

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE, DU COMMERCE ET DE L'ARTISANAT

DIRECTION DES MINES

PARIS, le 1 AOUT 1977

SERVICE DES TECHNIQUES
INDUSTRIELLES

DM-T n°

0 15 0 27

*Circulaire relative à l'application de la réglementation
des appareils à pression de gaz aux appareils à forte
épaisseur de paroi non frettés.*

*Le ministre de l'industrie, du commerce et de
l'artisanat*

à

*Messieurs les chefs des services
interdépartementaux de l'industrie et des mines*

Les prescriptions générales de la réglementation des appareils à pression de gaz relatives au taux de travail admissible, telles qu'elles figurent à l'article 4 (§ 3) de l'arrêté du 23 juillet 1943 modifié, sont énoncées sous la même forme quelle que soit l'épaisseur de paroi de l'appareil et sont applicables, sauf dérogation, quelle que soit la résistance du métal utilisé.

S'agissant du calcul du taux de travail des appareils à paroi épaisse, cette nécessaire généralité n'est pas exempte d'équivoque. Elle n'échappe pas non plus à la critique pour ce qui est du choix des coefficients de sécurité lorsque, comme il est quasi obligatoire en la circonstance, le rapport de la limite d'élasticité à la résistance à la traction atteint, pour le métal utilisé, des valeurs relativement élevées.

Les réacteurs à haute pression de l'industrie chimique constituent un exemple d'appareils à propos desquels peuvent souvent être exprimées des considérations de cette nature.

La présente circulaire a pour objet d'apporter aux dispositions réglementaires les précisions et adaptations qui s'imposent et de compléter celles-ci, mais seulement pour certains appareils à paroi massive, par les aménagements que l'expérience acquise fait actuellement apparaître comme acceptables. Elle ne traite, toutefois, que des appareils à paroi massive non frettés et des appareils dont la paroi est constituée de plusieurs couches concentriques de caractéristiques identiques dont le frettage l'une par l'autre est modéré.

1 - Calcul du taux de travail admissible pour les appareils à paroi épaisse.

Il n'est traité ici en détail que du cas des appareils cylindriques de section droite circulaire soumis à un chargement axisymétrique, mais certaines des considérations générales développées ci-après sont également valables pour d'autres appareils ou d'autres types de chargement.



1.1 - Notations

r_e, r_i, r_m : rayons respectivement extérieur, intérieur et moyen
 e : épaisseur
 R_m : résistance à la traction à la température de calcul
 R_e : limite d'élasticité à la température de calcul
 n : valeur du coefficient d'écrouissage au voisinage de l'instabilité plastique

$C = 2 \times 3^{\frac{n+1}{2}}$ coefficient de Walmsley.

1.2 - Rappel de la réglementation

Les dispositions réglementaires limitent le taux de travail du métal, sous une pression égale à la pression de calcul, à la plus faible des deux valeurs suivantes :

Un tiers de la résistance à la traction du métal à la température ordinaire ;

Cinq huitièmes de la limite d'élasticité à 0,2 p.100 du métal à la température maximale en service.

Ces prescriptions contribuent respectivement à limiter les risques d'instabilité plastique et de déformation excessive de l'appareil dans les conditions de service les plus défavorables.

1.3 - Déformation excessive des appareils à paroi massive

En ce qui concerne la sécurité par rapport à la déformation excessive, on peut imposer de façon équivalente, mais plus explicite, qu'aucune grosse déformation plastique d'ensemble n'apparaisse dans la paroi d'une enceinte soumise à la pression de calcul et aux autres chargements imposés, multipliés par le coefficient de sécurité retenu.

Il n'y a pas lieu de tenir compte des contraintes résiduelles dans le calcul, même si l'appareil est autofretté, et l'effet Bauschinger peut ne pas y être pris en considération.

