



## FORMATION

### Histoire d’empreinte et questions diverses

Stéphane Benayoun

Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes (CNRS-UMR 5513) – Ecole Centrale de Lyon

Depuis très longtemps l’homme a intégré le comportement d’un matériau vis-à-vis de sa résistance à la pénétration, au même titre que sa déformation élastique ou plastique. En revanche, il faut attendre Réaumur (1722) et Mohs (1824) pour avoir une trace écrite et la formalisation de ce comportement en l’attribution d’une propriété spécifique au matériau, sa dureté. Pour autant cette définition générale porte en elle son péché originel, et la diversité des interprétations pour en effectuer cette quantification, ont conduit à une grande variété de protocoles expérimentaux fonction, des matériaux, des applications, de la facilité des mesures, de l’échelle d’observation, ...

L’objet de cet exposé est de discuter de l’essai de dureté par pénétration ou, indentation, au travers d’une dizaine de questions du type : Qu’est-ce que la dureté? Existe-t-il une norme en indentation instrumentée? Que signifie cône équivalent? Quel est le comportement du matériau sous l’indenteur? Quelle est la relation entre la dureté,  $H$ , et la contrainte d’écoulement plastique,  $Y$ ? Qu’est-ce que la déformation représentative ; ...?

Il s’agira notamment de répondre aux interrogations d’un expérimentateur au regard de travaux historiques de référence dans ce domaine.



## FORMATION

### **Indentation et comportements de polymères : quelques aspects de la physique des polymères impactant la mécanique et la physique du contact**

Christian Gauthier

Institut Charles Sadron (CNRS UPR 22) – Université de Strasbourg

Les polymères forment une classe de matériau à part entière avec des comportements mécaniques propres : ils sont moins fragiles que les verres et céramiques et moins plastiques que les aciers. En effet, les polymères les plus plastiques (vitreux) ont des seuils de déformation plastique en compression de 2 à 3% à comparer aux 0.2 % pour les aciers, tout en étant du même ordre de grandeur que ceux des verres et céramique ; par ailleurs, les taux de restitution d'énergie sont de l'ordre de 10J/m<sup>2</sup> pour les verres et céramiques, de 1 à 5 kJ/m<sup>2</sup> pour les polymères et de 100 kJ/m<sup>2</sup> pour les aciers.

Les spécificités de leurs comportements viennent également du fait que leurs températures de transition vitreuse sont comprises entre 100 à 150° en dessous de l'ambient et 150 à 200° au-dessus de l'ambient. En mécanique du contact, leurs comportements dépendant du temps et de la température ne peuvent pas être ignorés, car cela a des conséquences sur leurs propriétés rhéologiques (module d'Young, contrainte seuil d'écoulement plastique), d'adhésion, de frottement et le vieillissement structural. Par ailleurs, les procédés de mise en œuvre font qu'ils présentent souvent une orientation structurale, ce qui induit une anisotropie des propriétés mécaniques. Enfin, les polymères sont également produits en mousses pour des applications d'étanchéité, d'impact, ..., ce qui donne une sous-classe de matériaux polymériques avec une microstructure à considérer dans les applications de contact.

La présentation mettra l'accent sur l'impact de la physique des polymères sur le comportement mécanique en surface.



## FORMATION

### Atelier proposé par ALEMNIS – EDEN

Benoit Gennero  
ALEMNIS – EDEN

L'atelier sera axé sur les mesures High Strain Rate et traitera des avantages qu'apporte la nanoindentation pour atteindre des contraintes hors de portée à l'échelle macroscopique. Les nanoindenteurs ALEMNIS sont conçus pour être installés dans un MEB et réaliser des mesures in-situ dans le MEB.

L'appareil sera présenté sans réaliser les expériences (ASA : Alemnis Standard Assembly). Plusieurs vidéos de mesures in-situ MEB permettra de s'approcher de l'essai.

Ensuite nous passerons à l'étape « acquisition des données » :

- Positionnement de l'échantillon.
- Les paramètres d'acquisitions
- Les difficultés les plus communément rencontrées
- Les données brutes obtenues
- Le traitement de ces données
- L'interprétation des paramètres physiques ainsi mesurés

Nous utiliserons un PC avec le soft opérationnel et des données pour paramétrer l'acquisition, visualiser les données mesurées et le post traitement. Nous mettrons la priorité sur l'apport des mesures « High Strain Rate » pour la caractérisation des matériaux. Nous prendrons bien soin de laisser de la place aux échanges pour cet atelier soit le plus profitable possible aux participants.



