

UNIVERSITE DE LIEGE  
COURS DE CONSTRUCTION DU GENIE CIVIL  
N° 84.

# Les grosses conduites de distribution d'eau en sidéro-ciment

par

F. CAMPUS

Professeur ordinaire à l'Université de Liège.  
Directeur des Laboratoires d'Essais des Constructions du Génie Civil  
et d'hydraulique fluviale.

## I. — Introduction

Les conduites en sidéro-ciment sont constituées d'une paroi cylindrique relativement épaisse en béton armé renfermant une enveloppe étanche en tôle. Cette combinaison est très favorable pour les grosses conduites, par une exploitation judicieuse des propriétés des matériaux constitutifs. L'enveloppe de tôle assure l'étanchéité, qui est la propriété primordiale de toute conduite. L'adjonction d'armatures spirales extérieures à l'enveloppe de tôle permet d'adapter strictement la quantité d'acier à la mesure nécessaire pour résister à la pression interne, qui peut atteindre les valeurs les plus élevées dans l'ordre de grandeur des pressions des distributions d'eau. L'épaisseur totale réalisée par l'emploi du béton confère une grande rigidité à la conduite et une résistance considérable aux effets de flexion transversale (ovalisation) et de flexion longitudinale. Les quantités d'acier nécessaires pour résister à la pression interne, convenablement réparties dans l'épaisseur de la paroi cylindrique en béton, réalisent un pourcentage d'armature nettement supérieur à la valeur normale pour le béton armé courant. En conséquence, les effets des sollicitations de flexion transversale sont très réduits.

Ce sont cependant ces effets qui entraînent la division de l'armature totale en deux parties. L'une située vers la surface d'intrados et qui comprend la tôle étanche, assure la résistance aux moments de flexion suivant le diamètre vertical. L'autre, située vers l'extrados, assure la résistance au moment de flexion suivant le diamètre horizontal. Les deux résistent ensemble à la pression hydraulique.

Des essais effectués par les soins de mes laboratoires ont mis en évidence les propriétés précitées.

Un tuyau de 1 m. de diamètre intérieur a été soumis à un essai de pression hydraulique interne. Des fissures appréciables (de l'ordre de grandeur d'un dixième de mm) sont apparues sous la pression de 31,4 Kg/cm<sup>2</sup> et la rupture s'est produite sous la pression de 56,6 Kg/cm<sup>2</sup>. Les tensions calculées dans l'acier pour ces pressions, en négligeant toute inter-

vention du béton, correspondent à la limite apparente d'élasticité et à la tension de rupture.

Un essai d'écrasement diamétral a été effectué sur un tronçon d'un tuyau de même nature que celui qui a été soumis à l'épreuve hydraulique. L'écrase-

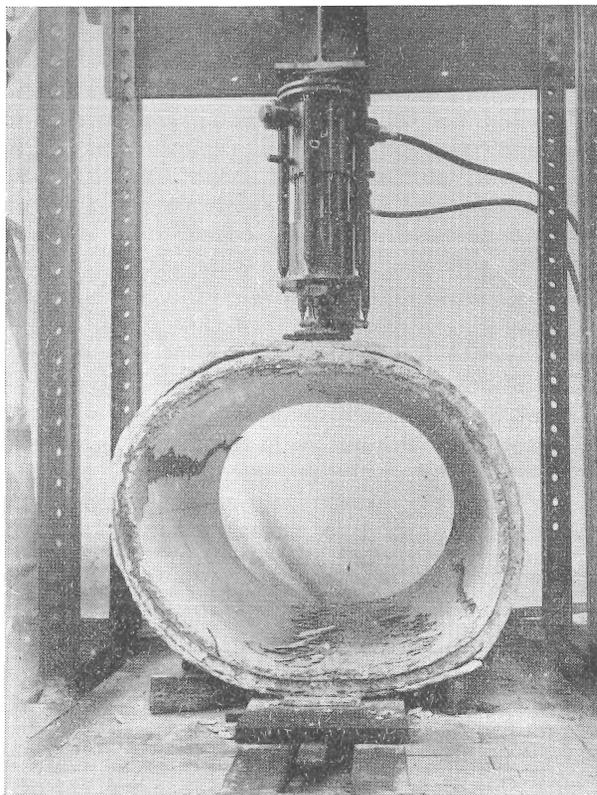


Fig. 1.

