



UNIVERSITÉ  
DE LORRAINE

École doctorale EMMA

# THESE

DOCUMENT PROVISOIRE

pour l'obtention du titre de

DOCTEUR de l'UNIVERSITÉ DE LORRAINE

Spécialité : Métallurgie

présentée par :

SKANDER EL MAÏ

---

## Étude du développement des instabilités dans un anneau en expansion dynamique

---

Thèse soutenue publiquement le 28 Avril 2014, à Metz devant le jury composé de :

M. F. Hild	Directeur de Recherche, LMT, Cachan	Rapporteur
M. N. Jacques	Maître de Conférence HdR, ENSTA Bretagne, Brest	Rapporteur
M. J.F. Molinari	Professeur, EPFL, Lausanne	Examineur
M. H. Trumel	Ingénieur de Recherche, CEA-Le Ripault	Examineur
M. P. Longère	Directeur de Recherche, ISAE, Toulouse	Examineur
M. J. Petit	Ingénieur de Recherche, CEA-Gramat	Examineur
M. S. Mercier	Professeur, Univ. Lorraine, Metz	Directeur de thèse
M. A. Molinari	Professeur, Univ. Lorraine, Metz	Codirecteur de thèse

*Laboratoire d'Étude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux  
Université Paul Verlaine - UMR CNRS 7239  
Ile du Saulcy, 57045 Metz Cedex, France*

*Université de Lorraine - Pôle M4 : matière, matériaux, métallurgie, mécanique*

## Étude du développement des instabilités dans un anneau en expansion dynamique

**Résumé :** L'Analyse Linéaire de Stabilité a été largement utilisée afin de décrire l'évolution du mode dominant des instabilités pour différentes configurations. Toutefois, plusieurs observations expérimentales et numériques ont démontré l'existence de distributions de longueurs inter-strictions, prémices aux distributions de tailles de fragments.

Une extension de cette utilisation classique de l'Analyse Linéaire de Stabilité dédiée à l'extension d'un barreau en traction a été proposée afin de rendre compte de la contribution de l'ensemble des modes de perturbation sur le profil final des strictions. Cette approche, correspondant physiquement au cas des anneaux fins en expansion, est à même de déterminer une distribution de longueurs inter-strictions.

En se basant sur les mêmes outils mathématiques que ceux ayant permis d'étendre l'analyse linéaire de stabilité, une nouvelle approche numérique a été suivie afin de déterminer le temps d'apparition et le nombre de strictions en fonction de la vitesse de chargement, de l'amplitude et de la taille de cellules de perturbations. Une comparaison, en termes de distribution de longueurs inter-strictions, a été par la suite obtenue entre résultats analytiques et numériques. De bonnes corrélations ont été observées.

Le développement d'un montage expérimental d'expansion d'anneaux par forces électromagnétiques a été entamé au cours de ce travail de thèse. Lors de sa finalisation, il devrait permettre une validation expérimentale des approches développées dans les domaines numériques et analytiques.

**Mots-clés :** Striction multiple, Instabilités plastiques, Cuivre, Expansion d'anneau, Densité de probabilité de longueur inter-strictions.

## Study of multiple necking during dynamic extension of ring

**Abstract :** Linear Stability Analysis has been widely used in order to describe the evolution of the dominant necking pattern in different configurations. However, experimental and numerical observations have demonstrated that a distribution of internecking lengths is obtained instead of a unique dominant pattern.

In this work, an extension of the classical Linear Stability Analysis applied to the dynamic extension of a round bar case has been developed to take into account the contribution of all perturbation modes on the final necking pattern. This approach, corresponding physically to the case of thin ring expansion, is able to determine a distribution on internecking distances.

Based on the same mathematical tools that was developed for the extension of the linear stability analysis, a new numerical approach has been followed to determine the number and the onset time of necking with respect to loading velocity, amplitude and cell size of the perturbations. A comparison, in terms of distributions of inter-necking distance, has been carried out between analytical and numerical results. Good correlations have been observed.

An electromagnetic ring expansion experimental device has been proposed during this work. With some additional development, it should enable to validate experimentally the working assumptions developed in the numerical and analytical studies.

**Keywords :** Dynamic multiple necking, Plastic flow instability, Copper, Ring expansion, Probability density of internecking distance.