DR 90 1710.

ELECTRICITE DE FRANCE
DIRECTION DE L'EQUIPEMENT

MEMENTO TECHNIQUE DE L'EQUIPEMENT

FICHE N° 041

TITRE

CONCEPTION DES ENCEINTES - ENCEINTES DOUBLES

INTERESSEMENT : GENERALITES ☐ BATIMENTS ☒ CIRCUITS ☐ MATERIELS ☐ FONCTIONNEMENT ☐

PALIER : PWR 900 CP1 ☐ PWR 900 CP2 ☐ PWR 1300 ☒ RAPIDE ☐

UNITE RESPONSABLE : REC - G.C. (M. DELACOTTE)

REV.	DATE	AUTEURS
0	Août 83	DELACOTTE JP (REC)

CLASSEMENT
Chapitre 2.1.2

CONCEPTION DES ENCEINTES DOUBLES

S O M M A I R E

	Pages
1 - ROLE DE L'ENCEINTE DE CONFINEMENT	2
2 - DESCRIPTION	2
2.1 - L'enceinte interne	3
2.2 - L'enceinte externe	6
2.3 - Le radier	7
2.4 - Les traversées	10
2.5 - Le dispositif d'auscultation	10
3 - BASES DE CONCEPTION DE L'OUVRAGE	10
4 - HYPOTHESES DE CALCUL DES PALIERS P4 ET P'4	10
4.1 - Règlements utilisés	10
4.2 - Sollicitations élémentaires	11
4.3 - Cas de charge	15
4.4 - Soécifications imposées à l'ouvrage	17
4.5 - Critères de calcul	19
4.6 - Caractéristiques des matériaux	22
FIGURES	

BATIMENT REACTEUR - ENCEINTE DE CONFINEMENT

1 - ROLE DE L'ENCEINTE DE CONFINEMENT

L'enceinte de confinement renferme l'ensemble du circuit primaire et quelques équipements auxiliaires.

Avec les structures internes, elle permet le supportage de ces équipements, tant en situation normale qu'en situation accidentelle.

Elle assure leur protection vis-à-vis de l'environnement extérieur : intempéries, agressions externes.

En cas d'incident et, tout particulièrement, en cas d'accident de perte de réfrigérant primaire, elle assure la protection de l'environnement extérieur en constituant une barrière contre les produits radioactifs solides, liquides ou gazeux libérés en elle et contre les rayonnements émis par lesdits produits.

L'ouvrage capable d'assumer ce rôle présente donc l'aspect d'une enveloppe résistante et étanche.

2 - DESCRIPTION (voir figure I)

L'enceinte de confinement est une enceinte double constituée par :

- une première enveloppe, dite enceinte interne, en béton précontraint,
- une seconde enveloppe, dite enceinte externe, en béton simplement armé, qui délimite un espace d'environ 2 m de large, entre les deux enceintes. En légère dépression, cet "espace entre enceintes" permet la récupération des fuites de l'enceinte interne en vue d'assurer une filtration des fluides avant rejet à l'extérieur.

Au niveau du radier, les deux enceintes sont nécessairement au contact l'une de l'autre. Pour maintenir le principe de la double enveloppe, la réalisation est faite ainsi :

- la partie supérieure du radier constitue la partie inférieure de la première enveloppe,

- la partie inférieure du radier constitue la partie inférieure de la seconde enveloppe,

- la partie médiane du radier est occupée par un réseau de drainage en communication avec l'espace entre enceintes, constituant ainsi le prolongement inférieur de cet espace.

2.1 - Pourquoi une enceinte double ?

Sur le palier 900 MW, l'enceinte de confinement est une enceinte unique, en béton précontraint, avec peau métallique d'étanchéité.

Dans ce système, une étanchéité quasi-absolue, dans des conditions sévères, est demandée à une membrane de 6 mm d'épaisseur. La réalisation d'une peau métallique possédant les qualités requises de résistance et d'étanchéité est difficile et onéreuse.

Aussi, il a semblé judicieux de s'orienter vers une solution ou l'étanchéité est assurée par le seul béton précontraint, "dans la masse" en quelque sorte ; les fuites éventuelles étant collectées et filtrées par le système ad hoc constitué par l'espace entre enceintes.

Cette disposition, dont l'expérience n'a pas forcément démontré le moindre coût, présente cependant des avantages :

- un éventuel défaut de l'enceinte interne a moins de conséquences, sur le plan radiologique, qu'un défaut de l'enceinte simple. En effet, le mur de béton aurait tendance à s'auto-colmater face au mélange gaz-eau qui chercherait à le traverser en cas d'APRP. D'autre part, en aval, il existe le système de filtration.

- conséquence du point précédent, les prescriptions concernant l'étanchéité imposées à l'enceinte interne peuvent être moins sévères que sur l'enceinte simple (il y a un rapport de 1 à 10 environ entre les fuites tolérables de l'une et l'autre). Il s'ensuit que l'objectif est moins difficile à atteindre.

Références

CCE 124 - Type d'enceinte de confinement (P4 - P'4)

CCE 586 - Bâtiment réacteur (P'4)

CCE 591 - Modifications (P4)

2.2 - L'enceinte interne

2.2.1 - Description générale (voir figure I)

La superstructure de l'enceinte interne définit une cavité dont le volume total (air + béton des structures internes) est de l'ordre de 100 000 m³ pour P4. Pour P'4 puis N4, ce volume a été ramené à environ 70 000 m³ ce qui conduit à un bâtiment plus petit, donc moins onéreux (corrélativement, la pression de calcul est légèrement majorée).

On distingue de bas en haut :

- un gousset permettant le raccordement entre l'enceinte interne et le radier,
- une partie cylindrique ou jupe de l'enceinte interne comportant sur sa face interne une console support du pont tournant, et sur sa face externe deux nervures verticales diamétralement opposées pour l'ancrage des armatures de la précontrainte horizontale,
- un dôme d'allure torisphérique raccordé à la jupe par une ceinture supportant les ancrages supérieurs des armatures de la précontrainte verticale et du dôme.

Le dôme P4 comporte en sous-face un système de poutres et de prédalles préfabriquées qui prend appui sur une clef de voûte et un corbeau situé en haut de la jupe. Cet ensemble sert de coffrage perdu pour la réalisation du dôme proprement dit et n'intervient pas dans la résistance de l'ouvrage.

Pour les paliers P'4 et N4, ce dispositif a été amélioré et remplacé par des éléments de coques nervurés et préfabriqués. Ces éléments interviennent dans la résistance de l'ouvrage sous la forme d'éléments sans épaisseur mais avec une certaine inertie.

L'épaisseur des murs des paliers P'4 et N4 a été portée de 0,90 m à 1,20 m pour faciliter la mise en place du ferraillage et de la précontrainte.

Les principales dimensions de l'enceinte interne sont les suivantes :

	P4	P'4	N4
Jupe			
Diamètre intérieur	45 m	43,80 m	43,80 m
Epaisseur courante	0,90 m	1,20 m	1,20 m
Dôme			
Cote supérieure du dôme	66,45 m	59,38 m	60,78 m
Epaisseur courante	0,87 m	0,82 m	0,82 m
Rayon extérieur de la zone sphérique	36,95 m	32,90 m	env 32,90 m
Epaisseur des prédalles ou coques	0,08 et 0,12 m (prédalles)	0,08 m (coques)	0,08 m
Hauteur des poutres ou nervures	0,53 m	0,80 m	0,80 m

2.2.2 - Dispositifs de contrôle et d'injection des reprises de bétonnage

(voir Figure II)

Au droit de chaque reprise de bétonnage et approximativement à mi-épaisseur de la paroi, est noyé un dispositif constitué d'un tube percé de trous ou d'un tube souple, genre flexible de douche, enveloppé dans une "chaussette" de matériau non tissé, débouchant sur le parement extérieur de la paroi par des évents.

Des mesures du débit d'air à travers ce dispositif permettent d'apprécier la qualité de l'étanchéité de la reprise.

Par le même dispositif, il est possible d'injecter un produit colmatant quand la fuite détectée est jugée trop importante.

Référence

CRT 21.C.008.00 PWR - "Dispositifs de contrôle d'étanchéité et d'injection de l'enceinte interne de l'enceinte de confinement à double paroi des centrales nucléaires à eau ordinaire sous pression".

2.2.3 - Précontrainte

a) Précontrainte principale (voir figure III)

Cette précontrainte a pour objet de fournir les compressions minimales spécifiées dans la paroi de l'enceinte interne (cf. § 4.5.1.).

Elle est réalisée par post-tension selon le procédé FREYSSINET agréé par la circulaire N° 78-91 du 27 Juin 1978 du Ministère de l'Environnement.

Les câbles formés de 37 torons de 15,2 mm de diamètre (37 T 15 - classe III - TBR) sont enfilés dans des gaines métalliques mises en place avant bétonnage.

Les câbles sont éventuellement déviés pour contourner les ouvertures et traversées de l'enceinte.

La précontrainte horizontale de la jupe est constituée de cerces tour complet tendues par les deux extrémités.

La précontrainte verticale de la jupe est assurée par :

- des câbles verticaux purs tendus par l'ancrage inférieur*,
- des câbles verticaux se prolongeant dans le dôme, en forme de gamma Γ, tendus par leurs deux extrémités.

