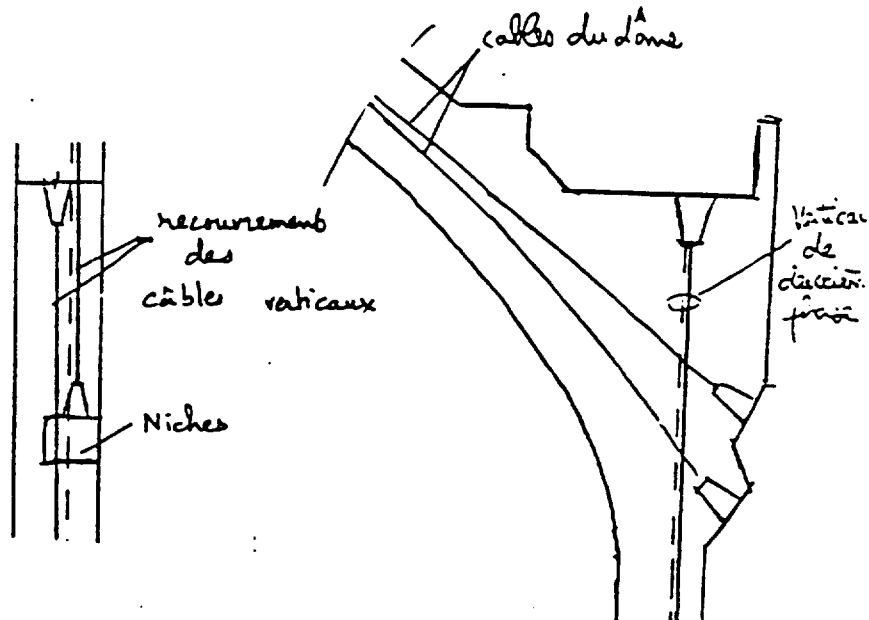
Toutes choses égales par ailleurs, les données du projet CRUAS sont les suivantes :

- l'unité de précontrainte est du 37 T 15, ce qui a conduit à une redistribution complète du câblage, qui se répartit maintenant comme suit compte tenu de la réduction du nombre des nervures d'ancrages des câbles horizontaux de 4 à 2.

Câbles horizontaux : 125 câbles tour complet.

Câbles verticaux : 126 câbles avec le découpage suivant :

- * 56 sont ancrés en partie supérieure au niveau 42,96 et sont repris par recouvrement par des câbles ancrés au niveau intermédiaire 38,50 selon le schéma ci-après.



L'intérêt de ce découpage sera défini plus loin.

Les câbles de dôme sont au nombre de 102 répartis en 3 familles dont les axes font 60° entre eux.

La sortie des câbles de dôme se fait sur deux niveaux au lieu de 3, ce qui simplifie notablement l'exécution de la ceinture du dôme.

La comparaison entre le projet CRUAS et le CP1 - CP2 est donnée par le tableau suivant :

TYPE DU CABLAGE	19 T 15	37 T 15
Câbles horizontaux	280 Câbles 3/4 de tour 4 nervures de précon- trainte	125 câbles tour complet 2 nervures de précontrainte
Câbles verticaux	212 Câbles verticaux purs	126 Câbles verticaux
Câbles du dôme	162 Câbles en trois familles axées à 60° Sortie des câbles sur trois niveaux	102 Câbles en trois famil- les axées à 60° Sortie des câbles sur deux niveaux
<u>Ecartement des câbles</u> (cm)		
. horizontaux	19 à 20	39 à 41
. verticaux	58	90
. dôme (sur R = 24 m)	57	92
<u>Ecartement des</u> <u>ancrages</u> Des câbles horizontaux (cm)		
. partie basse	58 ^s - 97 ^s	76
. partie haute	60 - 100	82
Type de vérin	K 500	K 1000

Exécution de la précontrainte

L'exécution de la précontrainte de l'enceinte diffère totale-
ment du CP1-CP2. Elle se décompose en trois phases :

- a) Mise en tension des câbles verticaux de première phase, tradi-
tionnels (56 câbles), le béton étant monté à la cote 42,96,
suivie de la mise en tension des câbles horizontaux du câble 1
au câble 90 inclus (+ 31 m) avec quelques câbles tendus au-
dessus pour ménager une zone de transition (voir plus loin).

