

CALCUL DE VIROLE CYLINDRIQUE

CONTRAINTE EFFECTIVE DANS UNE ENVELOPPE CYLINDRIQUE

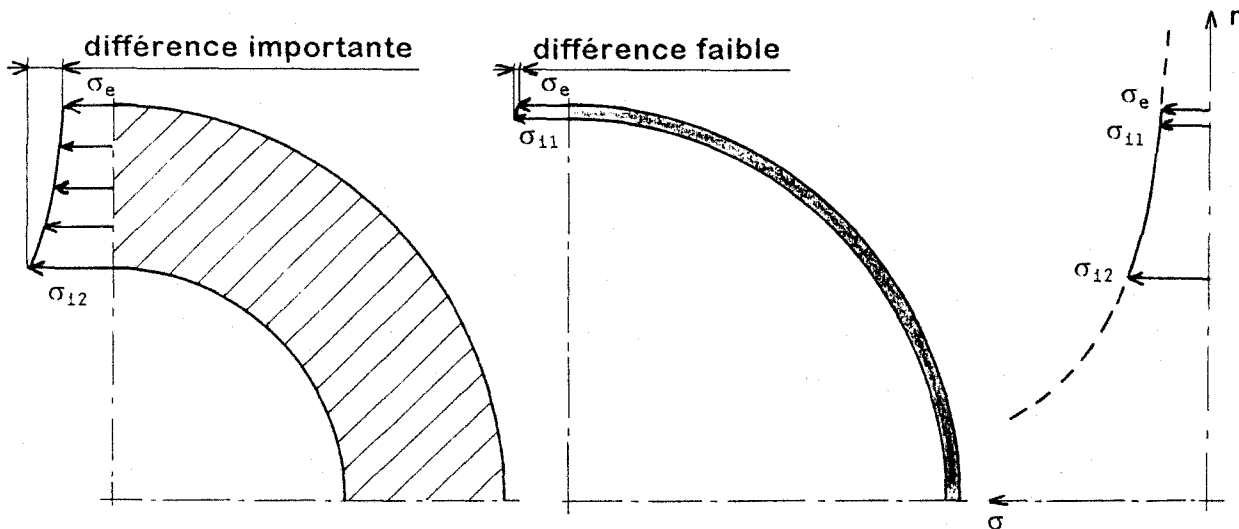
Dans le paragraphe C2.1.1 du CODAP, il est précisé que les règles énoncées dans la section C2 s'appliquent pour un rapport épaisseur sur diamètre extérieur inférieur à 0,16. Pourquoi cette limite ?

L'expression de la contrainte transversale (par rapport à l'axe) dans une enveloppe cylindrique, quelle qu'en soit l'épaisseur, est donnée par les formules de Lamé :

$$\sigma = P \cdot \frac{D_i^2}{D_e^2 - D_i^2} \left(1 + \frac{D_e^2}{4r^2} \right)$$

σ : contrainte sur un rayon r de l'enveloppe cylindrique de diamètre intérieur D_i , de diamètre extérieur D_e , soumise à une pression intérieure P .

La contrainte n'est donc pas uniforme dans l'épaisseur de paroi : si on trace la courbe représentant l'allure des contraintes en fonction de r , la fonction est de la forme $y = a + b/r^2$



Ces schémas montrent que plus l'épaisseur est faible par rapport au rayon (donc aussi au diamètre), plus la variation de la contrainte est faible au sein même de l'épaisseur de la virole.

En posant $D_e = k \cdot D_i$, on obtient :

□ contrainte sur la paroi interne de l'enveloppe :

$$\sigma_i = P \cdot \frac{k^2 + 1}{k^2 - 1}$$

□ contrainte sur la paroi externe de l'enveloppe :

$$\sigma_e = P \cdot \frac{2}{k^2 - 1}$$

On peut donc calculer le rapport $R = \sigma_e / \sigma_i = 2 / (k^2 + 1)$. On pourra ainsi comparer σ_e à σ_i : $\sigma_e = R \cdot \sigma_i$, et quantifier l'approximation décrite dans le paragraphe suivant (voir comparaison p. 109).

CONTRAINTES TRANSVERSALES DANS UNE ENVELOPPE MINCE

Approximation : contrainte appliquée sur une génératrice

On considère que si l'épaisseur est faible par rapport au rayon de la virole, la variation de la contrainte est faible sur l'épaisseur de la paroi de virole. On fait donc l'approximation de considérer la contrainte comme constante dans l'épaisseur, et, dans un premier temps de confondre les diamètres extérieur et intérieur avec le diamètre moyen.