La précontrainte du dôme est constituée par la partie "horizontale" des câbles "gamma", répartis en 3 nappes faisant un angle de 60° pour P4 et en 2 nappes à 90° pour P'4 et N4.

Après mise en tension, les câbles sont injectés au coulis de ciment sauf les câbles équipés de dynamomètres (en général, 4 câbles sur la première tranche de chaque site) qui sont injectés à la graisse.

Toutes les têtes d'ancrage sont munies de capots ou sont cachetées.

b) Précontrainte additionnelle des accès matériel P4 (voir figure IV)

Cette précontrainte a été mise en place pour diminuer le taux du ferraillage passif théoriquement nécessaire dans une zone de concentration des contraintes.

---

* Sur certains sites P'4, il est envisagé de tendre des câbles verticaux purs par le haut.

L'accès matériel comporte une précontrainte additionnelle par post-tension réalisée selon le procédé VSL agréé par la circulaire N°78-92 du 27 Juin 1978 du Ministère de l'Environnement.

Les câbles formés de 12 torons de 15,2 mm de diamètre (6-12 - classe III - TBR) sont enfilés dans des gaines métalliques mises en place avant bétonnage et dotés d'ancrage type E à plaque d'appui en acier, avec capot.

Cette précontrainte est constituée de 10 câbles tendus par une extrémité et ancrés dans la surépaisseur de l'enceinte au droit de l'accès matériel.

Après mise en tension, ces câbles sont injectés au coulis de ciment.

c) Principales données

	P4	P'4	N4
Nombre de câbles horizontaux	134	122	139
Nombre de câbles verticaux purs	51	57	61
Nombre de câbles verticaux gamma	120	98	115
Nombre de câbles dômes purs	-	18	9
Nombre de câbles de précontrainte additionnelle	10	-	-

2.3 - L'enceinte externe (voir figure I)

On distingue de bas en haut :

- une partie cylindrique ou jupe de l'enceinte externe comportant sur sa face externe, pour le palier P4, une surépaisseur au niveau des traversées vapeur, et pour le palier P'4, 4 bossages au droit des traversées vapeur,

- un dôme d'allure torisphérique.

Pour P4, selon le procédé de construction choisi par l'entreprise, la sous-face du dôme comporte ou non des coques nervurées préfabriquées servant de coffrage perdu.

Pour P'4 et N4, le dôme externe est coulé sur l'extrados du dôme interne avant exécution de la dernière levée de la jupe externe puis soulevé jusqu'à son emplacement définitif. L'intrados du dôme externe est donc la surface conjuguée de l'extrados du dôme interne. Ce mode de construction conduit à diminuer l'espace entre dôme interne et dôme externe ainsi que la hauteur de l'enceinte externe.

Les principales dimensions de l'enceinte externe sont les suivantes :

	P4	P'4	N4
Jupe			
Diamètre intérieur	50,80 m	49,80 m	49,80 m
Epaisseur courante	0,55 m	0,55 m	0,55 m
Dôme			
Cote supérieure du dôme	71,90 m	61,78 m	63,18 m
Epaisseur courante	0,40 m	0,40 m	0,40 m
Rayon extérieur de la zone sphérique	37,35 m	33,90 m	33,90 m
Epaisseur des coques*	0,05 m	-	0,08 m
Hauteur des nervures*	0,25 m	-	-

* Quand elles existent.

2.4 - Le radier

2.4.1 - Description générale (voir figure I)

Par définition ouvrage de site, le radier n'est pas strictement identique d'un site à l'autre.

Après cette description générale donnant les traits communs à tous les radiers, les particularités rencontrées suivant les sites seront précisées plus loin.

Le radier présente l'aspect d'une galette d'une épaisseur de l'ordre de 3 m.

.../...

On rencontre :

1) En périphérie, la galerie de mise en tension des câbles verticaux.

Son toit, constitué de prédalles préfabriquées supportant les têtes des ancrages inférieurs des câbles verticaux, sert de coffrage perdu au béton situé au-dessus.

2) En partie centrale :

- un béton de propreté d'une épaisseur de 10 cm environ,
- un complexe d'étanchéité d'épaisseur 6,5 cm environ.

3) Le radier proprement dit, contenant :

- le réseau de drainage et sa galerie périphérique de récupération. Sur le P4, cette galerie sert également à la mise en tension des câbles du radier. Sur certains sites P'4, elle sert à la mise en tension des câbles verticaux.
- le câblage de précontrainte du radier. Sur le palier N4, cette précontrainte n'existe pas (cf. § 2.3.5).

2.4.2 - La galerie de mise en tension des câbles verticaux

Selon les sites, et à l'intérieur même des paliers, on trouve deux sortes de galeries de mise en tension des câbles verticaux :

- les galeries incorporées dans une épaisseur du radier,
- les galeries "sous radier", désolidarisées de ce dernier. C'est le cas, notamment, de FLAMANVILLE (P4) et PENLY (P'4).

Si la nature du sol le permet, cette seconde solution apparaît généralement plus économique car la galerie peut être réalisée à l'aide d'un béton moins résistant que celui de l'enceinte. Il est même possible, dans certains cas, d'utiliser un simple béton de blocage non ferraillé (FLAMANVILLE).

Les dimensions de cette galerie varient d'un site à l'autre. Cependant, il n'est pas exclu de penser aux conditions de travail de l'entreprise chargée de la précontrainte en lui donnant suffisamment de place pour manipuler aisément son matériel et, en particulier, une hauteur de galerie telle qu'il lui soit possible de retirer ses vérins avant le recépage des câbles (procédure, en principe, imposée par E.D.F.). Dans l'état actuel des techniques, une galerie d'une hauteur de 2,70 m utile sur une largeur de 2,30 m (dont 0,90 m entre l'axe des câbles et le mur le plus proche) est une bonne mesure.

.../...

2.4.3 - Complexe d'étanchéité (voir figure V)

Le complexe d'étanchéité a un double rôle :

- il assure la protection du radier contre les effets de la nappe phréatique,

- il assure la protection de la nappe phréatique en reconstituant, sous le radier, l'étanchéité de l'enceinte externe. Cet objectif aurait pu être atteint en augmentant le taux de ferraillage de la partie inférieure du radier, de façon à limiter la fissuration. Mais cette dernière solution est, notamment, onéreuse.

Le complexe d'étanchéité, posé sur le béton de propreté, est composé de :

- une membrane FREYVINYL d'épaisseur 2,7 mm,
- un feutre bitumé 27S d'épaisseur 3 mm,
- une chape armée d'épaisseur 6 cm,

ces deux derniers éléments concourant à la protection du premier.

Les laizes de FREYVINYL sont assemblées par des soudures contrôlées par un système électrique haute fréquence et haute tension.

Le complexe d'étanchéité pénètre dans le béton des murs de la galerie de mise en tension des câbles verticaux.

2.4.4 - Le réseau de drainage (voir figure VI)

En communication avec l'espace entre enceintes, le réseau de drainage ne sert qu'à permettre le contrôle de l'étanchéité du radier (partie supérieure) et ne débite pas en régime normal.

Le réseau est constitué de 2 nappes de drains orthogonales définissant une maille sensiblement carrée de 1 m x 1 m.

Les drains sont des tubes en polychlorure de vinyle de diamètre 100 mm sur lesquels des fentes ont été ménagées (tubes LUCODRAIN). Ils sont enfermés dans une "chaussette" de matériau non tissé (BIDIM) afin d'empêcher la laitance de pénétrer dans les drains lors du bétonnage.

Les drains débouchent dans la galerie de drainage qui communique avec l'espace entre enceintes.

Les dimensions de cette galerie varient d'un site à l'autre. En effet :

- sur le palier P4, cette galerie est également utilisée pour la mise en tension des câbles du radier,
- sur certains sites P'4, elle est utilisée pour la mise en tension des câbles verticaux,
- sur certains sites P'4, elle n'a d'autre rôle que celui de galerie de drainage.

Dans les deux premiers cas, l'on trouve des galeries de 2 x 2 m environ ; dans le dernier cas, des galeries de 0,8 x 0,8 m.

2.4.5 - Précontrainte du radier (voir figure VII)

Cette précontrainte assure l'étanchéité de la partie supérieure du radier qui est l'équivalent de l'enceinte interne.

Le procédé utilisé est le même que pour l'enceinte interne (cf. 2.2.3).

La précontrainte du radier est réalisée par 2 nappes orthogonales de 30 câbles chacune tendus par une seule extrémité.

La différence existant entre les paliers est la suivante :

- sur le palier P4, les câbles du radier sont tendus par la galerie de drainage (cf. ci-dessus) et les têtes d'ancrage sont capotées,
- sur le palier P'4, les câbles du radier sont tendus depuis l'extérieur du bâtiment : à partir du BAN et du BK pour certains câbles et d'une tranchée au pied du BR, pour d'autres câbles. Cette dernière série de câbles comporte des têtes avec capotage et cachetage.

Pour permettre l'accès aux ancrages passifs situés entre le BR et le BL, l'intervalle entre les murs de ces deux bâtiments est porté à 0,60 m. De plus, ces ancrages devenant inaccessibles, en fin de chantier, sont traités comme les ancrages actifs enterrés décrits plus haut (capot + cachetage).

