

C9.1 - APPAREIL CYLINDRIQUE HORIZONTAL REPOSANT SUR DEUX BERCEAUX-SUPPORTS

C9.1.1 - OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

Les règles du présent chapitre permettent de vérifier la résistance de l'enveloppe d'un appareil cylindrique de section droite circulaire, d'axe horizontal, reposant sur deux berceaux-soutiens, soumis aux actions simultanées de la pression intérieure et de la pesanteur (ou d'actions se traduisant par des effets analogues à ceux de la pesanteur - voir C9.1.2.3).

Elles s'appliquent aux appareils dont le rapport e/R_m est au moins égal à 0,003.

Elles concernent en particulier les régions d'enveloppe proches des supports mais pas les régions d'application de charges locales autres que celles transmises par les supports.

L'enveloppe cylindrique peut comporter, au droit des supports, des plaques-renforts soudées ou des anneaux raidisseurs rapportés.

Préalablement à l'application des présentes règles, il y a lieu de s'assurer, au moyen des règles des autres sections du Code, que les épaisseurs sont suffisantes pour assurer la résistance à la pression intérieure seule.

Les règles données en C9.1.4 résultent de l'étude des contraintes longitudinales engendrées dans l'enveloppe cylindrique par la flexion d'ensemble de l'appareil considéré comme une poutre sur deux appuis simples.

Les règles données en C9.1.5 résultent de l'étude des contraintes de cisaillement engendrées par la transmission des charges sur les supports.

Les règles données en C9.1.6 résultent de l'étude des contraintes circonférentielles engendrées dans l'enveloppe cylindrique et les éventuels anneaux raidisseurs de cette enveloppe par cette transmission des charges sur les supports.

Si l'appareil ne présente pas de plan de symétrie perpendiculaire à son axe, les règles sont à appliquer pour chacun des deux supports.

Les règles du présent chapitre couvrent les modes de défaillance par déformation excessive et par instabilité élastique.

Comme indiqué en C1.1.6.1, les règles sont à appliquer pour chaque situation susceptible d'être déterminante, en tenant compte, notamment, des situations où la pression intérieure est nulle et des divers états de remplissage de l'appareil.

C9.1.2 - CONDITIONS D'APPLICATION DES RÈGLES

C9.1.2.1 - Géométrie de l'appareil

L'appareil repose sur deux berceaux-soutiens intéressant l'enveloppe cylindrique sur un angle θ compris entre 120° et 180° inclus.

C9.1.2.2 - Défauts de circularité

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

C9.1.2.3 - Sollicitations

Les règles du présent chapitre prennent en compte :

- l'action de la pression intérieure,
- l'action de la pesanteur sur l'appareil lui-même, le fluide qu'il contient et les accessoires internes ou externes qu'il supporte (voir C1.4.1),
- plus généralement, les actions de toute nature qui se traduisent par des forces résultantes verticales s'exerçant dans le plan vertical contenant l'axe de l'appareil et par des moments de flexion d'axe perpendiculaire à ce plan.

Ne sont donc pas prises en compte, notamment, les actions se traduisant par des forces résultantes horizontales.

C9.1.2.4 - Plaques-renforts

La largeur b_1 d'une plaque-renfort soudée sur l'enveloppe cylindrique au droit d'un support doit être au moins égale à :

$$b + 1,56 \sqrt{R_m \cdot e}$$

sans toutefois excéder : $b + 2a$.

Une telle plaque-renfort doit intéresser l'enveloppe cylindrique sur un angle θ_1 au moins égal à : $\theta + 12^\circ$

La figure C9.1.6.1*b* illustre ces dispositions.

C9.1.2.5 - Anneaux raidisseurs

L'enveloppe cylindrique peut être munie d'un anneau raidisseur rapporté, intérieur ou extérieur, situé dans le plan d'un support (figures C9.1.6.2*a* et *b*) ou de deux anneaux raidisseurs rapportés, intérieurs ou extérieurs, situés de part et d'autre et à égales distances d'un support (figure C9.1.6.3).