L'équilibre d'un tronçon de demi-virole de longueur l s'écrit :

□ sur l'axe x :

$$P \cdot R \cdot l - P \cdot R \cdot l = 0$$

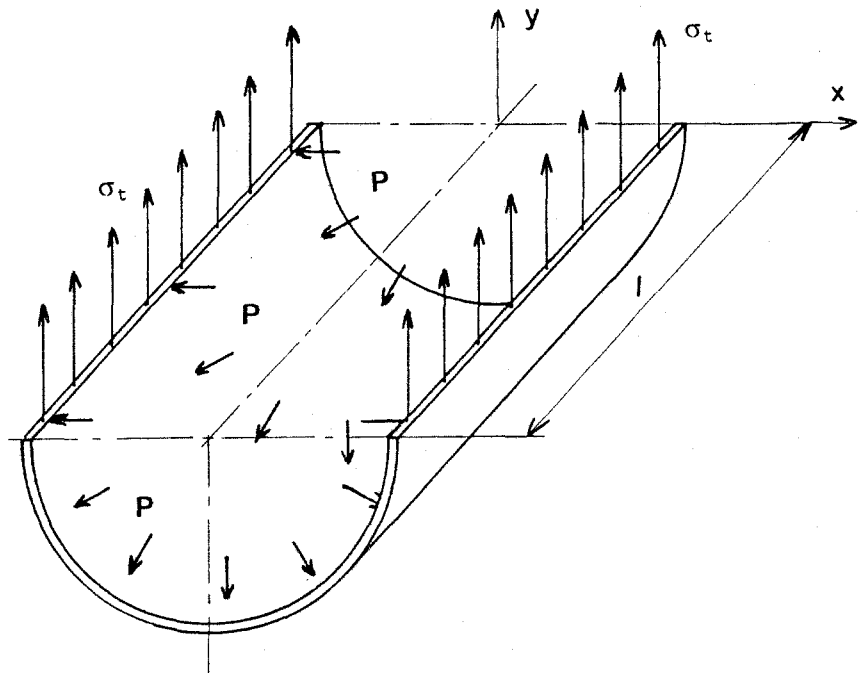
□ sur l'axe y :

$$\sigma_t \cdot 2e \cdot l - P \cdot D_m \cdot l = 0$$

$$\text{donc : } \sigma_t = \frac{P \cdot D_m}{2 \cdot e}$$

La contrainte réelle devant rester inférieure à la contrainte admissible, désignée par f dans le CODAP on en déduit l'expression de l'épaisseur minimale :

$$e = \frac{P \cdot D_m}{2 \cdot f}$$



Si on prend en compte le coefficient de soudure z : il est inférieur ou au plus égal à 1, et vient donc minorer f , ou majorer e :

$$e = \frac{P \cdot D_m}{2 \cdot f \cdot z} \quad (\text{formule C2.1.4.2b page C2/2 du CODAP})$$

Si le diamètre intérieur est fonctionnel, on remplace D_m par $(D_i + e)$; il vient :

$$e = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot f \cdot z - P} \quad (\text{formule C2.1.4.2a du CODAP})$$

Si le diamètre extérieur est fonctionnel, on remplace D_m par $(D_e - e)$; il vient :

$$e = \frac{P \cdot D_e}{2 \cdot f \cdot z + P} \quad (\text{formule C2.1.4.2c du CODAP})$$

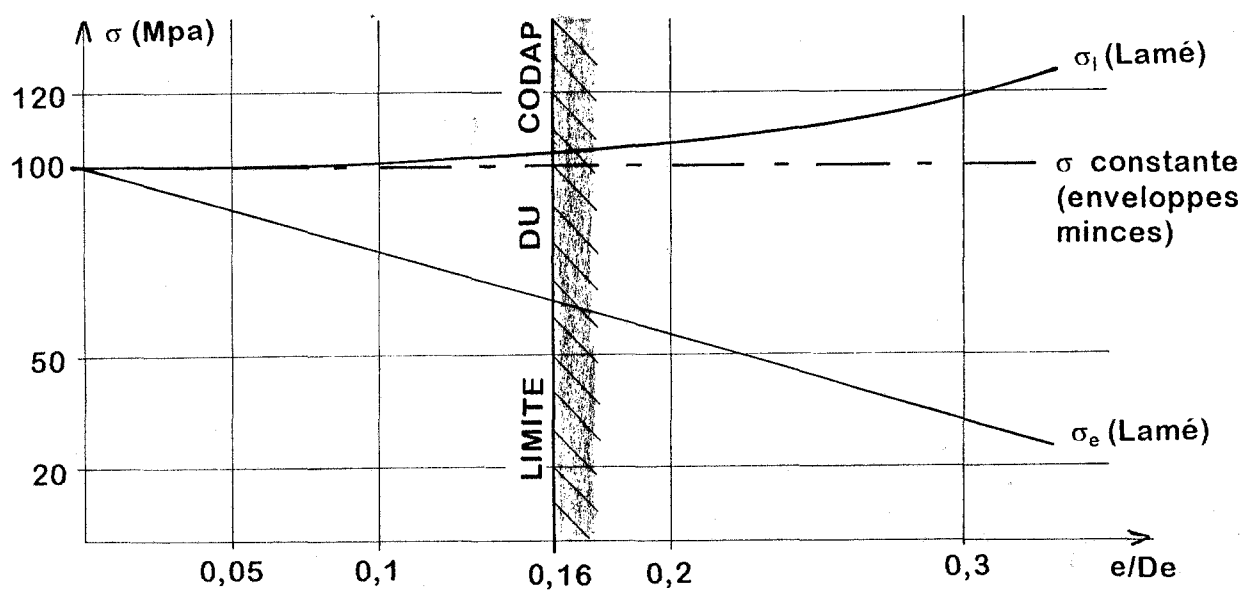
COMPARAISON LAMÉ – ENVELOPPES MINCES

Nous allons comparer les contraintes extérieures et intérieures calculées par les formules de Lamé. Ce calcul est effectué en déterminant l'épaisseur par l'approximation des enveloppes minces :

- ☐ diamètre moyen de virole : 1 m ;
- ☐ contrainte admissible : 100 Mpa (correspondant à la contrainte transversale constante des enveloppes minces) ;
- ☐ coefficient de soudure : 1 ;
- ☐ pressions choisies pour faire varier l'épaisseur.