Sur le palier N4, cette précontrainte chargée d'assurer l'étanchéité du radier est remplacée par un complexe d'étanchéité en FREYVINYL posé sur le béton mort, système jugé moins onéreux.

Références

CCE 177 - Etanchéité des radiers au regard des nappes souterraines (P4 - P'4).

Note E-SE/GC 76-04 - "Projets PWR 1300 et W 900 CP2 - Double enceinte sans peau d'étanchéité - Conception du fond intérieur" J.L. COSTAZ (25.2.76)(Réf. FTE : 83SE4362)

2.5 - Les traversées

Des orifices sont pratiqués dans les enceintes pour permettre le passage du personnel, du matériel, des câbles électriques, des tuyauteries, des gaines de ventilation et des éléments combustibles.

Il convient de se reporter à la fiche MTE Fiche N° 15 pour connaitre le détail de la technologie de ces traversées.

2.6 - Le dispositif d'auscultation

Il comprend :

- des systèmes de mesure des déplacements et déformations d'ensemble de la jupe et du radier (repères topographiques, extensomètres horizontaux à fil invar, pendules),
- des systèmes de mesure des contraintes et températures du béton (thermocouples et témoins sonores),
- des systèmes de mesure de la tension des câbles de précontrainte (dynamomètres).

Référence

CCE 499 - Auscultation des ouvrages de Génie civil

3 - BASES DE CONCEPTION DE L'OUVRAGE

Le bâtiment réacteur est conçu conformément aux principes généraux de sûreté applicables aux centrales à eau ordinaire sous pression :

- décrets d'autorisation de création des différentes tranches,
- directives ministérielles précisées dans la lettre CAB 900 MZ du 3 septembre 1979,
- 10 CFR 50 - Appendice A - Critères généraux de conception :

critère n° 2 -	Bases de conception relatives à la protection contre les phénomènes naturels,
critère n° 4 -	Bases de conception relatives à l'environnement et aux projectiles
critère n° 16 -	Conception de l'enceinte de confinement
critère n° 50 -	Bases de conception de l'enceinte de confinement
critère n° 52 -	Possibilité de contrôle du taux de fuite de l'enceinte de confinement
critère n° 53 -	Dispositions pour les essais et l'inspection de l'enceinte de confinement
critère n° 54 -	Traversées de tuyauterie dans l'enceinte de confinement

4 - HYPOTHESES DE CALCUL DES PALIERS P4 ET P'4*

4.1 - Règlements utilisés

Les règlements sont ceux usuellement appliqués dans la construction de bâtiments et d'ouvrages d'art ou d'appareils à pression.

---

* Pour le palier N4, il convient de consulter le RCCG N4.

- Les règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé parues en mai 1968 et addenda 1970 - dites CCBA 68.

- L'instruction provisoire relative à l'emploi du béton précontraint dans les ouvrages dépendant du Ministère des Travaux Publics et des Transports parue le 12 Aout 1965 et revisée en 1974 - dite IP 65 ou IP N°1.

- Le Code de la Construction des appareils à pression non soumis à l'action de la flamme, du Syndicat National de la Chaudronnerie, de la Tôlerie et de la Tuyauterie Industrielle paru en 1969 - dit Code SNCTTI 69.

- Le Code ASME, section III, division NE.

4.2 - Sollicitations élémentaires

4.2.1 - Charges gravitaires permanentes (D)

Elles comprennent :

a) Le poids propre des éléments constitutifs de l'ouvrage,

b) Le poids à vide du matériel supporté par l'ouvrage qui se transmet à celui-ci par l'intermédiaire des points d'appui ou d'ancrage.

En pratique :

Le terme b) est négligeable devant le terme a). Il n'est pris en considération que pour des vérifications locales (par exemple : calcul des points d'ancrage).

4.2.2 - Charges gravitaires non permanentes (L)

Elles comprennent :

a) Les surcharges de construction et d'essais (Lc) telles que les charges d'essais du pont tournant,

b) Les surcharges de matériels ou de fluides en exploitation de la centrale, réacteur en marche (Lo) ou réacteur à l'arrêt (Le).

.../...

En pratique :

Ces charges sont négligeables devant le terme (D). Elles ne sont prises en considération que pour des vérifications locales (par exemple : calcul de la console du pont tournant).

4.2.3 - Sollicitations climatiques

Elles comprennent :

a) Les sollicitations climatiques normales (W),

b) Les sollicitations climatiques extrêmes (W').

Elles sont définies dans les règles "Neige et Vent".

4.2.4 - Sollicitations sismiques

Il s'agit des sollicitations dues au :

a) Séisme normal admissible (E),

b) Séisme majoré de sécurité (E').

Le SMS est un séisme hypothétique enveloppe du séisme le plus fort qu'on estime pouvoir se manifester sur un site donné.

Pour P4, le SMS est le séisme correspondant au degré VIII de l'échelle MSK, ce qui conduit à des accélérations au sol, à période nulle, prises égales à :

- horizontalement : 0,15 g
- verticalement : 0,10 g

Le spectre servant au dimensionnement des installations est défini, au niveau du sol, par le spectre de réponse du Regulatory Guide 1.60.

Les accélérations du SNA sont moitié de celles du SMS.

Références

CCE 540 - Conditions sismiques retenues pour la définition des ouvrages, structures et matériels présentant un caractère de sûreté nucléaire (P4 - P'4).

CCE 593 - Conditions sismiques retenues pour la définition des ouvrages, structures et matériels présentant un caractère de sûreté nucléaire (P'4).

4.2.5 - Action de la précontrainte (F)

Elle comprend l'action des phases transitoires de précontrainte pendant la construction et l'action de la précontrainte entière sur l'ouvrage achevé.

Il est tenu compte des actions créées par les défauts de forme de la paroi et les erreurs d'implantation des câbles.

4.2.6 - Sollicitations d'ensemble en service normal du réacteur (Po, To)

Elles résultent des effets de la pression et de la température de l'atmosphère intérieure ainsi que des effets de la température extérieure.

4.2.6.1 - Pression

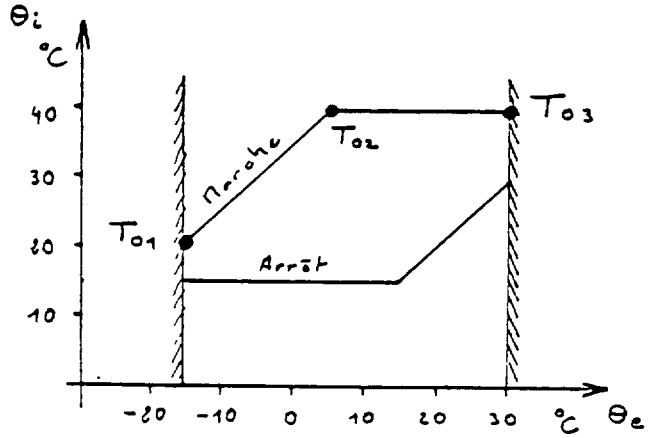
- la pression normale dans l'enceinte interne se situe aux alentours de la pression atmosphérique,
- la dépression dans l'espace entre enceintes est de l'ordre de quelques millibars.

En pratique :

Cette solution est négligeable vis-à-vis des autres actions.

4.2.6.2 - Température

a) La température de l'atmosphère dans l'enceinte interne Θi et la température de l'atmosphère extérieure Θe sont reliées de la façon suivante :



.../...

En pratique :

On ne considère que quelques situations thermiques, par exemple celles repérées T01, T02 et T03 ci-dessus.

b) Les fourreaux des traversées chaudes et certains supportages métalliques en contact avec le béton sont supposés être portés à une température plus élevée (70° par exemple).

c) En cours de construction, le terme (To) représentant les effets thermiques, inclut les effets du retrait du béton et de l'ensoleillement.

4.2.7 - Sollicitations d'ensemble en cas d'accident de perte de réfrigérant primaire APRP (P, T)

Les sollicitations correspondantes résultent d'une montée rapide de la pression et de la température dans l'enceinte interne.

Le phénomène est représenté par :

- une pression de calcul égale à 3,8 bar effectifs pour le palier P4 et 4,2 bar effectifs pour le palier P'4,

- une température de calcul égale à 140°C, appliquée pendant 24 h.

Le cumul des effets de pression et de température tient compte des phénomènes transitoires d'établissement des températures dans les parois en béton.

La pression d'épreuve est égale à la pression de calcul.

Références

CCE 355 - Rupture de tuyauterie vapeur à l'intérieur de l'enceinte de confinement (P4 - P'4)

CCE 370 - Pression de calcul de l'enceinte de confinement (enceinte interne) (P4)

4.2.8 - Sollicitations locales

Il s'agit des charges et réactions induites par le matériel, hormis les charges gravitaires, en particulier les réactions des tuyauteries sur les traversées.

Ces actions sont données sous forme d'efforts statiques équivalents agissant aux points ou surfaces d'appui, ou aux points d'ancrage.

a) Construction et service normal (Ro)

b) Séismes (Re et R'e)

c) Accidents de perte de réfrigérant primaire (R1)

d) Rupture de tuyauterie (R2)

En pratique :

Toutes ces actions sont négligeables sauf dans les vérifications locales (par exemple : ancrage des tuyauteries vapeur).

