MENRT
FG 1

SESSION DE 2000

CA/PLP2

CONCOURS EXTERNE

Section : GÉNIE INDUSTRIEL

Option : STRUCTURES MÉTALLIQUES

SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES

Durée : 6 heures. – Coefficient : 1

Calculatrice autorisée (conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999)

S'il apparaît au candidat qu'une donnée est manquante, il pourra émettre toutes hypothèses pour résoudre les questions posées.

PARTIE A

Durée conseillée : 3 heures

Document autorisé : CODAP didactique 95

Ce dossier comprend :

- le texte du sujet (pages T-1, T-2, T-3, T-4) ;
- le plan d'ensemble (document A1) ;
- nomenclature (document A2) ;
- extrait de la norme NF A 36-206, matériaux (document A3) ;
- extrait de la norme NF A 46-503, tolérances des plaques (document A4) ;
- extrait de CODAP (document A5) ;
- préparation des bords (document A6) ;
- brut de la couronne forgée (document A7) ;
- modèle retenu pour le calcul des dilatations (document A8) ;
- document-réponse R1 (anonymable).

Les réponses sont à rédiger sur 5 copies réglementaires et anonymables et sur le document-réponse R1.

CHAUDIERE A CIRCULATION DE GAZ CHAUDS

MISE EN SITUATION

Le plan d'ensemble ci – joint (document A1) représente une chaudière utilisant des gaz réformés pour chauffer de l'eau et réaliser un mélange eau chaude et vapeur d'eau . La chaudière est un échangeur à faisceau tubulaire . Dans ce faisceau circulent les gaz chauds réformés. La compensation des déformations dues à la dilatation différentielle de la calandre et du faisceau tubulaire est réalisée par la couronne forgée et la plaque tubulaire .

BUT DE L'ETUDE

L'objectif de l'étude est de :

- vérifier des épaisseurs de la boite d'entrée des gaz dans l'échangeur en appliquant le CODAP et l'efficacité de la compensation de dilatation .
- déterminer des éléments nécessaires à la fabrication .

DONNEES FOURNIES PAR LE CONSTRUCTEUR

- code de calcul	CODAP 95
- catégorie de construction	A
- réception des matériaux	type 2
- coefficient de soudure	1
- surépaisseur de corrosion intérieure	3 mm
- virole cylindrique	diamètre extérieur : 2257 mm
- partie conique grand diamètre	diamètre extérieur : 2257 mm
- matériau	15CrMo4-5 NF EN10028-2 non austénitique 15CD4.05 ancienne norme NF A 36-206
situation normale de service	
pression	3,8 Mpa (38 bars)
température	300°C
Situation exceptionnelle de service	
Pression	4,5 MPa (45 bars)
Température	360°C

TRAVAIL DEMANDE

1°) Déterminer la contrainte nominale de calcul pour une situation exceptionnelle de service de la boite d'entrée des gaz selon le CODAP 95 .

2°) Pour une situation normale de service on prendra une contrainte nominale de calcul égale à 146,9 MPa . Pour ces conditions calculer :

2.1) l'épaisseur minimale nécessaire de la virole cylindrique de la boite d'entrée des gaz

2.2) l'épaisseur nominale de commande de la tôle pour réaliser cette virole sachant que le formage entraîne une réduction d'épaisseur de 0,5 mm et que les tolérances sur le produit brut sont données sur le document A4 .

3°) On veut vérifier pour la partie entrée des gaz le raccordement à angle vif du cône oblique dans son plus grand diamètre avec la virole cylindrique. On admettra que l'on peut appliquer à ce raccordement le chapitre C2.3 du CODAP . Le demi angle au sommet du cône est égal à 26° et la contrainte nominale de calcul est égale à 146,9 MPa .

3.1) calculer l'épaisseur minimale nécessaire de l'enveloppe conique .

3.2) vérifier le raccordement à angle vif à la grande base de l'enveloppe conique et de l'enveloppe cylindrique

3.3) Proposer une solution d'assemblage pour le raccordement à angle vif entre la grande base du cône et la virole cylindrique coté entrée des gaz. Présenter cette solution par un croquis clair ou les prescriptions de forme nécessaires à l'assemblage seront cotées.

4°) La liaison calandre/plaque tubulaire/virole cylindrique coté entrée des gaz est réalisée par l'intermédiaire d'une couronne forgée dont le brut est donné sur le document A7.
Sur le document réponse R1 modifier le brut de la couronne forgée en définissant tous les usinages nécessaires. Les prescriptions de forme nécessaires à l'emploi de cette couronne ainsi qu'aux assemblages soudés seront cotées. La préparation des bords sera définie pour les pièces voisines assemblées sur la couronne.

5°) Vérification de la calandre et des tubes du faisceau tubulaire, en service, sous l'effet des pressions et des dilatations dues aux températures.

HYPOTHESES DE CALCUL

A température ambiante (20°C), les contraintes dans la calandre et dans les tubes sont supposées nulles.

Les plaques tubulaires sont supposées indéformables. Leur étude n'est pas abordée ici.

On ne tient pas compte du revêtement réfractaire dans la géométrie de l'appareil(voir doc.A8).

DONNEES

CALANDRE

Diamètre extérieur : 2257 mm
Epaisseur : 112 mm. (épaisseur virole coté entrée des gaz : 48 mm)
Longueur déformable : 7150 mm
Température moyenne : θ_c=360 °C
Pression intérieure : 15 Mpa

MATERIAU (indice c)
Nuance : 18 MnMo 4-05
Contrainte admissible : f_c=161,9 MPa
Module d'élasticité longitudinale : $E_c=178.10^3$ MPa
Coefficient de dilatation linéaire : $\alpha_c=13,3.10^{-6}$ m/m/°C

FAISCEAU TUBULAIRE

454 tubes : diamètre extérieur 51 mm, épaisseur 8,4 mm
Longueur déformable : 7150 mm
Température moyenne : θ_t=400 °C
Pression intérieure : 3,8 MPa

MATERIAU (indice t)
Nuance : 10 CrMo 5-05
Contrainte admissible : f_t=128,7 MPa
Module d'élasticité longitudinale : $E_t=179.10^3$ MPa
Coefficient de dilatation linéaire : $\alpha_t=13,6.10^{-6}$ m/m/°C

5.1) En ne tenant pas compte de l'effet des dilatations dues à l'élévation des températures en service, calculer les contraintes normales de traction dans la calandre et dans les tubes du faisceau tubulaire dues uniquement à la pression statique des deux fluides sur les plaques tubulaires (effet de fond).

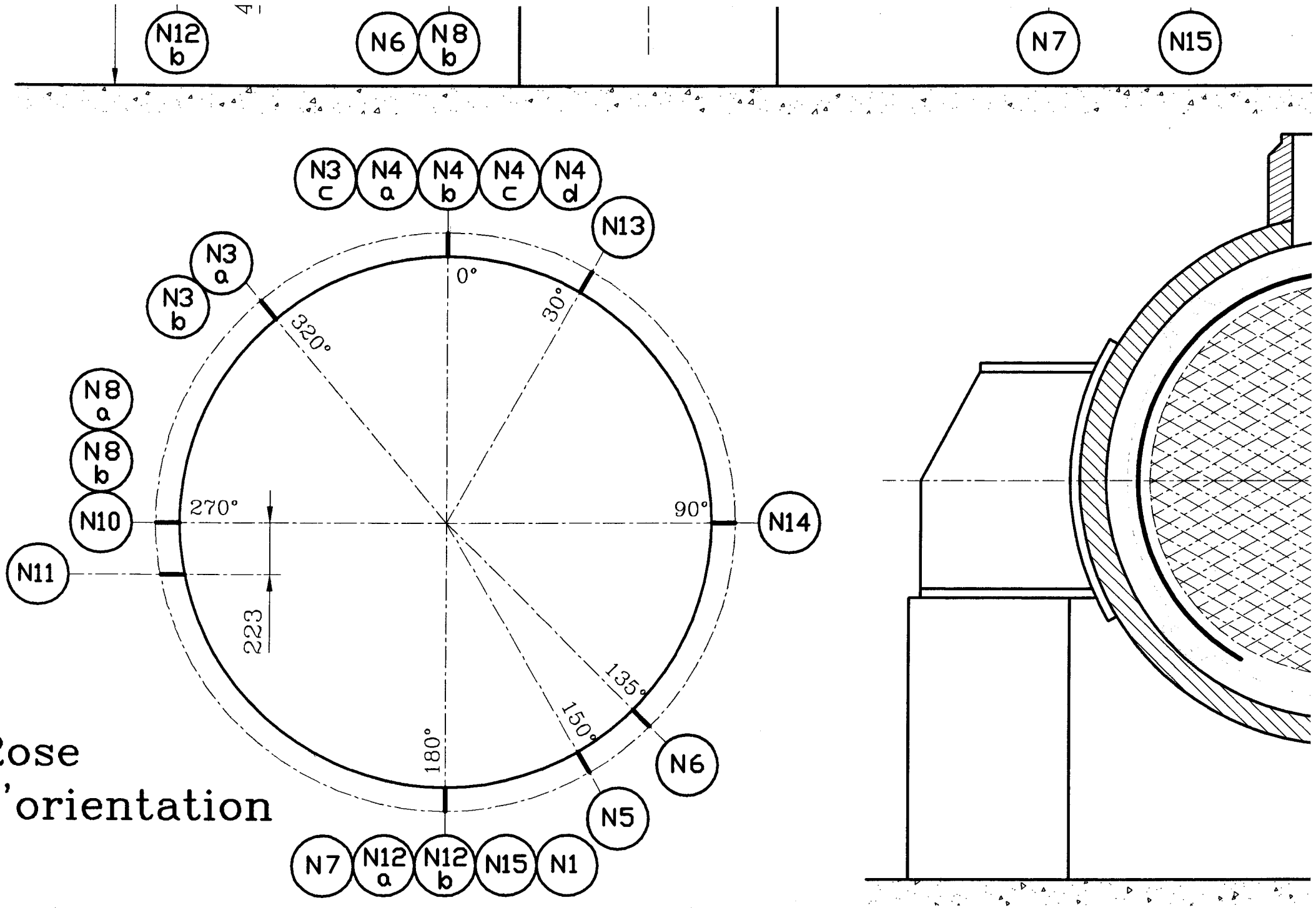
5.2) En ne tenant pas compte des effets de pression statique des deux fluides sur les plaques tubulaires mais uniquement de l'élévation des températures en service.

5.2.1) Calculer la dilatation de la calandre et la dilatation des tubes supposés libres.

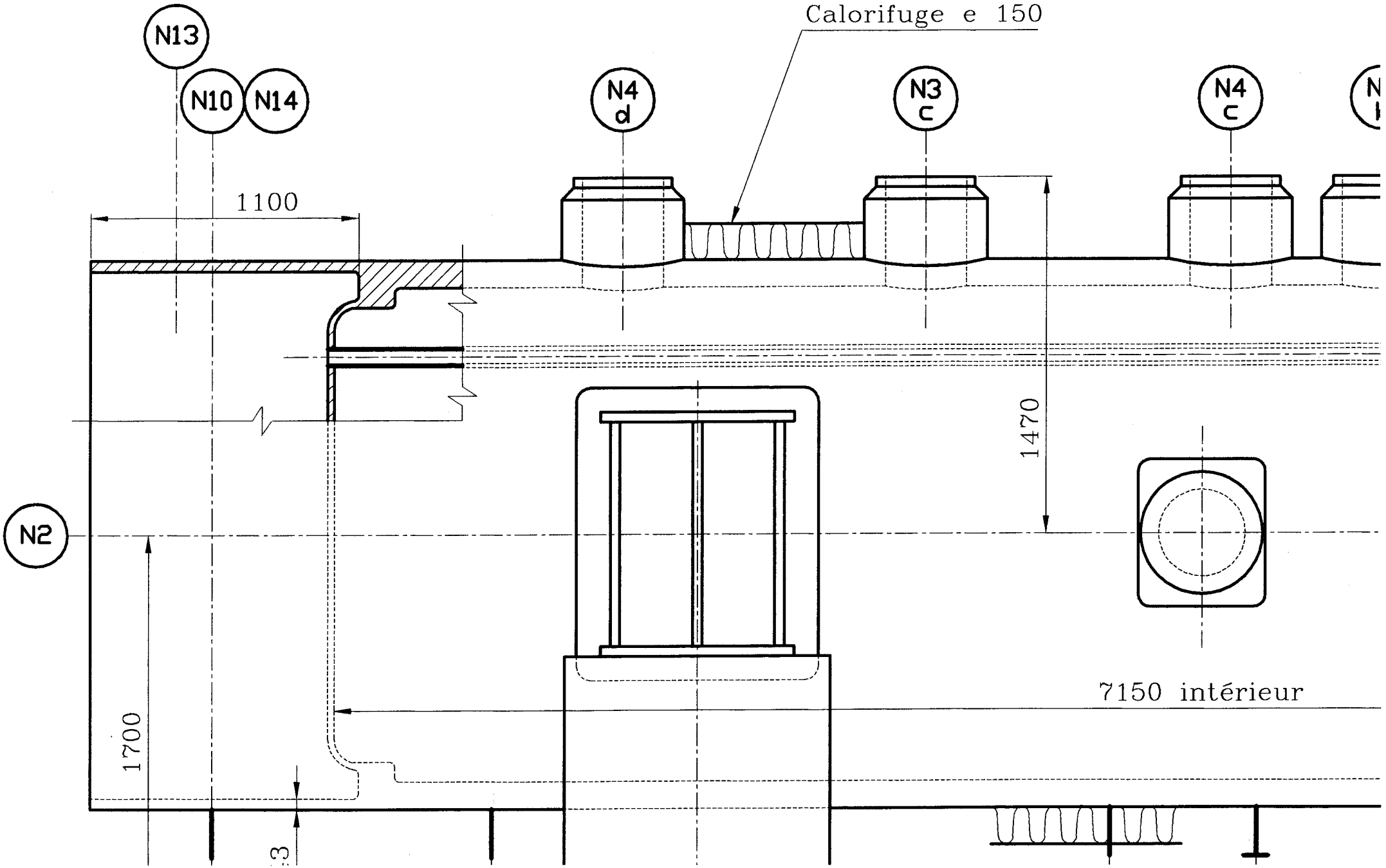
5.2.2) En déduire les contraintes normales qui en résultent dans la calandre et dans les tubes assemblés sur les deux plaques tubulaires.

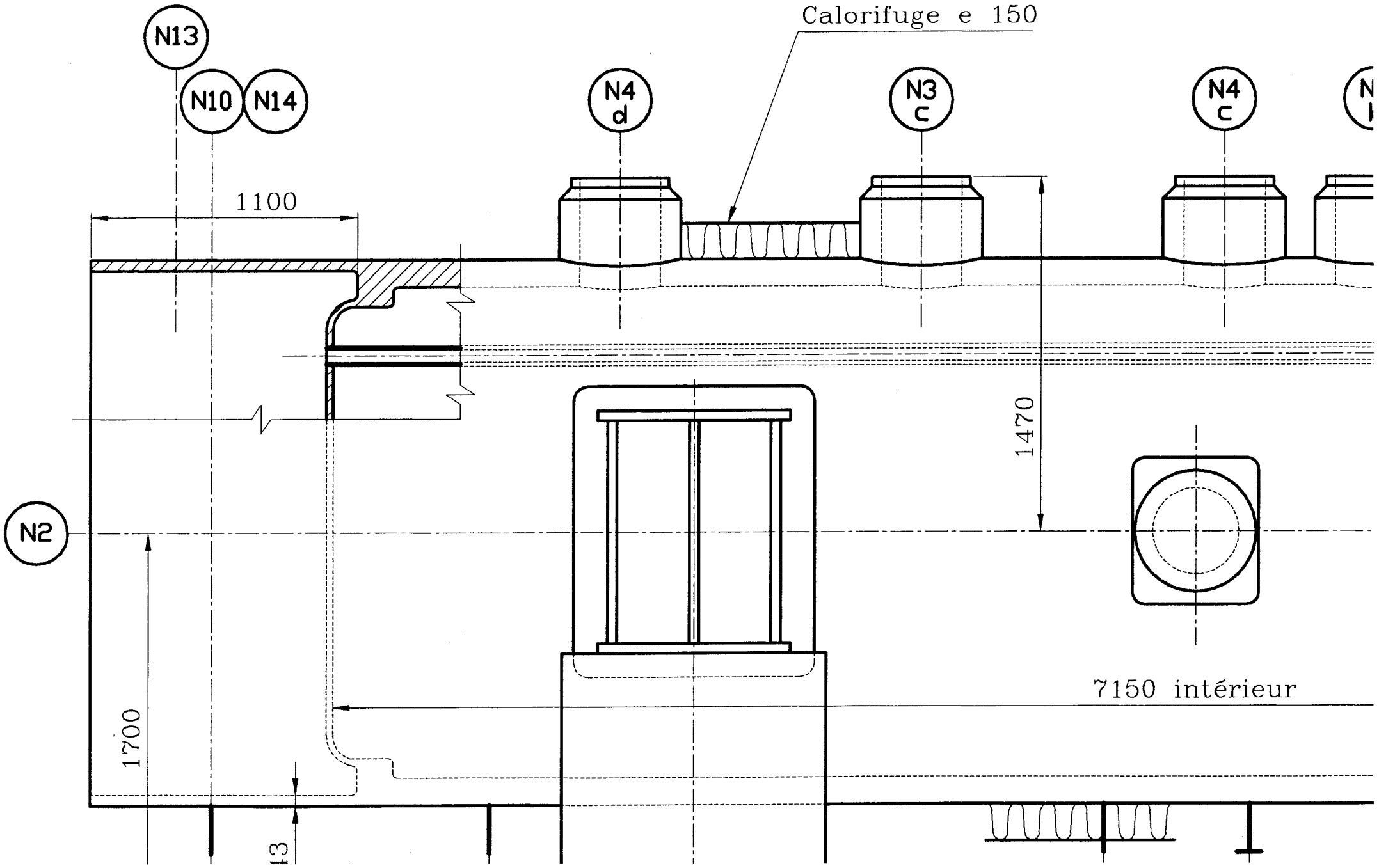
5.3) En appliquant le principe de superposition , calculer les contraintes normales totales dans la calandre et dans les tubes en tenant compte de l'effet de fond et de l'effet des températures. Ces contraintes totales sont-elles admissibles ?