ment a été arrêté lorsque, après une déformation considérable, la charge a cessé de croître. Sa valeur maximum a atteint 26 tonnes pour un tronçon de 1,73 m de longueur, soit 15 tonnes par mètre. La résistance a été épuisée par flambage de l'enveloppe extérieure de béton aux extrémités du diamètre suivant lequel agissait la charge d'écrasement. La figure 1 montre l'aspect du tube après l'essai. Dans cet état, la conti-

Si  $d' = d$ ,  $\theta' = 0$ , on retrouve  $M = \frac{\pi d^3}{32} \sigma_e$

La valeur maximum de  $M$  correspond à

$$d' = 0, \theta' = \frac{\pi}{2} \text{ et vaut } \frac{\sigma_e d^3}{6}$$

La valeur de  $\sigma_r$  sera déduite de l'égalité

$$\frac{\pi d^3}{32} (\sigma_e + \sigma_r) = \frac{\sigma_e d^3}{2} \left[ \frac{\sin^3 \theta'}{3} - \frac{d}{d'} \left( \frac{\theta'}{8} - \frac{\pi}{16} + \frac{\sin \theta' \cos \theta'}{8} - \frac{\sin \theta' \cos^3 \theta'}{4} \right) \right]$$

d'où

$$\sigma_r = \frac{16}{\pi} \sigma_e \left[ \frac{\sin^3 \theta'}{3} - \frac{d}{d'} \left( \frac{\theta'}{8} - \frac{\pi}{16} + \frac{\sin \theta' \cos \theta'}{8} - \frac{\sin \theta' \cos^3 \theta'}{4} \right) - \frac{\pi}{16} \right]$$

Si, par exemple

$$\delta_r = 0,01 \quad (d = 10 \text{ mm}, r = 500 \text{ mm}),$$

$$\frac{d'}{d} = \frac{\delta_e}{\delta_r} = 0,12 \quad \left( \delta_e = \frac{24}{20.000} = 0,0012 \right)$$

$$\cos \theta' = 0,12, \theta' = 83^{\circ}6 = 1,45 \text{ radian},$$

$$\sin \theta' = 0,9928$$

On trouve  $\sigma_r = 0,667 \sigma_e$

La limite maximum de  $\sigma_r$  pour  $d' = 0$  est donnée

$$\text{par } \sigma_r = \sigma_e \left( \frac{16}{3\pi} - 1 \right) = \sim 0,70 \sigma_e$$

Les tensions résiduelles sont plus fortes dans les armatures spirales que dans les tôles par suite de la forme circulaire de la section transversale comme rai-

son générale, et par suite du fait que le rapport  $\frac{d}{2r}$

est généralement plus grand que  $\frac{e}{2r}$ .

Pour le calcul des tensions résiduelles, il n'est évidemment pas question de substituer au diamètre de l'armature spirale l'épaisseur de la tôle fictive équivalente.

Les tôles et les armatures cintrées d'acier doux, mises en œuvres, sont effectivement affectées de ces tensions résiduelles assez élevées, qui créent un état neutre ou initial très différent de l'état initial non contraint hypothétique de la théorie de l'élasticité ou de la résistance des matériaux.

