

Déchiffrer les précurseurs à la localisation lors de la compression des matériaux: Application à la surveillance des structures

Contacts: Laurent Ponson (laurent.ponson@upmc.fr)

Laboratoire d'accueil: Institut Jean le Rond d'Alembert, Université Pierre et Marie Curie

Financement: Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes du CNRS.

Contexte scientifique

Garantir l'intégrité mécanique des matériaux et des structures est un enjeu stratégique dans une myriade de secteurs industriels comme ceux de l'énergie, des transports ou du génie civil. Pourtant, il n'existe pas de méthode systématique et robuste permettant de prévenir leur rupture. Par conséquent, certaines pièces critiques sont régulièrement changées sur la base de critères empiriques avec de fortes marges de sécurité. Les surcoûts engendrés s'avèrent être encore plus élevés lorsque les opérations de maintenance ne sont pas réalisées à temps et que la défaillance n'est pas évitée.

Comprendre et anticiper la rupture a également une place de choix dans la recherche en mécanique des solides. Sous compression, les matériaux dits quasi-fragiles comme les roches et les céramique s'endommagent à travers le développement de micro-fissures réparties de façon relativement homogène, puis perdent leur intégrité mécanique lors de la *localisation* de cet endommagement selon une bande (Fig. 1). Ce phénomène de localisation ainsi que la réponse mécanique du matériau avant sa ruine est au coeur du projet proposé.

Contrairement aux prédictions de la mécanique de l'endommagement des milieux homogènes qui décrit la détérioration du matériau comme un processus continu, les expériences montrent que l'endommagement se développe par *salves* d'événements de micro-rupture localisées en temps et en espace, séparées par de longues phases silencieuses correspondant à un comportement élastique (Fig. 1). Récemment, l'étude statistique détaillée de ces salves a mis en évidence que leur taille et leur durée *augmentaient* à mesure que le matériau se rapprochait de son seuil de localisation, suivant des lois très simples qu'un modèle prenant en compte le comportement élasto-endommageable du matériau et son désordre microstructural permettait de rendre compte [3-5]. Ces travaux représentent une *avancée majeure en mécanique des solides* car ils fournissent une description statistique quantitative de la *dynamique intermittente* de l'endommagement. Qui plus est, ils révèlent que les mécanismes physiques à l'origine de l'intermittence sont communs à un grand nombre de solides, et donc qu'un tel comportement est susceptible d'être partagé par la plupart des matériaux quasi-fragiles.

Ce changement de paradigme en mécanique de l'endommagement ouvre de nouvelles perspectives technologiques pour la surveillance des structures et la prévention de leur rupture. En effet, cette théorie fournit une description quantitative des événements précurseurs à la localisation à travers un modèle prédictif et des lois robustes applicables à une grande gamme de matériaux. En particulier, en mesurant la taille ou la durée des salves d'endommagement à un instant donné, il est possible d'établir, à l'aide d'un tel modèle, à quelle distance de la localisation se situe l'échantillon. Et donc d'évaluer la santé mécanique d'une pièce au cours de son utilisation, permettant ainsi d'anticiper sa rupture avant que celle-ci n'intervienne de façon catastrophique. Le dépôt d'un brevet est actuellement à l'étude.

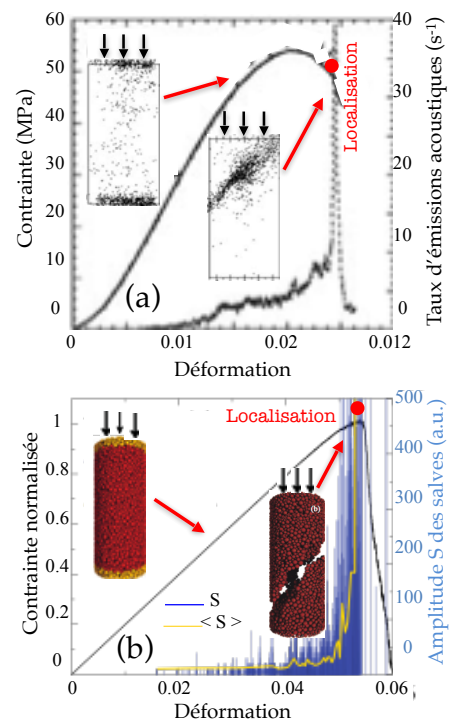


Fig. 1: Réponse mécanique des matériaux quasi-fragiles observée expérimentalement [1] et (b) numériquement [2]. L'endommagement croît par salves mises en évidence par émission acoustique jusqu'à l'apparition d'une bande de localisation mettant en péril l'intégrité mécanique du specimen. Le projet porte sur la prédiction et la prévention de ce mécanisme de ruine des matériaux à partir de l'analyse statistique des signaux acoustiques précurseurs.