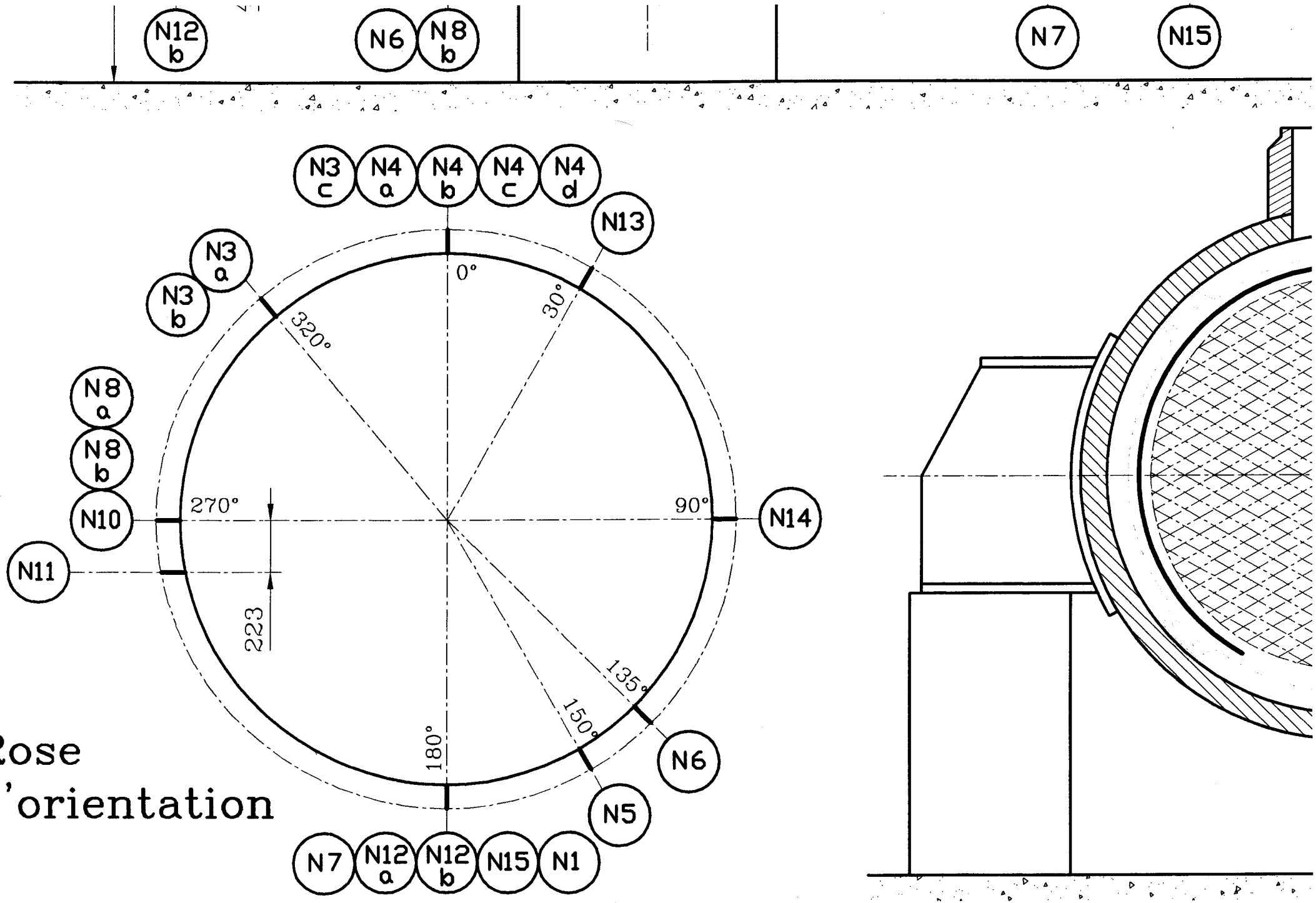
5.4) Dans l'hypothèse ou les contraintes totales dans la calandre et dans les tubes ne sont pas admissibles, quelles solutions constructives peuvent être envisagées ?



Rose d'orientation


N13
N10
N14
N4
d
N3
c
N4
c
Calorifuge e 150
1100
1470
N2
1700
3
7150 intérieur


N13
N10
N14
N4
d
N3
c
N4
c
Calorifuge e 150
1100
1470
N2
1700
13
7150 intérieur



Rose d'orientation

DOCUMENT A2

FG 1

MATIERES			
VIROLE		18 MnMo4-05 NF EN 1002862 ancien 18MD4,05	
PLAQUE TUBULAIRE ENTREE		15CrMo4-5 NFEN 10028-2 ancien 15CD4,05	
PLAQUE TUBULAIRE SORTIE		15CrMo4-5 NFEN 10028-2 ancien 15CD4,05	
TUBES		TU 10 CD 5-05 NF A49-213	
FORGES DE CORPS COTE VAPEUR		18 MnMo4-05 NF EN 1002862 ancien 18MD4,05	
FORGES COTE GAZ		18 MnMo4-05 NF EN 1002862 ancien 18MD4,05	
FORGES COTE EAU		15CrMo4-5 NFEN 10028-2 ancien 15CD4,05	
BOITES ENTREE et SORTIE		15CrMo4-5 NFEN 10028-2 ancien 15CD4,05	
PARTIES SOUDEES SUR VIROLE		P 265 GH NF EN 10028-2	
SUPPORTS		E 295 NF EN 10025 ANC, A 50 NFA 35501	
JOINTS COTE EAU		JOINT ANNULAIRE RTJ Fer	
JOINTS COTE GAZ		JOINT SPIRALE avec ANNEAU DE CENTRAGE INTERIEUR / EXTERIEUR	
BOULONNERIE COTE EAU et GAZ		20 CDV 5,07 NF A 36-206	
REFRACTAIRE	PLAQUE TUBULAIRE ENTREE		75 mm GC 94
	BOITE ENTREE		75 mm GC 94 125 mm VSL 50
FERRULES		INCONNEL 601	
		COTE VIROLE	COTE TUBE
FLUIDE		EAU et VAPEUR	GAZ REFORMES
CODE DE CONSTRUCTION ET DE CALCUL		CODAP 90 +REV 93-12 du 1/1/94	CODAP 90 +REV 93-12 du 1/1/94
PRESSION DE SERVICE		130,29 bars abs,	31,6 bars abs,
TEMPERATURE DE SERVICE		331 °C	Entrée 975 °C Sortie 404 °C
PRESSION DE CALCUL bars effectifs		150 bars	38 bars
TEMPERATURE DE CALCUL		Virole 360°C Tubes 400°C Plaque tub,400°C	Entrée 300 °C Sortie 480 °C
PRESSION D'EPREUVE Bars effectifs		225 bars	57 bars
CORROSION		Virole : 3mm plaque- tubes : 1 mm	3 mm
COEFFICIENT DE SOUDURES		1	1
RADIOGRAPHIE		100%	100%
TRAITEMENT THERMIQUE		100%	100%
POIDS CHAUDIERE			
A VIDE	Sans Réfractaire Sans Isolation	100 000 kg	
EN SERVICE	Avec réfractaire et Isolation	118 500 kg	
PLEIN D'EAU Avec réfractaire et Isolation		124 500 kg	
MASSE DE TRANSPORT		109 000 kg	
CHAUDIERE A CIRCULATION DE GAZ CHAUDS			
NOMENCLATURE			

TABLEAU DES TUBULURES

			BRIDES				TUBE ET FORGE		SERVICE
REP	Nb	DN	TYPE	CLASSE	FACE	MATIERE	MATIERE	Epreuve	
N1	1	ϕ int 1250	BW	\ \	\ \	\ \	15CrMo4-05	43	ENTREE GAZ
N2	1	ϕ int 2171	BW	\ \	\ \	\ \	15CrMo4-05	43	SORTIE GAZ
N3 a,b,c	3	400 16"	BW	\ \	\ \	\ \	18MnMo4-05	30(a,b) 40,5 c	ENTREE EAU
N4 b,c,d	3	400 16"	BW	\ \	\ \	\ \	18MnMo4-05	40,5	SORTIE EAU/VAPEUR
N5	1	40 1 1/2"	BW	\ \	\ \	\ \	TU 48 C 18MnMo4-05	7,1	INJECTION VAPEUR MANCHON THERMIQUE
N6	1	50 2 "	BW	\ \	\ \	\ \	18MnMo4-05	8,8	PURGE INTERMITTENTE
N7	1	50 2 "	BW	\ \	\ \	\ \	18MnMo4-05	8,8	DRAIN
N8 a,b	2	150 6 "	PAD	1500 # PN 250	RTJ	18MnMo4-05	18MnMo4-05	\	TROU DE POING AVEC Bride Pleine et Joint RTJ
N10	1	500 20 "	BW	\ \	\ \	\ \	15CrMo4-05	12,5	BY PASS GAZ
N11	1	500 20 "	WN	600 # PN100	RF	15CrMo4-05	15CrMo4-05	20	TROU D'HOMME COTE GAZ AVEC BRIDE PLEINE ET POTENCE
N12 b	1	50 2 "	BW	\ \	\ \	\ \	AISI 316		DRAIN SUR BOITE DE SORTIE GAZ
N 13	1	40 1 1/2"	LWN	600 # PN100	RTJ	15CrMo4-05	15CrMo4-05	\	CONNECTION POUR PRISE DE TEMPERATURE (T,T)
N14	1	500 20"	WN	600 # 20"	RF	15CrMo4-05	15CrMo4-05	\	TROU D'HOMME COTE GAZ AVEC BRIDE PLEINE ET POTENCE
N15	1	100 4 "	LWN	1500 # PN250	RTJ	18MnMo4-05	18MnMo4-05	\	VIDANGE POUR EPREUVE AVEC BRIDE PLEINE ET JOINT RTJ
N4 a	1	500 20"	BW	\ \	\ \	\ \	18MnMo4-05	\	SORTIE EAU/VAPEUR
N12a	1	40 1 1/2"	BW	\ \	\ \	\ \	15CrMo4-05 INCOLOY 800H	17 7,14	DRAIN SUR BOITE ENTREE GAZ

Les épaisseurs indiquées sont les épaisseurs des tôles approvisionnées avant formage(sauf indication contraire)

toutes les brides sont installées hors axes

Etat de surface des brides à faces surélevées, usinage à rainures concentriques suivant NFE 29203 côté gaz

Peinture suivant spécifications du client

Le calorifuge est à installer au chantier (hors fournitures B,E,)

Vapeur d'injection : température 380 °C , pression 41 bars absolus

Volume côté eau 16,6 m^3 Volume côté gaz 12,3 m^3 Surface d'échange 520,1 m^2

Installer des sachets de déssicant à l'Intérieur de la chaudière pour le transport et le stockage(côté eau et gaz)

Les fermetures d'épreuve seront conservées et enlevées au chantier,Les extrémités des piquages sont préparés en atelier , Trou d'évent 1/4" NPT avec bouchon mâle à tête hexagonale série 3000

Epreuve sur site côté eau

CHAUDIERE A CIRCULATION DE GAZ CHAUDS

NOMENCLATURE

DOCUMENT A3

NF A 36-206

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES À LA TEMPÉRATURE AMBIANTE

Nuances	Traitement thermique de référence normalisé + revenu (refroidissement à l'air) °C	Caractéristique de traction $L_o = 5{,}65\sqrt{S_o}$							Pliage à 180° épaisseur du mandrin (2)	Résilience KCU (à 20 °C) daJ/cm² minimal
		R (1) N/mm² (*)	$R_{0,002}$ N/mm² minimal (2)			A % minimal (2) (*)				
			$e \leqslant 60$	$60 < e \leqslant 80$	$80 < e$	$e \leqslant 30$	$30 < e \leqslant 60$	$60 < e$		
15 D 3	875/925 air 600/675	430-530	265	255	–	25	23	22	$2a$	6
18 MD 4.05	875/925 air 600/675	510-610	345	345	325	21	20	19	$3a$	6
15 MDV 4.05	875/925 air 600/675	510-610	345	345	325	21	20	19	$3a$	6
15 CD 2.05	875/925 air 625/700	450-550	275	265	–	25	23	22	$2a$	6
15 CD 4.05	900/950 air 650/725	470-570	295	–	–	23	22	–	$2a$	6
10 CD 9.10	900/950 air 700/775	$e \leqslant 20$ 540-640 $e > 20$ 520-620	310	310	–	21	20	18	$3a$	6
Z 10 CD 5.05	900/950 air 700/760	590-710	390	390	390	15	15	15	$3a$	6

(1) *À la condition que les valeurs minimales d'allongement et de limite d'élasticité soient strictement respectées, il sera admis, soit un dépassement de 20 N/mm² en plus sur la limite supérieure, soit un dépassement de 20 N/mm² en moins sur la limite inférieure de résistance à la traction pour les produits de plus de 80 mm d'épaisseur.*

(2) *e = épaisseur de la tôle en millimètres.*
a = épaisseur de l'éprouvette de pliage en millimètres.
pour $e \leqslant 30$ $a = e$
pour $e > 30$ $a = 30$
1 N/mm² = 1 MPa.

(*) *En application de l'arrêté du 23 juillet 1943 et de la circulaire du 20 juin 1958, le produit de la résistance à la traction exprimée en N/mm², par l'allongement après rupture est garanti supérieur à 10 500, ces deux grandeurs étant mesurées sur la même éprouvette.*

NF A 36-206

LIMITE CONVENTIONNELLE D'ÉLASTICITÉ À 0,2 % À TEMPÉRATURE ÉLEVÉE

Nuances	$R_{0,2}$ minimal en newtons par millimètre carré à la température de :						
	200 °C	250 °C	300 °C	350 °C	400 °C	450 °C	500 °C
15 D 3	245	226	196	186	177	166	–
18 MD 4.05	309	294	284	265	235	216	–
15 MDV 4.05	309	294	284	265	235	216	–
15 CD 2.05	255	235	216	196	186	181	177 (1)
15 CD 4.05	275	255	235	216	201	191	181 (1)
10 CD 9.10	275	255	235	226	216	206	196 (1)
Z 10 CD 5.05	333	323	309	294	279	265	255 (1)

(1) *Ces valeurs sont données à titre indicatif*

RÉSILIENCE KCV À 0 °C (*)

Nuances	Valeur moyenne minimale daJ/cm²		Valeur individuelle minimale daJ/cm²	
	long	travers	long	travers
15 D 3	4	3	3	2.2
18 MD 4.05	5	3.5	3.5	2.6
15 MDV 4.05	5	3.5	3.5	2.6
15 CD 2.05	5	3.5	3.5	2.6
15 CD 4.05	5	3.5	3.5	2.6
10 CD 9.10	5	3.5	3.5	2.6
Z 10 CD 5.05	5	3.5	3.5	2.6

(*) *Les caractéristiques de résilience sont garanties dans les deux sens, long et travers, mais sauf spécification contraire à la commande la vérification n'est effectuée que dans un seul sens, suivant indication de la commande. En l'absence d'indication l'essai est effectué sur éprouvette prélevée dans le sens travers.*

TOLÉRANCES DE LAMINAGE

Plaques

Extrait de la norme NF A 46-503 (1980)

Tolérances normales sur épaisseur et surpoids (1)

Les tolérances sur l'épaisseur et le surpoids sont liées. Les valeurs des tableaux résultent pour chaque épaisseur d'une même plage de tolérances, différemment répartie par rapport à la cote nominale.

Les modes de commandes conseillés font l'objet des tableaux III et IV correspondant à des valeurs différentes de la tolérance d'épaisseur en moins par rapport à la cote nominale.

Par accord à la commande, les tolérances sur épaisseur peuvent être fixées tout en plus ou tout en moins ou symétriquement pour autant que l'amplitude de tolérances indiquée aux tableaux III et IV soit respectée.

Tableau III

Épaisseur nominale (en millimètres)	Tolérances sur épaisseur nominale (en millimètres)		Écart supérieur de la masse en pour cent de la masse théorique pour une largeur nominale, en millimètres, de								
	en moins	en plus	moins de 1 250	1 250 à 1 499	1 500 à 1 749	1 750 à 1 999	2 000 à 2 249	2 250 à 2 499	2 500 à 2 999	3 000 à 3 499	3 500 à 4 000
4,76 à moins de 6	0,5	0,3(*)	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	–	–
6 à moins de 8	0,5	0,3(*)	3,5	4,5	5	5,5	6,5	7	8	–	–
8 à moins de 10	0,5	0,3(*)	3	4	4,5	5	5,5	6	7	7,5	8
10 à moins de 12,5	0,5	0,5(*)	2,5	3	3,5	4	4,5	5,5	6,5	7	7,5
12,5 à moins de 15	0,5	0,5(*)	2	2	2,5	3	3	4	5,5	6,5	7
15 à moins de 25	0,7	0,5	1,5	1,5	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
25 à moins de 40	1	0,5	1	1,5	1,5	1,5	2	2	3	3	3
40 à moins de 80	1	2 %	1	1,5	1,5	1,5	2	2	3	3	3
80 à moins 150	1,3	1,25 % avec 1,4 mm min.	1	1,5	1,5	1,5	2	2	3	3	3

Tableau IV

Épaisseur nominale (en millimètres)	Tolérances sur épaisseur nominale (en millimètres)		Écart supérieur de la masse en pour cent de la masse théorique pour une largeur nominale, en millimètres, de							
	en moins	en plus	moins de 1 250	1 250 à 1 499	1 500 à 1 749	1 750 à 1 999	2 000 à 2 249	2 250 à 2 499	2 500 à 2 999	3 000 à 3 499
4,76 à moins de 6	0,3	0,5(*)	7	8	9	10	11	12	13	–
6 à moins de 8	0,3	0,5(*)	6	7	7,5	8	9	9,5	10,5	–
8 à moins de 10	0,3	0,5(*)	5	6	6,5	7	7,5	8	9	9,5
10 à moins de 12,5	0,3	0,7(*)	4,5	5	5,5	6	6,5	7,5	8,5	9
12,5 à moins de 15	0,3	0,7(*)	4	4	4,5	5	6	6,5	8	8,5
15 à moins de 25	0,3	0,9	4	4	4	4,5	5	5,5	6	6,5
25 à moins de 40	0,3	1,2	3,5	4	4	4	4,5	4,5	5,5	5,5
40 à moins de 80	0,3	3 % et au moins 1,2 mm	3,5	3,5	4	4	4	4	5	5,5
80 à moins de 100	0,3	2 % et au moins 2,4 mm	3	3	3,5	3,5	3,5	3,5	4	4,5

DOCUMENT A4

C2.3 - ENVELOPPES CONIQUES DE SECTION DROITE CIRCULAIRE

C2.3.1 - OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

Les règles du présent chapitre permettent de déterminer l'épaisseur des enveloppes coniques de section droite circulaire soumises à une pression intérieure et de vérifier la résistance de l'assemblage d'une telle enveloppe avec une enveloppe cylindrique de même axe.

