

RESUME

L'étude de l'écoulement réel autour de profils d'ailes est abordée avec les méthodes globales qui consistent à combiner la théorie de l'écoulement potentiel avec les effets de la couche limite. Les équations de la couche limite sont résolues à partir de méthodes intégrales. Les résultats obtenus pour les profils sous de faibles incidences sont en bonne adéquation avec les valeurs publiées dans la littérature. Le problème est ensuite traité avec la résolution des équations moyennées de Navier Stokes. Les premiers calculs sont exécutés à l'aide du code PHOENICS, basé sur la méthode des volumes finis. Les résultats obtenus aux grandes valeurs de l'angle d'attaque sont améliorés mais insuffisamment, notamment pour les profils cambrés. Le développement d'un programme de résolution des équations de Navier Stokes en coordonnées curvilignes est alors entrepris. Un programme de génération de maillage par méthode numérique est développé et SIMPLER2D, un autre code basé sur la méthode des volumes finis également, est modifié en partie : les problèmes régis par l'équation de diffusion sont résolus en coordonnées curvilignes. Ces simulations sont poursuivies à l'aide de deux codes de calcul commerciaux, StarCD et FLUENT qui sont appliqués à des profils d'ailes utilisés dans la construction des rotors éoliens. Les calculs sont effectués pour des écoulements 2D turbulents incompressibles, en régime stationnaire puis instationnaire. Différents modèles de turbulence sont comparés. L'influence de la turbulence de l'écoulement externe est mise en évidence. Quelques simulations sont également effectuées pour un écoulement compressible et pour un écoulement 3D incompressible. Par la suite, le cas d'une éolienne en rotation est abordé. Deux techniques sont appliquées pour simuler la rotation : (i) la méthode MRF en calcul stationnaire, la rotation étant simulée par des termes sources ajoutés dans les équations de quantité de mouvement et (ii) la méthode ASI en calcul instationnaire avec maillage mobile, les équations de Navier-Stokes étant alors formulées en ALE. Les résultats obtenus sont exploités pour estimer les performances de l'éolienne.

ABSTRACT

The study of the flow field around blade profiles is tackled by the global methods that consist in combining the potential flow theory with the boundary layer effects. The inviscid flow is determined by the method of conformal mapping and the panel method. The boundary layer equations are solved by the integral methods. The obtained results for blade profiles at low angles of attack are in good agreement with published data. The problem is then dealt with the solution of the Reynolds Averaged Navier-Stokes equations. In a first way, computations are performed with PHOENICS, a computer code based on the finite volume method. The obtained results at high angles of attack are improved but insufficiently, particularly for the cambered airfoils. The development of a program for the solution of the Navier-Stokes equations in generalised coordinates is then carried out. A grid generation program based on numerical methods is developed and SIMPLER2D, another computer code based on the finite volume method is partially modified: problems governed by the diffusion equation are solved in curvilinear coordinates. These simulations are carried on by the use of two commercial computer codes, StarCD and FLUENT. Both last codes are applied to different airfoils used in wind turbine blades. The simulations are performed for 2D turbulent incompressible flows, in steady calculations and in time-accurate computations. Different two equations turbulence models are compared. The influence of the free-stream turbulence is checked. Computations are also performed for a 2D compressible flow and for a 3D incompressible flow. The case of a rotating wind turbine is then approached. Two techniques are applied to simulate the rotation: (i) the MRF method in steady computations, the rotation being simulated by source terms added in the momentum equations to take into account the effects of the Coriolis force and (ii) the ASI method in time-accurate computations with moving mesh, the Reynolds Averaged Navier-Stokes equations being formulated in ALE. The obtained results are used for the evaluation of the wind turbine performances.

ملخص

أنجزت دراسة الإنسياب الحقيقي حول مظهر جانبي للأجنحة بالطريقة العامة التي تعتمد على توفيق نظرية الإنسياب الكامن مع فعالية الشرائح المحدودة، و يتم حل معادلات الشرائح المحدودة بواسطة الطرق التكاملية. تتطابق الحلول المتوصل إليها في حالة سقوط ضعيف مع المعطيات المنشورة في المراجع، و بعد ذلك تتم معالجة المعادلات المتوسطة "لي نافبي سطوكس". تمت الحسابات الأولية عن طريق النظام "فنيكس" المنجز على أساس طريقة الأحجام المحدودة.

بينت النتائج المتحصل عليها تحسن بالنسبة للقيم الكبرى لزاوية السقوط، و لكن هذا التحسن غير كافي خاصة بالنسبة للأشكال المقوسة، لهذا طور برنامج لحل المعادلات "لي نافبي سطوكس" بالإحداثيات المقوسة، كما طور برنامج للنشأ التجزيئي بالطرق العددية و تم تعديل البرنامج "سمبلير ذوي البعدين" المنجز كذلك على أساس الأحجام المحدودة. كما تم حل المسائل المتحكمة بمعادلة الانتشار عبر الاحداثيات المقوسة.

تتابع هذه المحاكاة بواسطة منظامين تجاريين "ستارسد" و "فليونت" اللذان طبقا على المظاهر الجانبية للأجنحة المستعملة في انجاز الطوافات الهوائية. تنطبق الحسابات على الانسيابات ذات البعدين، الهانجة و غير المضغوطة بأسلوب ثابت و بعد ذلك وقي.

و تمت مقارنة عدة نماذج للهيجان، حيث أبرز تأثير هيجان الإنسياب الخارجي. كما أنجزت بعض المحاكات للانسيابات المضغوطة و أخرى غير مضغوطة ثلاثية الأبعاد، و بعد ذلك أخذ بعين الاعتبار حالة هوائية في حركة دائرية و تطبق تقنيتين لمحاكاة الحركة الدائرية :

" بحساب ثابت، تدرج الحركة الدائرية في معادلات كمية الحركة عبر لفظ المنيع. MRF- طريقة "

"، و ALE" بحساب وقي مع تجزئة متحركة، معادلة "نافبي سطوكس" معبرة بواسطة "ASI- طريقة "

تستغل النتائج المتحصل عليها لتقدير مردودية الهوائيات.