4.2.9 - Sollicitations dues aux projectiles externes (Y)

Le problème est ramené à la vérification de la résistance de l'enceinte pour :

- l'avion LEAR-JET présentant les caractéristiques suivantes :
  - . bimoteur de 5 700 kg,
  - . vitesse d'impact 100 m/s,
  - . surface d'impact 12 m² (rectangle de 1,2 m de haut sur 10 m de long).
- l'avion CESSNA 210 avec les caractéristiques ci-après :
  - . monomoteur de 1 700 kg,
  - . vitesse d'impact 100 m/s,
  - . surface d'impact 4 m².

Le S.E.P.T.E.N. a montré que ces cas d'impact pouvaient être représentés par des forces statiques équivalentes appliquées sous forme de pression sur la surface d'impact et prenant les valeurs suivantes :

- 1 200 x 10^4 N pour le LEAR-JET (900 x 10^4N pour P'4)
- 700 x 10^4 N pour le CESSNA

Ces deux avions sont considérés comme des missiles "mous".

Le moteur du CESSNA (200 kg - 100 m/ms - 0,5 m²) considéré comme un missile "dur" n'est pas dimensionnant pour l'enceinte.

Références

CCE 232 - Principes retenus pour la prise en compte de la chute d'avions de l'aviation générale (P4 - P'4)

CCE 487 - Chutes d'avions de l'aviation générale (P 4)

CCE 627 - Chutes d'avions de l'aviation générale (P'4)

CCE 477 - Protection contre les projectiles durs (P4 - P'4)

4.2.10 - Sollicitations dues aux explosions extérieures (X)

Le problème est ramené à la vérification de la résistance de l'enceinte à une onde incidente à front plan dont les caractéristiques sont :

- pression incidente : 50 mbar
- durée de la phase positive de l'onde : 0,3 s
- vitesse de l'onde : 350 m/s

Le chargement sur la paroi est variable en fonction de l'angle d'incidence et du temps.

Références

CCE 297 - Prise en compte du risque d'explosion (P4 - P'4)

CCE 488 - Dimensionnement à l'explosion extérieure (P4 - P'4)

4.3 - Cas de charges

Les cas de charges sont étudiés comme étant des combinaisons des sollicitations élémentaires définies au paragraphe précédent.

4.3.1 - Construction

Cette situation comprend la mise en précontrainte mais pas la situation d'essai.

(1) D + Lc + F + W + To + Ro

4.3.2 - Situations normales

(2) D + (Lo ou Le) + F + Po + To + Ro

4.3.3 - Situations d'environnement sévères

(3) Situations normales + surcharges climatiques normales

(D + (Lo ou Le) + F + Po + To + Ro) + W

(4) Situation normale + séisme normal admissible

(D + (Lo ou Le) + F + Po + To + Ro) + (E + Re)

4.3.4 - Situations d'environnement extrêmes

(5) Situation normale + surcharges climatiques extrêmes

(D + Lo + F + Po + To + Ro) + W'

(6) Situation normale + séisme majoré de sécurité

(D + Lo + F + Po + To + Ro) + (E' + R'e)

4.3.5 - Agressions externes

(7) Situation normale + explosion extérieure

(D + Lo + F + Po + To + Ro) + X

(8) Situation normale + projectile externe

(D + Lo + F + Po + To + Ro) + Y

.../...

4.3.6 - Situations accidentelles

(9) Accident de perte de réfrigérant primaire (APRP)

D + Lo + F + P + T + R1

(10) Accident de rupture de tuyauterie secondaire

D + Lo + F + Po + To + R2

4.3.7 - Situation d'essais

(12) Epreuve de résistance et/ou d'étanchéité de l'enceinte

D + Le + F + P + To + Ro

4.3.8 - Vérifications de calcul

(13) APRP + SMS

(D + Lo + F + P + T1 + R1) + (E' + R'e)

(14) Pression majorée

D + Lo + F + 1,5 P + To + Ro

(15) Surcharges majorées

D + 1,5 (Lo ou Le) + F + Po + To + Ro

Lorsque l'alternative est laissée entre plusieurs actions élémentaires, la plus défavorable est considérée.

4.4 - Spécifications imposées à l'ouvrage

Chaque partie de l'ouvrage est dimensionnée, pour les différents cas de charges, suivant l'importance de son rôle vis-à-vis des fonctions étanchéité et résistance.

4.4.1 - Etanchéité

L'étanchéité de l'enceinte interne est telle que la fuite maximale admissible de celle-ci est égale à 1,5 % par 24 h, de la masse de gaz contenue dans l'enceinte interne, dans les conditions du pic de pression d'APRP.

Cette condition est respectée si la fuite mesurée lors de l'essai d'enceinte est inférieure à 1 % par 24 h de la masse de gaz contenue dans l'enceinte interne, à la température ambiante et à la pression de calcul.

L'étanchéité est assurée pour les situations suivantes :

- normale (2),
- d'environnement sévère (4),
- d'APRP (9),
- d'essai (12).

4.4.2 - Résistance

Les cas de charge du § 4.2 sont classés en fonction des contraintes admissibles sur les matériaux qui sont précisées au § 4.5.

On distingue 4 types de sollicitations :

- les sollicitations de construction,
- les sollicitations de calcul normales,
- les sollicitations de calcul majorées,
- les sollicitations de calcul spéciales.

NUMERO DU CAS DE CHARGE DU § 4.3

Type de sollicitations	Radier	Enceinte interne	Enceinte externe	Sas et accès	Traversées	Puisards *
Sollicitations de construction	(1)	(1)	(1)		(1) fourreaux EE	(1)
Sollicitations de calcul normales	(2) (4) (9) (12)	(2) (4) (9) (12)	(2) (3) (4)	(2) (6) (7) (9) (12)	(9) (fonds pleins)	(4) (9)
Sollicitations de calcul majorées	(6) (13) (14) (15)	(6) (10) (13) (14) (15)	(5) (6) (10) (15)		(10) fourreaux EI	(6) (13)
Sollicitations de calcul spéciales			(7) (8)			

* Il s'agit des fourreaux des puisards de recirculation.

.../...

4.5 - Critères de calcul

4.5.1 - Béton précontraint (enceinte interne et partie supérieure du radier)

Les prescriptions des règles IP 65 s'appliquent compte tenu des compléments et modifications ci-après :

1) Sollicitations normales

- La contrainte moyenne dans l'épaisseur de la paroi de l'enceinte interne et la partie supérieure du radier doit être une compression minimale de 10 bar.

- Les contraintes de compression admissibles peuvent être dépassées pour autant que ce dépassement résulte du seul effet des régimes transitoires de température. Elles ne doivent pas dépasser les limites admises lors de la construction.

- Les contraintes de traction admissibles, dans le cas (9), peuvent être dépassées pour autant que ce dépassement résulte des effets thermiques et des défauts de forme. Elles doivent, toutefois, être limitées aux 30 cm les plus proches du parement externe de l'enceinte interne, ne pas dépasser les valeurs permises en construction et être équilibrées par des armatures passives.

2) Sollicitations majorées

La contrainte moyenne dans l'épaisseur de la paroi de l'enceinte interne et la partie supérieure du radier doit être une compression, sans valeur minimale, dans le cas (13).

3) Câbles de précontrainte

- Les coefficients de frottement en courbe f et en ligne φ prennent les valeurs suivantes (éventuellement vérifiées par des essais sur site) :

  . câbles horizontaux et additionnels : $f = 0,18$
  $\varphi = 0,0015$

.../...

. câbles verticaux purs : $f = 0,16$
$\varphi = 0,0008$

. câbles gamma : $f = 0,16$
$\varphi = 0,0015$

- Les rentrées de mors sont supposées inférieures à 8 mm pour les câbles 37 T 15 et à 6 mm pour les câbles 12 T 15.

4.5.2 - Béton armé (enceinte externe et radier)

Les prescriptions du CCBA 68 s'appliquent compte tenu des compléments et modifications ci-après :

1) Les sollicitations de calcul normales sont considérées à la fois, comme des sollicitations totales pondérées du premier genre (au sens de l'article 7) et comme des sollicitations de service (au sens de l'article 8).

2) Les sollicitations de calcul majorées sont considérées comme des sollicitations totales pondérées du deuxième genre (au sens de l'article 7).

3) Les sollicitations de calcul spéciales s'appliquent aux cas (7) et (8) dont la nature accidentelle justifie le recours à un calcul aux états limites, prévu à l'article 66 du CCBA 68.

Les spécifications imposées à ce calcul sont les suivantes :

- coefficient de sécurité sur l'acier pris égal à 1 et allongement limite de 1 % en traction,

- contrainte maximum de compression dans le béton : 360 bar, et déformation limite de 3,5 °/oo.

Les contraintes sont calculées en supposant que le milieu reste élastique. La marge de sécurité provient donc essentiellement de la majoration des valeurs des contraintes résultant de ce type de calcul qui néglige la redistribution des efforts due à la plastification.

.../...

4.5.3 - Traversées

1) Accès matériel, sas personnels, accès chantier

- Toutes les situations sont considérées comme des situations normales de service au sens du code SNCTTI ou de conception (design) au sens du code ASME.