Ces règles s'appliquent aux enveloppes coniques dont :

- le rapport de l'épaisseur minimale nécessaire au diamètre extérieur est, dans toute section droite, au plus égal à 0,16,
- le demi-angle au sommet α n'excède pas 60°.

Une telle enveloppe peut être constituée d'un seul ou de plusieurs tronçons (viroles) assemblés par des soudures circulaires bout à bout ; chaque tronçon peut être constitué de plusieurs éléments soudés de même épaisseur ; les tronçons peuvent être d'épaisseurs différentes.

Les formules données en C2.3.4 concernent les régions de l'enveloppe conique éloignées de ses extrémités.

Les règles données en C2.3.5 et C2.3.6 permettent de déterminer les épaisseurs nécessaires au raccordement (à angle vif ou par l'intermédiaire d'une partie torique) de l'enveloppe conique, à sa grande base, avec une enveloppe cylindrique de même axe.

La règle donnée en C2.3.7 permet de vérifier la résistance de l'assemblage de l'enveloppe conique, à sa petite base, avec une enveloppe cylindrique de même axe.

Les règles du présent chapitre couvrent les modes de défaillance par déformation excessive, par rupture par fluage et par déformation progressive sous l'effet de la pression intérieure.

C2.3.2 - CONDITIONS D'APPLICATION DES RÈGLES

C2.3.2.1 - Joints soudés

a) A chaque joint soudé autre que circulaire, les fibres moyennes des tôles doivent être, aux tolérances de fabrication près (voir F1.5), dans le prolongement l'une de l'autre.

b) A chaque joint soudé circulaire de deux éléments d'enveloppe d'épaisseurs différentes, les fibres moyennes peuvent être décalées, sans toutefois que ce décalage aille, aux tolérances de fabrication près (voir F1.5), au-delà de l'alignement des faces externes ou internes.

Le raccordement des surfaces doit se faire par une pente n'excédant pas 1/3.

C2.3.2.2 - Défauts de circularité

L'ovalisation et les écarts locaux de circularité de l'enveloppe doivent rester dans les limites indiquées en F1.5.

C2.3.2.3 - Ouvertures

Si l'enveloppe conique comporte des ouvertures, sa résistance au voisinage de chaque ouverture doit satisfaire aux règles données en C5.

C2.3.2.4 - Sollicitations autres que la pression

Les règles du présent chapitre ne prennent en compte que l'action de la pression intérieure.

Pour vérifier la résistance d'une enveloppe conique aux sollicitations résultant de l'action de la pesanteur, des réactions diverses, de l'action des intempéries ou, plus généralement, aux effets généraux de forces et moments s'exerçant sur l'enveloppe, il y a lieu d'observer les règles données en C2.4.

Il faut cependant noter que l'épaisseur calculée par les formules données en C2.3.4 permet généralement à l'enveloppe de supporter des sollicitations en plus de la pression intérieure, au moins dans les régions éloignées des points d'application des charges.

C2.3.2.5 - Grande base de l'enveloppe conique

Les règles données en C2.3.5 et C2.3.6 ne sont applicables que si :

a) la longueur $L_{\text{cône}}$ de l'enveloppe conique est au moins égale à :

$$l_{1,\text{cône}} = \sqrt{\frac{D_{m,1} \cdot e_{1,\text{cône}}}{\cos\alpha}}$$

b) la longueur $l_{1,\text{cyl}}$ d'enveloppe cylindrique participant à la résistance du raccordement à la grande base n'interfère pas avec la zone d'influence du raccordement de cette enveloppe cylindrique avec une autre enveloppe, un fond, une plaque tubulaire, une bride, etc.

Cette longueur $l_{1,\text{cyl}}$ peut cependant (voir C5) interférer avec la longueur d'enveloppe cylindrique participant à la résistance d'une ouverture dans cette enveloppe cylindrique, proche du raccordement à la grande base.

DOCUMENT A5 2/8

La longueur $l_{1,cône}$ d'enveloppe conique participant à la résistance du raccordement à la grande base, peut elle aussi (voir C5) interférer avec la longueur d'enveloppe conique participant à la résistance d'une ouverture dans cette enveloppe conique, proche du raccordement à la grande base.

C2.3.3 - NOTATIONS

e = épaisseur minimale nécessaire de l'enveloppe conique dans la section droite considérée.

$e_{1,cône}$ = épaisseur minimale nécessaire de l'enveloppe conique à sa grande base.

$e_{2,cône}$ = épaisseur admise de l'enveloppe conique à sa petite base.

Si l'épaisseur de l'enveloppe conique n'est pas constante, $e_{2,cône}$ est l'épaisseur moyenne admise sur la longueur $l_{2,cône}$.

$e_{1,cyl}$ = épaisseur minimale nécessaire de l'enveloppe cylindrique sur laquelle se raccorde l'enveloppe conique à sa grande base.

$e_{2,cyl}$ = épaisseur admise de l'enveloppe cylindrique sur laquelle se raccorde l'enveloppe conique à sa petite base.

Si l'épaisseur de l'enveloppe cylindrique n'est pas constante, $e_{2,cyl}$ est l'épaisseur moyenne admise sur la longueur $l_{2,cyl}$.

e_t = épaisseur minimale nécessaire de la partie torique raccordant à sa grande base une enveloppe conique avec une enveloppe cylindrique.

D_m, D_e, D_i = diamètres moyen, extérieur et intérieur de l'enveloppe conique, dans la section droite considérée (voir fig. C2.3.3*a*).

$D_{m,1}$, $D_{e,1}$, $D_{i,1}$ = diamètres moyen, extérieur et intérieur de l'enveloppe cylindrique sur laquelle se raccorde l'enveloppe conique à sa grande base.

$D_{m,2}$ = diamètre moyen de l'enveloppe cylindrique sur laquelle se raccorde l'enveloppe conique à sa petite base.

D_k = diamètre intérieur de l'enveloppe conique à sa grande base (voir fig. C2.3.5) :

$$D_k = D_{i,1} - 2r_t(1 - \cos\alpha)$$

r_t = rayon intérieur de la partie torique raccordant, à sa grande base, une enveloppe conique avec une enveloppe cylindrique.

α = demi-angle au sommet de l'enveloppe conique.

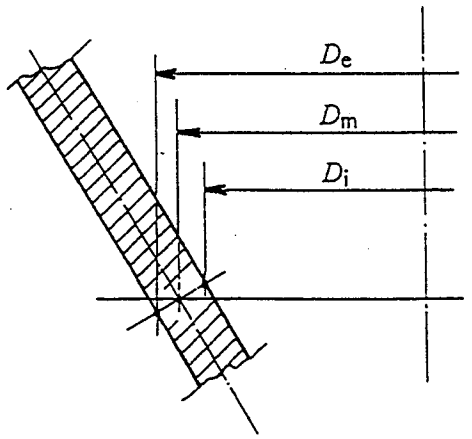


Fig. C2.3.3*a*

$L_{cône}$ = longueur de l'enveloppe conique, mesurée selon une génératrice comme l'indiquent les figures C2.3.5, C2.3.6.2 et C2.3.7.

$l_{1,cône}$ = longueur d'enveloppe conique, mesurée comme l'indiquent les figures C2.3.5 et C2.3.6.2, participant à la résistance du raccordement à la grande base :

$$l_{1,cône} = \sqrt{\frac{D_{m,1} \cdot e_{1,cône}}{\cos\alpha}}$$

$l_{2,cône}$ = longueur d'enveloppe conique, mesurée comme l'indiquent les figures C2.3.7, participant à la résistance du raccordement à la petite base.

Dans le cas général :

$$l_{2,cône} = l_{2,cône,n}$$

- *Dans le cas où la longueur $l_{2,cône,n}$ interfère avec la longueur $l_{1,cône}$ d'enveloppe conique participant à la résistance de raccordement à la grande base, prendre pour $l_{2,cône}$ une valeur réduite :*

$$l_{2,cône} = l_{2,cône,r} = L_{cône} - l_{1,cône}$$

- *Dans le cas où la longueur $l_{2,cône,n}$ interfère avec la longueur d'enveloppe conique prise en compte*[1] *pour la vérification de la résistance d'une ouverture proche du raccordement étudié (voir* C5*), prendre pour $l_{2,cône}$ une valeur réduite :*

$$l_{2,cône} = l_{2,cône,r}$$

déterminée comme l'indique la figure C2.3.3*b*.

---

[1] La valeur de cette longueur et celle de la longueur $l_{2,cône,r}$ ou $l_{2,cyl,r}$ sont, dans ces cas, interdépendantes. Leur détermination peut donc être faite au mieux des besoins de la vérification de la résistance de chacune des deux discontinuités voisines concernées.

DOCUMENT A5 3/8

$l_{2,cône,n}$ = valeur normale de la longueur $l_{2,cône}$:

$$l_{2,cône,n} = k\sqrt{\frac{D_{m,2} \cdot e_{2,cône}}{\cos\alpha}}$$

$l_{1,cyl}$ = longueur d'enveloppe cylindrique, mesurée comme l'indiquent les figures C2.3.5 et C2.3.6.2, participant à la résistance du raccordement à la grande base :

- lorsque le raccordement est réalisé par une partie torique :

$$l_{1,cyl} = 0,5\sqrt{D_{m,1} \cdot e_{1,cyl}}$$

- lorsque le raccordement est à angle vif :

$$l_{1,cyl} = \sqrt{D_{m,1} \cdot e_{1,cyl}}$$

$l_{2,cyl}$ = longueur d'enveloppe cylindrique, mesurée comme l'indiquent les figures C2.3.7, participant à la résistance du raccordement à la petite base.

Dans le cas général :

$$l_{2,cyl} = l_{2,cyl,n}$$

Dans le cas où la longueur $l_{2,cyl,n}$ interfère avec :

- *la zone d'influence du raccordement de l'enveloppe cylindrique avec un fond, une plaque tubulaire, une bride ou avec une autre enveloppe conique de même axe à la grande base,*
- *la longueur d'enveloppe cylindrique prise en compte(1) pour la vérification de la résistance :*
  - *d'une ouverture proche du raccordement étudié (voir C5),*
  - *du raccordement à la petite base de l'enveloppe cylindrique avec une autre enveloppe conique de même axe,*
  - *du raccordement de l'enveloppe cylindrique avec une enveloppe sphérique ou une autre enveloppe cylindrique ou conique d'axes concourants,*

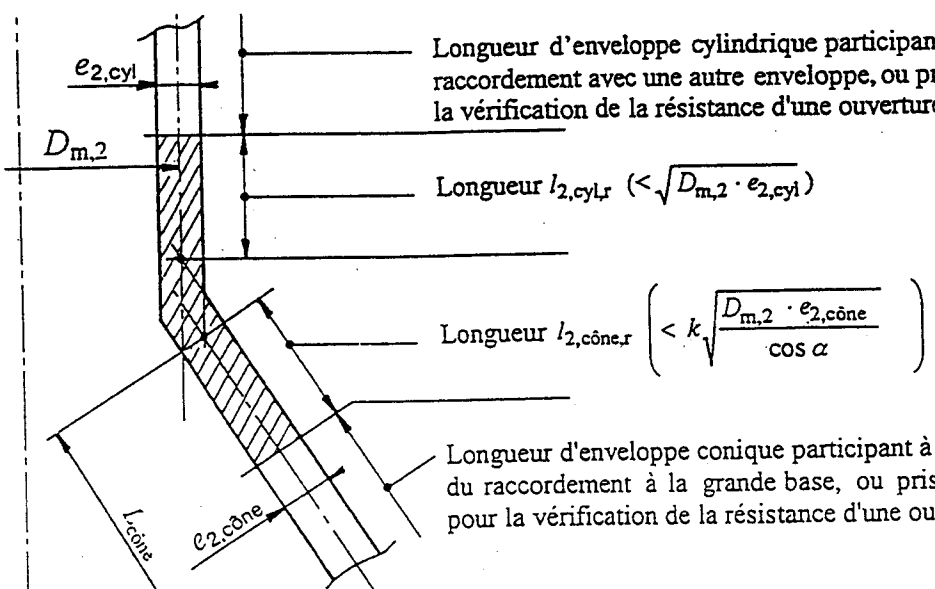
prendre pour $l_{2,cyl}$ une valeur réduite :

$$l_{2,cyl} = l_{2,cyl,r}$$

déterminée comme l'indique la figure C2.3.3b.

$l_{2,cyl,n}$ = valeur normale de la longueur $l_{2,cyl}$:

$$l_{2,cyl,n} = \sqrt{D_{m,2} \cdot e_{2,cyl}}$$



Longueur d'enveloppe cylindrique participant à la résistance du raccordement avec une autre enveloppe, ou prise en compte pour la vérification de la résistance d'une ouverture.

Longueur $l_{2,cyl,r}$ $\left(< \sqrt{D_{m,2} \cdot e_{2,cyl}}\right)$

Longueur $l_{2,cône,r}$ $\left(< k\sqrt{\frac{D_{m,2} \cdot e_{2,cône}}{\cos\alpha}}\right)$

Longueur d'enveloppe conique participant à la résistance du raccordement à la grande base, ou prise en compte pour la vérification de la résistance d'une ouverture.

Figure C2.3.3 *b*

DOCUMENT A5 4/8

k = coefficient donné par le graphique C2.3.3*c*.

P = pression de calcul.

f, $f_{1,cyl}$, $f_{2,cyl}$, f_t, f_r = contrainte nominale de calcul respectivement du matériau :

- de l'enveloppe conique (f),
- de l'enveloppe cylindrique adjacente à la grande base ($f_{1,cyl}$),
- de l'enveloppe cylindrique adjacente à la petite base ($f_{2,cyl}$),
- de la partie torique de raccordement à la grande base (f_t),
- du renfort à la petite base (f_r).

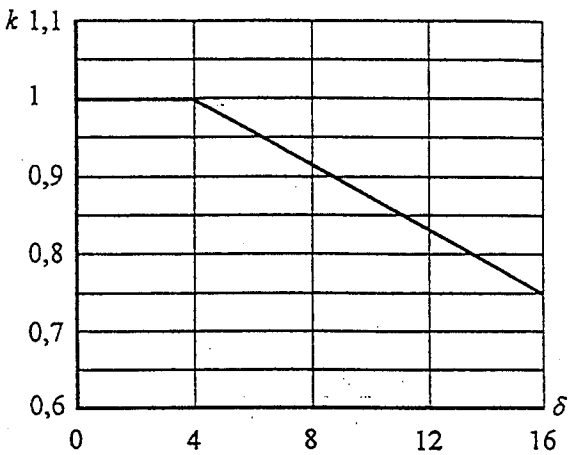
f_{min} = $\text{MIN}=\{(f),(f_{1,cyl}),(f_t)\}$

Si le raccordement à la grande base est à angle vif :

$$f_{min} = \text{MIN}\{(f),(f_{1,cyl})\}$$

z = coefficient de soudure.

Pour les situations exceptionnelles de service ou d'essai de résistance, ainsi que pour les enveloppes sans soudure longitudinale, prendre $z = 1$ pour l'application des formules.



$$\delta = \frac{D_{m,2}}{\sqrt{\frac{D_{m,2} \cdot e_{2,cône}}{\cos\alpha}}}$$

- Pour $4 \le \delta \le 16 : k = \frac{13}{12} - \frac{\delta}{48}$
- Pour $\delta > 16 : k = 0{,}75$

Graphique C2.3.3*c* - Valeurs du coefficient k.

DOCUMENT A5 3/8

$l_{2,\text{cône,n}}$ = valeur normale de la longueur $l_{2,\text{cône}}$:

$$l_{2,\text{cône,n}} = k\sqrt{\frac{D_{m,2} \cdot e_{2,\text{cône}}}{\cos\alpha}}$$

$l_{1,\text{cyl}}$ = longueur d'enveloppe cylindrique, mesurée comme l'indiquent les figures C2.3.5 et C2.3.6.2, participant à la résistance du raccordement à la grande base :

- lorsque le raccordement est réalisé par une partie torique :

$$l_{1,\text{cyl}} = 0,5\sqrt{D_{m,1} \cdot e_{1,\text{cyl}}}$$

- lorsque le raccordement est à angle vif :

$$l_{1,\text{cyl}} = \sqrt{D_{m,1} \cdot e_{1,\text{cyl}}}$$

$l_{2,\text{cyl}}$ = longueur d'enveloppe cylindrique, mesurée comme l'indiquent les figures C2.3.7, participant à la résistance du raccordement à la petite base.

