

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

TD

Compétences visées: B2-19, C1-07, C2-10

v1.3

Lycée Jean Zay - 21 rue Jean Zay - 63300 Thiers - Académie de Clermont-Ferrand

Enveloppes minces BOUTEILLES DE PLONGÉE

1 Compléments : les enveloppes minces

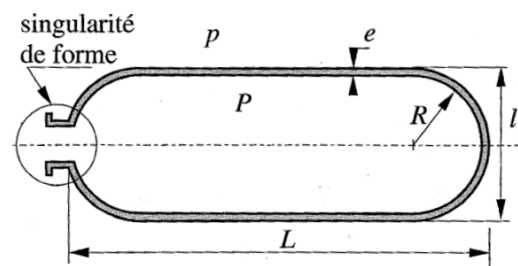
1.1 Définition et hypothèses

On regroupe sous le nom d'enveloppes minces les coques, les réservoirs ou tubes de formes diverses tels que leur épaisseur e soit très petite devant leur dimension longitudinale ou transversale.

Ces enveloppes sont sollicitées par une différence de pression ($P - p$) entre le milieu interne et le milieu externe.

Le calcul de résistance que nous nous proposons d'effectuer n'est valable que dans des zones éloignées des singularités de forme.

Le rayon R de raccordement des parois doit être du même ordre de grandeur que les dimensions du réservoir $R > \frac{l}{4}$.



1.2 Exemple : bouteille de plongée

La bouteille de plongée est le réservoir qui renferme un gaz d'air comprimé.

Les bouteilles peuvent également contenir d'autres mélanges respiratoires (Nitrox, Hélaïr, Hydrox, Trimix, HélioX, Hydroliox... etc).

Les bouteilles d'utilisation courante sont :

- en acier (35 Cr Mo 4) : les plus répandus et plus sensibles à la corrosion que celles en aluminium ;
- en alliage d'aluminium (6351 - magnésium, silicium) : plus légères, durée de vie plus courte ;
- en fibres de carbone sur âme métallique : réalisations encore peu répandues.

Les bouteilles de plongée utilisées couramment, appelées « bloc » dans le langage des plongeurs, contiennent de 6, 8, 9, 10, 12, 15 à 18 litres en volume intérieur en eau.

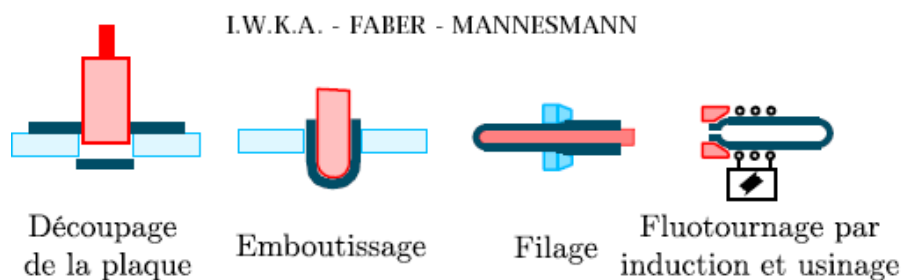


On peut aussi trouver des bouteilles selon les années de fabrication ayant une pression de service de 150, 177, 200, 232 ou 300 bars pour le carbone pour une capacité intérieure de 6 à 18 litres en eau.

1.3 Fabrication

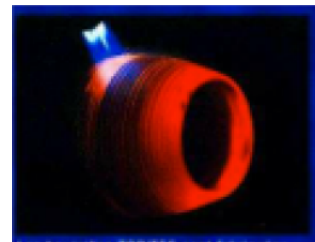
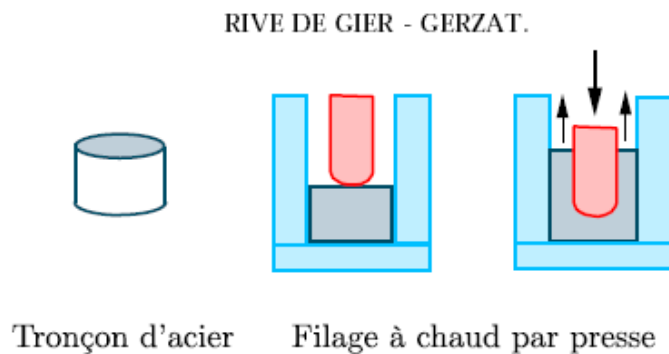
Il existe deux technologies : emboutissage sur plaques ou fluotournage sur tube acier ou alliage d'aluminium. Les principaux fabricants sont : *Iwk*, *Roth* (France), *Faber*, *Mannesmann* (Allemagne).

1.3.1 A partir de plaques d'acier



Après inspection des plaques en acier, elles sont ensuite découpées puis embouties et filées (procédé dit IWKA).

