

# THÈSE

Pour l'obtention du titre :

DOCTEUR de L'UNIVERSITÉ DE LORRAINE

École doctorale : Chimie Mécanique Matériaux Physique (C2MP)

Domaine de Recherche : Physique, Scices des Matériaux

Présentée par :

**Daria ZHEMCHUZHNIKOVA**

---

## **Influence of the extreme grain size reduction on plastic deformation instability in an AlMg and AlMgScZr alloys**

---

Soutenance publique prévue le 11 décembre 2018 à Metz

### Composition du jury

Matthieu MAZIERE	Professeur, MINES ParisTech Paris, France	<i>Rapporteur</i>
Kristián MATHIS	Professeur associé, Charles University Praha, République Tchèque	<i>Rapporteur</i>
Véronique DOQUET	Directrice de recherche CNRS, Université Paris-Saclay Paris, France	<i>Examineur</i>
Roxane MASSION	Maitre de conférences, LEM3, Université de Lorraine, Metz, France	<i>Examineur</i>
Mikhail LEBEDKIN	Directeur de recherche CNRS, LEM3, Université de Lorraine, Metz, France	<i>Directeur</i>
Olivier BOUAZIZ	Professeur, LEM3, Université de Lorraine Metz, France	<i>Co-directeur</i>

Université de Lorraine, CNRS, Arts et Métiers ParisTech, LEM3  
7 rue Félix Savart, 57070, Metz, France

**Résumé.** L'élaboration de nouveaux alliages maintient un fort intérêt pour le phénomène d'instabilité plastique, ou l'effet Portevin-Le Chatelier (PLC), provoqué par l'interaction des dislocations avec des atomes de soluté. Par ailleurs, l'effet PLC attire l'intérêt comme un exemple remarquable d'auto-organisation dans les systèmes dynamiques. Il est associé à des motifs complexes de séries de chutes de contrainte liées à la nucléation et au mouvement des bandes de déformation dans le matériau déformé, et nécessite une compréhension de l'auto-organisation des dislocations.

La déformation plastique des alliages Al-Mg est sujette à l'instabilité dans une large gamme de conditions expérimentales. Pour cette raison, les alliages Al-Mg binaires ont longtemps servi d'objets modèles pour l'étude de l'effet PLC. En même temps, l'utilisation pratique des alliages binaires Al-Mg est limitée en raison d'une faible résistance mécanique. Une amélioration significative de leurs propriétés peut être atteinte en ajoutant des solutés supplémentaires, conduisant en particulier à la formation de précipités. En outre, une forte réduction de la taille de grains du polycristal pourrait être une technique clé pour produire des matériaux à haute résistance et ténacité. Cependant, il existe très peu d'information, souvent contradictoire, sur l'instabilité PLC dans les alliages Al-Mg à grains fins et contenant des précipités. Le but de l'étude de cette thèse a été d'étudier les caractéristiques spécifiques de l'effet PLC dans les alliages à base AlMg, avec et sans nanoparticules, à gros grains et à grains fins, ces derniers obtenus par une méthode de déformation plastique sévère.

Grâce à l'application de méthodes d'extensométrie locale, notamment de la technique de corrélation d'images, ces études ont révélé une persistance non habituelle de la propagation des bandes de déformation dans les alliages comprenant des précipités et/ou des grains fins. Ce mode dynamique est observé dans un large intervalle de vitesses de déformation, tandis qu'il n'apparaît qu'à haute vitesse dans des alliages modèles AlMg. Par ailleurs, l'analyse des distributions statistiques des amplitudes des chutes de contrainte a révélé une tendance vers une statistique en loi puissance, caractéristique du mode de propagation. Ce phénomène est attribué à une modification du couplage spatial entre les dislocations, due à la concentration de contraintes internes. La combinaison de ces études avec l'analyse de l'émission acoustique a mis en évidence une influence de la microstructure sur la compétition entre un facteur aléatoire et la synchronisation des dislocations. Enfin, l'étude par corrélation d'images a permis d'observer une interrelation entre l'instabilité PLC et la formation de la striction.

**Mots clés :** Effet Portevin - Le Chatelier, Alliages d'aluminium, Matériaux nanocristallins, Bandes de déformation, Mécanisme de rupture, Auto-organisation des dislocations

**Abstract.** The elaboration of new alloys sustains a strong interest to the phenomenon of unstable plastic flow, or the Portevin–Le Chatelier (PLC) effect, caused by interaction of dislocations with solute atoms. Moreover, this effect attracts interest as a rich example of self-organization in dynamical systems. It is associated with complex patterns of stress serrations related to nucleation and motion of deformation bands in the deforming material, and requires understanding of self-organization of dislocations.

Plastic deformation of Al-Mg alloys is prone to instability in a wide range of experimental conditions. For this reason, binary Al-Mg alloys served for a long time as model objects for investigation of the PLC effect. At the same time, the practical use of binary Al-Mg alloys is limited because of their low strength. A significant improvement of their properties can be achieved by additional alloying, in particular, leading to precipitation. Further, extensive grain refinement could be a key technique used to produce tough and high-strength materials. However, there exists very limited and often contradictory information on the PLC instability in fine-grained Al-Mg alloys containing precipitates. The objective of the present thesis was to investigate specific features of the PLC effect in AlMg-based alloys with and without nanoscale particles, both in coarse-grained and fine-grained states, the latter obtained by severe plastic deformation.

Using local extensometry methods, particularly the image correlation technique, these studies revealed an unusual persistence of the propagation of deformation bands in alloys with precipitates and/or fine grains. This dynamic mode is observed in a wide range of strain rates, whereas it only appears at high strain rate in model Al-Mg alloys. Moreover, the analysis of statistical distributions of stress drop amplitudes revealed a tendency to power law statistics characteristic of the propagation mode. This phenomenon was attributed to a modification of the spatial coupling between dislocations due to the concentration of internal stresses. The combination of these studies with the acoustic emission analysis uncovered an influence of the microstructure on the competition between a random factor and the dislocation synchronization. Finally, the study by the image correlation made it possible to observe an interrelation between the PLC instability and the neck formation.

**Keywords :** Portevin-Le Chatelier effect, Aluminum alloys, Nanocrystalline materials, Deformation bands, Fracture mechanism, Self-organization of dislocations