Dans le cas général :

$$l_{2,\text{cyl}} = l_{2,\text{cyl,n}}$$

Dans le cas où la longueur $l_{2,\text{cyl,n}}$ interfère avec :

- *la zone d'influence du raccordement de l'enveloppe cylindrique avec un fond, une plaque tubulaire, une bride ou avec une autre enveloppe conique de même axe à la grande base,*
- *la longueur d'enveloppe cylindrique prise en compte(1) pour la vérification de la résistance :*
  - *d'une ouverture proche du raccordement étudié (voir C5),*
  - *du raccordement à la petite base de l'enveloppe cylindrique avec une autre enveloppe conique de même axe,*
  - *du raccordement de l'enveloppe cylindrique avec une enveloppe sphérique ou une autre enveloppe cylindrique ou conique d'axes concourants,*

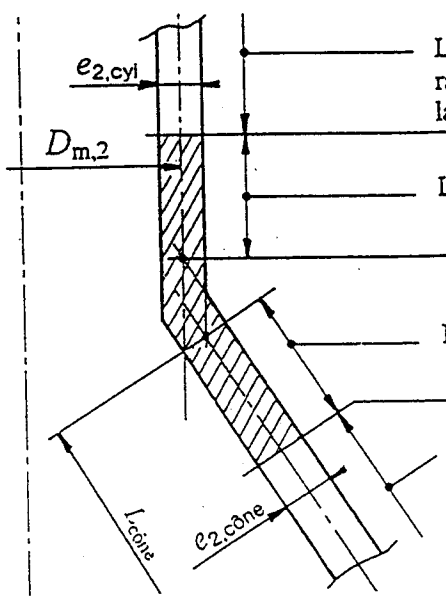
prendre pour $l_{2,\text{cyl}}$ une valeur réduite :

$$l_{2,\text{cyl}} = l_{2,\text{cyl,r}}$$

déterminée comme l'indique la figure C2.3.3b.

$l_{2,\text{cyl,n}}$ = valeur normale de la longueur $l_{2,\text{cyl}}$:

$$l_{2,\text{cyl,n}} = \sqrt{D_{m,2} \cdot e_{2,\text{cyl}}}$$



Longueur d'enveloppe cylindrique participant à la résistance du raccordement avec une autre enveloppe, ou prise en compte pour la vérification de la résistance d'une ouverture.

Longueur $l_{2,\text{cyl,r}}$ $\left(< \sqrt{D_{m,2} \cdot e_{2,\text{cyl}}}\right)$

Longueur $l_{2,\text{cône,r}}$ $\left(< k\sqrt{\dfrac{D_{m,2} \cdot e_{2,\text{cône}}}{\cos\alpha}}\right)$

Longueur d'enveloppe conique participant à la résistance du raccordement à la grande base, ou prise en compte pour la vérification de la résistance d'une ouverture.

Figure C2.3.3 *b*

DOCUMENT A5 5/8

C2.3.4 - FORMULES DE CALCUL DE L'ÉPAISSEUR DE L'ENVELOPPE CONIQUE

Dans toute section droite, l'épaisseur minimale nécessaire d'une enveloppe conique est donnée par l'une ou l'autre des formules suivantes :

$$e = \frac{P \cdot D_i}{2f \cdot z - P} \frac{1}{\cos\alpha}$$

(formule C2.3.4*a*)

$$e = \frac{P \cdot D_m}{2f \cdot z} \frac{1}{\cos\alpha}$$

(formule C2.3.4*b*)

$$e = \frac{P \cdot D_e}{2f \cdot z + P} \frac{1}{\cos\alpha}$$

(formule C2.3.4*c*)

C2.3.5 - RACCORDEMENT A LA GRANDE BASE D'UNE ENVELOPPE CONIQUE ET D'UNE ENVELOPPE CYLINDRIQUE PAR UNE PARTIE TORIQUE

C2.3.5.1- Lorsque l'enveloppe conique est raccordée à sa grande base sur une enveloppe cylindrique de même axe par une partie torique de rayon intérieur :

$$r_t \geq 0{,}01 D_{e,1}$$

les épaisseurs minimales nécessaires :

- e_t de la partie torique,
- $e_{1,cyl}$ de l'enveloppe cylindrique sur une longueur au moins égale à :

$$l_{1,cyl} = 0{,}5\sqrt{D_{m,1} \cdot e_{1,cyl}}$$

- $e_{1,cône}$ de l'enveloppe conique sur une longueur, mesurée selon une génératrice, au moins égale à :

$$l_{1,cône} = \sqrt{\frac{D_{m,1} \cdot e_{1,cône}}{\cos\alpha}}$$

sont données par la relation C2.3.5.

Le coefficient C_1 est donné par le graphique C2.3.5

C2.3.5.2 - Lorsque l'enveloppe conique est raccordée à sa grande base sur une enveloppe cylindrique de même axe par une partie torique de rayon intérieur :

$$r_t < 0{,}01 D_{e,1}$$

il y a lieu d'appliquer la règle C2.3.6.

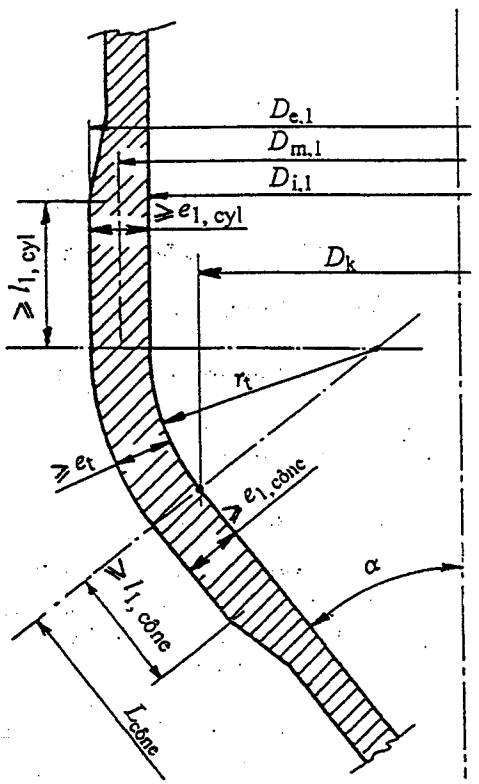
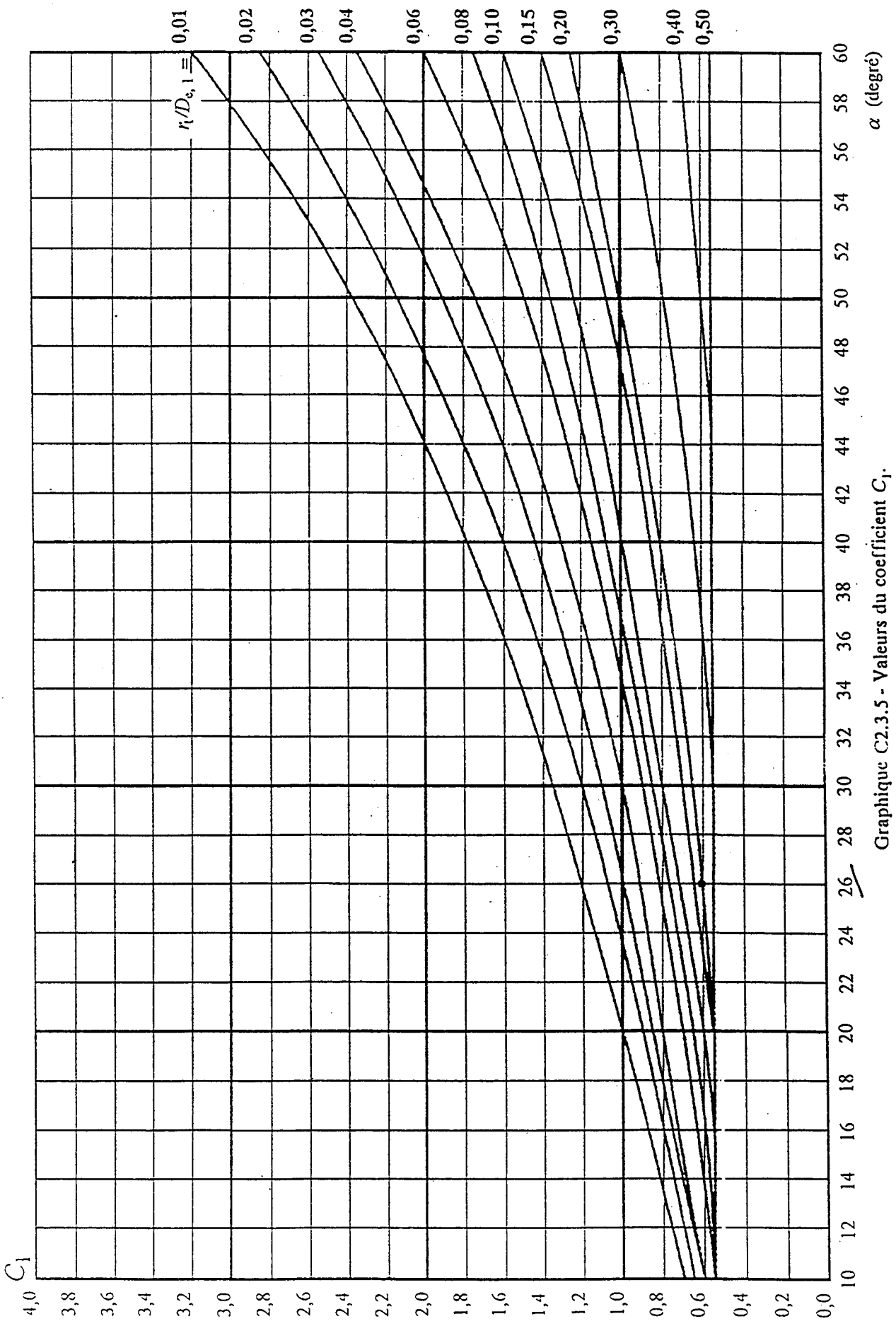


Fig. C2.3.5 - Raccordement à la grande base d'une enveloppe conique par une partie torique.

Relation C2.3.5

$$e_t = e_{1,cyl} = e_{1,cône} = \text{MAX}\left\{\left(\frac{P \cdot D_{e,1}}{2f_{min}} C_1\right), \left(\frac{P \cdot D_k}{2f \cdot z - P} \frac{1}{\cos\alpha}\right), \left(\frac{P \cdot D_{e,1}}{2f_{1,cyl} \cdot z + P}\right)\right\}$$

DOCUMENT A5 6/8



Graphique C2.3.5 - Valeurs du coefficient C_1.

(Pour les valeurs de $\alpha < 10°$, prendre la valeur de C_1 pour $\alpha = 10°$)

DOCUMENT A5 7/8

C2.3.6 - RACCORDEMENT A ANGLE VIF A LA GRANDE BASE D'UNE ENVELOPPE CONIQUE ET D'UNE ENVELOPPE CYLINDRIQUE

C2.3.6.1 - Les présentes règles ne sont applicables que si :

a) l'assemblage est constitué par une soudure bout à bout avec reprise envers assurant - par meulage si nécessaire - un raccordement régulier des surfaces intérieures des deux enveloppes comme indiqué en Annexe FA1 ;

b) la soudure d'assemblage est soumise aux contrôles non destructifs à 100 % prévus en I.10.

C2.3.6.2 - Les épaisseurs minimales nécessaires de l'enveloppe cylindrique et de l'enveloppe conique sont données par les relations :

a) enveloppe cylindrique :

$$e_{1,cyl} = MAX\left\{\left(\frac{P \cdot D_{e,1}}{2f_{min} + P} C_2\right), \left(\frac{P \cdot D_{e,1}}{2f_{min} \cdot z + P}\right)\right\}$$

(relation C2.3.6.2*a*)

Le coefficient C_2 est donné par le graphique C2.3.6.

L'épaisseur utile de l'enveloppe cylindrique doit être au moins égale à $e_{1,cyl}$ sur une longueur au moins égale à :

$$l_{1,cyl} = \sqrt{D_{m,1} \cdot e_{1,cyl}}$$

b) enveloppe conique :

$$e_{1,cône} = MAX\left\{\left(\frac{P \cdot D_{e,1}}{2f_{min} + P} C_2\right), \left(\frac{P \cdot D_{e,1}}{2f_{min} \cdot z + P} \frac{1}{\cos\alpha}\right)\right\}$$

(relation C2.3.6.2*b*)

L'épaisseur utile de l'enveloppe conique doit être au moins égale à $e_{1,cône}$ sur une longueur, mesurée selon une génératrice, au moins égale à :

$$l_{1,cône} = \sqrt{\frac{D_{m,1} \cdot e_{1,cône}}{\cos\alpha}}$$

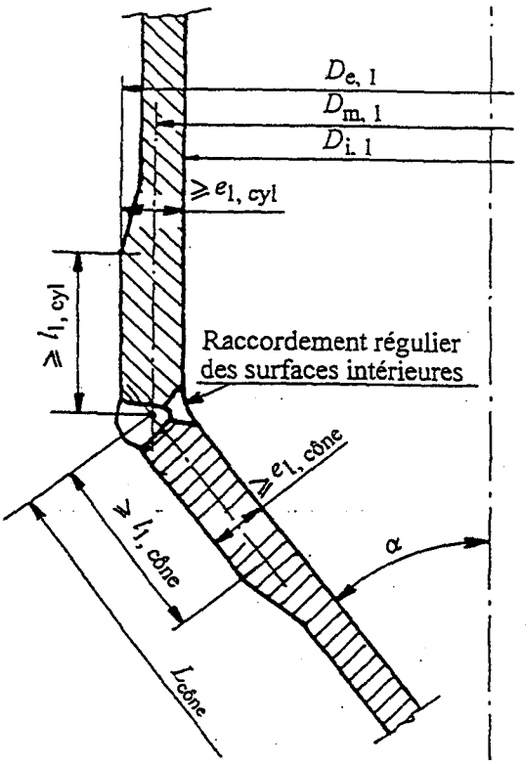
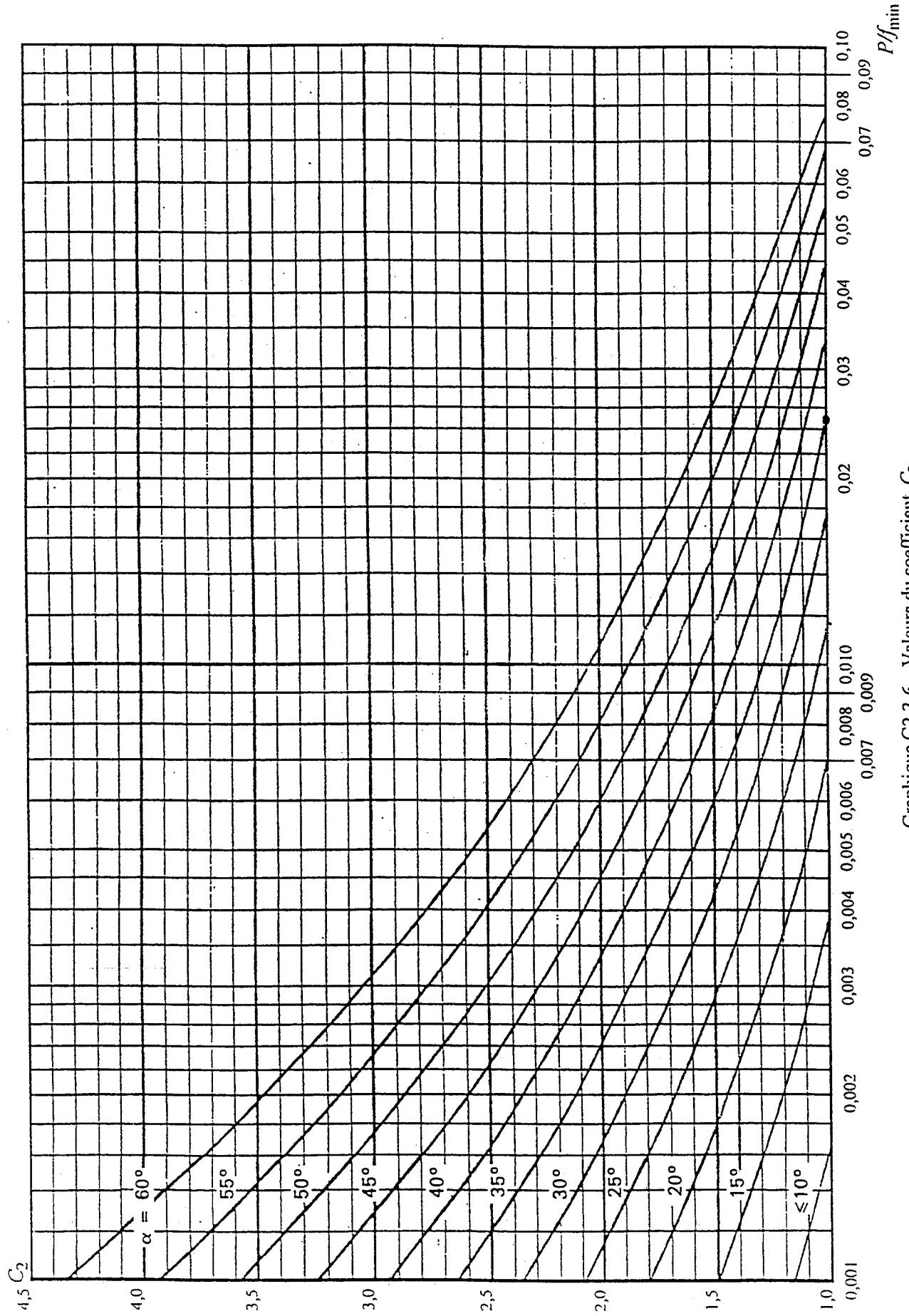