Dans le cas d'un corps cylindrique ou d'un corps torique de grand rayon*, à paroi massive, seulement soumis à l'action d'une pression intérieure, cela revient à accepter que la totalité de l'épaisseur de la paroi soit juste plastifiée. La valeur correspondante P_e de la pression intérieure peut être calculée par la formule suivante :

$$P_e = R_e \log \frac{r_e}{r_i}$$

En outre, il est permis de considérer dans ce cas que l'existence de contraintes thermiques dues à un gradient de température axisymétrique dans l'épaisseur de la paroi de l'enceinte ne modifie pas la valeur ainsi calculée.

* Pour l'application des paragraphes 1.3 et 1.4 de la présente circulaire, on peut considérer qu'une enceinte torique répond à cette condition lorsque le rayon moyen du tore est au moins égal à sept fois la valeur maximale du diamètre extérieur de l'enceinte.

La condition liée à l'absence de déformation excessive doit, bien entendu, être respectée à la température la plus défavorable, qui est, dans le cas général*, la température maximale en service portée dans l'état descriptif de l'appareil en application de l'article 12 (§ 1er) de l'arrêté.

Lorsque la température n'est pas constante dans l'épaisseur de la paroi, on admettra qu'il suffit de faire le calcul pour ses valeurs extrêmes et de retenir pour valeur de la pression P_e la moyenne des deux résultats ainsi obtenus. Il est naturellement toujours possible de ne retenir, pour simplifier, que la valeur correspondant à la température maximale, c'est-à-dire celle de la surface la plus chaude de la paroi.

1.4 - Instabilité plastique des appareils à paroi massive

Pour ce qui est de la sécurité par rapport à l'instabilité plastique et pour les appareils seulement soumis à l'action d'une pression intérieure, on peut admettre que les prescriptions réglementaires sont respectées si la pression d'instabilité plastique est, dans les conditions les plus défavorables, au moins égale à la pression régnant dans l'enceinte multipliée par le coefficient de sécurité retenu.

Pour les enceintes cylindriques ou toriques de grand rayon sans accidents de forme majeurs, la pression d'instabilité plastique P_m sera calculée à l'aide des résultats numériques obtenus par Guénot à partir de la théorie de Svensson. Ces résultats peuvent être représentés par l'une ou l'autre des formules suivantes :

$$P_m = K_1 CR_m \text{ Log } \frac{r_e}{r_i}$$

$$P_m = K_2 CR_m \frac{e}{r_m}$$

Le coefficient K_1 décroît à partir de 1 lorsque les paramètres n et $\frac{r_e}{r_i}$ s'écartent de leurs valeurs minimales, respectivement 0 et 1. Lorsque n n'excède pas 0,20 et que $\frac{r_e}{r_i}$ n'excède pas 2,1, on commet une erreur par défaut, donc dans le sens de la sécurité, en donnant au coefficient K_1 la valeur de 0,985.

Le coefficient K_2 est, en revanche, supérieur à l'unité de sorte qu'en lui donnant la valeur 1 on commet également une erreur par défaut. Cette erreur n'excède pas, non plus, quelques pour cent dans la plupart des cas.

Même lorsqu'on substitue aux valeurs exactes des coefficients K_1 et K_2 des valeurs approchées constantes, la détermination de la pression d'instabilité plastique nécessite la connaissance des propriétés d'érouissage du métal (coefficient n) à la température retenue. En effet, compte tenu de l'influence de n sur le coefficient de Walmsley, l'approximation du métal parfaitement plastique ($n = 0$) ne va pas dans le sens de la sécurité et ne peut donc être acceptée.

Il est normal que, comme pour la déformation excessive, la sécurité par rapport à l'instabilité plastique soit évaluée à la température la plus défavorable.

* Il peut en être autrement lorsque les conditions d'emploi de l'appareil sont telles que la pression et la température ne peuvent atteindre simultanément leurs valeurs maximales.

De même, pour prendre en compte un éventuel gradient thermique dans l'épaisseur de la paroi, on peut procéder comme il est indiqué plus haut à propos du calcul de la pression de déformation excessive.