L'écartement h de ces deux anneaux raidisseurs, mesuré comme l'indique la figure C9.1.6.3, ne doit pas être supérieur à R_m .

Si cet écartement h est inférieur ou égal à $1,56 \sqrt{R_m \cdot e}$, l'ensemble des deux anneaux raidisseurs doit être considéré comme un anneau raidisseur unique situé dans le plan du support ; la figure C9.1.6.2*c* illustre un tel cas.

C9.1.3 - NOTATIONS

- e = épaisseur admise de l'enveloppe cylindrique.
- e_r = épaisseur admise de la plaque-renfort soudée sur l'enveloppe cylindrique au droit d'un support (figure C9.1.6.1).
- e_f = épaisseur admise d'un fond bombé torisphérique ou elliptique.
- R_m = rayon moyen de l'enveloppe cylindrique.
- l = longueur d'enveloppe cylindrique mesurée à partir du plan transversal équidistant des deux supports, comme l'indique la figure C9.1.3.
- a = distance de l'axe d'un support à la naissance de la courbure d'un fond bombé ou à la face intérieure d'une plaque tubulaire (figure C9.1.3).
- b = largeur de la surface de contact de l'enveloppe et du support (figures C9.1.3 et C9.1.6.1).
- b_1 = largeur de la plaque-renfort soudée sur l'enveloppe cylindrique (figure C9.1.6.1).

x_1, x_2 = longueurs d'enveloppe cylindrique données par la formule :

$$x_i = 0,78 \sqrt{R_m \cdot e}$$

Si la longueur x_1 s'étend au-delà de la limite indiquée sur les figures C9.1.6.1, C9.1.6.2 et C9.1.6.3, prendre pour x_1 une longueur réduite ne dépassant pas cette limite.

- h = écartement de deux anneaux raidisseurs rapportés situés de part et d'autre d'un support (voir C9.1.2.5).
- θ = ouverture de l'arc d'enveloppe cylindrique supporté.
- θ_1 = ouverture de l'arc d'enveloppe cylindrique intéressé par une plaque-renfort soudée (figure C9.1.6.1*b*).
- R_i = rayon intérieur de la calotte sphérique d'un fond torisphérique.
- D_i = diamètre intérieur d'un fond elliptique.
- h_2 = flèche intérieure d'un fond elliptique (profondeur théorique de la partie bombée).
- A = section droite du ou des anneau(x) raidisseur(s) et des longueurs d'enveloppe cylindrique associées (section hachurée des figures C9.1.6.2 et C9.1.6.3).
- I = moment d'inertie de la section A par rapport à son axe neutre yy parallèle à l'axe de l'enveloppe cylindrique.
- c_1, c_2 = distances des fibres extrêmes de la section A à l'axe neutre yy .
- P = pression de calcul.
- Q = réaction d'appui d'un support.
 Q est toujours comptée positivement.
- M_1 = moment de flexion longitudinale au droit d'un support.
 M_1 est compté négativement lorsqu'il engendre une contrainte longitudinale de traction sur la génératrice supérieure de l'enveloppe cylindrique.
- M_2 = moment de flexion longitudinale maximal entre les supports.
 M_2 est compté positivement lorsqu'il engendre une contrainte longitudinale de traction sur la génératrice inférieure de l'enveloppe cylindrique.