Fig. C2.3.6.2

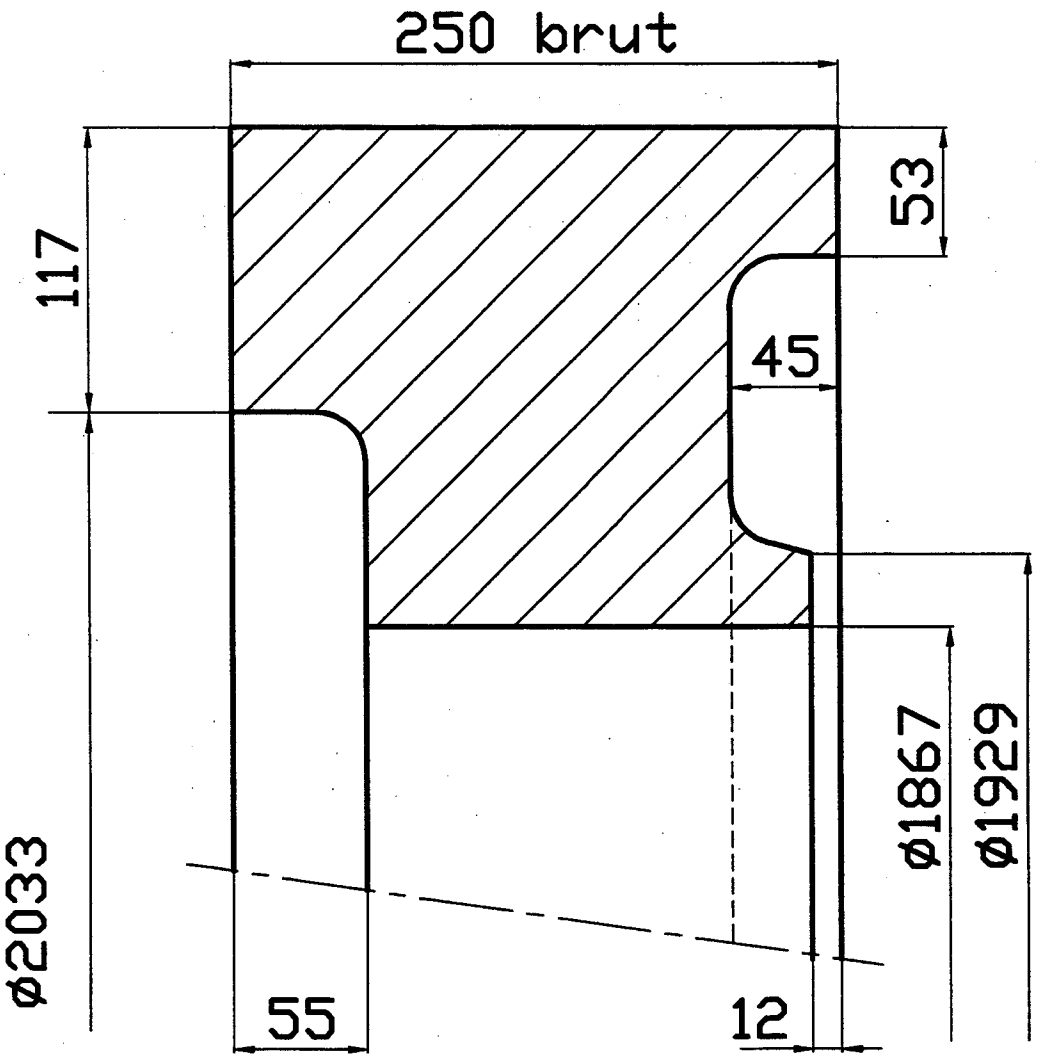
Raccordement à angle vif à la grande base d'une enveloppe conique.

DOCUMENT A5 8/8



Graphique C2.3.6 - Valeurs du coefficient C_2.

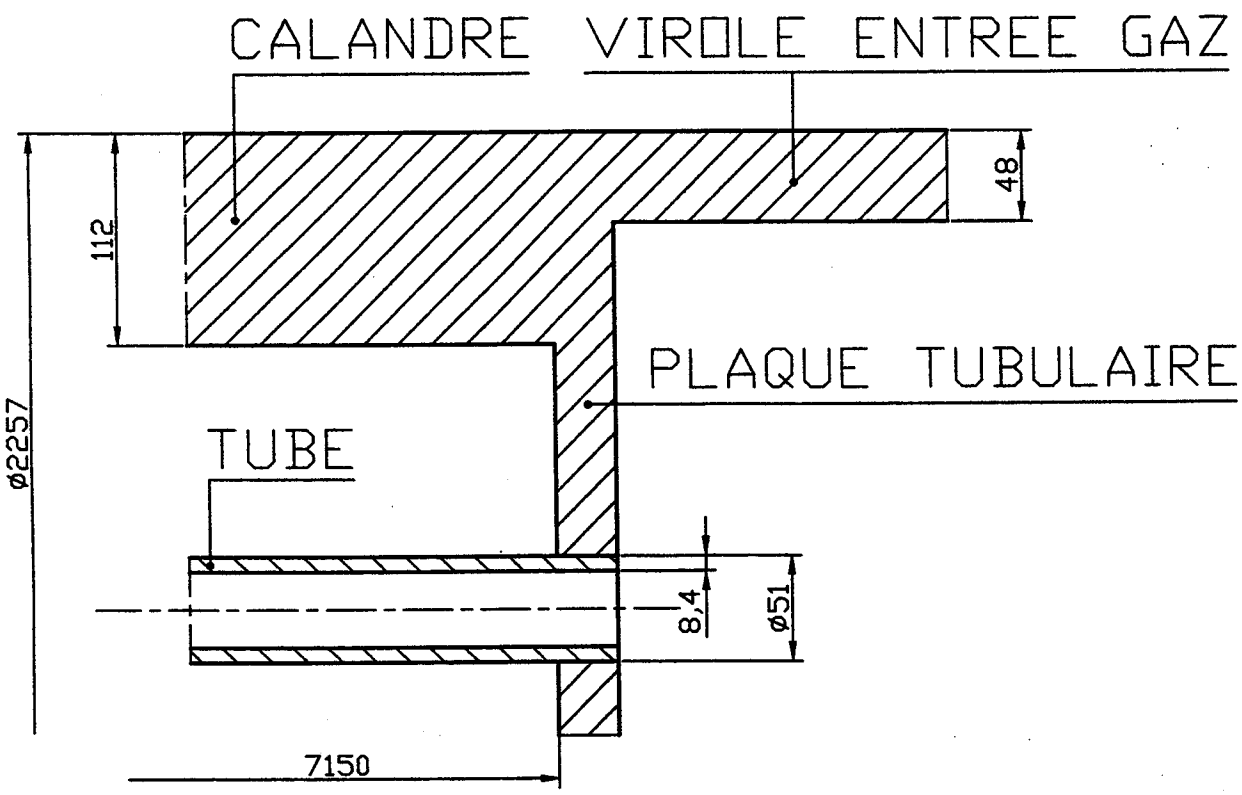
Couronne forgée
Plan de brut

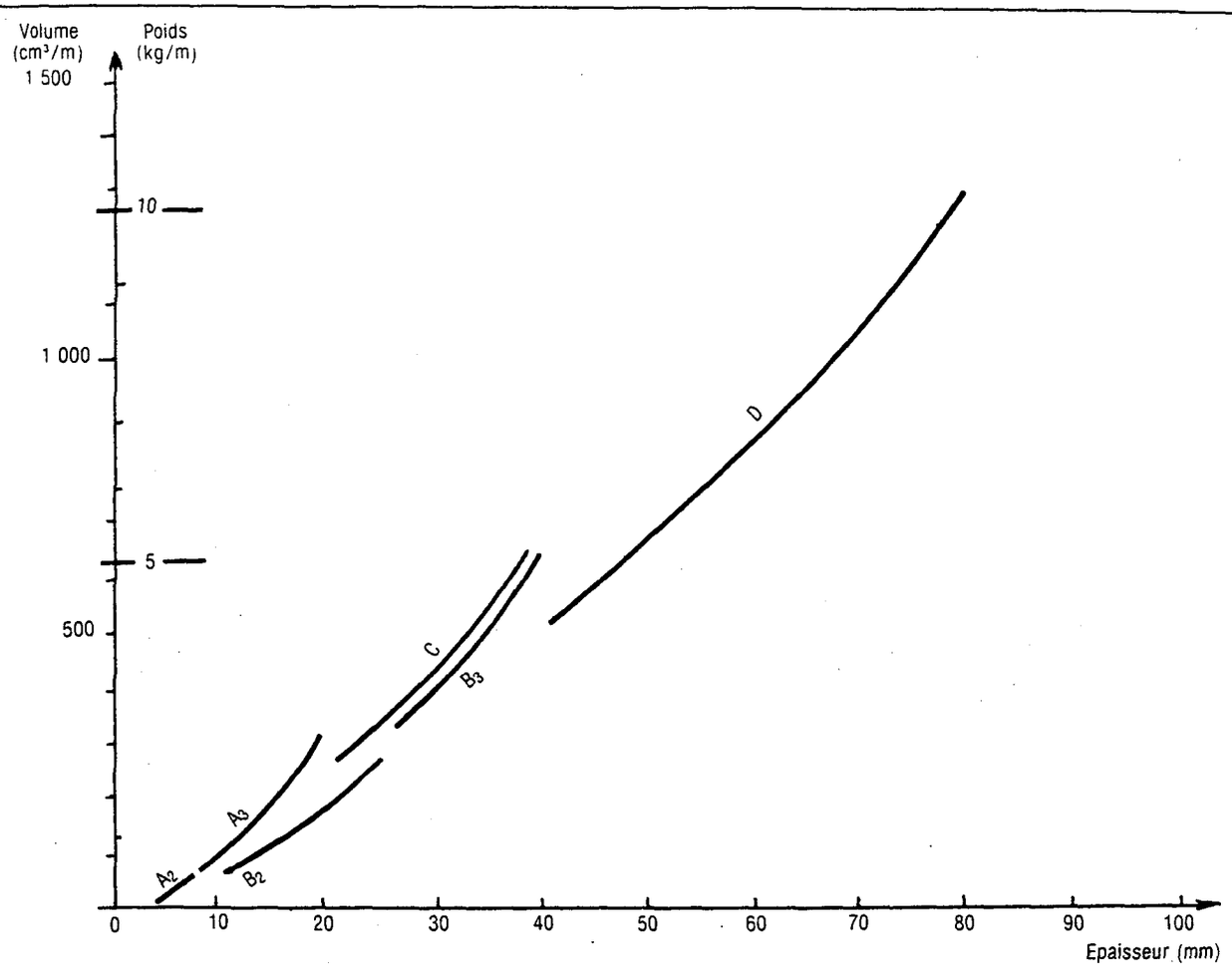


Document A7

DOCUMENT A8

MODELE RETENU POUR LE CALCUL DES DILATATIONS





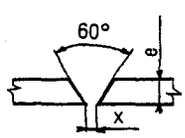
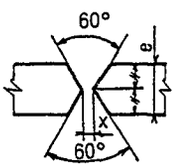
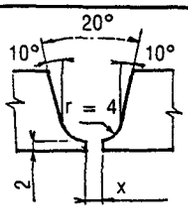
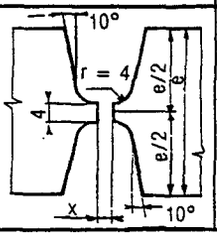
Type de préparation et repère	Domaine d'application épaisseur (mm)	X (mm)	Repère	Type de préparation et repère	Domaine d'application épaisseur (mm)	X (mm)	Repère
	4 à 8	2	A_2		10 à 24	2	B_2
	8 à 20	3	A_3		24 à 40	3	B_3
	20 à 40	4	C		40	4	D

FIG. II.12. — *Choix du type de préparation et volume de métal déposé au mètre de soudure en fonction de l'épaisseur.*

(d'après MECANOSOUDAGE FABRICATION CETIM)

c) Préparations en U ou en double U (*tulipe ou double tulipe*)

Pour les fortes épaisseurs, les chanfreins en V ou en X conduisent à un volume excessif de métal à déposer. On préfère utiliser des préparations en U ou double U suivant que l'accès est possible sur une ou deux faces.

Avec ces types de préparations on cherche à réduire la section du joint en diminuant l'angle d'ouverture au strict minimum, mais la forme et la largeur ménagée au fond de la préparation doivent permettre l'accessibilité de l'appareil de soudage et les déplacements de l'arc nécessaires à la bonne liaison du métal.

Toutes les cotes et les angles définissant le profil doivent être indiquées sur les dessins. Quelques exemples sont présentés figure II.7.

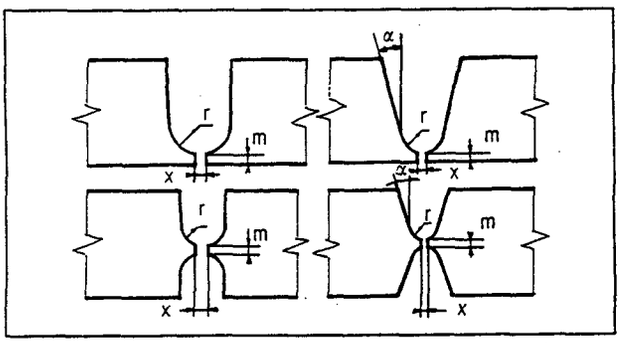


FIG. II.7.

Les formes arrondies sont généralement obtenues par différents procédés d'usinage (fraisage, rabotage, tournage), exceptionnellement avec des équipements spéciaux d'oxycoupage. Pour simplifier l'usinage, on peut recourir aux profils de formes polygônales plutôt qu'arrondies ; dans ce cas, il faut éviter les angles inférieurs à 110° et prévoir un léger congé à leur sommet (fig. II.8).

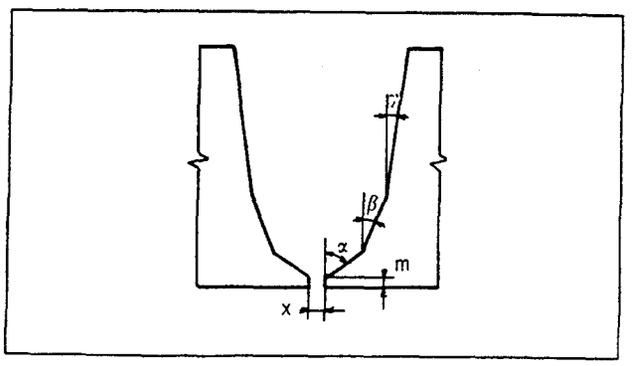


FIG. II.8.

d) Préparations chanfreinées dissymétriques

Les préparations types en V, X ou U simple ou double précitées peuvent être modifiées en fonction des conditions locales d'exécution.

En voici quelques exemples :

— dissymétrie angulaire : soudage en corniche par les procédés MAG ou avec électrodes enrobées pour éviter l'écoulement du métal ; les chanfreins en V et X symétriques sont modifiés comme l'indique la figure II.11 *a*. La présence d'une paroi proche d'un cordon de soudure conduit à une dissymétrie favorisant la visibilité et l'accessibilité (fig. II.11 *b* et *c*) ;

dissymétrie des volumes : dans le cas de soudage dans des conditions inconfortables, inaccessibles ou en position défavorable, on cherche à réduire le volume du chanfrein du côté *défavorable. Cette dissymétrie des* volumes peut également être recherchée pour obtenir une correction des déformations en fonction des séquences imposées pour la fabrication d'un ensemble (fig. II.11 *c*).

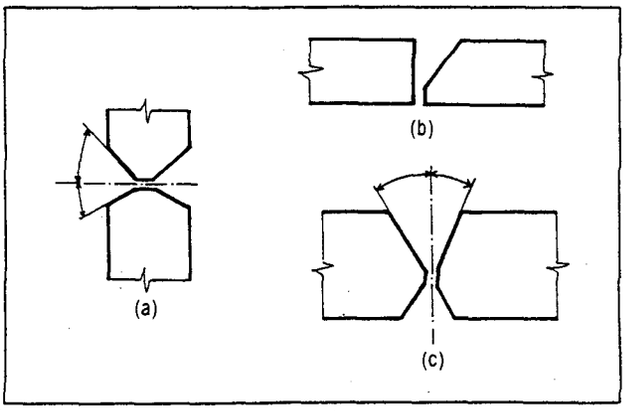


FIG. II.11.

PARTIE B

Durée conseillée : 3 heures

L'étude porte sur un bâtiment de stockage défini ci après dont la couverture et le bardage sont en bac acier simple peau.

DOSSIER TECHNIQUE ET ANNEXES.

- plan n° B001 (Plan d'ensemble) ;
- extrait de l'additif 80 relatif à la résistance à l'effort normal (page B-7) ;
- extrait de norme relatif aux boulons ordinaires (page B-8) ;
- extrait de norme relatif au calcul de soudure NF P 22-470 (pages B-9 à B-11) ;
- extrait de l'additif 80 relatif à la résistance au flambement (pages B-12 à B-15) ;
- tableau de profils (pages B-16, B-17) ;

DONNEES

- L'acier utilisé pour l'ossature est de nuance S235.
- Les boulons utilisés pour l'assemblage des cornières L50x50x5 sont des boulons HM12 de classe 6.8, σ_{red} =410 MPa, As=84,3 mm^2. Le diamètre de perçage des trous correspondants est de 14 mm. Les cornières sont poinçonnées. La section brute d'une cornière L50x50x5 est de A=4,80 cm^2.

QUESTIONS

Q-B-1 CONCEPTION DU BATIMENT

Pour chaque partie de cette question, la réponse doit être complétée par des schémas explicatifs.

Q-B-1-1 Comment est assurée la stabilité longitudinale du bâtiment ?

Q-B-1-2.Comment est assurée la stabilité transversale du bâtiment,

a - en file 2 ?

b - en pignon ?

Q-B-1-3 Après analyse des actions supportées par le HEA140 Rep. 1,

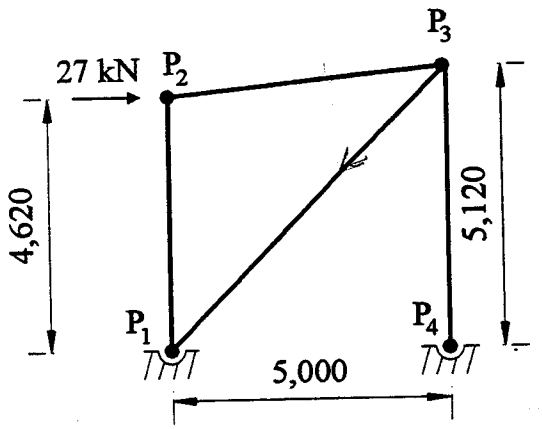
a - Expliquer son rôle

b - Proposer un schéma mécanique pour l'étude des sollicitations.