1.5 - Appareils dits "multicouches"

Les considérations qui sont développées aux points 1.3 et 1.4 ci-dessus pour les appareils à paroi massive et les règles de calcul qui s'y rapportent peuvent être appliquées, sous réserve des deux conditions ci-après, aux appareils dits "multicouches", dont la paroi est constituée dans sa plus grande partie de deux ou plusieurs couches concentriques jointives constituées d'un même métal dont les propriétés restent les mêmes de l'une à l'autre :

- 1° Le frettage des différentes couches l'une par l'autre doit être modéré
- 2° La température du fluide contenu ne doit pas être susceptible de diminuer à une vitesse telle que le contact entre deux couches quelconques puisse disparaître.

Il appartient au constructeur d'un appareil de ce type de montrer que ces deux conditions sont respectées.

1.6 - Caractéristiques du métal à prendre en compte

Les valeurs de limite d'élasticité et de résistance à la traction à prendre en compte dans les calculs sont, bien entendu, les valeurs minimales garanties par le producteur, déterminées conformément aux normes françaises en vigueur. Pour la limite d'élasticité et la résistance à la traction, on se reportera respectivement aux normes A 03-351 et A 03-354 en dépit du fait, pour cette dernière, qu'elle ne s'applique, en principe, qu'aux aciers inoxydables austénitiques.

Quant au coefficient d'érouissage, on pourra se contenter de retenir pour le calcul une valeur expérimentale, déterminée une fois pour toutes, à partir d'une coulée d'acier de même spécification que la coulée employée.

L'allongement après rupture à considérer pour l'application de l'article 4 (§ 2) de l'arrêté du 23 juillet 1943 peut également être celui que possède le métal avant autofrettage.

Dans le cas des appareils autofrettés, l'ensemble de ces déterminations doit être effectué sur des échantillons prélevés avant autofrettage.

L'allongement après rupture à considérer pour l'application de l'article 4 (§ 2) de l'arrêté du 23 juillet 1943 peut également être celui que possède le métal avant autofrettage.

2 - Dérogation à la limitation réglementaire du taux de travail.

Nonobstant les dispositions de l'article 4 (§ 3) précité, le taux de travail admissible peut, pour les parties d'appareils de conformation simple et de haute qualité, n'être limité que par la plus sévère des deux conditions suivantes :

- 1) Dans les conditions les plus défavorables de pression et de température, la pression d'instabilité plastique doit être au moins égale à deux fois et demie la pression de calcul de l'appareil ;
- 2) Dans les conditions les plus défavorables de pression et de température, la déformation excessive ne doit apparaître qu'à une pression au moins égale à la pression de calcul de l'appareil multipliée par 1,8.

Il faut entendre ici par simples des parties d'appareils constituées pour l'essentiel d'enceintes cylindriques, ne portant que des accidents de forme d'importance limitée, notamment pour ce qui est des dispositifs d'assemblage et de fermeture. Des parties toriques peuvent toutefois être admises lorsque le rayon moyen de cintrage n'est pas inférieur à sept fois la valeur maximale du diamètre extérieur de l'enceinte.

Sur le plan de la qualité, il y a lieu d'exiger que ces parties d'appareils ne soient constituées que d'enceintes tubulaires forgées et, le cas échéant, cintrées, sous réserve du respect de la limite fixée ci-dessus. L'emploi du soudage n'est pas autorisé et un traitement thermique approprié doit succéder à toute opération de cintrage.

Les aciers utilisés doivent être élaborés au four électrique. Cette élaboration doit se faire sous vide, faute de quoi le métal doit être soumis à l'action du vide au cours de l'affinage ou de la coulée.

Les produits mis en oeuvre doivent, enfin, être entièrement contrôlés par ultrasons et leurs surfaces externe et, sauf impossibilité technique, interne doivent faire l'objet d'un examen par magnétoscopie ou ressuage.

Je vous demande de bien vouloir faire connaître ces nouvelles dispositions aux constructeurs des appareils auxquels elles vous paraissent susceptibles d'être appliquées et de me saisir, sous le présent timbre, des difficultés auxquelles cette application pourrait donner lieu, afin que les règles posées dans la présente circulaire puissent être, en tant que de besoin, précisées ou aménagées.

Pour le Ministre et par délégation
Le Directeur des mines

F. de WISSOCQ