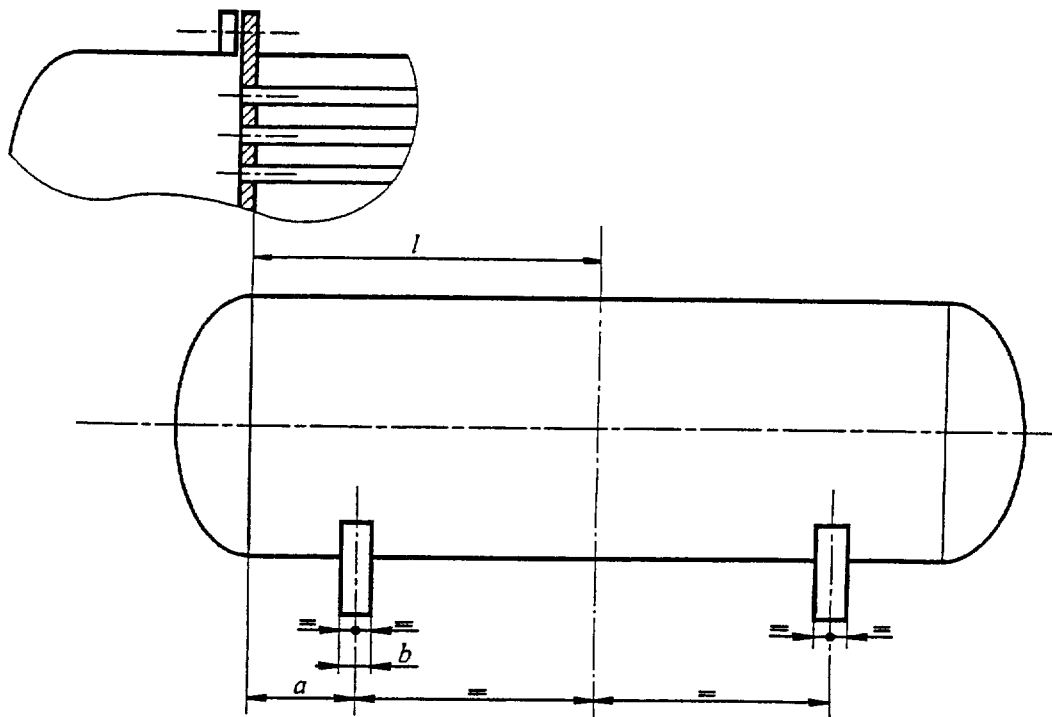


Figure C9.1.3

T = valeur maximale de l'effort tranchant au droit d'un support.

Les valeurs de Q , M_1 , M_2 et T doivent être déterminées par les méthodes habituelles de la statique en fonction de la répartition des charges correspondant à la situation étudiée, en considérant l'appareil comme une poutre horizontale sur deux appuis simples. L'Annexe C9.1.A1 donne les valeurs de ces paramètres pour le cas particulier d'un réservoir horizontal à deux fonds bombés entièrement rempli de liquide présentant un plan de symétrie perpendiculaire à son axe.

E = module d'élasticité, à la température de calcul, du matériau de l'enveloppe cylindrique.

f , f_f , f_r , f_a = contrainte nominale de calcul, pour la situation considérée, respectivement du matériau de l'enveloppe cylindrique, du fond, d'une plaque-renfort et d'un anneau raidisseur.

f_{cis} , $f_{cis,f}$ = contrainte nominale de calcul en cisaillement, pour la situation considérée, respectivement du matériau de l'enveloppe cylindrique et du fond :

f_{cis} ou $f_{cis,f} = 0,8 (f$ ou $f_f)$ pour l'acier,

f_{cis} ou $f_{cis,f} = 0,6 (f$ ou $f_f)$ pour les autres matériaux.

K = coefficient égal à :

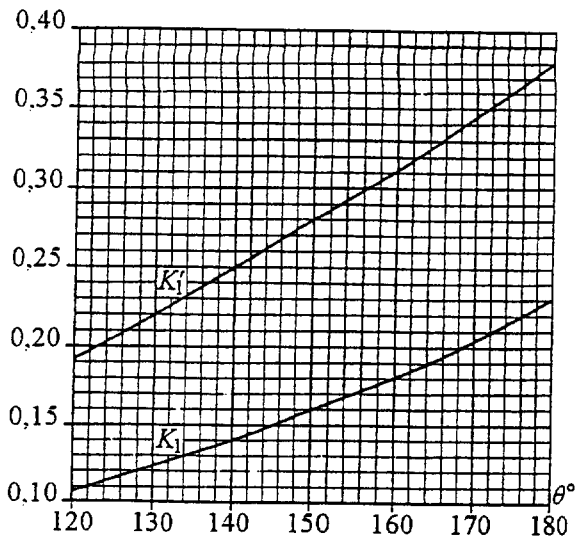
1 pour une situation normale de service.