1.3.2 A partir de tronçons d'acier



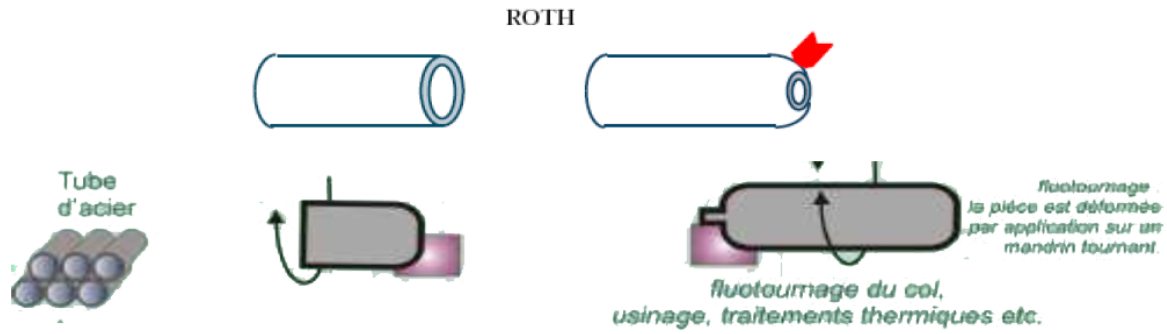
Fluotournage de l'ogive ou du col et finition. L'ogive est réalisée soit par fluotournage soit par forgeage et repoussage avec une molette avant usinage.

Le tronçon d'acier est chauffé puis filé à chaud par une presse.

1.3.3 A partir de tubes d'acier

Les tubes, sans soudure, sont coupés à la bonne longueur avant d'être chauffés par induction puis mis en forme par fluotournage (ce procédé est dit ROTH du nom de la société qui l'a mis au point). Les blocs subissent ensuite un traitement thermique afin d'assurer une plus grande résistance du métal.

De par le procédé de mise au point, ces bouteilles ont un culot un peu plus épais, ce qui augmente leur poids de 1 à 2 kg par rapport aux autres types de bouteilles.



Objectif

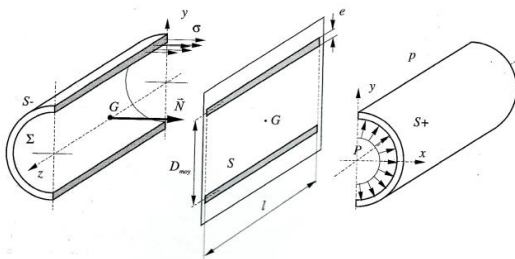
On souhaite déterminer l'épaisseur suffisante des parois de la bouteille pour garantir une bonne tenue à la pression.

2 Travail demandé

Question 1 A quelle(s) sollicitation(s) est soumise la bouteille de plongée ?

On supposera dans la suite du sujet que $e \ll D$.

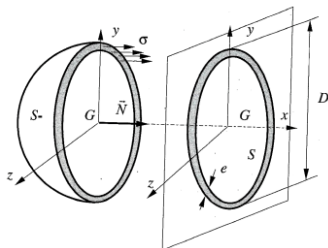
2.1 Contrainte transversale dans un tube sous pression



Soit la partie cylindrique d'une bouteille de plongée de longueur l , le diamètre moyen D_{moy} et d'épaisseur e .

Question 2 Calculer la contrainte σ_1 en fonction des valeurs géométriques et de la différence de pression.

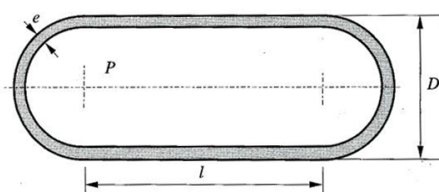
2.2 Contrainte dans un réservoir sphérique



Soit la partie sphérique de la bouteille de plongée de diamètre D et d'épaisseur e .

Question 3 Calculer la contrainte σ_2 en fonction des valeurs géométriques et de la différence de pression.

2.3 Contrainte dans un plan diamétral incluant les bouts sphériques



Soit une bouteille de plongée de diamètre D , d'épaisseur e et de longueur l .

Question 4 Calculer la contrainte σ_2 en fonction des valeurs géométriques et de la différence de pression.

2.4 Bilan

Question 5 Comparer les trois valeurs de contrainte. Donner la relation permettant de calculer l'épaisseur de la bouteille.

2.5 Remarque

Le calcul des réservoirs pressurisés est soumis à une réglementation européenne qui n'apparaît pas dans les calculs précédents.

Le CODAP (Code Français de Construction des Appareils à Pression non soumis à la flamme) donne une relation plus affinée qui tient compte des paramètres liés aux techniques de fabrication et aux contraintes de service.

L'épaisseur minimum nécessaire d'une enveloppe cylindrique (virole) d'épaisseur uniforme est donnée par la formule :

$$e = \frac{PD_e}{2fz + P}$$

Avec :

- P : pression intérieure,
- D_e : diamètre extérieur,
- f : contrainte nominale de calcul,
- z : coefficient de soudure (0,7 à 1).