Q-B-2 VERIFICATION DE LA RESISTANCE DE LA DIAGONALE P_1P_3 REP 2

Les exigences du cahier des charges ont conduit le bureau d'études à adopter une action horizontale pondérée de 27 kN en P_2

Schéma mécanique d'étude :



Q-B-2-1 Justifier le schéma mécanique choisi ci-dessus.

Q-B-2-2 Calculer l'effort pondéré dans la diagonale P_1P_3.

Q-B-2-3 Vérifier celle-ci suivant l'additif 80.

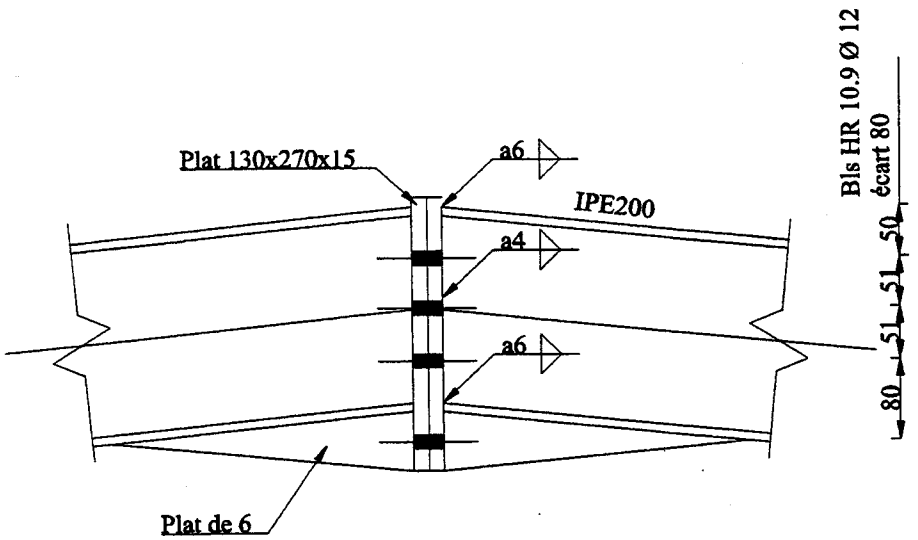
Q-B-2-4 Calculer le nombre de boulons nécessaire à l'assemblage de cette diagonale sur son gousset.

Documents à utiliser :

- extrait de l'additif 80 page B-7
- extrait de la norme NF P 22-430 pages B-8

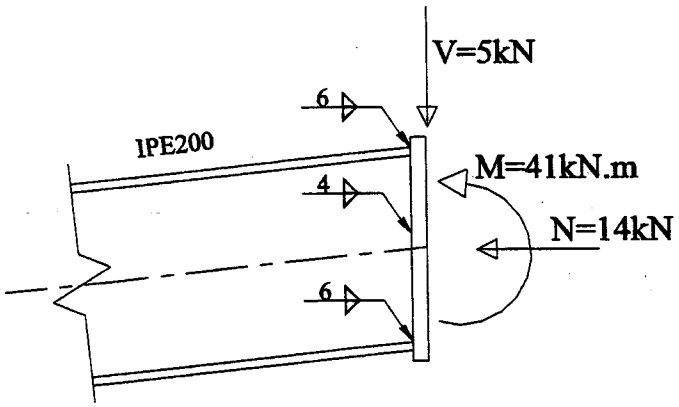
Q-B-3 VERIFICATION DES SOUDURES AU FAITAGE DES PORTIQUES ENTRE LES TRAVERSES ET LES PLAQUES D'ABOUT.

L'assemblage réel est le suivant :



Par mesure de simplification, le calcul se fera en négligeant le raidisseur inférieur.

Les efforts à transmettre par les cordons de soudures :plaque d'about – traverse gauche, sont donnés ci-dessous, en sens et intensité.



Q-B-3-1 Dans ces conditions, vérifier les cordons d'âme.

Q-B-3-2 Vérifier les cordons d'ailes supérieures (les plus sollicités)

Documents à utiliser : extraits de la norme NF P 22-470 pages B-9 à B-11.

Q-B-4 VERIFICATION PARTIELLE D'UN POTEAU (N_1N_2) DE PORTIQUE COURANT

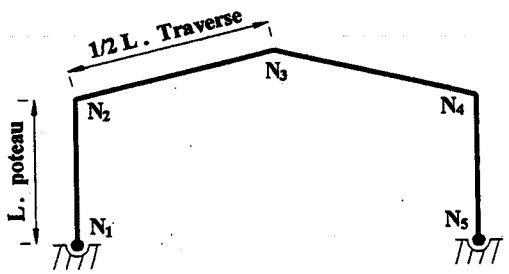
L'objectif de cette question est de calculer le premier terme de l'inégalité :

$$k_0 \frac{N}{N_P} + \frac{k_{fx}}{k_D} \frac{M_{mx}}{M_{Px}} + k_{fy} \frac{M_{my}}{M_{Py}} \leq 1$$

Celle-ci permet de vérifier la stabilité d'un poteau en flexion compression.

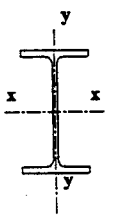
Données et hypothèses :

- Schéma à considérer.



- Effort de compression dans N_1N_2 :38 kN
- Longueur du poteau N_1N_2 = 4,600 m.
- Longueur demi-traverse N_2N_3 = 5,025 m
- Flambement du poteau dans le plan du portique : structure à nœuds déplaçables.
- Flambement du poteau dans le plan du long pan : Barre articulée aux deux extrémités N_1 et N_2

- Les notations utilisées seront celles de l'additif 80



Q-B-4-1 Calcul de la longueur de flambement du poteau dans le plan du portique (cf. page B-15).

Q-B-4-1-1 Donner le coefficient d'encastrement K_{N1} (pied de poteau articulé).

Q-B-4-1-2 Calculer le coefficient d'encastrement K_{N2} en tête de poteau.

Q-B-4-1-3 Calculer la longueur de flambement dans le plan du portique. En déduire l'élancement réduit correspondant.

Q-B-4-2 Donner la longueur de flambement du poteau N_1N_2 dans le plan du long pan. En déduire l'élancement réduit correspondant.

Q-B-4-3 Calculer $k_0 \frac{N}{N_P}$.

Documents à utiliser : extraits de l'additif 80 pages B-7, B-12 à B-15, tableau de profils pages B-16 et B-17.

LE JURY APPRECIE

- l'exactitude des résultats
- la rigueur et la qualité de la rédaction
- la qualité des schémas.

EXTRAIT DE L'ADDITIF 80
RESISTANCE A L'EFFORT NORMAL

4,2. – Effort normal

L'effort normal dans une section ne doit pas être supérieur à l'effort normal de plastification de la section.

$$N \leqslant N_p$$

avec : $N_p = A_{eff}\sigma_e$

A_{eff} = aire efficace de la section

8,22. – *Traction simple*

1) $A_{eff} = A$ si les conditions suivantes sont réalisées :

– trous poinçonnés : $\frac{A_n}{A} \geqq 0{,}85$

– trous forés ou alésés : $\frac{A_n}{A} \geqq 0{,}75$

2) Pour les cas où les conditions précédentes ne sont pas réalisées, le calcul de la résistance ultime à la traction simple doit être basé sur la section nette :

$$A_{eff} = A_n$$

8,23. – *Compression simple*

Le calcul de la résistance ultime des pièces assemblées par rivets ou boulons est basé sur la section brute :

$$A_{eff} = A$$

EXTRAIT DE NORME NF P 22-430

NOTATIONS

A	section nominale du boulon (de la tige lisse);
A_s	section résistante de la partie filetée;
Q_1	effort relatif à l'état limite ultime (effort pondéré), exercé sur un boulon perpendiculairement à son axe, par une pièce d'épaisseur e;
Q_2	effort par boulon relatif à l'état limite ultime (effort pondéré), exercé sur l'assemblage;
N	effort de traction relatif à l'état limite ultime (effort pondéré), exercé sur chaque boulon;
D	diamètre nominal des boulons;
d_{tr}	diamètre définitif des trous;
S	distance entre axes des boulons;
$a_{//}$	distance de l'axe d'un boulon au bord le plus voisin de la pièce assemblée dans le sens de l'effort sollicitant l'assemblage (pince longitudinale);
$a_{\perp}$	distance de l'axe d'un boulon au bord le plus voisin de la pièce assemblée dans la direction normale à l'effort sollicitant l'assemblage (pince transversale);
E	épaisseur d'une quelconque des pièce assemblée;
e_{min}	épaisseur de la plus mince des pièces assemblées;
Σe	épaisseur totale des pièces assemblées;
M	nombre de plans de cisaillement;
σ_e	limite d'élasticité du métal constituant les pièces assemblées;
σ_{red}	contrainte caractéristique servant de contrainte de vérification des boulons;

RÉSISTANCE DES BOULONS

A la traction

On vérifie : $$1{,}25\frac{N}{A_s} \le \sigma_{red}$$

Au cisaillement

Si aucune précaution spéciale n'est exigée pour l'exécution, on vérifie :

$$1{,}54\frac{Q_2}{mA_s} \le \sigma_{red}$$

Si des dispositions spéciales sont prises pour que la partie lisse du boulon règne au droit de TOUTES les sections cisaillées, on vérifie :

$$1{,}54\frac{Q_2}{mA} \le \sigma_{red}$$

A un effort incliné sur le plan du joint

Admettant, par boulon, une composante normale N suivant l'axe du boulon et une composante Q_2 dans le plan du joint :

dans le cas où la section cisaillée se trouve dans la partie lisse, on vérifie simultanément:

$$1{,}25\frac{N}{A_s} \le \sigma_{red} \text{ et } \frac{\sqrt{N^2 + 2{,}36\left(\frac{Q_2}{m}\right)^2}}{A} \le .\sigma_{red}$$

dans le cas où la section cisaillée se trouve dans la partie filetée, on vérifie simultanément :

$$1{,}25\frac{N}{A_s} \le \sigma_{red} \text{ et } \frac{\sqrt{N^2 + 2{,}36\left(\frac{Q_2}{m}\right)^2}}{A_s} \le \sigma_{red}$$

EXTRAIT DE NORME NF P 22-470

9.3 Soudures d'angle sans chanfrein

9.3.1 Formule de base

Les composantes $\sigma_\perp$, $\tau_\perp$, $\tau_{//}$ doivent satisfaire aux inégalités

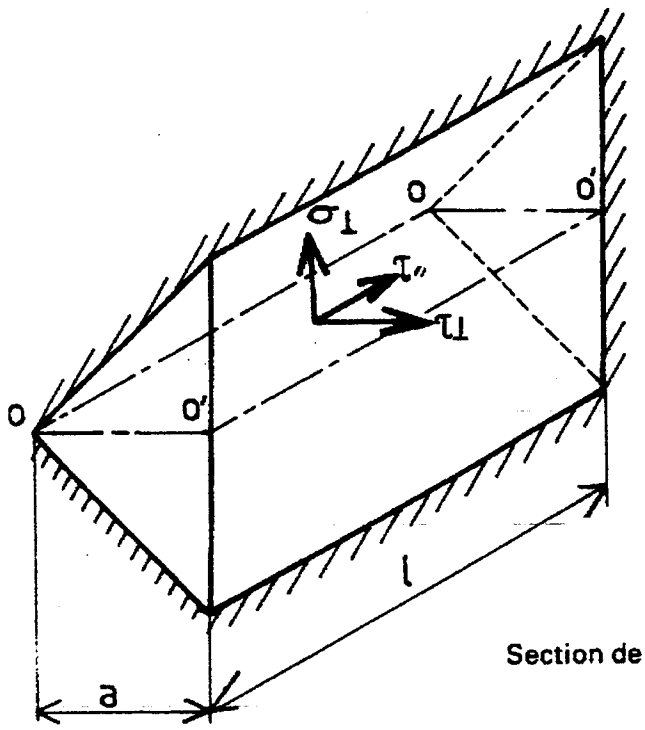
$$K\sqrt{\sigma_\perp^2 + 3\left(\tau_\perp^2 + \tau_{//}^2\right)} \leq \sigma_e$$

$$\text{et } \sigma_\perp \leq \sigma_e$$

avec $\sigma_\perp$, $\tau_\perp$, $\tau_{//}$ composantes déterminées par la résistance des matériaux de la contrainte moyenne rapportée a la section de gorge du cordon (section minimale de surface a ℓ)

avec quelle que soit l'épaisseur du produit :

K = 0,7 pour les nuances S235;
K = 0,85 pour les nuances S275;
K = 1 pour les nuances S355.



Section de gorge : a.ℓ

Dans le cas où l'assemblage est constitué d'aciers de nuances différentes, la limite d'élasticité à retenir pour l'application de la formule est celle de la nuance la plus faible.

A.2.2 Attache d'une poutre sur un poteau (figure A.7)

A.2.2.1 *Éléments de réduction*

— Effort normal N,

— Moment fléchissant M,

— Effort tranchant V.

A.2.2.2 *Hypothèses*

On admet que :

— l'effort N se répartit uniformément entre tous les cordons,

— l'effort V se répartit uniformément entre les cordons d'âme,

— le moment M est repris par les cordons des semelles avec $M = N'h'$ où $h' = h - t_f$.

A.2.2.3 *Contraintes dans les cordons*

A.2.2.3.1 *Cordons d'ailes*

Sous les efforts N et N', les cordons d'ailes sont à considérer comme des cordons frontaux.

Les contraintes dans les cordons sont respectivement :

pour N :

$$\sigma_\perp = \tau_\perp = \frac{N}{\sqrt{2}\sum(a_i \ell_i)}$$

pour N' :

$$\sigma'_\perp = \tau'_\perp = \frac{N'}{\sqrt{2}\sum(a_i \ell_i)'}$$

avec dans le cas de la figure A.7 :

$\sum a_i \ell_i = 2a_1\ell_1 + 4a_2\ell_2 + 2a_3\ell_3$

$\sum(a_i \ell_i)' = a_1\ell_1 + 2a_2\ell_2$

ℓ_1, ℓ_2, ℓ_3 étant les longueurs utiles des cordons a_1, a_2, a_3.

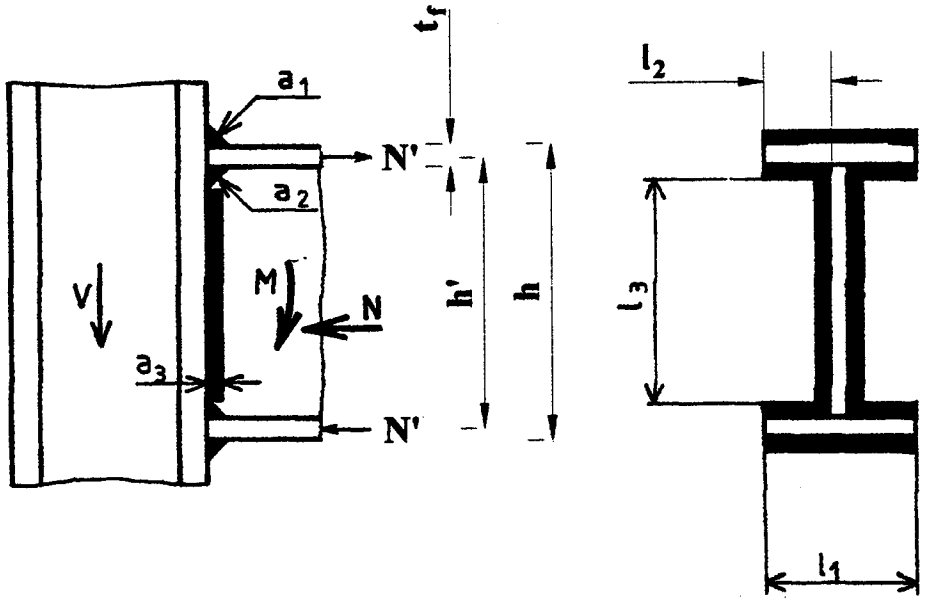


Figure A.7

A.2.2.3.2 *Cordons d'âme*

Sous l'effort N, les cordons d'âme sont à considérer comme des cordons frontaux, et les contraintes $\sigma_\perp$ et $\tau_\perp$ sont celles indiquées précédemment (voir paragraphe A.2.2.3.1).

Sous l'effort V, les cordons d'âme sont considérer comme des cordons latéraux, la contrainte dans ces cordons est :

$$\tau_{||} = \frac{V}{2a_3\ell_3}$$

A.2.2.4 *Formules de vérification*

L'application de la formule fondamentale conduit :

pour les cordons d'ailes : $K\sqrt{2}\left(\frac{N}{\sum a_f \ell_i} + \frac{N'}{\sum (a_f \ell_i)'}\right) \leq \sigma_e$

pour les cordons d'âme : $K\sqrt{2\left(\frac{N}{\sum a_f \ell_i}\right)^2 + 3\left(\frac{V}{2a_3\ell_3}\right)^2} \leq \sigma_e$

EXTRAIT DE L'ADDITIF 80
RESISTANCE AU FLAMBEMENT

5,3. – Résistance au flambement

5,31. – *Éléments simplement comprimés*

La sollicitation N de compression simple sous charges pondérées doit satisfaire à la condition suivante :

$$k_0 \frac{N}{N_p} \leqslant 1$$

Le coefficient k_0 est obtenu à partir des **tableaux** A, B ou C, ci-dessous, en fonction du plus grand des élancements réduits $\bar{\lambda}_x$ et $\bar{\lambda}_y$:

où :

$$\bar{\lambda}_x = \frac{\lambda_x}{\pi}\sqrt{\frac{\sigma_e}{E}} \quad \text{et} \quad \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\pi}\sqrt{\frac{\sigma_e}{E}}$$

λ_x, λ_y = élancements calculés par :

$$\lambda_x = \frac{L_{Kx}}{i_x} \quad \text{et} \quad \lambda_y = \frac{L_{Ky}}{i_y}$$

L_{Kx}, L_{Ky} = longueurs de flambement calculées comme indiqué en 5,33.

On adopte pour k_0 les valeurs du **tableau** A pour :

- les profils creux conformes à la norme NF A 49-501,
- les sections en double T et en caisson en acier à limite d'élasticité $\sigma_e \geqslant 430$ N/mm² ou ayant subi un traitement thermique de relaxation des contraintes résiduelles.