1,35 pour une situation exceptionnelle de service ou d'essai de résistance.

k = coefficient égal à :

1 si l'appareil est posé sur le support,

0,1 si le support est soudé sur l'appareil.



Graphique C9.1.4.2 - Valeurs des coefficients K_1 et K_1' .

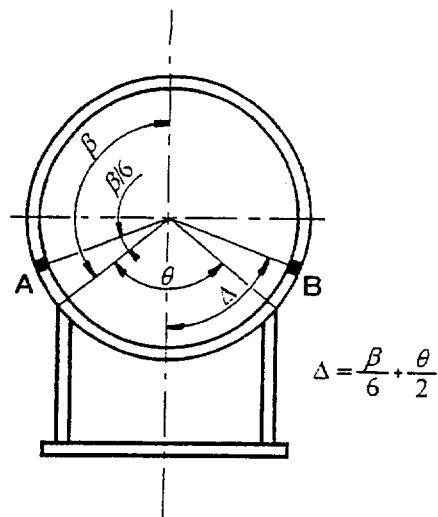


Figure C9.1.4.2

C9.1.4 - VÉRIFICATION DES CONTRAINTES LONGITUDINALES

C9.1.4.1 - Contraintes longitudinales dans l'enveloppe cylindrique entre les supports

Les valeurs maximales de ces contraintes sont données par les formules :

a) sur la génératrice supérieure de l'enveloppe :

$$\sigma_1 = \frac{P \cdot R_m}{2e} - \frac{M_2}{\pi R_m^2 \cdot e} \quad (\text{formule C9.1.4.1a})$$

b) sur la génératrice inférieure de l'enveloppe :

$$\sigma_2 = \frac{P \cdot R_m}{2e} + \frac{M_2}{\pi R_m^2 \cdot e} \quad (\text{formule C9.1.4.1b})$$

C9.1.4.2 - Contraintes longitudinales dans l'enveloppe cylindrique au droit d'un support

La valeur de ces contraintes dépend de la rigidité de l'enveloppe au droit du support.

L'enveloppe cylindrique peut être considérée comme convenablement raidie si elle comporte des anneaux raidisseurs au droit ou de part et d'autre du support, ou bien si le support est suffisamment proche d'un fond bombé torisphérique ou elliptique (un fond hémisphérique ne constitue jamais un élément raidisseur suffisant) ou d'une plaque tubulaire, c'est à dire si :

$$a \leq \frac{R_m}{2}$$

Les valeurs maximales des contraintes longitudinales dans l'enveloppe cylindrique au droit d'un support sont données par les formules :

a) enveloppe cylindrique convenablement raidie :

a1) sur la génératrice supérieure de l'enveloppe :

$$\sigma_3 = \frac{P \cdot R_m}{2e} - \frac{M_1}{\pi R_m^2 \cdot e} \quad (\text{formule C9.1.4.2a1})$$

a2) sur la génératrice inférieure de l'enveloppe :

$$\sigma_4 = \frac{P \cdot R_m}{2e} + \frac{M_1}{\pi R_m^2 \cdot e} \quad (\text{formule C9.1.4.2a2})$$

b) enveloppe cylindrique non raidie :

b1) aux points A et B de la figure C9.1.4.2 :

$$\sigma'_3 = \frac{P \cdot R_m}{2e} - \frac{M_1}{K_1 \pi R_m^2 \cdot e} \quad (\text{formule C9.1.4.2b1})$$

b2) sur la génératrice inférieure de l'enveloppe :

$$\sigma'_4 = \frac{P \cdot R_m}{2e} + \frac{M_1}{K_1' \pi R_m^2 \cdot e} \quad (\text{formule C9.1.4.2b2})$$

Les valeurs des coefficients K_1 et K_1' sont données par le graphique C9.1.4.2 ou par les formules de l'Annexe C9.1.A2.

