

Introduction générale

Introduction générale

Les matériaux à gradient de propriétés (FGM) sont des matériaux composites avancés, dans lesquels les propriétés des matériaux sont modifiés d'une manière prédéterminée. Dans la nature, les caractéristiques des FGM se retrouvent dans les coquillages, les os, ...etc.,

Et la compréhension de la grande complexité de ce type de matériaux contribue à la synthèse de nouveaux types de matériaux. Dans l'industrie, les matériaux composites avancés ont été proposés, développés et utilisés avec succès depuis 1984 [1]. De nos jours, les FGM sont des matériaux alternatifs largement utilisés dans l'aérospatiale, les réacteurs nucléaires, les sources d'énergie, la biomécanique, l'optique, le génie civil, l'automobile, l'électronique, la chimie, la mécanique et la construction navale. Les FGM sont des composites avancés macroscopiquement et microscopiquement hétérogènes, qui sont normalement fabriqués à partir d'un mélange de céramique et de métal avec une gradation continue de la composition de pure céramique sur une surface à plein métal sur l'autre. Une telle gradation conduit à un changement en douceur du profil du matériau ainsi que des propriétés physiques effectives.

Les structures composites classiques souffrent d'une discontinuité des propriétés des matériaux à l'interface des couches et des constituants du composite. Par conséquent, les champs de contraintes dans ces régions créent des problèmes d'interface et des concentrations de contraintes thermiques dans les environnements à haute température. De plus, une déformation plastique importante de l'interface peut déclencher l'apparition et la propagation de fissures dans le matériau [2]. Ces problèmes peuvent être atténués en modifiant progressivement la fraction volumique des matériaux constitutifs et en adaptant le matériau à l'application souhaitée. En effet, les FGM sont des matériaux avec une variation spatiale de leurs propriétés. Cependant, dans la plupart des applications disponibles dans la littérature, comme dans le présent travail, la variation se fait uniquement à travers l'épaisseur. Par conséquent, le développement avancé de l'état techniques de production, de nouvelles applications, l'introduction de modèles micromécaniques efficaces et l'élaboration de méthodologies théoriques pour des

prévisions structurelles précises ont encouragé les chercheurs et ouvert plusieurs domaines de recherche dans ce domaine.

Les plaques sont souvent soumises à des combinaisons de pression latérale et de la charge thermique. Toutefois, les plaques et les coques avec les propriétés de FGM sont fréquemment soumises à une charge thermique afin d'utiliser la résistance thermique parfaite des FGM. Par conséquent, il est intéressant d'analyser ce type de structures sous une charge thermique générale. Tauchert [3] a donné un bon aperçu des flexions, déformations et vibrations induites thermiquement appliquées aux plaques composites classiques décrites par la théorie de Kirchhoff. Grâce aux connaissances acquises sur les composites classiques, les études sur les composites avancés sont largement consacrées à l'analyse des contraintes thermiques [4, 5], ainsi qu'à l'analyse de la fissuration des plaques et coques FGM [6,7]. La réponse thermo-élastique dynamique des cylindres et des plaques en matériaux fonctionnellement gradués est obtenue par Reddy et Chin [4]. Praveen et Reddy [8] ont obtenu la réponse thermo-élastique transitoire et non linéaire des plaques fonctionnellement gradués en métal-céramique en utilisant la méthode des éléments finis, employant la déformation de cisaillement transverse, l'inertie rotative et la non-linéarité de Von-Karman. Reddy [5] a présenté les solutions de Navier, ainsi que les modèles des éléments finis, y compris la non-linéarité géométrique, fondés sur la théorie de la déformation en cisaillement du troisième ordre pour l'analyse des plaques en FGM. Une étude de la littérature montre que de nombreux articles traitant le comportement statique et dynamique des matériaux fonctionnellement gradués (FGM) ont été publiés récemment. On trouvera une analyse bibliographique intéressante des travaux susmentionnés dans l'article de Birman et Byrd [9].

Zenkour [10] a étudié le problème statique de la charge transversale agissant sur des plaques rectangulaires à gradient exponentiel (EGP) en utilisant à la fois la théorie 2D trigonométrique de la plaque (TPT) et la solution d'élasticité 3D. Sladek et al. [11] ont présenté l'analyse statique et dynamique de plaques en FGM par la méthode locale sans maillage de Petrov–Galerkin. La théorie de la flexion des plaques de Reissner–Mindlin a été utilisée dans cette analyse pour décrire la déformation de la plaque. Des résultats numériques ont été présentés pour des plaques simplement appuyées et encastées. Plus tard, Sladek et al. [12] ont appliqué la même méthode pour résoudre les problèmes de plaques et des coques soumis à un chargement thermique. Bo et al. [13] ont présenté les solutions d'élasticité pour l'analyse statique des plaques en FGM pour différentes conditions aux limites. Les analyses de contraintes, de vibrations libres et de flambement

dues à des charges mécaniques et thermiques ont été données par Matsunaga [14, 15] en utilisant une théorie généralisée 2D d'ordre supérieur. Cette théorie intéressante, a été obtenue en utilisant la méthode d'expansion en série des composants à déplacement continu. Khabbaz et al. [16] ont fourni une solution non linéaire de FGP en utilisant les théories de déformation de cisaillement du premier et du troisième ordre.