## *FORMATION*

### **Atelier proposé par ANTON-PAAR**

Guillaume Berthout  
ANTON-PAAR

L'heure de démonstration sera structurée de la manière suivante :

- Présentation de l'instrument, avec notre spécificité concernant le principe de référence de surface (15 min).
- 3-4 essais de répétabilité sur silice fondue en essai quasi-statique
- 3-4 essais de répétabilité sur PMMA en essai quasi-statique, avec et sans pause, pour introduire la question du fluage
- 3-4 essais de répétabilité sur PMMA en mode dynamique, pour accéder au  $E'$  et  $E''$
- 3-4 essais de répétabilité sur couche mince dure (DLC ou TiN) sur substrat plus tendre, pour présenter l'intérêt du mode dynamique dans la détermination de profils de  $E_{it}$  et  $H_{it}$ .

Deux fichiers type issus de l'export d'un essai dynamique sera étudiés. Le premier export intègre les signaux force, déplacement et temps. Le 2eme export intègre les profils  $E_{it}$  et  $H_{it}$  en fonction de  $P_d$  et résultant de ce test dynamique.



# FORMATION

## Atelier proposé par BRUKER

Ude Hangen, Emmanuel Paris  
BRUKER

The training will comprise:

### 1. Welcome and Introduction

- Introduction to the TS 77 Select Instrument
- Overview of Testing Modes and Options

### 2. Instrument Features and Testing Modes

- Nanoindentation (Standard)
- SPM Imaging (Standard)
- Fast Property Mapping (Standard, 2/sec)
- 3D nanoWear (Standard)
- Nanoscratch (Option)
- Dynamic Nanoindentation (Option; 1-100Hz)
- 1N High Load (Option)

### 3. Practical Session: TiAlV Alloy with TiN-Ti Multilayer Coating

- Demonstration: Fast Property Mapping and SPM Imaging Combination
- Discussion: Effect of Indentation Test Distance on Hardness Measurements

### 4. Practical Session: Thin DLC Coating:

- Depth Profiling of Hardness and Modulus using Dynamic Nanoindentation
- Scratch Testing (Depending on Interest)
- Q&A Session



## *FORMATION*

### **Atelier proposé par FISCHER**

Jean-François ROUDIER  
FISCHER

L'heure de démonstration sera structurée de la manière suivante :

- Présentation HM2000s
- Présentation HM2000 avec microscope et table
- Nouvelle tête HT2000 régulé en T°
- Plaque chauffante pour échantillon
- Fonctionnalités logicielles utiles

Nous utiliserons un ensemble de document Power Point, Support de formation avec comme objectif des Manipulations sur un instrument dédié.





## FORMATION

### **Towards an open source post-processing tool for indentation Testing**

Ludovic Charleux

Univ. Savoie Mont Blanc, EA 4114, SYMME, F-74000, Annecy, France

Indentation testing is widely used in academic and industrial environments to measure mechanical properties on small volumes of material in a non-destructive way. The indentation machines and especially nanoindentation have known a very important development over the last 30 years. The interpretation of these tests is complex in particular because of the very strong heterogeneity of the stress field they generate. There is therefore generally obvious relation between the raw data extracted from a test and material properties.

The post-processing of a test will thus generally rely on two types of operations. In the first step, various corrections must be applied such as machine stiffness corrections, a recalibration of the contact with the sample surface or a consideration of the real shape of the tip used. In a second step, inverse methods can be applied to find the material properties. Many methods have been published. However, few of these methods have been widely adopted. This is partly due to the fact that there is no standard tool for post-processing indentation tests. There are few studies in the literature comparing the influence of the choice of the machine and especially the post-processing methods on the mechanical properties a single.

The "Indentation" community, both in France and worldwide, does not have today an open source tool to process the tests in a reproducible way and which is not linked to a given machine manufacturer. In a close community, we can cite the Gwyddion [1] tool which allows to process atomic force microscopy images and fulfills a similar role. Our project is therefore to develop a tool for processing indentation tests that is both open enough for research use but also very simple to use to help experimenters in their daily work. Our project aims at federating a community including both numericians and experimenters in order to meet the broadest spectrum of needs.

The tool will be based on Python language and will propose a graphical interface based on Jupyter framework in order to allow working with a graphical interface and command line simultaneously. It will be made available under an open source license via the GITHub versioning platform.