On adopte les valeurs du **tableau** B pour :

- les sections en double T ou en caisson pour lesquelles les tableaux A et C ne s'appliquent pas,
- les profils creux conformes à la norme NF A 49-541,
- les sections obtenues par assemblage de cornières ou de profilés laminés.

On adopte les valeurs du **tableau** C pour :

- les sections en U, en T et les cornières simples,
- les sections en double T et en caisson dont l'épaisseur d'âme ou de semelle dépasse 40 mm.

TABLEAU A. – *Valeurs de k_0*

$\bar{\lambda}$	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.2	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02
0.3	1.02	1.03	1.03	1.03	1.03	1.04	1.04	1.04	1.04	1.05
0.4	1.05	1.05	1.06	1.06	1.06	1.06	1.07	1.07	1.08	1.08
0.5	1.08	1.09	1.09	1.10	1.10	1.11	1.11	1.12	1.12	1.13
0.6	1.13	1.14	1.14	1.15	1.15	1.16	1.16	1.17	1.17	1.18
0.7	1.18	1.19	1.20	1.20	1.21	1.22	1.22	1.23	1.24	1.25
0.8	1.20	1.26	1.27	1.28	1.29	1.30	1.31	1.32	1.33	1.34
0.9	1.35	1.36	1.38	1.39	1.40	1.41	1.43	1.44	1.45	1.47
1.0	1.48	1.50	1.51	1.53	1.54	1.56	1.58	1.60	1.61	1.63
1.1	1.65	1.67	1.69	1.71	1.73	1.75	1.77	1.79	1.81	1.83
1.2	1.85	1.87	1.90	1.92	1.94	1.96	1.99	2.01	2.04	2.06
1.3	2.08	2.11	2.13	2.16	2.18	2.21	2.23	2.26	2.29	2.31
1.4	2.34	2.37	2.40	2.42	2.45	2.48	2.51	2.54	2.57	2.60
1.5	2.63	2.66	2.69	2.72	2.75	2.78	2.81	2.84	2.87	2.90
1.6	2.94	2.97	3.00	3.03	3.07	3.10	3.13	3.17	3.20	3.23
1.7	3.27	3.30	3.33	3.37	3.40	3.44	3.47	3.51	3.54	3.58
1.8	3.61	3.65	3.69	3.72	3.76	3.80	3.83	3.87	3.91	3.95
1.9	3.99	4.03	4.07	4.11	4.15	4.19	4.23	4.27	4.31	4.35
2.0	4.39	4.43	4.47	4.51	4.56	4.60	4.64	4.69	4.73	4.78
2.1	4.82	4.86	4.90	4.94	4.98	5.03	5.07	5.11	5.16	5.20
2.2	5.25	5.29	5.34	5.39	5.43	5.48	5.52	5.57	5.62	5.66
2.3	5.71	5.76	5.80	5.85	5.90	5.95	6.00	6.04	6.09	6.14
2.4	6.19	6.24	6.29	6.35	6.40	6.45	6.50	6.55	6.60	6.65
2.5	6.70	6.75	6.80	6.84	6.90	6.96	7.02	7.07	7.12	7.17

TABLEAU B. – *Valeurs de k_0*

$\bar{\lambda}$	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,2	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03
0,3	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08
0,4	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,12
0,5	1,13	1,14	1,14	1,15	1,15	1,16	1,17	1,17	1,18	1,19
0,6	1,19	1,20	1,21	1,22	1,22	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27
0,7	1,27	1,28	1,29	1,30	1,31	1,32	1,33	1,34	1,35	1,36
0,8	1,38	1,39	1,40	1,41	1,42	1,44	1,45	1,46	1,48	1,49
0,9	1,51	1,52	1,54	1,55	1,57	1,59	1,60	1,62	1,64	1,65
1,0	1,67	1,69	1,71	1,72	1,74	1,76	1,78	1,80	1,82	1,84
1,1	1,86	1,88	1,90	1,92	1,94	1,97	1,99	2,01	2,03	2,06
1,2	2,08	2,10	2,13	2,15	2,18	2,20	2,23	2,25	2,28	2,31
1,3	2,33	2,36	2,39	2,41	2,44	2,47	2,50	2,52	2,55	2,58
1,4	2,61	2,64	2,67	2,70	2,73	2,76	2,79	2,82	2,85	2,89
1,5	2,92	2,95	2,98	3,01	3,05	3,08	3,11	3,15	3,18	3,21
1,6	3,25	3,28	3,32	3,35	3,39	3,43	3,46	3,50	3,54	3,58
1,7	3,62	3,65	3,69	3,73	3,77	3,82	3,84	3,88	3,92	3,96
1,8	4,00	4,04	4,07	4,11	4,15	4,19	4,23	4,27	4,32	4,36
1,9	4,40	4,44	4,48	4,53	4,57	4,61	4,66	4,70	4,74	4,79
2,0	4,83	4,87	4,92	4,96	5,00	5,05	5,09	5,13	5,18	5,22
2,1	5,27	5,32	5,36	5,41	5,46	5,50	5,54	5,59	5,63	5,68
2,2	5,73	5,78	5,83	5,88	5,92	5,97	6,02	6,07	6,12	6,17
2,3	6,22	6,27	6,33	6,38	6,43	6,49	6,54	6,59	6,64	6,69
2,4	6,74	6,80	6,85	6,90	6,95	7,01	7,06	7,11	7,16	7,21
2,5	7,26	7,32	7,37	7,43	7,49	7,54	7,58	7,63	7,67	7,73

TABLEAU C. – *Valeurs de k_0*

$\bar{\lambda}$	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.2	1.00	1.01	1.01	1.02	1.02	1.03	1.03	1.04	1.04	1.05
0.3	1.05	1.06	1.06	1.07	1.07	1.08	1.09	1.09	1.10	1.10
0.4	1.11	1.12	1.12	1.13	1.14	1.15	1.15	1.16	1.17	1.18
0.5	1.19	1.19	1.20	1.21	1.22	1.23	1.24	1.25	1.26	1.27
0.6	1.28	1.29	1.30	1.31	1.32	1.33	1.34	1.36	1.37	1.38
0.7	1.39	1.40	1.42	1.43	1.44	1.46	1.47	1.48	1.50	1.51
0.8	1.53	1.54	1.56	1.57	1.59	1.60	1.62	1.64	1.65	1.67
0.9	1.69	1.70	1.72	1.74	1.76	1.77	1.79	1.81	1.83	1.84
1.0	1.86	1.88	1.90	1.92	1.94	1.96	1.98	2.00	2.02	2.04
1.1	2.06	2.08	2.10	2.12	2.15	2.17	2.19	2.21	2.24	2.26
1.2	2.28	2.31	2.33	2.35	2.38	2.40	2.43	2.45	2.48	2.50
1.3	2.53	2.56	2.58	2.61	2.64	2.66	2.69	2.72	2.75	2.77
1.4	2.80	2.83	2.86	2.89	2.92	2.95	2.98	3.00	3.03	3.06
1.5	3.09	3.11	3.15	3.19	3.22	3.25	3.28	3.31	3.35	3.38
1.6	3.41	3.45	3.48	3.52	3.55	3.59	3.63	3.66	3.70	3.73
1.7	3.77	3.81	3.85	3.88	3.92	3.96	4.00	4.04	4.07	4.11
1.8	4.15	4.19	4.23	4.26	4.30	4.34	4.38	4.42	4.46	4.50
1.9	4.54	4.58	4.62	4.66	4.70	4.74	4.78	4.82	4.86	4.90
2.0	4.94	4.98	5.02	5.07	5.11	5.15	5.19	5.24	5.28	5.32
2.1	5.36	5.41	5.44	5.49	5.53	5.59	5.64	5.69	5.73	5.78
2.2	5.82	5.87	5.92	5.97	6.02	6.06	6.11	6.16	6.21	6.26
2.3	6.31	6.36	6.41	6.46	6.51	6.56	6.61	6.66	6.72	6.77
2.4	6.82	6.87	6.92	6.97	7.02	7.07	7.12	7.17	7.22	7.27
2.5	7.32	7.37	7.42	7.48	7.53	7.59	7.65	7.69	7.74	7.79

5,33. – *Longueur de flambement*

5,33-1. – Règle générale

La longueur de flambement L_K d'une barre articulée aux deux extrémités est égale à la longueur réelle L de la barre.

Pour les autres modes d'attache des extrémités, on examine la déformation possible de la ligne moyenne de la pièce lorsqu'elle flambe et on prend comme longueur de flambement la plus grande des distances séparant deux points d'articulation ou d'inflexion successifs, réels ou fictifs.

On considère la rotule plastique comme une articulation si les déformations accompagnant le flambement produisent une augmentation de la rotation plastique de la rotule.

5,33-2. – Structures à noeuds fixes

Les formules suivantes permettent de déterminer la longueur de flambement L_K des barres dans les ossatures à cadres rectangulaires et à nœuds fixes. Pour un poteau situé entre les nœuds A et B, la longueur L_K se calcule par :

$$L_K = \frac{3 - 1{,}6(K_A + K_B) + 0{,}84K_AK_B}{3 - (K_A + K_B) + 0{,}28K_AK_B} L$$

K_A et K_B sont obtenus par :

$$K_A = \frac{\Sigma\left(\frac{I_b}{L_b}\right)_A}{\Sigma\left(\frac{I_b}{L_b}\right)_A + \Sigma\left(\frac{I_c}{L_c}\right)_A} \qquad K_B = \frac{\Sigma\left(\frac{I_b}{L_b}\right)_B}{\Sigma\left(\frac{I_b}{L_b}\right)_B + \Sigma\left(\frac{I_c}{L_c}\right)_B}$$

où :

$\left(\frac{I_c}{L_c}\right)_A$ se rapporte aux poteaux aboutissant au nœud A.

$\left(\frac{I_b}{L_b}\right)_A$ se rapporte aux poutres aboutissant au nœud A.

La rigidité relative $\frac{I}{L}$ des poutres doit être multipliée par un coefficient 1,5 si l'extrémité opposée au nœud considéré est articulée ou plastifiée et 2 si elle est encastrée parfaitement. Si on a une articulation ou une rotule plastique à l'extrémité A (ou B) on adopte en pratique K_A (ou K_B) = 0,05.

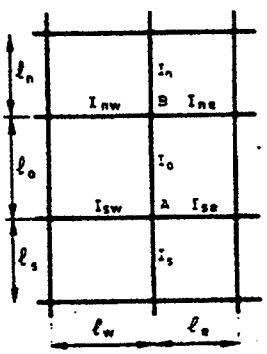
Pour un encastrement supposé parfait à un appui, on prend K_A (ou K_B) = 0,95. L'expression de L_K se réduit à :

$L_K = \frac{2{,}96 - 1{,}58K_A}{2{,}99 - K_A} L$ si l'extrémité B est articulée ou plastifiée ($K_B = 0{,}05$)

$L_K = \frac{0{,}72 - 0{,}39K_A}{1 - 0{,}358K_A} L$ si l'extrémité B est encastrée ($K_B = 0{,}95$)

5,33-2. – Par exemple, dans le cas de la figure ci-après (où les inerties des barres sont indiquées sur le schéma), le coefficient d'encastrement du poteau AB à son nœud inférieur A est :

$$K_A = \frac{\frac{I_{sw}}{l_w} + \frac{I_{se}}{l_e}}{\frac{I_s}{l_s} + \frac{I_0}{l_0} + \frac{I_{nw}}{l_w} + \frac{I_{ne}}{l_e}}$$



et au nœud supérieur B :

$$K_B = \frac{\frac{I_{sw}}{l_w} + \frac{I_{se}}{l_e}}{\frac{I_n}{l_n} + \frac{I_0}{l_0} + \frac{I_{nw}}{l_w} + \frac{I_{ne}}{l_e}}$$

ou en fonction des rigidités :

$r_{sw} = \frac{I_{sw}}{l_w}$ $\quad r_{se} = \frac{I_{se}}{l_e}$ *etc.*

$$K_A = \frac{r_{sw} + r_{se}}{r_s + r_0 + r_{sw} + r_{se}} \quad \text{et} \quad K_B = \frac{r_{nw} + r_{ne}}{r_n + r_0 + r_{nw} + r_{ne}}$$

Pour une articulation, on adopte $K_B = 0{,}05$ et pour un encastrement $K_B = 0{,}95$ au lieu des valeurs théoriques $K_B = 0$ et $K_B = 1$. Ceci tient compte de l'imperfection des articulations et des encastrements réels. Si l'une des barres aboutissant au nœud B possède une articulation ou est plastifiée à cette extrémité B, alors on adopte pour cette barre $\frac{I}{L} = 0$.

Lorsque l'angle poutres-poteaux est différent de 90°, il est nécessaire de déterminer K_A et K_B à partir d'une étude appropriée, ou de calculer directement L_K par une analyse du second ordre.

$L_K = \frac{1 - 0{,}6K_A}{1 - 0{,}2K_A} L$ si les deux extrémités ont le même degré d'encastrement ($K_A = K_B$)

$L_K = \frac{3 - 1{,}6K_A}{3 - K_A} L$ s'il y a un point d'inflexion en B ($K_B = 0$)

$L_K = \frac{0{,}7 - 0{,}38K_A}{1 - 0{,}36K_A} L$ s'il y a une rotation nulle en B ($K_B = 1$)

5,33-3. – Structures à nœuds déplaçables

Les formules suivantes permettent de déterminer la longueur de flambement L_K des barres dans les ossatures à cadres rectangulaires et à nœuds déplaçables, c'est-à-dire telles que la stabilité dans la direction du flambement n'est assurée que par l'encastrement des poutres sur les poteaux. Pour un poteau situé entre les nœuds A et B, la longueur de flambement L_K se calcule par la formule suivante :

$$L_K = \sqrt{\frac{1{,}6 + 2{,}4(K_A + K_B) + 1{,}1K_AK_B}{K_A + K_B + 5{,}5K_AK_B}} L$$

avec :

$$K_A = \frac{\Sigma\left(\frac{I_b}{L_b}\right)_A}{\Sigma\left(\frac{I_b}{L_b}\right)_A + \Sigma\left(\frac{I_c}{L_c}\right)_A} \quad \text{et} \quad K_B = \frac{\Sigma\left(\frac{I_b}{L_b}\right)_B}{\Sigma\left(\frac{I_b}{L_b}\right)_B + \Sigma\left(\frac{I_c}{L_c}\right)_B}$$

$\left(\frac{I_c}{L_c}\right)_A$ se rapporte aux poteaux aboutissant au nœud A

$\left(\frac{I_b}{L_b}\right)_A$ se rapporte aux poutres aboutissant au nœud A

La rigidité relative $\frac{I}{L}$ des poutres doit être multipliée par 0,5 si l'extrémité opposée au nœud considéré est articulée ou plastifiée et par 0,67 si elle est encastrée.

Si on a une articulation ou une rotule plastique à l'extrémité A (ou B), on adopte en pratique K_A (ou K_B) = 0,05. Pour un encastrement supposé parfait à un appui, on prend K_A (ou K_B) = 0,95.

L'expression de L_K se réduit à :

$L_K = \sqrt{\frac{1{,}35 + 1{,}92K_A}{0{,}04 + K_A}} L$ si l'extrémité B est articulée ou plastifiée

$L_K = \sqrt{\frac{4{,}08 + 3{,}63K_A}{1 + 6{,}55K_A}} L$ si l'extrémité B est encastrée

$L_K = \sqrt{\frac{0{,}8 + 0{,}2K_A}{K_A}} L$ si les deux extrémités ont le même coefficient d'encastrement

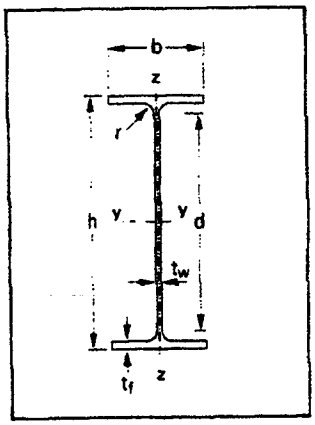
$L_K = \sqrt{\frac{1{,}6 + 2{,}4K_A}{K_A}} L$ s'il y a un point d'inflexion en B ($K_B = 0$)

$L_K = \sqrt{\frac{4 + 3{,}5K_A}{1 + 6{,}5K_A}} L$ s'il y a une rotation nulle en B ($K_B = 1$)

TABLEAU DE PROFILS

Normes de référence :
dimensions :

IPE 80 - 600	NF A 45-205 (sept. 83)
IPE 750	hors normalisation NF
IPE-A 80 - 600	hors normalisation NF
IPE-O 180 - 600	hors normalisation NF
tolérances :	NF EN 10034 (déc. 93)



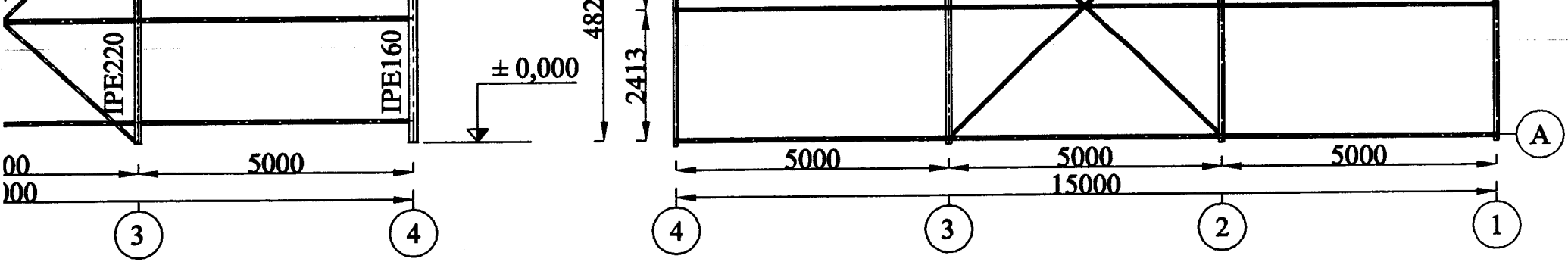
IPE-A 80 - 100 - 120 - 140 = ex-PA 80 -100 - 120 - 140

