

## **Prévision des propriétés mécaniques de superalliages base nickel en relation avec leur microstructure granulaire et de précipitation**

### **Résumé :**

La modélisation et la simulation sont employées par les concepteurs de moteurs pour décrire les contraintes et les déformations dans les composants des turboréacteurs, afin d'en prédire la durée de vie. Les modèles actuellement utilisés dans l'industrie sont principalement empiriques. Il s'agit essentiellement de lois de comportement et/ou critères phénoménologiques macroscopiques dont le jeu de paramètres doit être identifié par ajustement aux données expérimentales pour chaque superalliage en fonction de ces hétérogénéités de microstructure (précipités, grains). Notre travail, inscrit dans ce contexte, a permis de développer un premier outil de simulation du comportement de microstructures polycristallines prenant en compte l'influence des paramètres microstructuraux locaux. Une chaîne complète a été mise en place, en partant de la conception et de la production des microstructures, en effectuant la caractérisation expérimentale de l'influence de la microstructure et en développant les outils de modélisation et simulation en synergie avec les résultats expérimentaux obtenus. Les essais mécaniques ont été effectués à températures différentes et sur des éprouvettes monogranulaires et polycristallines. L'utilisation originale de microstructures monogranulaires pour la caractérisation du comportement des agrégats polycristallins a permis d'isoler la contribution des précipités. Les résultats expérimentaux ont permis d'identifier les paramètres des modèles issus de la littérature pour prédire, en premier lieu, l'influence de la distribution en taille de précipités, puis celle de la taille moyenne des grains et des éléments en solution solide. L'écart constaté entre prédiction de l'influence des précipités et les mesures correspondantes a conduit à proposer une reformulation d'un modèle existant. Les modèles analytiques ont été, enfin, exploités pour introduire la sensibilité à la microstructure locale dans une démarche de simulation en champ complet (basée sur la méthode des éléments finis) en plasticité cristalline. Pour finir, une première application aux microstructures à gradient de taille de grains est proposée. Ce travail constitue la base pour des développements futurs concernant l'investigation d'autres mesures du comportement des microstructures (fluage, fatigue...).

## **Prediction of mechanical properties of nickel-base superalloys in relation to their granular and precipitation microstructure**

### **Abstract :**

Constitutive modelling is employed by engine designers to predict stresses and strains in turbine engine components, to support life prediction. Current models used in industry are mainly empirical: they are essentially developed from simple curve fits of test data and macroscopic continuum mechanical models, whose parameters need to be identified for each superalloy according to its microstructure heterogeneities (precipitates distribution, grain size). In this context, we developed a first simulation tool, for the mechanical behavior of polycrystalline microstructures, sensitive to the local microstructural parameters. A complete process has been set up, starting from the design and production of the chosen microstructures, carrying out the experimental characterization of the microstructural influence on the mechanical behavior and developing the modeling and simulation tools in synergy with the experimental tests. The mechanical tests were performed at different temperatures and on single-crystals and polycrystalline specimens. The original use of single-crystals for the characterization of the behavior of polycrystalline aggregates allowed to isolate the contribution of precipitates. The experimental results allowed the identification of the parameters of the existing models in the literature for the prediction of the influence of solid solution elements, grain size and precipitates distribution. The discrepancy between the prediction of the precipitates hardening and the corresponding measured values led to propose a reformulation of an existing model. The analytical models were exploited to introduce the sensitivity to the local microstructure in a full field crystal plasticity simulation approach (based on the finite element method). Finally, a first application to microstructures with microstructural gradient (in terms of grains size) is proposed. This work constitutes a first step for future developments concerning the investigation of other characteristics of microstructure behavior (creep, fatigue...).