Les 56 câbles verticaux de première phase, arrêtés à la cote
42,96 représentent 44 % de la précontrainte verticale totale
de l'enceinte (56 câbles sur 126 au total). La mise en tension

de ces câbles (câbles tendus depuis le bas et en général non recalés), ne peut être effectuée qu'après la réalisation des 2 conditions suivantes :

- béton de la levée (23) ayant une résistance de 400 bars,
- délai minimal de 15 jours après le bétonnage de la levée (23).

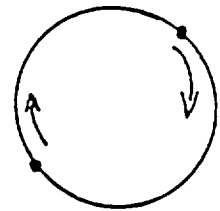
La fin des opérations de précontrainte de ces câbles verticaux conditionne l'exécution de la levée (24).

- b) Mise en tension des câbles verticaux de seconde phase (70 câbles longs et 56 câbles courts).
- c) Fin de la précontrainte horizontale et mise en tension des câbles du dôme.

Ordre de mise en tension des câbles verticaux de la première phase

La mise en tension des câbles verticaux de la première phase s'effectue en 3 opérations identiques.

Partant de 2 points diamétralement opposés de l'enceinte, on met en tension 1 câble sur 3 en se déplaçant de 1/2 tour.



On répète 3 fois l'opération, ce qui consiste à tendre tous les câbles de première phase en effectuant 3 tours complets.

On assure un serrage progressif autour des traversées du fût en respectant les règles suivantes :

- a) on tend d'abord les câbles les moins déviés et on termine par les câbles les plus déviés,
- b) on alterne les mises en tension de part et d'autre de chaque traversée principale.

(on notera que les câbles les plus déviés sont ceux qui font partie de la seconde phase de verticaux).

Ordre de mise en tension des câbles horizontaux de la première phase

(ces câbles sont des câbles tour complet tous recalés)

On réalise la mise en tension de tous les câbles dans la zone où il existe des câbles doublés, ce qui conduit à effectuer 100 % de la précontrainte horizontale jusqu'au câble 90 inclus et ensuite on assure une zone de transition au-dessus en tendant les câbles 93 - 94 et éventuellement 97 - 98 pour ne pas interrompre brutalement la force de serrage.

Pour la mise en tension des câbles horizontaux 1 à 90, on divise le fût de l'enceinte en un certain nombre de zones qui peuvent être les suivantes :

- zone basse allant jusqu'au-dessus du SAS personnel à + 1,15 m,
- zone moyenne incluant le SAS à 9,15 m,
- zone haute incluant l'accès matériel.

Pour chaque zone, l'ordre de mise en tension respecte les critères suivants :

- 1) On commence par tendre la totalité des câbles extérieurs (sous réserve de vérification de ne pas risquer d'écraser une gaine vide dans certains endroits) en respectant les règles a) et b) concernant l'ordre de mise en tension des câbles verticaux :
 - mise en tension des câbles les moins déviés suivie de la mise en tension des câbles les plus déviés,
 - alternance des mises en tension de part et d'autre des traversées.

Chaque câble est tendu simultanément à ses deux extrémités, et on alterne d'une nervure sur l'autre afin de monter la précontrainte sur les deux nervures sans dissymétrie. On admet un décalage entre les fronts de câbles tendus sur chaque nervure, pour assurer une certaine souplesse dans l'exécution, mais ce décalage n'excédera jamais cinq mètres.

- 2) On poursuit par la mise en tension des câbles intérieurs :
On respecte les mêmes principes que pour les câbles extérieurs.
- 3) On tend les câbles extérieurs un peu plus haut que les câbles intérieurs (décalage de l'ordre de 3 m).

Dans certaines zones délicates présentant de nombreux câbles juxtaposés, un ordre de mise en tension particulier sera étudié, de façon à ne pas risquer un écrasement des gaines vides (zone accès matériel et sas personnels).

