Résolution de problèmes aux limites
en mécanique des champs **de dislocations**

Claude Fressengeas

Laboratoire d'Etude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux

LEM3, Université de Lorraine/CNRS/Arts et Métiers ParisTech, France

7 rue Félix Savart, 57070 Metz, France

claude.fressengeas@univ.lorraine.fr

La plasticité des matériaux cristallins est un phénomène dynamique résultant, dans les conditions usuelles, du mouvement des dislocations. Pourtant, les théories mécaniques classiques de la plasticité sont formulées à l'aide de variables macroscopiques, comme les vitesses de déformation plastique, qui ne font pas appel à la notion de dislocation. Cette absence paradoxale est due aux différences considérables d'échelle de longueur de résolution entre ces deux descriptions de la plasticité, et les justifications offertes pour une telle simplification résident dans une hypothèse de désordre parfait : la plasticité résulterait d'un grand nombre de glissements cristallins élémentaires sans corrélation et aléatoirement distribués, de sorte qu'une opération de moyenne spatio-temporelle sur un échantillon suffisamment grand permettrait de traduire directement les propriétés individuelles de ces évènements en termes de propriétés mécaniques.

Pourtant, de nombreux exemples de structures ordonnées de dislocations ont été observées à des échelles intermédiaires en microscopie optique et électronique (murs, cellules, empilements, etc.), et des régimes dynamiques non-aléatoires ont été systématiquement décrits, ce qui tend à invalider ce point de vue. Les théories de champs de dislocations ont pour objectif la description des distributions auto-organisées de dislocations, des mécanismes d'interaction mécanique qu'elles mettent en jeu et de leurs conséquences sur le comportement mécanique du matériau. Elles reposent sur l'introduction d'un champ continu de densités de dislocations, appelé champ de tenseurs de Nye$\boldsymbol{\alpha}$.,rendant compte des discontinuités de déplacement élastique induites par les dislocations au travers de surfaces orientées etde dimensions appropriées (assez faibles). La dynamique des dislocations peut alors être formulée, au moins partiellement, en termes de transport desdensités de dislocations $\boldsymbol{\alpha}$, ce qui confère un caractère propagatif à ces variables et modifie profondément la nature mathématique des équations aux dérivées partielles gouvernant la déformation plastique en mécanique des solides.

Dans cette présentation, nous détaillons la structure mathématique de ce système d'équations aux dérivées partielles et présentons des algorithmes de résolution de problèmes aux limites. Nous montrons au travers d'exemples que les théories conventionnelles ont du mal à interpréter : intermittence de la plasticité, auto-organisation des structures de dislocations, effets de taille d'échantillon et d'histoire du chargement sur le durcissement du matériau, que cette approche offre une vision renouvelée de la déformation plastique des matériaux cristallins, en décrivant sa structuration aux différentes échelles.

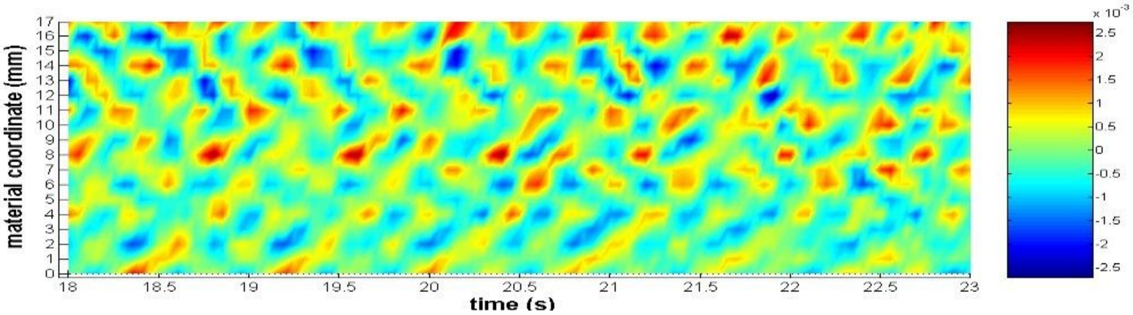

Diagramme espace-temps démontrant le caractère intermittent et propagatif de la vitesse de déformation plastique le long de l'axe d'un échantillon de traction. Vitesse de déformation imposée : $5.10^{-4}s^{-1}$, les fluctuations peuvent atteindre $2{,}5.10^{-3}s^{-1}$.