

## *Etude de la résistance au flambement de bouteilles d'eau gazeuse*

### 1 Introduction

#### 1.1 Présentation et objectifs

Le « packaging » joue un rôle très important dans l'industrie alimentaire. Outre ses fonctions liées à la préservation des aliments, un emballage alimentaire possède également des fonctions esthétiques et mécaniques. C'est aux fonctions mécaniques que nous nous intéresserons ici. Dans le contexte écologique actuel, il est demandé aux industries de réduire au maximum leur empreinte carbone. Dans le domaine du packaging alimentaire, cette contrainte implique une réduction du poids des emballages. Cette réduction doit cependant tenir compte des fonctions structurales des contenants (pots de yaourt, bouteilles d'eau, etc.). Une bouteille « en plastique » est en effet un emballage destiné à contenir, protéger et transporter des liquides. Ainsi, la résistance au flambement lors de l'entreposage (Figure 1) et du transport est une caractéristique importante dont le fabricant doit tenir compte. L'étude de la forme optimale des bouteilles en fonction des chargements auxquels elles sont soumises demeure un problème d'actualité. Chaque nouveau design est susceptible de constituer un chantier pharaonique, puisqu'il concerne une production de plusieurs milliards d'objets par an !

Dans ce projet, nous étudierons donc la résistance au flambement de bouteilles d'eau gazeuse que nous considérerons pour les besoins de l'exercice comme des structures cylindriques à paroi mince.



(a) Bouteilles d'eau

(b) Pots de yaourt

Figure 1 : Exemples d'entreposage d'emballages alimentaires

#### 1.2 Matériel et Documents

Le groupe disposera d'un ensemble de bouteilles qui permettra :

- d'extraire des éprouvettes de traction pour caractériser les propriétés élastiques
- de réaliser les essais de compression sur bouteilles entières ou uniquement sur leur partie cylindrique.

Le flambement étant lié à une instabilité, il sera important de réaliser un nombre suffisant d'essais ( $\geq 3$ ) pour obtenir des résultats statistiquement représentatifs.

## 2 Programme de travail

### 2.1 Analyse bibliographique

*Q1.1 : Réaliser une étude bibliographique sur le type de polymère utilisé pour fabriquer des bouteilles d'eau gazeuses ainsi que leur procédé de mise en forme. En déduire les conséquences en termes de comportement, de structure d'une section de bouteille, d'homogénéité de l'épaisseur dans les différentes sections des bouteilles.*

*Q1.2 : Flambement de coques minces : étudier les différentes formules proposées permettant d'établir l'effort critique de flambement de coques cylindriques [1, 2, 3].*

### 2.2 Caractérisation des propriétés matériaux

Les bouteilles d'eau sont en fait des matériaux multicouches - constitués d'un polymère et d'une étiquette colée en papier ou en polymère - que l'on assimilera à un matériau homogène pour des raisons de simplification.

*Q2.1 : Etude de l'épaisseur des parois des bouteilles : à l'aide d'un micromètre, établir une carte d'épaisseur des parois d'une bouteille en fonction de la position axiale.*

*Q2.2 : Extraire des éprouvettes de traction dans le sens radial et orthoradial. Identifier le module d'Young sur la base d'essais de traction. Une attention particulière devra être portée à la mesure du déplacement.*

*Q2.3 : Décoller les étiquettes et identifier à nouveau le module d'Young des éprouvettes sans étiquette (penser à mesurer les épaisseurs sans étiquette).*

*Q2.4 : Analyser les résultats obtenus et commentez.*

### 2.3 Analyse analytique de la force critique de flambement

*Q3.1 : A partir des documents fournis ou trouvés dans la littérature, et en fonction des propriétés géométriques et mécaniques des bouteilles, calculer la charge critique de flambement avec et sans étiquette.*

### 2.4 Analyse expérimentale du flambement

Nous étudierons ici la force critique de flambement, et ne tiendrons pas compte du comportement post-flambement.

*Q4.1 : Réaliser un écrasement de bouteille entre deux tas plats parallèles et analyser l'effort critique de flambement. L'analyse sera effectuée sur un minimum de 3 bouteilles pour étudier la représentativité des résultats.*

*Q4.2 : De manière à se rapprocher de structures cylindriques parfaites telles que celles décrites dans les documents fournis, prélever la partie cylindrique des bouteilles (tâche probablement réalisée au CEMEF). Réaliser les mêmes essais de compression sur la partie cylindrique ainsi prélevée.*

*Q4.3 : Répéter les essais effectués pour les deux questions précédentes après avoir enlevé l'étiquette des bouteilles.*

*Q4.4 : Comparer les résultats expérimentaux obtenus en termes d'effort critique de flambement et de modes de flambement. Comparer ces*

*résultats expérimentaux aux résultats analytiques obtenus en Q3.1.  
Commentez les résultats.*

## **2.5 Quelques idées pour aller plus loin**

En fonction de l'avancement du mini-projet, vous pourrez tenter de répondre à quelques questions supplémentaires, telles que :

- Effet d'une pression interne sur la force critique de flambement ? ... et si on écrasait une bouteille pleine ?
- Si le chargement n'est pas appliqué dans l'axe de la bouteille, quelle est l'influence sur la force critique de flambement ?
- Appliquer la même méthodologie à des bouteilles de capacité supérieure et comparer les résultats. En déduire s'il s'agit d'une simple homothétie.

## **3 Bibliographie suggérée**

[1] Théorie de la stabilité élastique, S.P. Timoshenko, 1966

[2] Théorie des plaques et coques, S.P. Timoshenko, 1961

[3] J.M. Fehrenbach, Résistance des constructions, Plaques, Coques, Flambage des poutres, plaques et coques, Cours ENSICA