



faces pour générer une topographie observable. En effet, le contraste est très net et permet de mettre en évidence la nature colonnaire de revêtements considérés à ce jour comme parfaitement denses même à l'examen MET. C'est un outil excellent pour relever des fluctuations locales de densité comme les joints de grains. Etant donné que les rendements en pulvérisation sont bien documentés, la méthode donne un contraste de composition bien supérieur au MET. Nous n'avons pas encore exploité l'aspect orientation. De plus, on peut combiner l'analyse MFA et la nanoindentation avec sélection de topographie pour inclure la caractérisation mécanique des composants d'un revêtement.

**Préparation de l'échantillon**

On découpe les pièces pour les coller dos à dos avec époxy et créer un sandwich substrat/revêtement/colle/revêtement/substrat auquel on donne un poli miroir. Comme préparation finale nous avons utilisé une meule à ions commerciale pour relever la structure. Ce décapage produit une topographie puisque la profondeur pulvérisée localement est donnée par:

$$z = \rho \frac{1}{4\pi^2 \gamma} \frac{4m_1 m_2}{(m_1 + m_2)^2} \frac{V}{V_0}$$

où  $\rho$  est la densité locale et  $m_1$  et  $m_2$  sont les masses du ion pulvérisant et de l'atome pulvérisé.

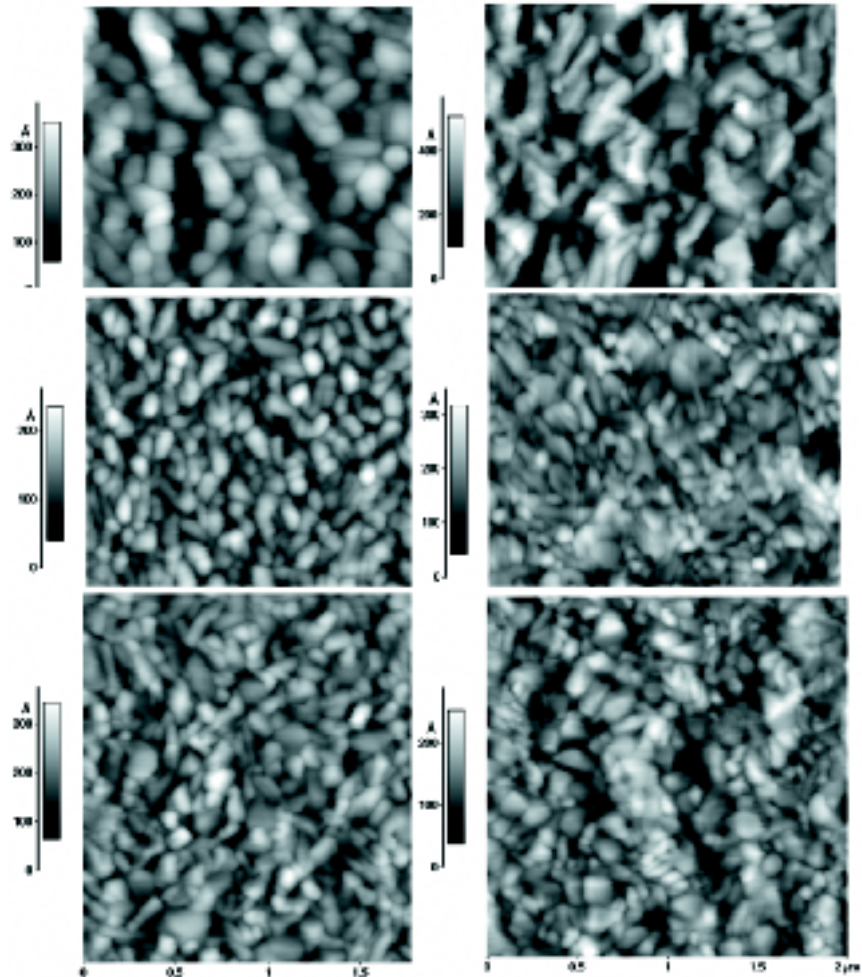
**Applications concrètes**

Dans des projets récents nous avons pu montrer que la caractérisation de la surface à l'échelle nanométrique permet l'optimisation des procédés PVD et améliore la performance en fraisage d'un facteur 10. Nous avons aussi pu montrer que cette même caractérisation permet la suppression de l'usure des mises en couleur or sur les revêtements de TiN pour l'horlogerie.

**Outils de coupe**

Les outils de coupe sont probablement le système tribologique le mieux analysé. Les différentes faces de l'outil doivent résister à l'usure abrasive et dissolutive et à la fissuration. L'observation superficielle à l'échelle nanométrique montre les détails suivants (voir Figures 1 et 2)

Les revêtements plaqués avec arc cathodique présentent une large variété de



**Figure 5 Morphologie des revêtements d'or déposés par pulvérisation cathodique sous différentes conditions.**

**La nanoindentation provoque un écrasement des petits germes d'or**

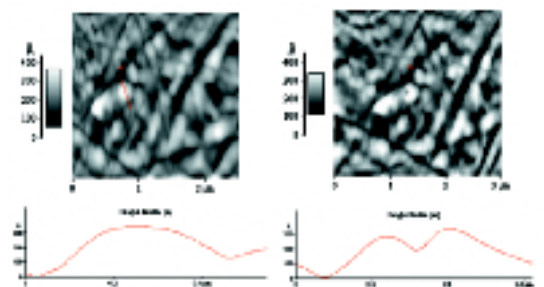
topographies comprenant des topographies en crêtes ou des structures polyprismatiques. L'usure par dissolution du revêtement sur la face de l'outil sera dominée par les fissures intercolonnaires et l'abrasion procédera par écrasement des nanopives. Ces défauts sont absents dans les revêtements nanocristallins isotopiques d'où leur meilleure performance.

**Revêtements décoratifs**

Les revêtements décoratifs haut de gamme emploient une couche fine de 50 à 150 nm d'un alliage d'or déposé par pulvérisation cathodique pour la mise en couleur des revêtements TiN. La résistance aux rayures de ces revêtements a longtemps été insuffisante. On a imputé cette fragilité aux rayures à une dureté insuffisante. Une première analyse MFA montre en effet une structure très ouver-

te de la couche d'or, qui dépend des paramètres du procédé. (Voir Figure 5)

La nanoindentation provoque un écrasement des petits germes d'or (Voir Figure 6). Cet effet d'écrasement mène à une relation de Hall-Petch inverse pour ces revêtements:



**Figure 6 : Ecrasement d'un germe de la mise en couleur or par la « nanoindentation avec sélection de la topographie ».**