Les tensions nées des sollicitations par les forces extérieures se superposent à ces tensions résiduelles de telle sorte que, par leur combinaison et en raison

de la ductilité de l'acier, la limite apparente d'élasticité  $\sigma_e$  ne soit jamais dépassée en aucun point. Lors de la décharge, un état de tensions résiduelles s'établit, identique au précédent ou différent selon que les sollicitations nouvelles ont été inférieures ou supérieures à celles qui ont produit le cintrage. Cet état de tensions résiduelles est invariable pour un nombre indéfini de répétitions statiques de la même surcharge, le système étant devenu parfaitement élastique entre des limites de charges extérieures invariables. Il y a une surcharge particulièrement intéressante, celle qui réalise dans toute l'étendue de l'acier une tension uniforme égale à  $\sigma_e$ . Cette sollicitation efface toutes les tensions résiduelles et la décharge complète ramène l'acier à un état initial non contraint parfait, à partir duquel les calculs des § II, III et IV sont strictement valables.

Cet état idéal serait réalisé par exemple en soumettant toutes les conduites à la pression interne  $p_e$  pour laquelle on atteint la tension  $\sigma = \sigma_e$  uniformément dans toute l'armature. On peut la déterminer expérimentalement par l'observation des fissures. Mais cette opération est évidemment inutile et même contre-indiquée, puisqu'elle fissurerait le béton sans nécessité.

Le raisonnement montre simplement que les tensions résiduelles ne doivent pas être prises en considération dans le calcul de la pression de fissuration et dans le calcul de la pression de rupture, parce qu'elles sont effacées dès que la limite élastique est uniformément atteinte sous l'effet de la pression et que, par conséquent les sécurités réelles à la fissuration et à la rupture ne sont pas affectées par les tensions résiduelles. C'est ce que l'expérience confirme, justifiant pour ces cas de sollicitation très simples et bien connus des conduites en sidéro-ciment les acquisitions les plus valables de la théorie de la plasticité. Ces considérations sont aussi en accord avec les principes pertinents de la conception probabiliste de la sécurité et permettent dans ce cas aussi une très nette appréciation de la sécurité réelle, c'est-à-dire une suffisante appréciation d'une très faible probabilité de ruine.

Mais, ce qui est essentiel, c'est que ces considérations permettent d'énoncer les précautions nécessaires pour assurer cette sécurité, à savoir une ductilité suffisante de la tôle et des armatures. Il faut que le palier d'étrépage de ces aciers soit supérieur à  $\delta_r$ . Ceci

conduit à fixer une limite supérieure à  $\frac{e}{r}$  ou  $\frac{d}{r}$ ,

rapport de l'épaisseur de la tôle ou du diamètre de l'armature au rayon de cintrage. Ce rapport ne doit pas dépasser sensiblement 0,02. On préférera donc les tôles assez minces et les armatures assez fines, en spires plutôt serrées, ce qui est favorable à l'adhérence et à la durabilité. Notamment, les fissures seront plus réparties et, par conséquent plus fines et moins à craindre. Leur cicatrisation par des cristaux de chaux hydratée et de calcite sera plus rapide et plus assurée.

D'autre part, on exigera des aciers mis en œuvre un palier d'étirage assez allongé, par exemple d'environ 0,02 au moins de longueur, c'est-à-dire allant de 0,0012 à 0,022 au moins. Cette condition sera facile à réaliser pour les tôles et armatures douces généralement mises en œuvre.

Cette condition présente l'avantage d'assurer automatiquement la sécurité de la conduite par des essais de réception faciles à effectuer en nombre suffisant sur des éprouvettes prélevées sur les tôles et les armatures, de telle sorte que l'on aura facilement et sans grandes dépenses une garantie statistique satisfaisante. Les essais à outrance jusqu'à fissuration et à rupture

des conduites, qui sont encombrants et coûteux, pourront être peu nombreux.

Quant à l'épreuve à la pression fictive équivalente, elle constitue une garantie potentielle à laquelle il me paraît superflu de recourir systématiquement en cas de fabrication soignée et contrôlée, attendu que la conduite en sidéro-ciment a montré, par une longue expérience, qu'elle ne présente pas d'aléa notoires et fréquents. Cette épreuve est d'autre part sans effets appréciables sur les tensions résiduelles et ne peut pas suffire à les annuler, ce qui exigerait que l'on admette que le coefficient de sécurité à la fissuration soit voisin de l'unité.