Etude de la seconde phase de mise en tension des câbles de l'enceinte

Le bétonnage de la levée (24) conditionne l'exécution des phases A, B, C, D1 et D2 qui sont nécessaires pour pouvoir terminer la mise en tension des câbles verticaux de deuxième phase.

Ceux-ci comprennent 70 câbles longs venant du radier et 56 câbles courts ancrés dans les niches à 38,50 reprenant les 56 câbles verticaux de première phase.

Pour la mise en tension de ces câbles verticaux de la deuxième phase (mise en tension effectuée depuis le haut avec recalage, et reprise de tension en partie basse pour certains câbles très déviés), il faut satisfaire aux conditions suivantes :

- béton des levées D1, D2 ayant une résistance de 400 bars,
- délai minimal de 15 jours après le bétonnage des levées,
- exécution préalable de la phase C en entier (résistance 200 bars).

La mise en tension des câbles horizontaux de deuxième phase peut être ensuite effectuée en respectant les mêmes principes que pour les câbles de première phase avec une probable interaction avec la mise en tension des câbles du dôme (mise en tension de 100 % des câbles horizontaux jusqu'à un certain niveau, puis mise en tension de certains câbles du dôme puis fin de mise en tension des horizontaux ...).

Nota Il est rappelé que la mise en tension d'un câble doit s'effectuer au plus tard 4 semaines après son enfilage et son injection au plus tard 2 semaines après sa mise en tension.

4.4 PEAU METALLIQUE D'ETANCHEITE - ADDITIF CRUAS

La peau métallique d'étanchéité reste à l'identique, à l'exception des traversées dont la longueur est augmentée de la sur-épaisseur correspondante de l'enceinte.

4.5 PLANNING : ADDITIF CRUAS

Le planning de montage de l'enceinte jusqu'au niveau des consoles du pont roulant reste à l'identique, au-dessus de la levée 20 les prescriptions suivantes sont appliquées à CRUAS.

Prescriptions concernant la pose et l'utilisation du treuil supportant le fond de l'accès matériel

La levée (20) doit être réalisée avant la pose du treuil sur sa charpente-support (résistance du béton de la levée > 200 bars).

La levée (21) doit être réalisée, pour pouvoir utiliser le treuil pour la manutention du tampon de l'accès matériel (résistance du béton de la levée > 200 bars).

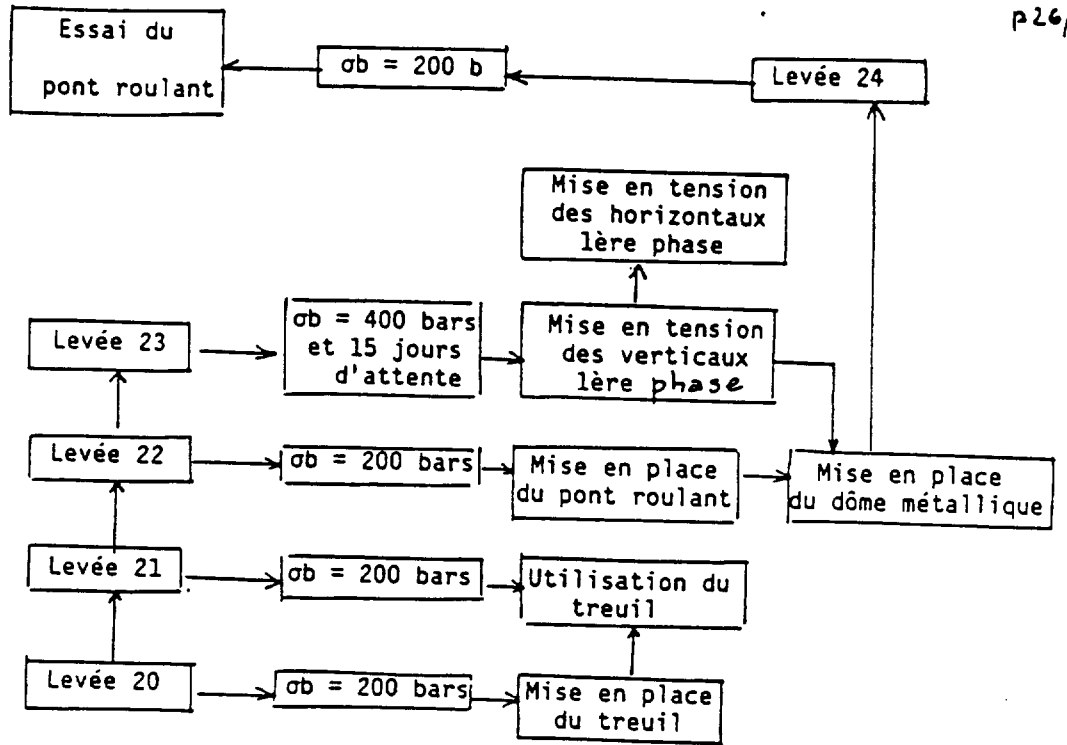
Prescriptions concernant le montage et l'essai du pont tournant

