

LES FONDS : POURQUOI CALCULER 3 ÉPAISSEURS ?

RAPPELS GÉNÉRAUX

Les appareils chaudronnés les plus simples à réaliser sont constitués d'une virole cylindrique et de deux fonds (il est à noter que les proportions diamètre-longueur sont définies par la norme NF E 86-021).

Hormis les fonds plats qui résistent très mal aux pressions, même faibles, les fonds normalisés sont définis par leur méridienne. On en trouve 3 familles : les fonds dits en anse de panier (ou encore torisphériques), les fonds à méridienne elliptique, et les fonds hémisphériques.

Pourquoi avoir tant de formes de fonds ? Les fonds sont obtenus à partir de tôles planes embouties. Le fond hémisphérique est celui résistant le mieux à la pression, mais nécessite un embouti profond ; à l'inverse, les fonds en anse de panier dits «à petit rayon de carre» (la carre est la zone torique du fond raccordant la partie sphérique à la manchette cylindrique), ou «PRC» ont un embouti peu profond, mais résistent mal à la pression. On doit donc faire un compromis entre une faible profondeur d'embouti qui réduira le coût de fabrication du fond, et un embouti profond qui coûtera plus cher, mais sera plus mince pour résister à la même pression. Classés par ordre croissant de profondeur d'embouti, les fonds normalisés ont les formes suivantes : PRC, MRC, GRC, elliptique, hémisphérique.

Pour les appareils à pression de gaz, on n'utilise que les trois derniers types : les normes NF E 81- 101 et 104 précisent : «pour offrir des garanties satisfaisantes de sécurité dans la fabrication d'appareils à pression, ces fonds devraient avoir une épaisseur qui les rendrait plus coûteux que les GRC ou les elliptiques. Par conséquent, en règle générale, ils ne sont pas utilisés dans la fabrication d'appareils à pression». Les GRC sont les plus courants, les elliptiques étant utilisés pour les pressions plus élevées, les hémisphériques seulement pour les très fortes pressions ou lorsque l'on veut économiser de la matière (poids ou coût intrinsèque).

Comparaison de la profondeur des différents fonds

La profondeur est donnée à l'intérieur du fond entre la ligne de tangence (matérialisée par un trait mixte fin sur les plans, et repérée LT), et le pôle intérieur du fond.

Pour un diamètre correspondant à celui du séparateur d'huile, soit 750 mm, on a une profondeur de :

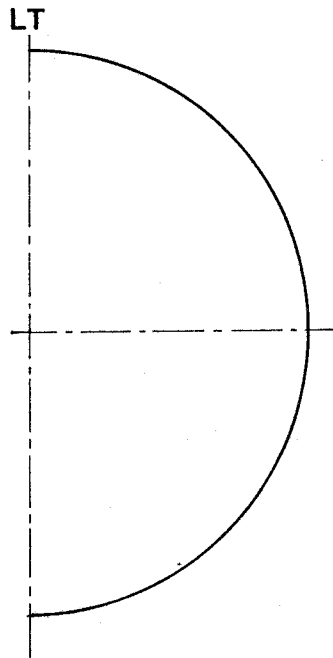
hémisphérique	: 375 mm
elliptique (NF E 81-103)	: 161 à 195 mm
GRC (NF E 81-102)	: 134 à 144 mm
MRC (NF E 81-104)	: non normalisé pour ce diamètre
PRC (NF E 81-101)	: 108 à 110 mm

La page suivante donne la comparaison entre les méridiennes, les profondeurs et l'épaisseur à diamètre et pression égales.

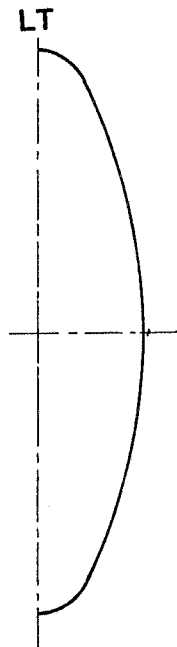
MÉRIDIENNES DE FONDS Ø 750 mm

Pour une même pression

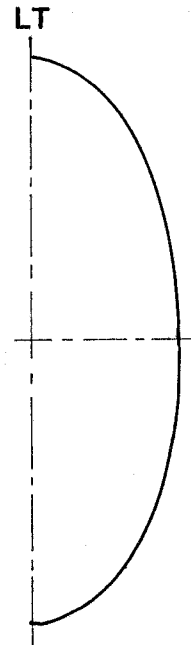
Hémisphérique :
profondeur 375 mm
épaisseur 3,8 mm



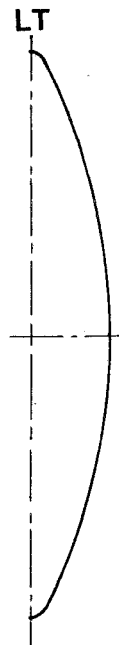
GRC
profondeur 134 à 144 mm
épaisseur 12,4 mm



Elliptique :
profondeur 161 à 195 mm
épaisseur 8 mm



PRC
profondeur 108 à 110 mm
non utilisable sous pression



LES FONDS HÉMISPHERIQUES

On peut facilement en déterminer l'épaisseur par un raisonnement identique à celui utilisé pour les viroles cylindriques minces.