- Le dimensionnement des parties chaudronnées : viroles, fonds bombés, brides, a été effectué à l'aide du code SNCTTI.

- En ce qui concerne les portes et dormants des sas, dont le dimensionnement sort du domaine d'application du code SNCTTI, ils font l'objet d'un calcul tridimensionnel aux éléments finis (plaques minces et poutres). Les limites de contraintes retenues sont celles définies par le code ASME section III - division NE, soit :

- en membrane : 11,36 daN/mm²

- en membrane + flexion : 17,04 daN/mm²

2) Autres traversées

a) Fourreaux de l'enceinte interne

- La rupture de tuyauterie (10) qui traverse le fourreau fixe son dimensionnement. Elle est considérée comme une sollicitation majorée.

- Le calcul de résistance est effectué par une analyse élastique en limitant la contrainte admissible à 33 daN/mm², valeur tirée du code ASME (division 1, section III, sous-section NE).

- Les fonds pleins des fourreaux non équipés sont dimensionnés pour le cas (9) à l'aide du code SNCTTI.

b) Fourreaux de l'enceinte externe

- Les sollicitations de construction (1) fixent le dimensionnement de ces fourreaux.

- Le calcul de résistance est effectué dans le domaine élastique en limitant la contrainte admissible à 10 daN/mm² et la déformation à 0,75 % du diamètre intérieur.

.../...

c) Fourreaux des traversées IS dans le radier

- Pour les cas (1), (4) et (9), les fourreaux sont dimensionnés à l'aide du code SNCTTI qui limite la contrainte admissible à 14 daN/mm².

- Pour les cas majorés (6) et (13), la contrainte admissible est égale à la limite élastique soit 26 daN/mm².

4.6 - Caractéristiques des matériaux

4.6.1 - Béton

Les caractéristiques du béton sont les suivantes :

- Résistance à la compression à 28 jours ($\sigma'28$)	400 bar
- Module d'Young E	
. dynamique	400 000 bar
. instantané	400 000 bar
. régime thermique transitoire (< 24 h)	250 000 bar
. régime thermique permanent	150 000 bar
. différé	150 000 bar
- Coefficient de Poisson ν	0,2
- Retrait total α	$1,5 \cdot 10^{-4}$
- Coefficient de dilatation thermique	10^{-5}/°C
- Conductivité calorifique	2 Kcal/m.h.°C
- Chaleur spécifique	0,21 Kcal/kg.°C

4.6.2 - Aciers passifs

Les aciers passifs sont des armatures à haute adhérence HA Fe E 40 A conformes aux règles CCBA 68.

Lorsque l'emploi d'aciers doux est nécessaire (attentes pour certains bétons de 2ème phase, par exemple), il est fait usage de ronds lisses Fe E 24 conformes aux règles CCBA 68.

4.6.3 - Aciers de précontrainte

Pour le palier P4, bien que les torons constitutifs des câbles soient de classe III, sous-classe TBR (très basse relaxation), les calculs ont été faits en supposant que les torons sont de classe II, sous-classe TBR. Ce déclassement donne une réserve de puissance bien utile pour compenser les pertes de tension imprévues qui apparaissent parfois lors de la mise en oeuvre.

Pour le palier P'4, les calculs ont été menés en classe III.

Les caractéristiques des unités sont les suivantes :

- Section des câbles :

  . 37 T 15 : 5 143 mm²
  . 12 T 15 : 1 668 mm²

- Contrainte de rupture garantie Rg = 1 743 Mpa (classe II)
  = 1 813 Mpa (classe III)

- Contrainte limite Tg = 1 552 Mpa (classe II)
  = 1 623 Mpa (classe III)

- Relaxation . à 1 000 heures $P_{1\,000} = 2{,}5$
  . à 3 000 heures $P_{3\,000} = 3$

- Module d'élasticité E = 190 000 Mpa

.../...

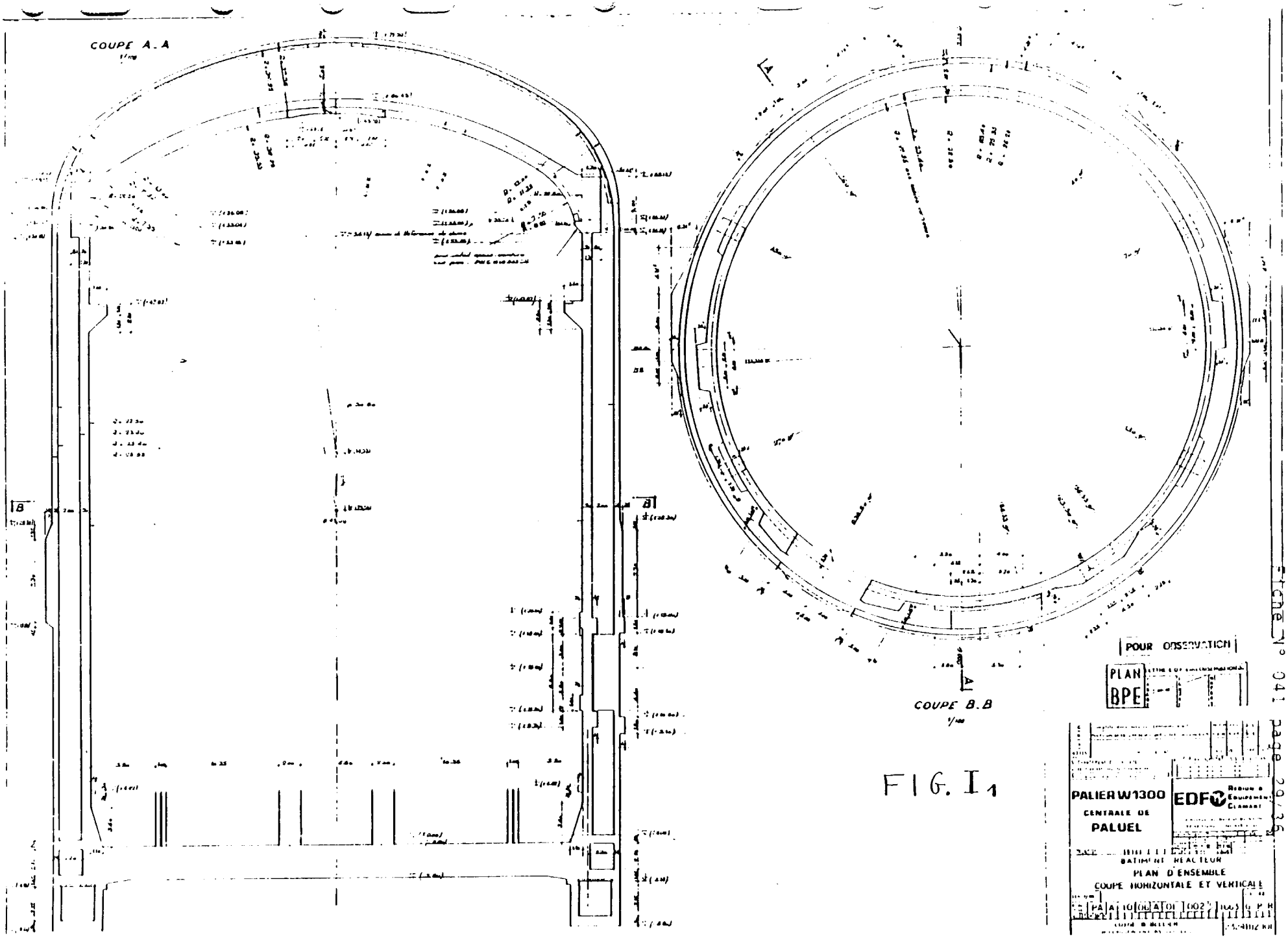
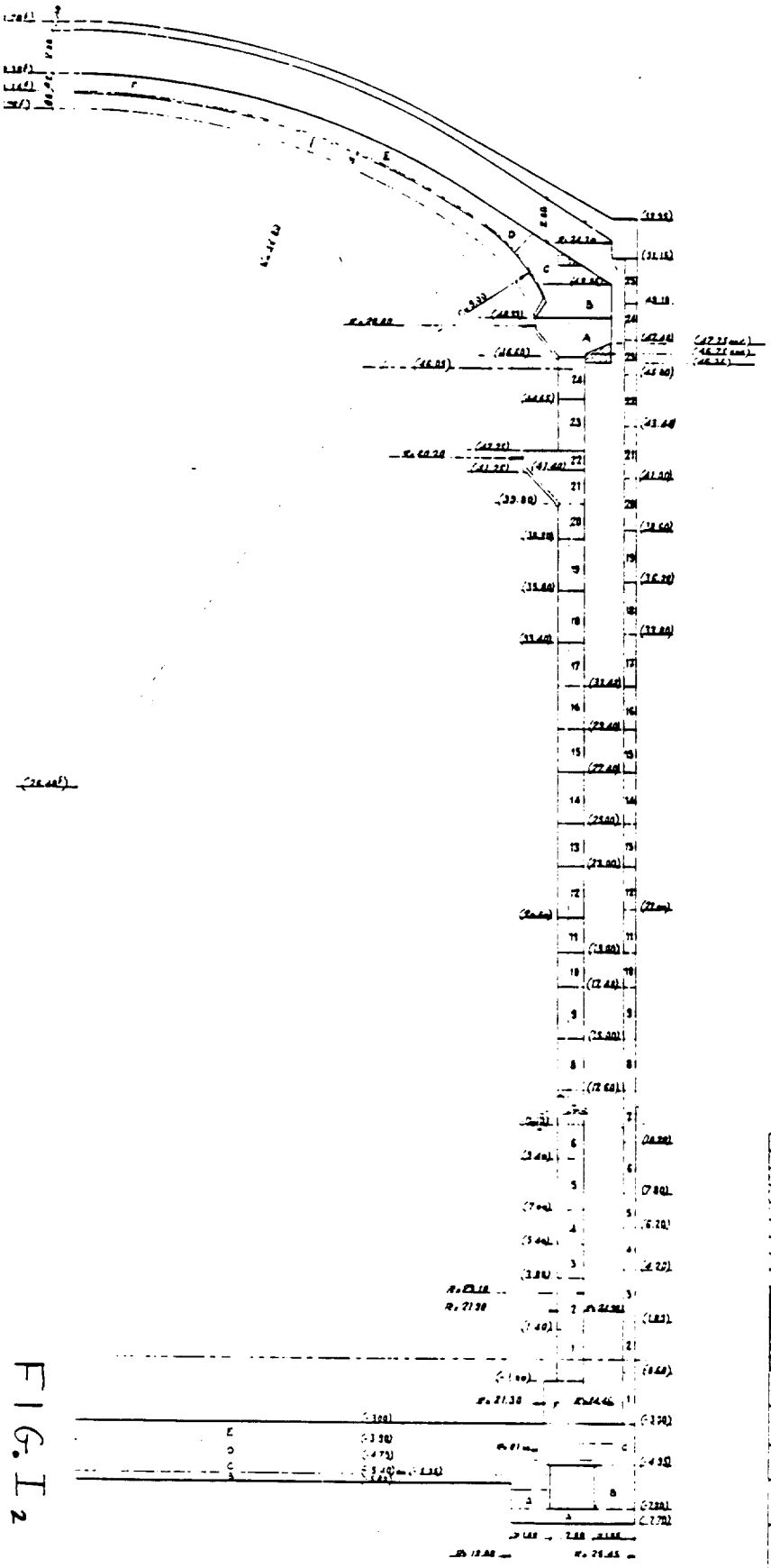

