

# Caractérisation et analyse des revêtements pour outils de coupe

Ali achour<sup>1</sup>, L Chekour<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departement Génie Mécanique Université de Constantine 1, 5 Rue Des Cousins Hamrouchi Constantine Algérie, Achouralimec@yahoo.fr

<sup>2</sup>Departement De Physique Université de Constantine 1, Constantine Algérie

[chekourl@umc.edu.dz](mailto:chekourl@umc.edu.dz)

## Résumé

L'optimisation des conditions opératoires par outil coupant doit contribuer largement au développement et à la productivité des techniques avancées d'automatisation de l'usinage, car leur mise en œuvre nécessite une maîtrise suffisante du déroulement du processus et en particulier de l'évolution de l'usure des outils. De plus, les progrès techniques, ont développé l'emploi de matériaux très durs ou réfractaires d'usinabilité difficile, nécessitant des matériaux à outils très résistants.

### 1. Introduction

Le succès de la lutte contre l'usure d'un outil de coupe, dépend de la compréhension des phénomènes générant cette usure. Ainsi, les progrès dans le domaine des matériaux font apparaître des outils coupants de nature nouvelle, susceptibles d'améliorer la productivité des techniques d'usinage. Leur mise en œuvre nécessite des expérimentations spécifiques, pour évaluer leurs conditions d'emploi optimales. Toutefois, les résultats que l'on pourrait attendre, sont altérés par un certain nombre de facteurs, à savoir, le revêtement, les caractéristiques physiques ou chimiques, les imperfections, etc.

#### a. 2. Conduite de l'essai

Les essais ont été réalisés au département outillage de l' EN.PMA à El Khroub .

Le but recherché consiste à analyser la capacité de coupe des différents matériaux coupants, afin d'augmenter et de satisfaire le caractère complexe et aléatoire du processus de coupe, les essais ont été réalisés avec les spécifications relatives à la pièce à usiner, à l'outil, aux conditions de coupe, à l'usure de l'outil, à l'équipement, au mode opératoire des essais et aux méthodes d'enregistrement et de mesure.

### 3. Dispositif expérimental

#### 3.1. Machine outil

Tour universel : SN40C, ayant une puissance de 6,6 Kw avec variateur de vitesse mécanique.

#### 3.2. Appareil de mesure

- L'usure frontale a été suivie et mesurée approximativement après chaque expérimentation, à l'aide d'un microscope optique d'atelier HAUSSER, équipé d'une table croisée et d'un plateau circulaire, avec une précision de 0.01.

- L'usure en cratère a été visualisée à l'aide d'un dispositif équipé d'un comparateur à cadran et d'une pointe, avec une précision de 0,001 mm.

- Le palpeur optique à rayon laser, a été utilisé pour l'obtention des topographies des surfaces usées sur trois axes.

- Les observations topographiques, l'analyse qualitative et quantitative avec l'identification de divers éléments déposés sur les faciès d'usure ont été observé sur MEB (microscope électronique à balayage).

### 3.3. Matériaux de l'outil

Les plaquettes utilisées pour les essais sont des plaquettes carbure type P25, et plaquettes carbure de grade P25 revêtues soit TiN soit TiC – de forme triangulaire équilatérale.

### 3.4. Caractéristiques de la matière usinée

On a utilisé des rondins de nuance 42CrMo4V HB=257Kg/mm<sup>2</sup>.

## 4. Résultats expérimentaux

Les différentes analyses mettent en relief les déformations plastiques et les phénomènes interfaciaux au sein du matériau, et obéissent aux lois déjà connues dans la littérature. L'usure est la conséquence de sollicitations très importantes, que l'outil encaisse à l'interface. Ces dernières sont de nature mécanique et nécessitent une aptitude de dureté et de ténacité éminentes et des propriétés thermiques qui auront tendance à dégrader la cohésion du matériau par des réactions de diffusion, de dissociation ou de transfert.

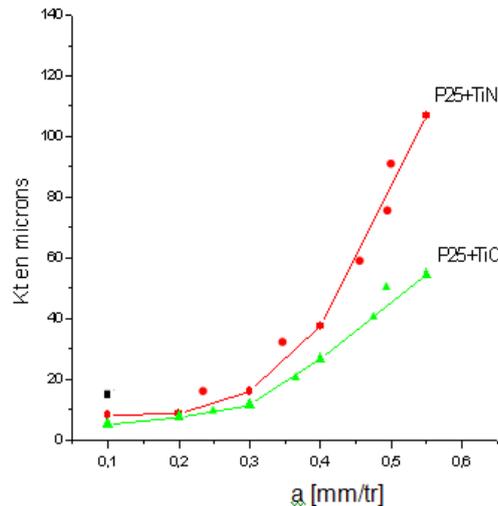


Figure 4 : Evolution de l'usure  $K_t$  en fonction de l'avance  $V = 450\text{m/mn}$ ;  $p=1\text{mm}$ ;  $t=40\text{mn}$  sur 42CrMo4v