- Pour monter la poutre circulaire du pont tournant, le béton de la levée (20) doit avoir atteint une résistance de 200 bars.
- Le pont roulant ne peut être mis en place avant que le béton de la levée (22) ait atteint une résistance de 200 bars.
- Les essais du pont roulant peuvent être réalisés après que le béton de la levée (24) ait atteint 200 bars de résistance.

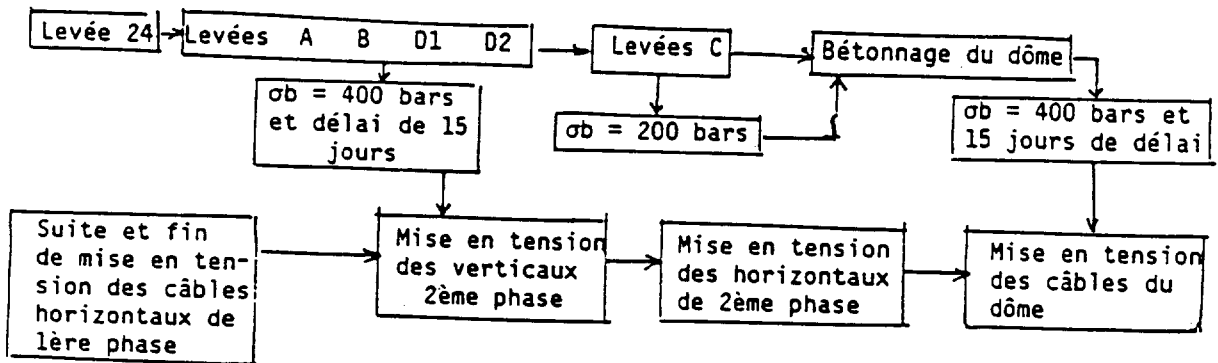
Cette dernière condition impose que la mise en tension des câbles verticaux de la première phase soit terminée.

Planning de Montage de l'enceinte

MTE n° 086
P26/29



Planning de la précontrainte et du dôme



5. AUSCULTATIONS

L'auscultation dont on dispose à CRUAS est la suivante :

