

Description technique de l'étude EF du ballon sous largeur - Étape 1 : pré-étude

Description du problème

Il s'agit de la phase de gonflage au sol du ballon. Une certaine masse d'hélium est introduite dans la partie haute du ballon par des manches de remplissage. Une bulle d'hélium se forme et soulève le sommet du ballon. Le ballon est maintenu au sol par un système d'accroche débrayable qui pince le film. En fin de remplissage la partie haute du ballon, que l'on appelle *bulle*, est immobile et située à la verticale au dessus du largeur. Il s'agit donc d'un **problème d'équilibre statique**. Les forces en présences sont :

- le poids de la structure ;
- le chargement de pression dans le ballon, (la pression est positive ou négative selon la position dans la bulle) ;
- les forces de réaction à l'encastrement ;

On peut aussi exprimer un bilan global avec le principe d'Archimède : la force de portance est égale au poids du volume d'air déplacé moins le poids des masses solides et du gaz contenu dans la bulle.

Difficultés

Il y a 2 principales difficultés : la géométrie de la bulle et le chargement de pression dans le ballon.

Géométrie de la bulle

La géométrie vraie du ballon est connue uniquement par le profil du fuseau à plat. Pour constituer de façon simple un maillage 3D du ballon (ou d'un fuseau) on peut, comme pour l'étude d'un BSO au plafond, démarrer le calcul avec un fuseau à plat puis une fois le fuseau gonflé dans les conditions au plafond, appliquer les conditions de symétrie cyclique. Pour obtenir la configuration au sol on peut ensuite modifier graduellement les conditions de pression pour se ramener à la situation du ballon sous largeur. On procède donc en sens inverse de la chronologie réelle, ce qui n'est pas gênant si le comportement des matériaux est réversibles (ce n'est pas le transitoire qui est recherché mais l'équilibre statique).

La solution qui consisterait à modéliser le déroulement réel du gonflage au sol est beaucoup plus complexe puisque cela nécessiterait de modéliser un ballon complet et initialement plié !

Chargement hydrostatique

Le chargement exercé sur l'enveloppe de la bulle résulte de la différence entre la pression de l'air à l'extérieur du ballon et la pression exercée par la masse d'hélium emprisonnée dans la bulle. Si le chargement extérieur est une donnée connue (modèle d'atmosphère standard), le chargement intérieur résulte d'une loi d'état qui dépend notamment du volume d'hélium qui est une donnée déterminée. Il s'agit donc d'un problème couplé structure (enveloppe) et fluide (hélium). On s'attend à avoir une pression positive dans la partie haute de la bulle et une pression négative dans la partie basse, ce qui se traduit géométriquement par un ballon en forme de poire inversée.

Modèles proposés

Pour cette pré-étude, on propose une modélisation simplifiée de la géométrie qui consiste à supposer que le ballon est axisymétrique selon un axe vertical, c'est la même hypothèse qui est faite pour le calcul de forme avec Anybal. Cette simplification permet d'utiliser un nombre réduit d'éléments et évite la gestion des plis dans le maillage. Pour autant une loi « plis » dans Herezh sera utilisée pour permettre à la partie basse de la bulle de se rapprocher de l'axe de symétrie sous l'effet de la dépression sans générer des contraintes de compression non réalistes..

Concernant la modélisation du chargement en pression on propose deux approches. La première approche consiste à calculer la pression à l'intérieur du ballon au moyen d'une **routine extérieure** qui dépendra, à chaque itération, du volume du ballon calculée par Herezh. Il s'agit donc d'un couplage entre deux codes de calcul : Herezh pour la mécanique de l'enveloppe et une routine extérieure (en Python ou en C++) pour la physique des gaz. Cette solution demande quelques développements dans Herezh pour mettre en place ce couplage (merci Gérard!). Julien s'occupera notamment de valider ces nouveaux développements.

La deuxième modélisation consiste à calculer le chargement directement dans Herezh. L'idée est de modéliser l'intérieur du ballon par des éléments finis 2D-axi (des quadrangles) avec une loi quasi volumique, la partie déviatorique étant choisie très faible. Cette solution est plus complexe en terme de maillage mais peut s'avérer plus efficace car il n'y a pas de résolution externe.

Cas tests envisagés

Concernant les aspects hydrostatiques, un cas test simple consiste à modéliser une colonne d'air en équilibre. Initialement la colonne d'air est dans un état uniforme avec ou sans contrainte initiale. Le chargement est constitué de force volumique (poids propre de chaque élément d'air) et du poids de l'air se trouvant au-dessus de la colonne. On doit retrouver les modèles classiques d'atmosphère.

Des calculs sur des géométries plus simples que le profil d'un BSO sous largeur seront testés. On envisage par exemple une sphère remplie d'hélium attaché au sol et plongée dans de l'air. On s'attend à retrouver la forme de poire inversée. On peut aussi envisager un cylindre, un cône... Pour valider ces cas on pourra calculer la force d'Archimède et la comparer à la force de réaction à l'encastrement.

Cette pré-étude avec les cas tests décrits ci-dessus doivent permettre de valider la faisabilité de l'étude d'un BSO réel sous largueur.