Objectif du projet de recherche

L'analyse statistique des précurseurs ayant permis le développement de la méthode de prévention des défaillances a été réalisé sur un matériau cellulaire en nid d'abeille à partir de sa réponse force-déplacement. Afin de compléter cette étude et démontrer la pertinence de cette approche notamment dans un contexte industriel, nous envisageons deux études:

1. Nous souhaitons tout d'abord explorer la versatilité de la méthode. Les propriétés statistiques mises en évidence sur les matériaux cellulaires sont-elles robustes ? Et dans quelle mesure les paramètres matériaux influent sur la statistique des précurseurs ? Pour aborder ces questions, nous souhaitons caractériser la statistique des précurseurs à la localisation dans un certain nombre de matériaux comme les mortiers, les roches ou encore les céramiques qui sont d'intérêts pour de potentielles applications.
2. Afin de faciliter la mise en oeuvre la méthode, et permettre son déploiement dans un contexte industriel, nous souhaiterions implémenter la méthode statistique d'analyse des précurseurs à partir des signaux acoustiques émis par le matériau au cours de son endommagement. Cela nécessite de traduire les signaux acoustiques reçus en terme de taille et durée des salves d'endommagement. Puis traiter cette information de façon appropriée afin d'évaluer la santé mécanique du matériau étudié.

Compétences requises

Le futur post-doctorant sera en charge de mettre en oeuvre un dispositif d'acquisition des signaux acoustiques émis lors de la compression des échantillons. Il aura également comme tâche de réaliser l'analyse statistique des signaux acquis et procéder à leur interprétation en terme de santé mécanique des matériaux étudiés. Enfin, il sera également mis à contribution dans le développement et l'amélioration des méthodes actuelles de traitement statistique afin d'anticiper les défaillances. Une participation à la valorisation de la méthode à travers des prises de contact et des échanges avec de acteurs industriels potentiellement intéressés par cette méthode serait un vrai plus.

Pour atteindre ces objectifs, une bonne maîtrise de la mécanique des solides expérimentale, des méthodes acoustiques et/ou de l'analyse statistique de données est souhaitable. Un goût pour les applications technologiques, et éventuellement l'entrepreneuriat serait également un plus.

Environnement scientifique

Le futur post-doctorat rejoindra le *Fracture group* (www.laurentponson.com) à l'Institut Jean le Rond d'Alembert et sera encadré par Laurent Ponson, chercheur au CNRS. Il profitera d'un environnement académique de tout premier plan en mécanique et en physique, au contact d'un autre projet de valorisation plus avancé porté par la start-up Tortoise actuellement incubée à d'Alembert.

Perspectives

Ce projet est financé par l'Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes du CNRS dans le cadre des programmes de pré-maturation qui visent à faire émerger les technologies de demain. Le futur post-doctorant aura donc la possibilité de participer au développement d'une nouvelle technologie à fort potentiel, et d'y contribuer en tant qu'inventeur. Ce projet représente une opportunité unique de rejoindre à ces débuts une aventure scientifique visant à transformer une découverte fondamentale de tout premier plan en une technologie de pointe en mécanique. Enfin, le futur post-doctorant rejoindra la recherche dans un domaine de la mécanique - physique des matériaux en pleine expansion [6] et dont les applications industrielles sont nombreuses.

[1] Fortin F., Stanchits S., Dresen G. & Guéguen Y. Acoustic emission monitoring during inelastic deformation of porous sandstone: Comparison of three modes of deformation. *Pure Appl. Geophys.* **166**, 823 (2009).

[2] Kun F., Varga I., Lennartz-Sassinek S. & Main I. G. Rupture cascades in a discrete element model of a porous sedimentary rock. *Phys. Rev. Lett.* **112**, 165501 (2014).

[3] Berthier E., Démercy V. & Ponson L. Damage spreading in quasi-brittle heterogeneous materials: I. localization and failure. *J. Mech. Phys. Solids* **102**, 101–124, (2017).

[4] Berthier E & Ponson L. Damage spreading in quasi-brittle heterogeneous materials: II. statistics of precursors to failure. *J. Mech. Phys. Solids*, (under review).

[5] Démercy V., Berthier E., Kondo D. & Ponson L. Damage spreading in quasi-brittle disordered solids: III. Stability analysis (in preparation).

[6] Ponson L., Statistical aspects in crack growth phenomena: how the fluctuations reveal the failure mechanisms. *Int. J. Frac.* 201, 11-27 (2016).