L'épaisseur théorique est :

$$e = \frac{P \cdot D}{4 \cdot f} = \frac{P \cdot R}{2 \cdot f}$$

Les assemblages fond-virole recommandés par le code figurent page FA1/9.

CALCUL D'UN FOND GRC

Le tracé de l'anse de panier montre qu'un tel fond comporte 2 zones : l'une centrale qui est une calotte sphérique, l'autre périphérique qui est une portion de tore. En fait, le fond est toujours réalisé avec une manchette cylindrique, mais celle-ci se comporte comme une virole (chapitre précédent).

On peut donc admettre que le calcul du fond nécessite de déterminer l'épaisseur de chacune de ces 2 zones (dans les fonds de grand diamètre réalisés en plusieurs parties, il arrive que la calotte ne soit pas réalisée de la même épaisseur que la carre : voir figure et paragraphe C3.1.5.2 page C3/5). De plus, l'expérience montre qu'il faut aussi vérifier la zone de raccordement tore-sphère.

On va donc successivement calculer l'épaisseur de ces trois zones. Si le fond est en une seule partie, on prendra la plus forte des trois épaisseurs trouvées (relation C3.1.5.1 page C3/5).

Calotte sphérique : (formule C3.1.5.1a page C3/5) On retrouve l'expression du paragraphe précédent, calculée à partir du rayon intérieur.

Raccordement tore-sphère : la valeur de l'épaisseur est donnée par le graphique C3.1.5 page C3/6.

Carre : on va déterminer l'épaisseur de la carre par rapport au risque de flambage : lorsque le fond est mis sous pression, il a tendance naturellement à prendre la forme d'une calotte sphérique (voir photos page suivante) : les fibres de la zone centrale du fond sont allongées (donc tendues), mais celles de la carre sont raccourcies (donc comprimées). Compte-tenu de la longueur circonférencielle par rapport à l'épaisseur, le risque de flambage existe bel et bien. Si on fait un essai, on voit apparaître successivement des plis de flambage dans la carre (voir photos page suivante). Il est à noter que ce problème est apparu fortuitement lors d'un essai hydraulique, aux Etats Unis en 1956.

La valeur de l'épaisseur est donnée par la formule C3.1.5.1c page C3/5.

LES FONDS ELLIPTIQUES

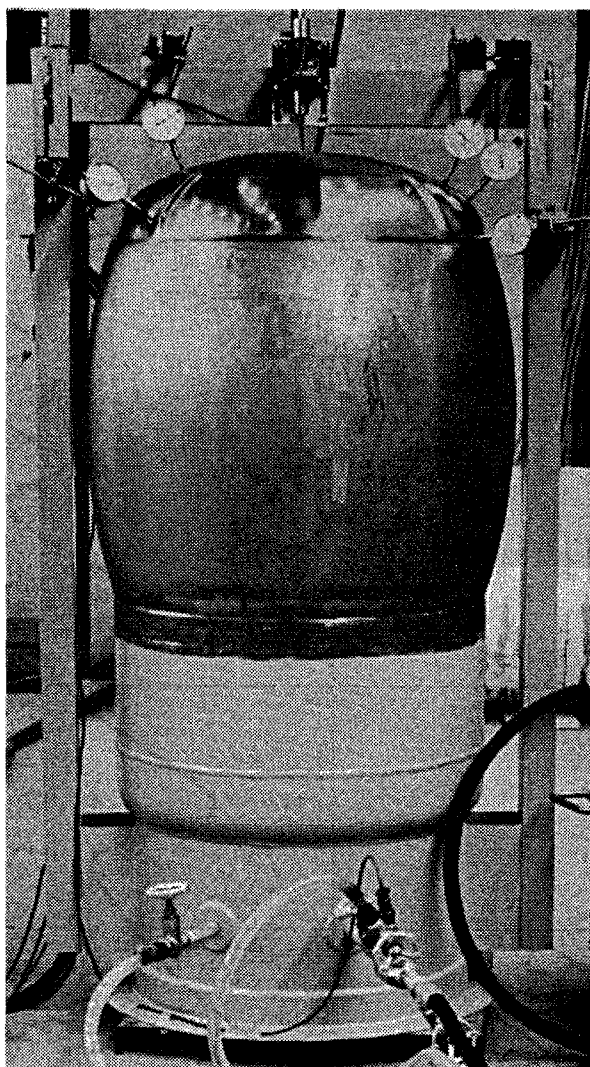
Lorsqu'un fond est embouti avec une méridienne de ce type, on n'a plus de calotte sphérique ni de carre. On a néanmoins gardé la même méthode de calcul, avec des rayons approchés : les formules changent donc, mais le principe demeure : voir C3.1.4.

