

**THESE DE DOCTORAT DE L'ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARTS ET METIERS**  
**présentée par**  
**Vuong-Dieu TRINH**

**Titre : Formulation, développement et validation d'éléments finis de type coques volumiques sous-intégrés stabilisés utilisables pour des problèmes à cinématique et comportement non-linéaires**

**Résumé** : Le recours aux logiciels de simulation basés sur la méthode des éléments finis devenant de plus en plus systématique dans les différents secteurs de l'industrie, l'efficacité et la précision de ces derniers deviennent des propriétés déterminantes. Dans les situations les plus courantes, les structures minces nécessitent une analyse précise et efficace, rendue possible par les éléments coques. En présence de structures dans lesquelles coexistent des parties minces et des zones plus épaisses, l'utilisation de ces éléments est encore plus cruciale. Dans le passé, un progrès considérable a été réalisé dans le développement d'éléments coques fiables et efficaces pour des applications structurales. Cependant, les hypothèses de contraintes planes, qui sont le plus communément adoptées pour ces formulations, exigent un traitement spécifique lors de l'intégration des lois de comportement et représentent l'un de leurs principaux inconvénients. De plus, leur connexion avec des éléments 3D n'est pas triviale et introduit des hypothèses cinématiques à l'interface qui raidissent la liaison. Pour les raisons ci-dessus, les éléments solides sont préférables pour une large gamme d'applications. Cependant, les éléments solides de faibles degrés présentent des effets de verrouillage dans des applications de structures minces et pour des problèmes dominés par la flexion. A cet égard, une attention particulière a été consacrée à l'idée de modifier de façon adéquate les éléments 3D pour les rendre aptes à reproduire le comportement de structures minces.

Ce travail est une contribution au développement et à la validation d'éléments finis solide-coques qui sont un compromis entre les éléments coques classiques et les éléments 3D. Les déplacements nodaux sont les seuls degrés de liberté et ils sont munis d'un ensemble de points d'intégration distribués le long d'une direction préférentielle, désignée comme "l'épaisseur". Un schéma d'intégration réduite dans le plan moyen est utilisé. La loi élastique 3D est modifiée pour s'approcher de la situation coque et atténuer les verrouillages. Grâce à ses formulations particulières, ces éléments solide-coques se connectent naturellement aux éléments 3D et présentent une bonne performance dans des applications de structures minces et pour des problèmes dominés par la flexion. Il s'agit des trois nouveaux éléments isoparamétriques SHB6, SHB15 et, SHB20. L'analyse détaillée d'une potentielle déficience du rang de la matrice de raideur a révélé que ces derniers ne possèdent pas de modes à énergie nulle et qu' aucune stabilisation n'est donc nécessaire. Néanmoins, nous proposons des modifications, basées sur la méthode bien connue "assumed strain", pour l'opérateur gradient discrétisé de l'élément SHB6, dans le but d'améliorer sa vitesse de convergence. Pour illustrer les capacités de ces éléments, ses performances sont évaluées sur un ensemble de cas tests variés que ce soit en configurations linéaire ou non-linéaire, communément utilisés dans la littérature pour tester les formulations d'éléments finis de type coques. En particulier, il est montré que le nouvel élément SHB6 joue un rôle très utile en tant que complément à l'élément hexaèdre SHB8PS, ce qui nous permet ainsi de mailler des géométries arbitraires.

**Mots-clés:** *solide coque SHB, méthode de déformation postulée, blocage en cisaillement et membrane, hourglass, benchmark tests, flambement.*