COUPE A.A
COUPE B.B
POUR OBSERVATION
PLAN BPE
PALIER W1300
CENTRALE DE
PALUEL
EDF
BATIMENT REACTEUR
PLAN D'ENSEMBLE
COUPE HORIZONTALE ET VERTICALE

FIG. I1



NOTA

face interne de l'ensemble interne
face externe de l'ensemble externe } coffrage fin

face externe de l'ensemble interne
face interne de l'ensemble externe } coffrage ordinaire

E	26.4.91	CAGOT		SPF	Plan modifié après mise à jour [illegible]
D	5.6.91	CAGOT		SPF	Plan modifié après [illegible]
C	25.6.91			SPF	Plan mis à jour au dessus de (4000)
B	6.1.91	CAGOT		SPF	Plan complété et mis à jour au dessus de (3500)
A	17.9.90			SPF	PREMIERE DIFFUSION

EDF DIRECTION DE L'EQUIPEMENT
PALIER 1300 MW P'4

PIZ 06 A 0 0 0 0 1 1 0 1 9 MG 1 P

COYNE & BELLIER
BUREAU D'INGENIEURS CONSEILS
COB 39 01 053 10-2

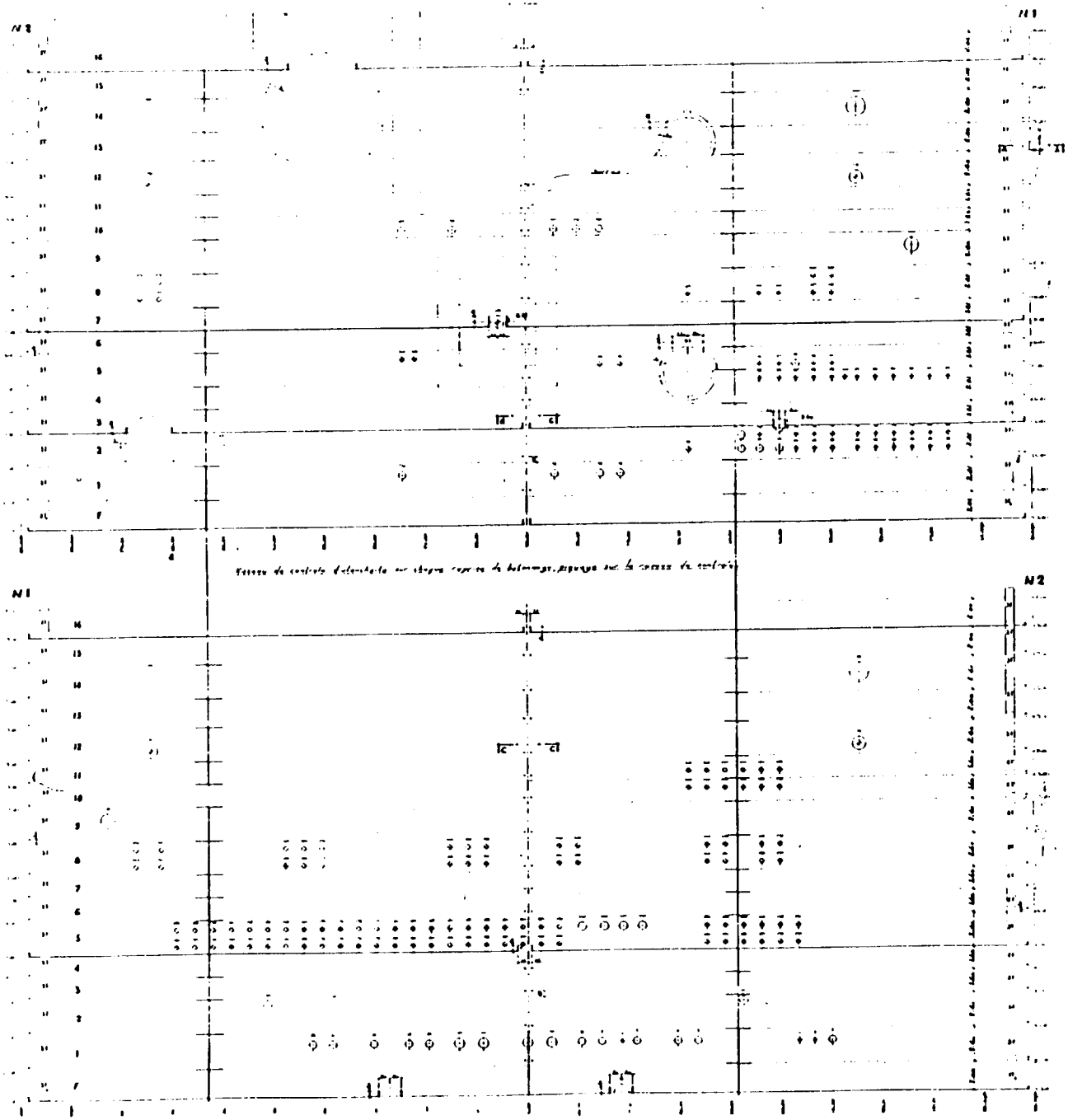
BATIMENT REACTEUR-ENCEINTES
LEVEES DE BETONNAGE
1/2 COUPE VERTICALE

PLAN D'EXECUTION - COFFRAGE

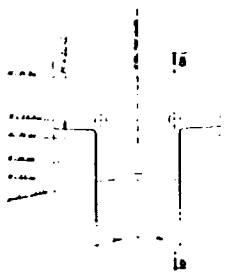
COYNE & BELLIER

FIG. I 2

ÉLÉVATION DÉVELOPPÉE SUR R. 23.10

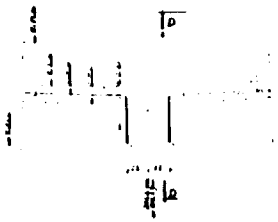


COUPE A.A SUR NERVURE