La remarque en bas de la page C3/3 du CODAP montre que si le fond elliptique est profond ($D_i/2 \cdot h_2 < 1,732$ au lieu de 1,9 dans les fonds normalisés), le risque de flambage n'existe plus.

Les assemblages fond-virole recommandés par le code figurent page FA1/8. S'agissant d'assemblages circulaires, l'emboîtement et le délardage jusqu'à une pente de 1/3 sont autorisés (voir page 111).

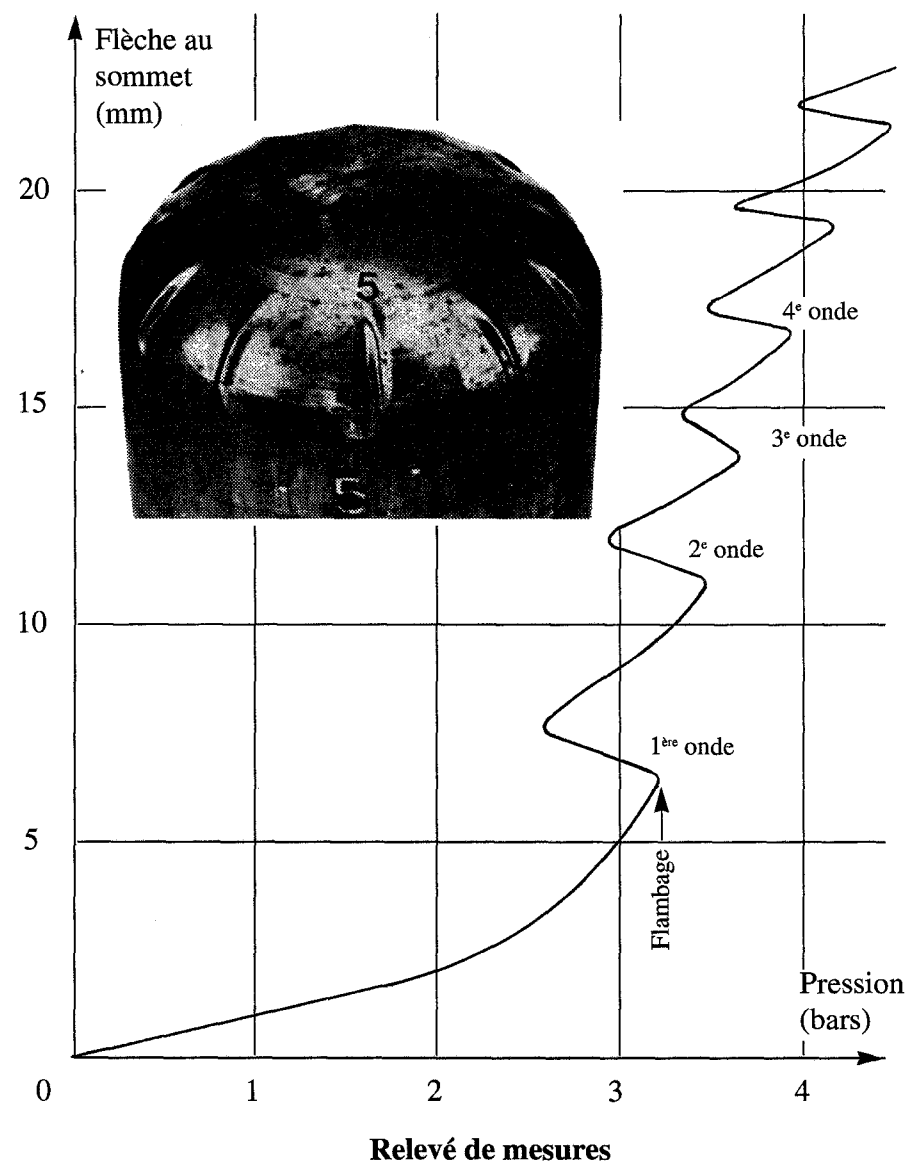
Des fonds intermédiaires (3.2 page FA1/10) peuvent être utilisés pour compartimenter un appareil. Dans ce cas, il faut s'assurer que l'appareil ne peut pas se retrouver dans une situation où son intrados est sans pression et son extrados sous pression : il faudrait alors vérifier le fond en pression extérieure (chapitre C4 du CODAP, non repris dans le CODAP didactique).

Au niveau des solutions d'assemblage, la discontinuité produite par l'emboîtement n'est pas autorisée en catégorie exceptionnelle (page FA1/11).



Dispositif expérimental

Document M. ALIX et R. ROCHE (CEN Saclay)
Congrès AFIAP 1980



PAGE VIERGE