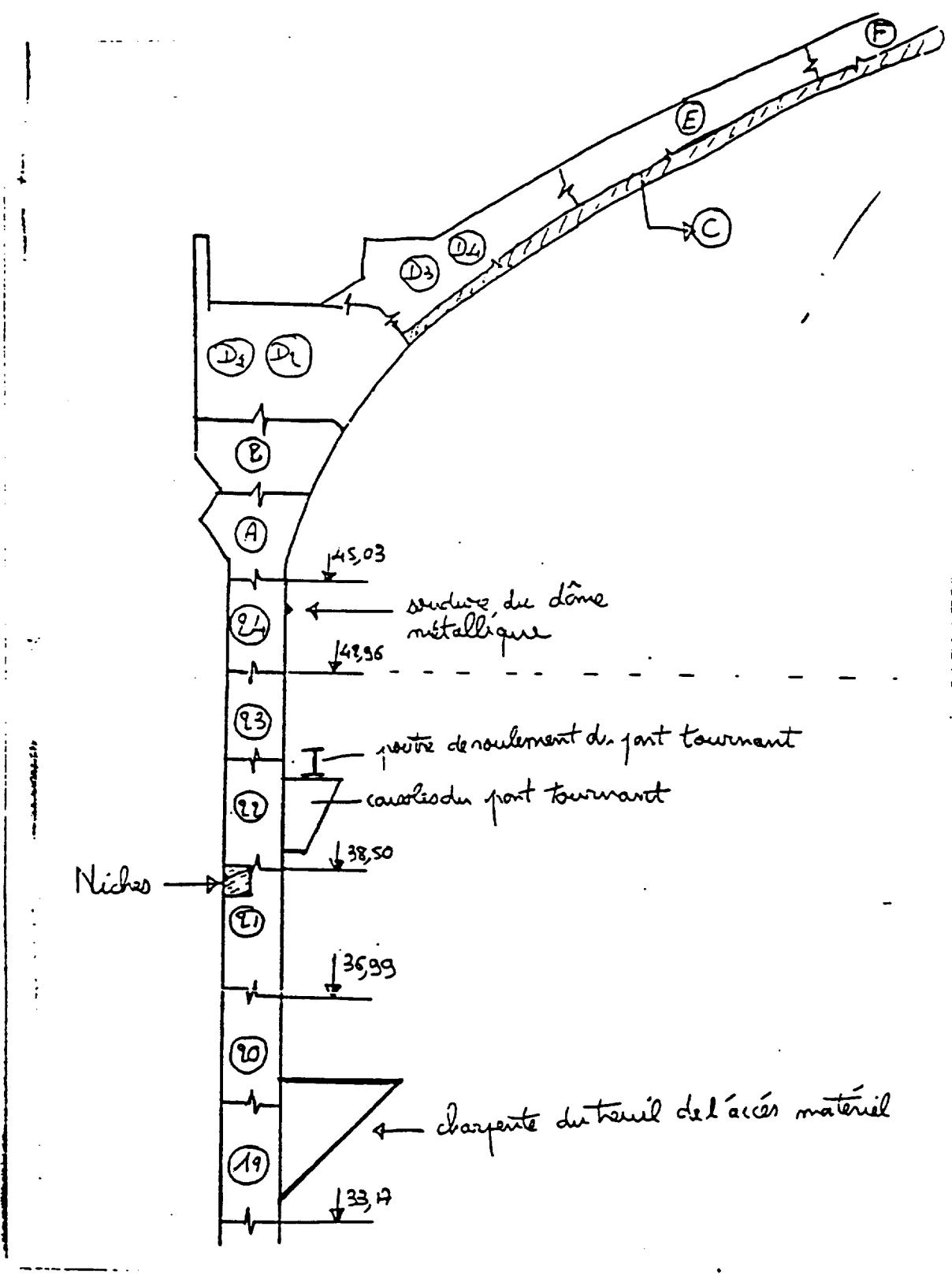
- Pendules et fils invar verticaux sur 4 verticales

Il est à noter que le point d'accrochage le plus haut est à + 42,00 m. Ce point est placé spécialement à ce niveau pour que l'on puisse utiliser les fils invar verticaux et les pendules dès le début des opérations de précontrainte.

- Pots de mesure et fils invar horizontaux dans le radier
- Témoins sonores et thermocouples

Au total on dispose de 36 TS et 27 TC (radier + clavages)
76 TS et 50 TC (enceinte + dôme)
dont 26 TS et 14 TC dans le dôme.

Sur les plots Néoprène une auscultation spéciale qui fait l'objet de la MTE N°95 est mise en place pour suivre l'évolution du tassement ou de l'inclinaison de la structure.



Niches

structure de dôme
métallique

poutre de roulement du pont tournant
caisses du pont tournant

charpente du treuil de l'accès matériel

45,03

48,96

38,50

35,99

33,17

D1 D2

D3 D4

C

E

F

B

A

24

23

22

21

20

19