Le tableau ci-dessous et le graphique montrent les résultats obtenus : divergence des contraintes réelles (Lamé) avec l'augmentation d'épaisseur. On voit que la limite imposée par le CODAP permet de rester avec une erreur raisonnable, tout en permettant un calcul simple. Il est à noter que les très fortes épaisseurs ont été prises pour illustrer le propos, mais ne correspondent pas à des réalisations de viroles dont l'épaisseur est obtenue à partir d'une seule tôle. Dans les très fortes épaisseurs, on utilise la technologie des multi-couches ou des frettes, qui sont hors CODAP.

P (MPa)	1	10	20	25	38	50	70	100
e (mm)	5	50	100	125	190	250	350	500
De (mm)	1005	1050	1100	1125	1190	1250	1350	1500
e/De	0,005	0,047	0,091	0,111	0,16	0,2	0,26	0,333
Di (mm)	995	950	900	875	810	750	650	500
σ_i	100,002	100,25	101	101,6	103,6	106,25	112,25	125
σ_e	99,0	90,25	81	76,56	65,6	56,25	42,25	25
σ_e/σ_i	0,990	0,900	0,801	0,753	0,633	0,529	0,376	0,2



CONTRAINTE LONGITUDINALE DANS UNE ENVELOPPE MINCE

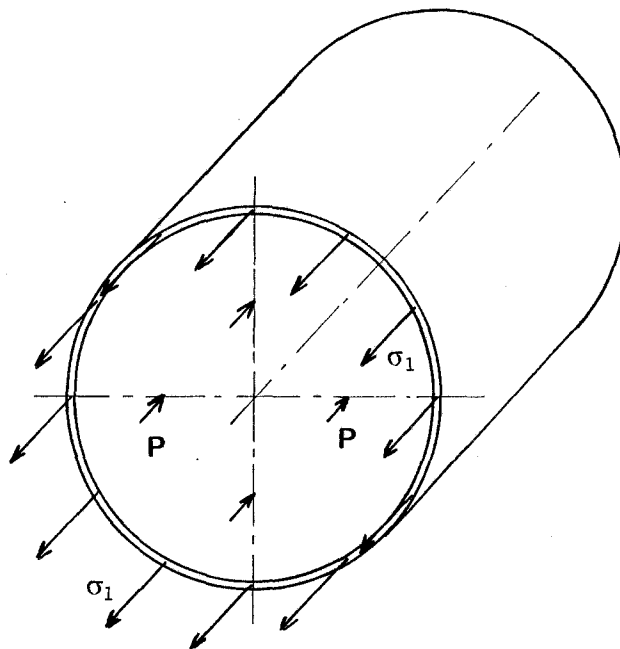
Contrainte appliquée sur une circonférence

Si on écrit l'équilibre d'un tronçon de virole coupé transversalement, on obtient :

$$\sigma_l \cdot \pi \cdot D_m \cdot e - P \cdot (\pi \cdot D_m^2)/4$$

D'où on tire la contrainte :

$$\sigma_l = \frac{P \cdot D_m}{4 \cdot e}$$



CONSÉQUENCES TECHNOLOGIQUES

Les résultats ci-dessus montrent que la contrainte transversale est le double de la contrainte longitudinale. Ceci est vrai en pleine tôle comme dans les soudures, et explique donc que les exigences soient plus draconiennes pour les soudures longitudinales (supportant la contrainte transversale), que pour les soudures circulaires (supportant la contrainte longitudinale).

Pour les assemblages non-circulaires (longitudinaux : page FA1/3), on exige l'alignement des fibres moyennes des tôles, avec, en cas de différence d'épaisseur, une pente de délardage inférieure à 1/4.

Pour les assemblages circulaires (transversaux : page FA1/4), il est autorisé de décaler les fibres moyennes ; la pente de délardage peut aller jusqu'à 1/3 ; on autorise les assemblages par emboîtement (page FA1/5). Toutes ces dispositions génèrent des concentrations de contraintes plus fortes, mais la contrainte de départ étant moitiée, l'ensemble est satisfaisant.

Pour ce qui concerne les coupons témoins d'assemblages soudés (voir page I/4) :

- ☐ d'une part, ils ne sont exigés qu'en catégorie A pour les joints circulaires ;
- ☐ d'autre part, un coupon témoin qualifie une longueur de soudure double en circulaire de ce qu'elle est en non circulaire (tableau I.9.2 page I/4).

PAGE VIERGE