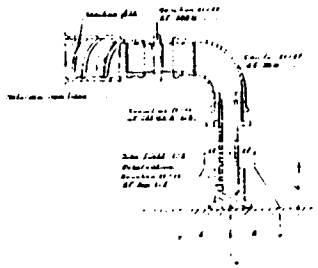
COUPE B.B

COUPE TYPE C.C

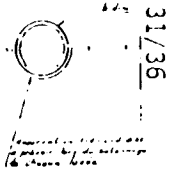


COUPE D.D

DISPOSITIF DE CONTROLE ET D'INJECTION



COUPE TYPE SUR UN TUBE D'INJECTION HORIZONTAL



FICHE 41 PAGE 31/36

FIG. II

COYNE & BELLIER

PALIER W1300 P'4

EDF

BATIMENT REACTEUR ENCEINTE INTERNE

RÉSEAU DE CONTRÔLE ET D'INJECTION

JUSQU'A RS 40

EP 2 06 D01 991 01 MG

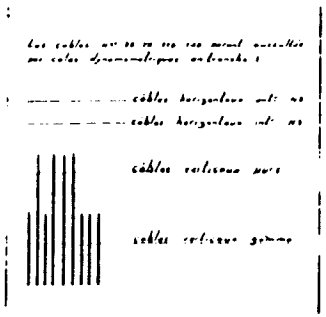
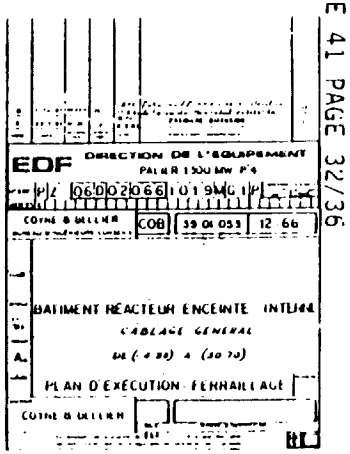
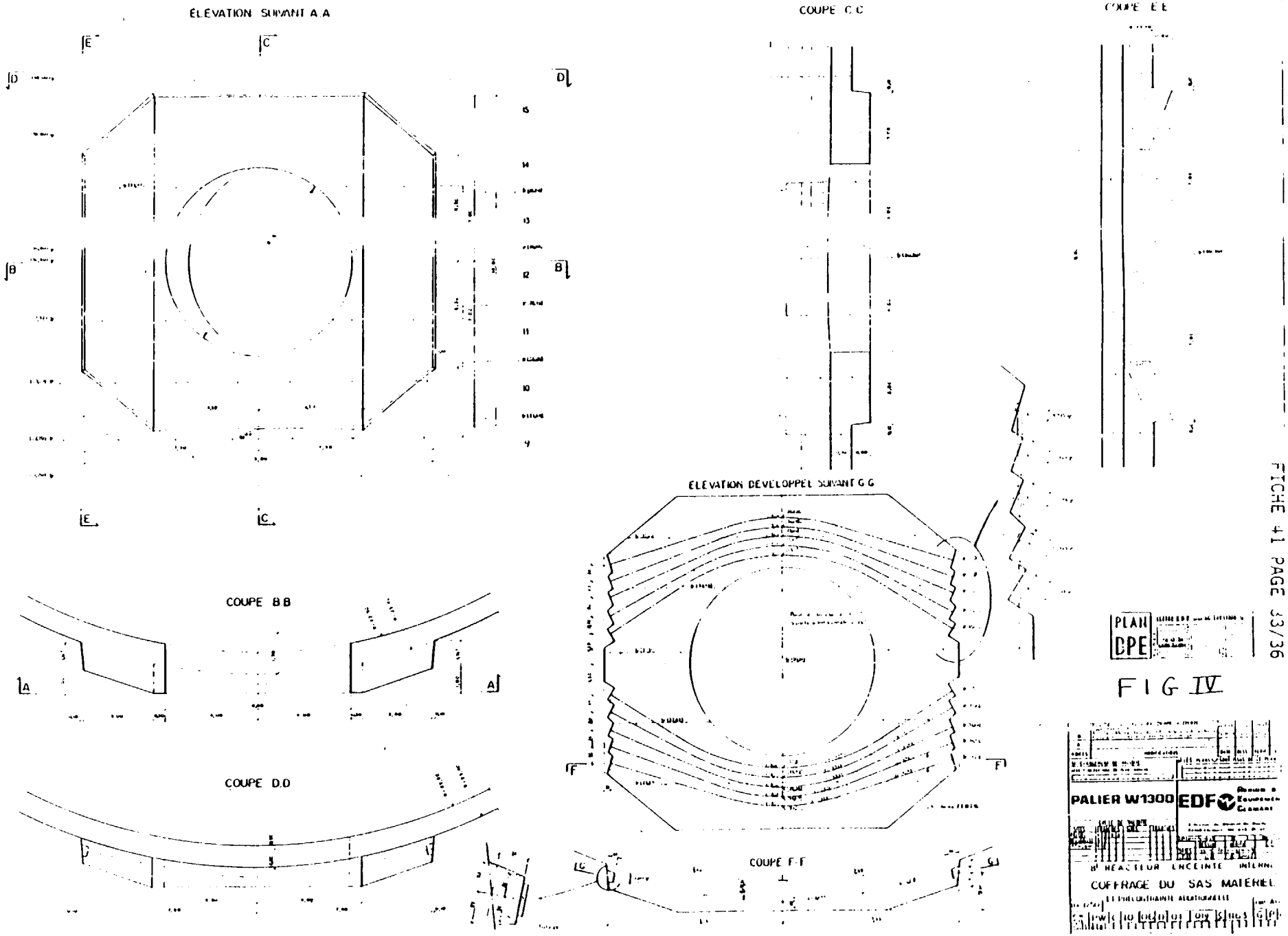
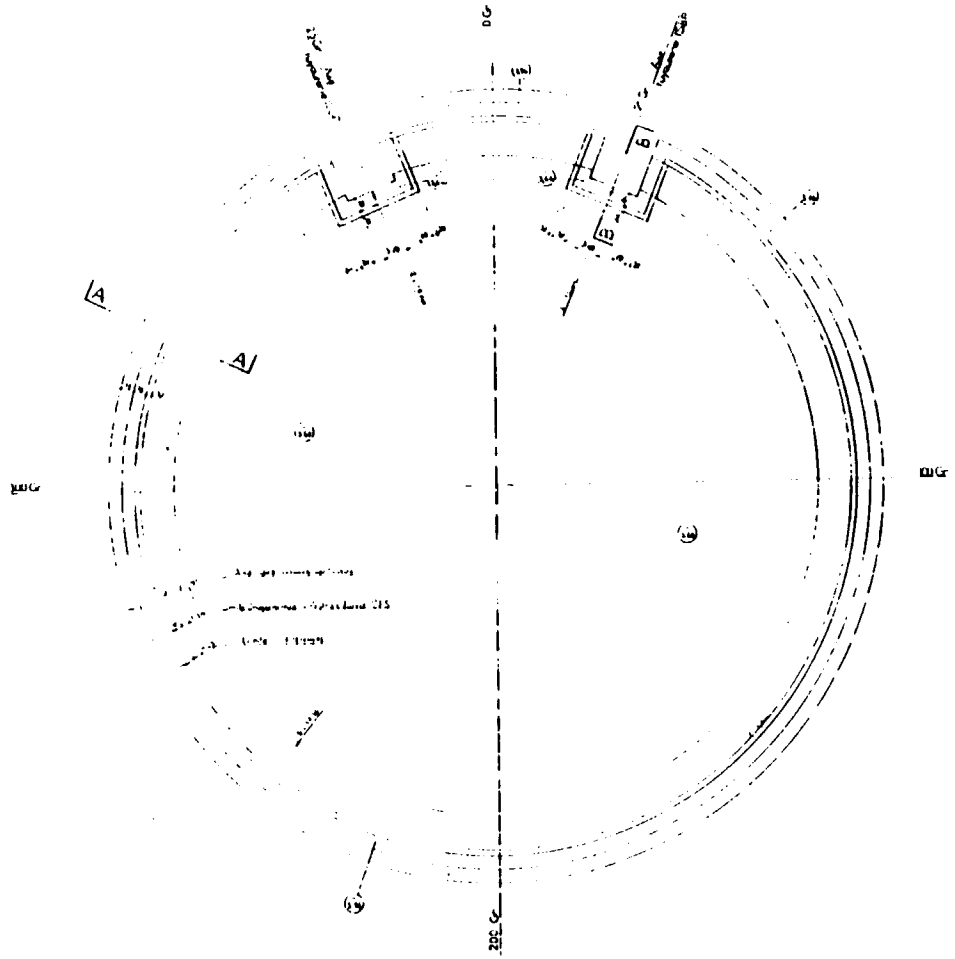

câbles horizontaux
câbles horizontaux
câbles verticaux
câbles verticaux gamma

FIG. III

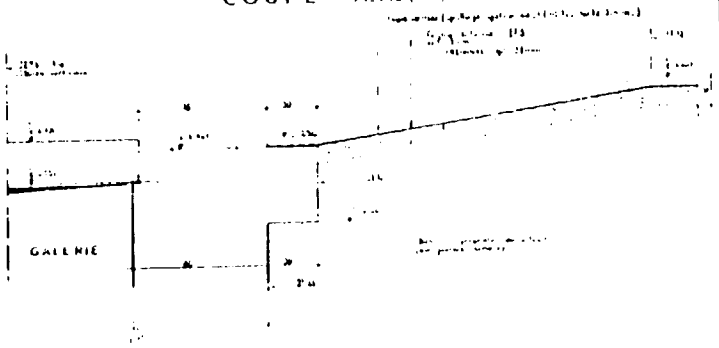

EDF
DIRECTION DE L'EQUIPEMENT
COB
39 01 053
12 66
BATIMENT REACTEUR ENCEINTE INTERNE
CABLAGE GENERAL
PLAN D'EXECUTION FERRAILLAGE


ÉLEVATION SUIVANT A A
COUPE C C
COUPE E E
ÉLEVATION DEVELOPPEE SUIVANT G G
COUPE B B
COUPE D D
COUPE F F
PLAN DPE
FIG IV
PALIER W1300
EDF
COFFRAGE DU SAS MATERIEL

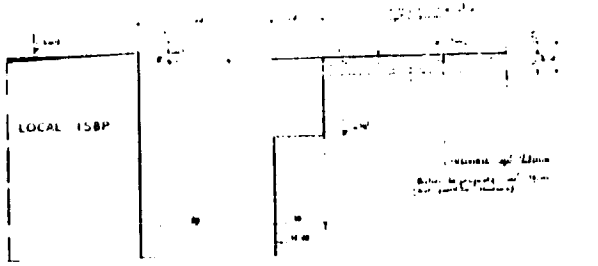
VUE EN PLAN AU NIVEAU (-3.60)



COUPE A.A.