Notations additif 80

Profils	Dimensions						Masse par mètre	Aire de la section	Surface de peinture	
	h	b	t_w	t_f	r	d	P	A		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg/m	cm^2	m^2/m	m^2/t
IPE A 80	78.0	46	3.3	4.2	5	59.6	5.0	6.4	0.325	64.90
IPE 80	80.0	46	3.8	5.2	5	59.6	6.0	7.6	0.328	54.64
IPE A 100	98.0	55	3.6	4.7	7	74.6	6.9	8.8	0.397	57.57
IPE 100	100.0	55	4.1	5.7	7	74.6	8.1	10.3	0.400	49.33
IPE A 120	117.6	64	3.8	5.1	7	93.4	8.7	11.0	0.472	54.47
IPE 120	120.0	64	4.4	6.3	7	93.4	10.4	13.2	0.475	45.82
IPE A 140	137.4	73	3.8	5.6	7	112.2	10.5	13.4	0.547	52.05
IPE 140	140.0	73	4.7	6.9	7	112.2	12.9	16.4	0.551	42.70
IPE A 160	157.0	82	4.0	5.9	9	127.2	12.7	16.2	0.619	48.70
IPE 160	160.0	82	5.0	7.4	9	127.2	15.8	20.1	0.623	39.47
IPE A 180	177.0	91	4.3	6.5	9	146.0	15.4	19.6	0.694	45.15
IPE 180	180.0	91	5.3	8.0	9	146.0	18.8	23.9	0.698	37.13
IPE O 180	182.0	92	6.0	9.0	9	146.0	21.3	27.1	0.705	33.12
IPE A 200	197.0	100	4.5	7.0	12	159.0	18.4	23.5	0.764	41.49
IPE 200	200.0	100	5.6	8.5	12	159.0	22.4	28.5	0.768	34.36
IPE O 200	202.0	102	6.2	9.5	12	159.0	25.1	32.0	0.779	31.05
IPE A 220	217.0	110	5.0	7.7	12	177.6	22.2	28.3	0.843	38.02
IPE 220	220.0	110	5.9	9.2	12	177.6	26.2	33.4	0.848	32.36
IPE O 220	222.0	112	6.6	10.2	12	177.6	29.4	37.4	0.858	29.24
IPE A 240	237.0	120	5.2	8.3	15	190.4	26.2	33.3	0.918	35.10
IPE 240	240.0	120	6.2	9.8	15	190.4	30.7	39.1	0.922	30.02
IPE O 240	242.0	122	7.0	10.8	15	190.4	34.3	43.7	0.932	27.17
IPE A 270	267.0	135	5.5	8.7	15	219.6	30.7	39.1	1.037	33.75
IPE 270	270.0	135	6.6	10.2	15	219.6	36.1	45.9	1.041	28.86
IPE O 270	274.0	136	7.5	12.2	15	219.6	42.3	53.8	1.051	24.88

Notations additif 80

Profils	Caractéristiques de calcul										Moment d'inertie de torsion	Moment d'inertie de gauchissement
	Ix	Ix/Vx	ix	Zx		Iy	Iy/Vy	iy	Zy		J	
	I_y cm^4	$W_{el.y}$ cm^3	i_y cm	$W_{pl.y}$ cm^3	A_{vz} cm^2	I_z cm^4	$W_{el.z}$ cm^3	i_z cm	$W_{pl\,z}$ cm^3	A_{vy} cm^2	I_t cm^4	$I_w \times 10^{-3}$ cm^6
IPE A 80	64,4	16,5	3,18	19,0	3,1	6,85	2,98	1,04	4,7	4,1	0,42	0,09
IPE 80	80,1	20,0	3,24	23,2	3,6	8,48	3,69	1,05	5,8	5,1	0,70	0,12
IPE A 100	141,2	28,8	4,01	33,0	4,4	13,11	4,77	1,22	7,5	5,6	0,77	0,28
IPE 100	171,0	34,2	4,07	39,4	5,1	15,91	5,78	1,24	9,1	6,7	1,20	0,35
IPE A 120	257,4	43,8	4,83	49,9	5,4	22,38	6,99	1,42	11,0	6,9	1,04	0,71
IPE 120	317,8	53,0	4,90	60,7	6,3	27,65	8,64	1,45	13,6	8,6	1,74	0,89
IPE A 140	434,9	63,3	5,70	71,6	6,2	36,41	9,98	1,65	15,5	8,6	1,36	1,58
IPE 140	541,2	77,3	5,74	88,3	7,6	44,90	12,30	1,65	19,2	10,6	2,45	1,98
IPE A 160	689,3	87,8	6,53	99,1	7,8	54,42	13,27	1,83	20,7	10,2	1,96	3,09
IPE 160	869,3	108,7	6,58	123,9	9,7	68,28	16,65	1,84	26,1	12,8	3,60	3,96
IPE A 180	1062,7	120,1	7,37	135,3	9,2	81,87	17,99	2,04	28,0	12,4	2,70	5,93
IPE 180	1317,0	146,3	7,42	166,4	11,3	100,81	22,16	2,05	34,6	15,3	4,79	7,43
IPE O 180	1505,2	165,4	7,45	189,1	12,7	117,23	25,48	2,08	39,9	17,5	6,76	8,74
IPE A 200	1591,5	161,6	8,23	181,7	11,5	117,18	23,44	2,23	36,5	14,7	4,11	10,53
IPE 200	1943,2	194,3	8,26	220,6	14,0	142,31	28,46	2,24	44,6	18,0	6,98	12,99
IPE O 200	2211,0	218,9	8,32	249,4	15,5	168,77	33,09	2,30	51,9	20,5	9,45	15,57
IPE A 220	2316,5	213,5	9,05	240,2	13,5	171,40	31,16	2,46	48,5	17,8	5,69	18,71
IPE 220	2771,8	252,0	9,11	285,4	15,9	204,81	37,24	2,48	58,1	21,3	9,07	22,67
IPE O 220	3134,1	282,3	9,16	321,1	17,7	239,71	42,80	2,53	66,9	24,1	12,27	26,79
IPE A 240	3290,5	277,7	9,94	311,6	16,3	240,19	40,03	2,69	62,4	21,0	8,35	31,26
IPE 240	3891,6	324,3	9,97	366,6	19,1	283,58	47,26	2,69	73,9	24,8	12,88	37,39
IPE O 240	4369,3	361,1	10,00	410,3	21,4	328,39	53,83	2,74	84,4	27,9	17,18	43,68
IPE A 270	4917,3	368,3	11,21	412,5	18,7	358,00	53,04	3,02	82,3	24,6	10,30	59,51
IPE 270	5789,8	428,9	11,23	484,0	22,1	419,77	62,19	3,02	97,0	29,0	15,94	70,58
IPE O 270	6947,1	507,1	11,36	574,6	25,2	513,27	75,48	3,09	117,7	34,9	24,90	87,64



[ON FILE B

TOITURE

Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observations

SUJET PLP2

Bâtiment de stockage

Ensemble

Echelle: 1/100

Dessiné par :

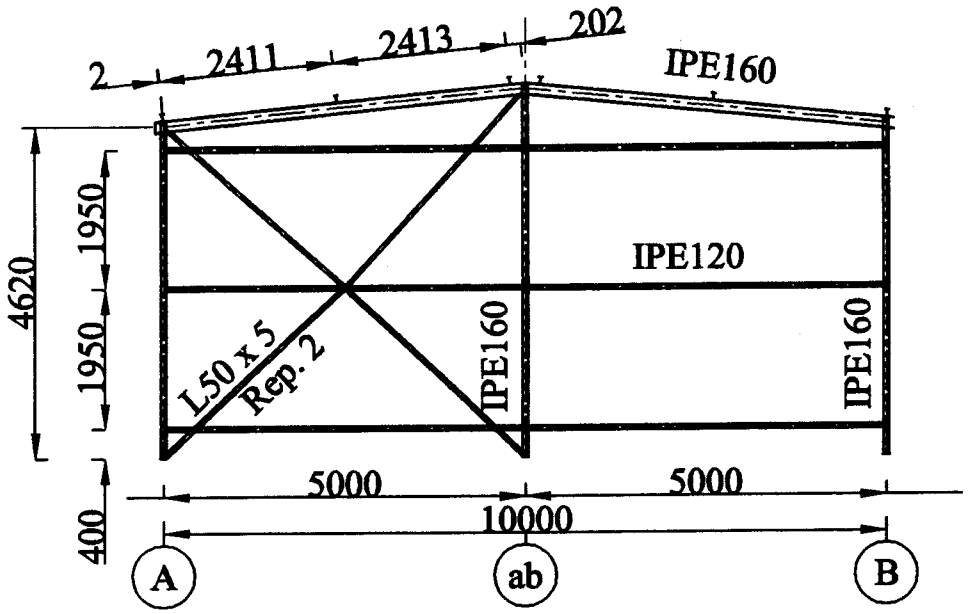
Date :

Plan Rep. B001

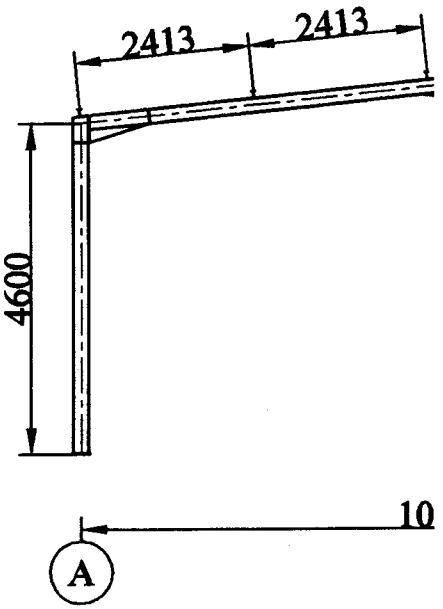
B

6 7 8

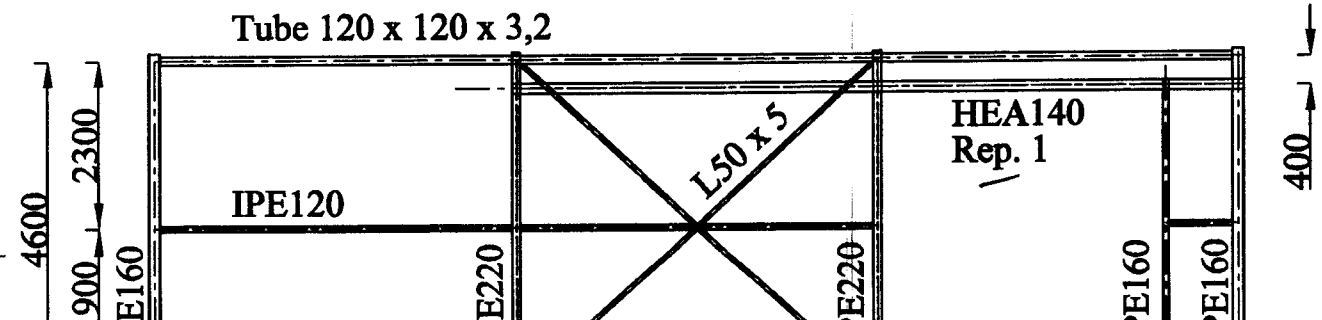
J. 0077-D

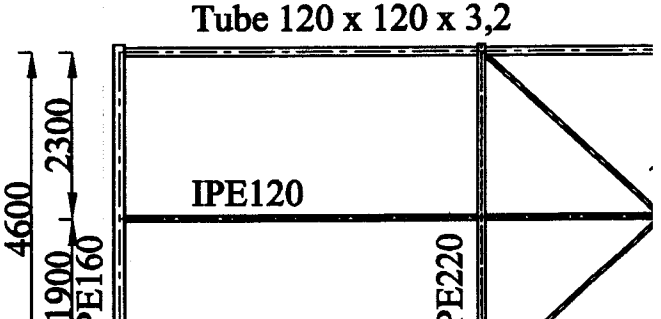


ELEVATION FILE 1



ELEVATION FI



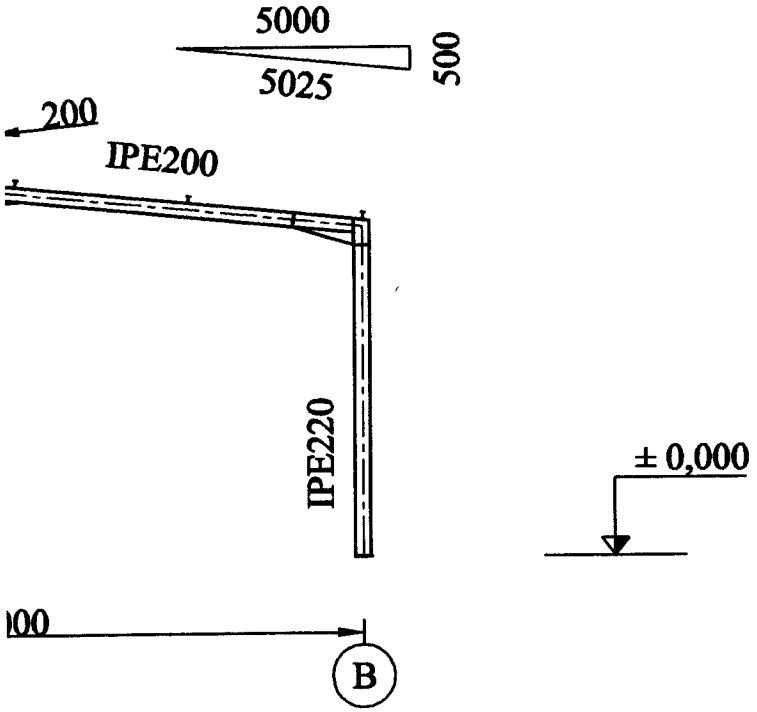


H G F E

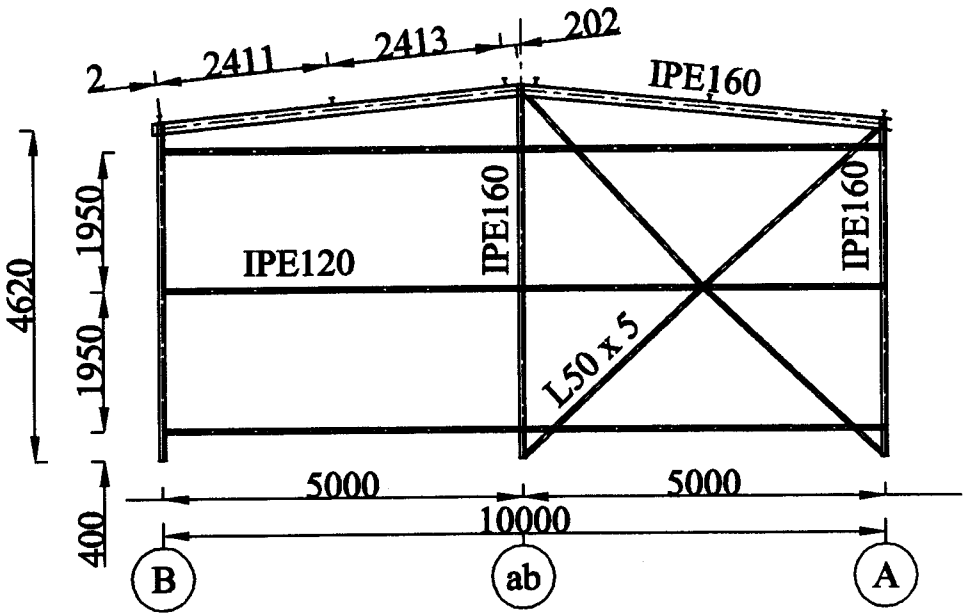
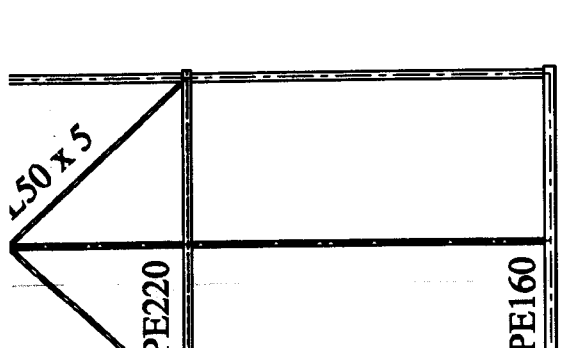
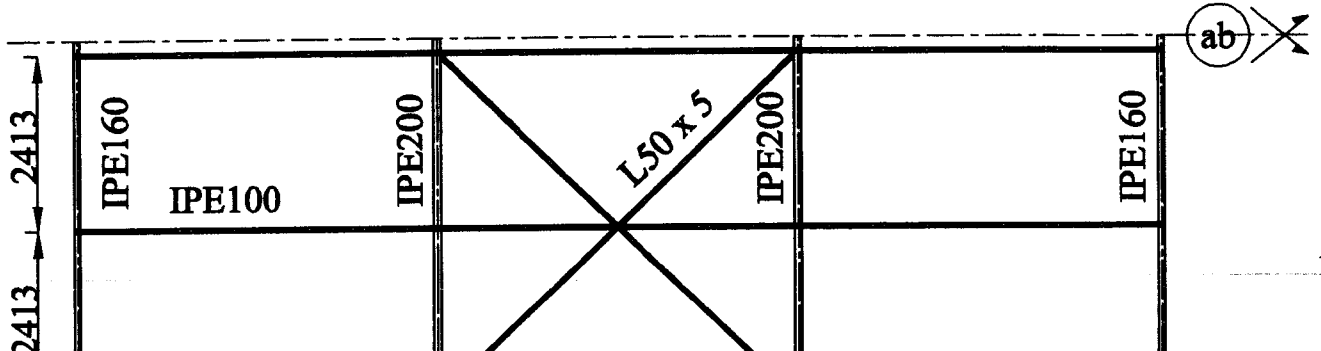
1 2 3

ELEVATION FILE A

ELEVAT



LE COURANTE



ELEVATION FILE 4