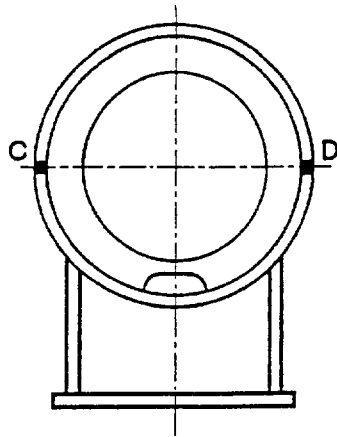


Figure C9.1.5.1

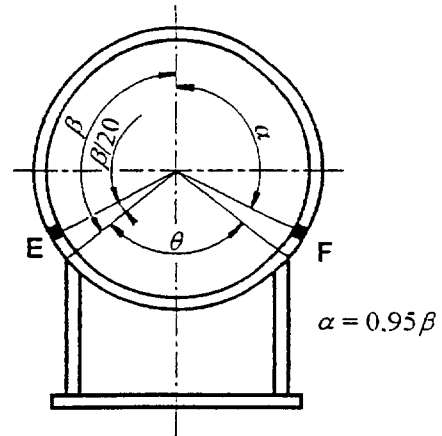


Figure C9.1.5.2

C9.1.4.3 - Valeur admissible des contraintes longitudinales dans l'enveloppe cylindrique

a) Les contraintes σ_1 , σ_2 , σ_3 , σ'_3 , σ_4 et σ'_4 ne doivent pas, en valeur absolue, excéder f .

b) Lorsque ces contraintes sont négatives, leur valeur absolue ne doit pas, en outre, excéder la valeur :

$$\sigma_{cr} = K \frac{e}{16 R_m} E$$

(formule C9.1.4.3)

C9.1.5 - VÉRIFICATION DES CONTRAINTES DE CISAILLEMENT

C9.1.5.1 - Contraintes de cisaillement dans une enveloppe cylindrique avec anneau raidisseur dans le plan du support

La contrainte de cisaillement dans l'enveloppe cylindrique est maximale aux points C et D de la figure C9.1.5.1. Cette valeur maximale est donnée par la formule :

$$\tau_1 = \frac{T}{\pi R_m \cdot e}$$

(formule C9.1.5.1)

C9.1.5.2 - Contraintes de cisaillement dans une enveloppe cylindrique avec anneaux raidisseurs de part et d'autre du support

La contrainte de cisaillement dans l'enveloppe cylindrique est maximale aux points E et F de la figure C9.1.5.2 ⁽¹⁾. Cette valeur maximale est donnée par la formule :

$$\tau_2 = K_2 \frac{T}{R_m \cdot e}$$

(formule C9.1.5.2)

La valeur du coefficient K_2 est donnée par le graphique C9.1.5 ou par la formule de l'Annexe C9.1A2.

C9.1.5.3 - Contraintes de cisaillement dans une enveloppe cylindrique sans anneau raidisseur, non raidie par un fond bombé ou une plaque tubulaire⁽²⁾

La contrainte de cisaillement dans l'enveloppe cylindrique est maximale aux points E et F de la figure C9.1.5.2 ⁽¹⁾.

Cette valeur maximale est la valeur τ_2 donnée par la formule C9.1.5.2.

⁽¹⁾ La position de ces points a été déterminée expérimentalement.

⁽²⁾ Les enveloppes concernées sont celles des appareils avec fonds torisphériques ou elliptiques ou avec plaques tubulaires tels que $a > R_m/2$, ou celles des appareils avec fonds hémisphériques.