COUPE B.B.



PLAN BPE

FIG. V

PALIER W1300

CENTRALE DE PALUEL

EDF

BATIMENT REACTEUR

BETON DE PROPRETE ET ETANCHEITE SOUS RADIER

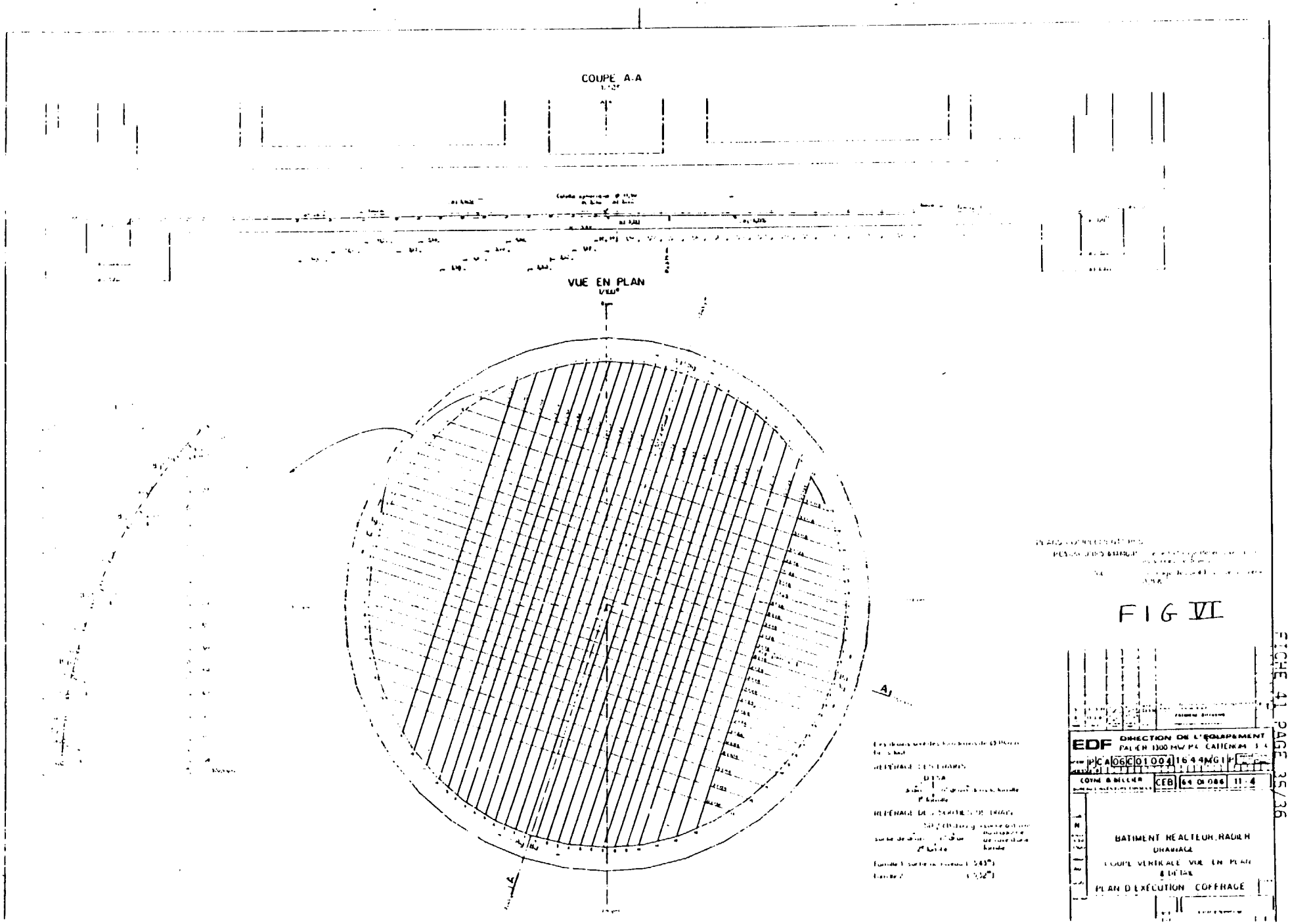

COUPE A-A
VUE EN PLAN
A
EDF
DIRECTION DE L'EQUIPEMENT
COYNE & BELLIER
CEB
BATIMENT REACTEUR, RADIER
DRAINAGE
COUPE VERTICALE VUE EN PLAN
& DETAIL
PLAN D'EXECUTION COFFRAGE

FIG VI

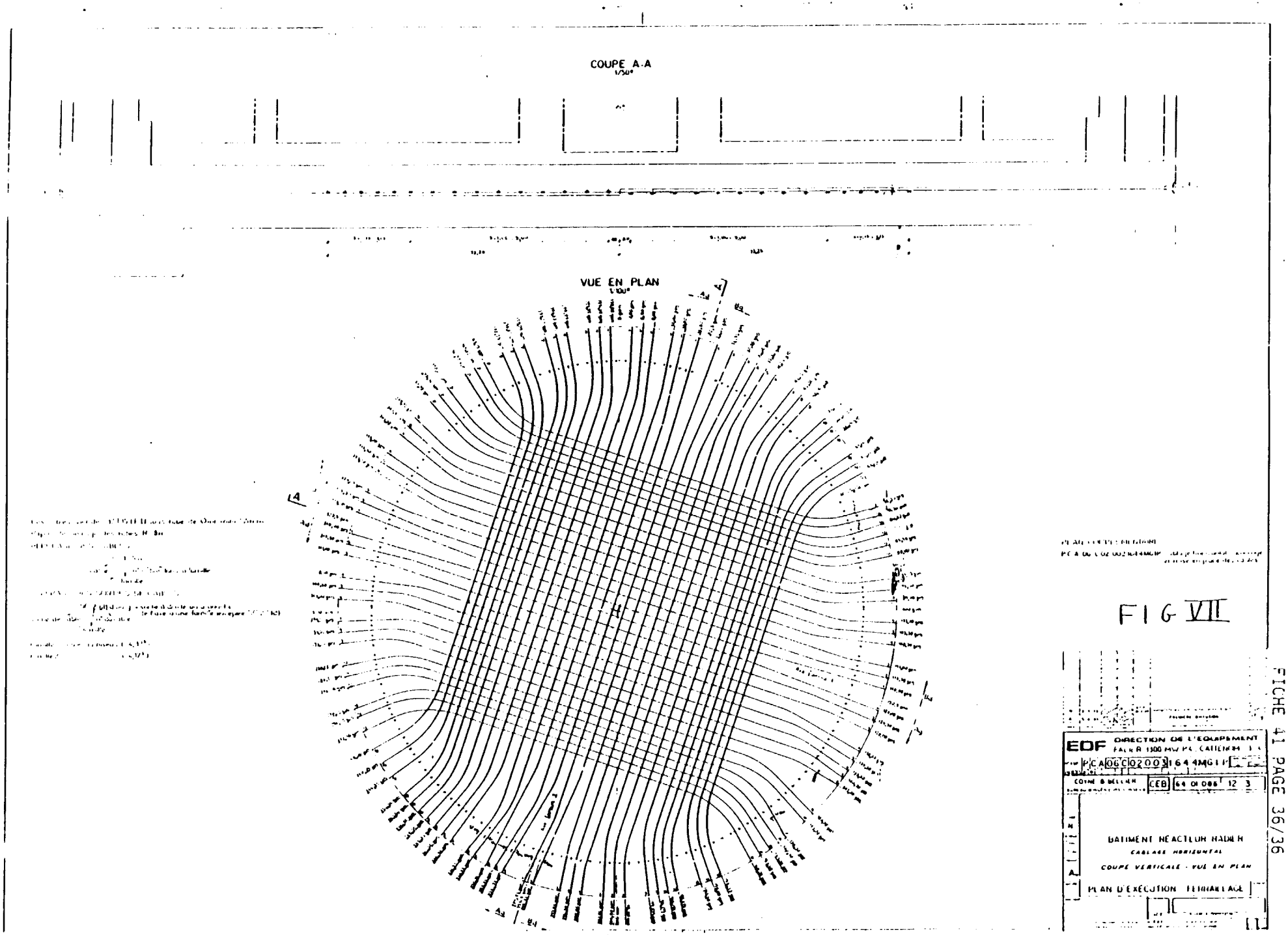

COUPE A-A
1/50e
VUE EN PLAN
1/100e
A
A
EDF
DIRECTION DE L'EQUIPEMENT
BATIMENT REACTEUR NADIER
CABLAGE HORIZONTAL
COUPE VERTICALE - VUE EN PLAN
PLAN D'EXECUTION FERRAILLAGE

FIG VII