Plus récemment, Zenkour et Alghamdi [17] ont étudié les problèmes de thermo-flexion des plaques sandwichs en FGM, consistant en une couche centrale homogène délimitée par deux couches de surface en FGM, dans laquelle les propriétés matérielles des couches externes sont supposées obéir à une distribution de la loi de puissance des fractions volumiques des constituants à travers la coordonnée d'épaisseur. Talha et Singh [18] ont étudié la vibration libre et l'analyse statique des plaques en matériaux à gradient de propriétés en utilisant la méthode des éléments finis et une théorie quasi-3D de la déformation de cisaillement d'ordre supérieur. Vaghefi et al. [19] ont présenté une solution statique tridimensionnelle pour des plaques épaisses en FGM en utilisant une méthode sans maillage de Petrov–Galerkin. On a supposé une fonction exponentielle pour la variation du module de Young à travers l'épaisseur de la plaque, tandis que le coefficient de Poisson était supposé constant. Benachour [20] a développé une nouvelle théorie raffinée des plaques à quatre variables pour l'analyse la vibration libre des plaques constituées en matériaux composites avancés avec un gradient arbitraire. Dans cette théorie, le nombre de variables impliqués est uniquement quatre. Thai et Choi [21] ont étudié l'analyse de la vibration libre de plaques FGM reposant sur des fondations élastiques en utilisant une théorie raffinée de plaque similaire à celle présentée dans [20]. Reddy et Kim [22] ont proposé une théorie générale non linéaire des plaques du troisième ordre qui prend en compte la non-linéarité géométrique, les effets de taille dépendants de la microstructure et la variation du matériau à deux constituants à travers l'épaisseur de la plaque, en utilisant le principe des déplacements virtuels et le principe de Hamilton.

Dans le présent travail, une solution analytique pour l'analyse statique des plaques en matériaux composites avancés est développée à l'aide d'un nouveau modèle trigonométrique HSDT. Dans ce cas, une version améliorée de la théorie HSDT [23], comprenant ce que l'on appelle «l'effet d'étirement», est présentée. La théorie prend en compte la répartition adéquate des déformations de cisaillement transversales dans l'épaisseur de la plaque et assure les conditions aux limites aux bords supérieur et inférieur de la plaque. Par conséquent, un facteur de correction du cisaillement n'est pas nécessaire.

Le matériau de la plaque est gradué de manière exponentielle dans le sens de l'épaisseur. Les équations régissant la plaque et ses conditions aux limites sont dérivées en utilisant le principe des travaux virtuels. La solution analytique de type Navier est obtenue pour les plaques soumises à une charge sinusoïdale transversale pour des conditions aux limites simplement appuyées. Les résultats pour le déplacement et les contraintes d'une plaque rectangulaire graduée exponentielle sont obtenus, ensuite ils sont comparés à la solution exacte 3D et à d'autres théories de déformation de cisaillement d'ordre élevé, et la supériorité de la présente théorie peut être remarquée.

Notre mémoire de fin d'étude est composée de quatre chapitres structurés comme suit :

Dans le premier chapitre, nous avons défini au premier lieu les matériaux composites conventionnels puis la nouvelle classe des matériaux composites avancés, l'histoire de leur développement, leurs propriétés et leurs domaines d'application. La variation spatiale et progressive des propriétés des matériaux permet de créer des structures innovantes qui peuvent être exploitées dans de nombreux domaines d'application à savoir les structures aérospatiales et le génie civil.

Dans le deuxième chapitre, nous citons les différents travaux de recherche réalisés par les auteurs, ont décrits selon une synthèse historique récente, les différents modèles analytiques développés sur la base du champ des déplacements appropriés tels que Kirchhoff-Love, Mindlin et les modèles de déformation de cisaillement d'ordre élevé (HSDT), pour étudier le comportement des plaques en matériaux composites avancés.

Dans la troisième chapitre nous avons proposés un modèle analytique basé sur une théorie simple raffinée quasi-3D avec seulement cinq variables en fonction d'une distribution trigonométrique des composantes de déplacement et dont les propriétés matérielles varient à travers l'épaisseur selon une fonction exponentielle, les équations de mouvement et les conditions aux limites dans cette analyse sont dérivées du principe des travaux virtuels.

Le quatrième et dernier chapitre, est également réservé pour la présentation des résultats numériques des études analytiques présentées dans le chapitre précédent. Tout d'abord, nous nous intéressons aux résultats numériques obtenus et leurs commentaires concernant le volet relatif à l'analyse statique des plaques en matériaux composites avancés. Ainsi que des comparaisons ont été réalisées avec les autres théories disponibles dans la littérature pour la

validation du présent modèle. Enfin, ce manuscrit se termine par une conclusion générale et des perspectives.