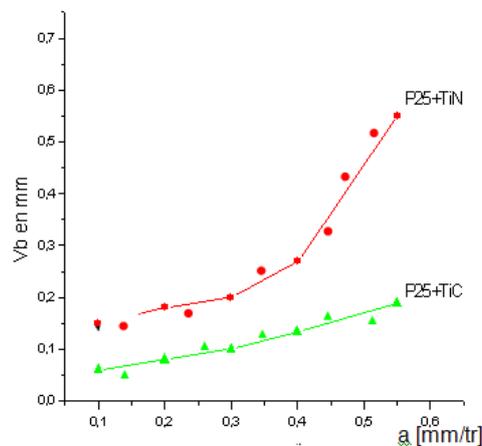


Figure 5 : Evolution de l'usure  $V_b$  en fonction de l'avance,  $V = 450\text{m/mn}$ ;  $p=1\text{mm}$ ;  $t=40\text{mn}$  sur 42CrMo4v

En effet, l'allure des courbes 4 et 5 montrent la variation de l'usure en dépouille et en cratère en fonction des paramètres de coupe. Les courbes expérimentales présentent des allures quasi-linéaires. En effet, l'allure des courbes résultant de l'évolution de l'usure, montre que la mise hors service définitive de l'arête est atteinte généralement, après deux étapes d'évolution et lorsque l'usure atteint 0.2 à 0.5mm. Au delà de cette valeur, le comportement de l'outil devient aléatoire [4, 6].

## 5. Analyses

### 5.1. Etat de surface

Des analyses de surface ont été effectuées à l'aide d'un rugosimètre optique à rayon laser. Les figures 6 et 7 montrent que La rugosité des outils est schématisée par des aspérités triangulaires dont les creux définissent un volume appelé volume d'Abbott (figure 4). Ces creux vides au départ, se remplissent de débris et selon le taux d'usure peuvent déborder. Ainsi, l'outil s'use autant à l'avant qu'à l'arrière et chaque sillon recueille ainsi la même quantité de débris par unité de distance parcourue le long du contact fait de débris [2].

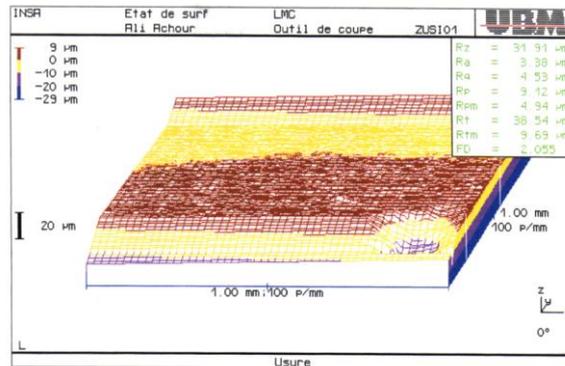


Figure 6 : déformation plastique et physico-chimique en 3d du bec de l'outil, revêtement Tin

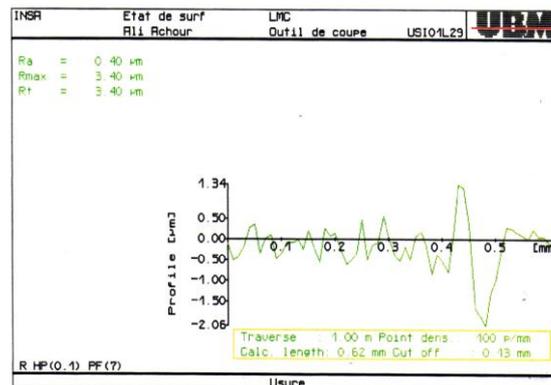


Figure 7 : déformation plastique et physico-chimique en 2d au bec de l'outil, revêtement tin

Les relevés sur profilomètre optique (figure 6) mettent en exergue la morphologie de l'état de surface à trois dimensions, de l'arête tranchante. On distingue une topographie très labourée, représentée par quatre stratifications étagées de couleurs distinctes, le rouge, le jaune, le violet et le bleu, avec une précision dimensionnelle. A travers cette topographie, on distingue aisément les progressions de l'usure des outils de coupe, les imperfections à travers les différents revêtements, les déformations plastiques et physico-chimiques que l'outil subit au cours de l'usinage.

La nature et la rugosité des matériaux en contact produisent des particules d'usure dont une partie, sous l'action des écoulements et des pressions dans le contact, adhère à l'outil pour former le film de transfert ou troisième corps (figure 11). Ce film intervient comme condition aux limites et contrôle totalement l'écoulement du troisième corps au cours de l'usinage [1, 2].

## 6. Image électronique

Les micrographies obtenues par MEB, de la face usée des pastilles, illustrent l'influence des paramètres de coupe sur la plaquette.

En effet, l'état du bec de l'outil et les défauts d'état de surface résultant des imperfections de la coupe, donnent des ébréchures d'arêtes, un écaillage du revêtement, une usure en cratère et une rugosité de la surface découpée, différente de la rugosité théorique (figure 8 et 9).

Les matériaux en vis-à-vis, possèdent des duretés très différentes. Les risques de dégradation par labourage, abrasion et transfert conduisent à augmenter la rugosité du couple en contact (figure 10).

Lorsque le copeau glisse sur la face de dégagement de l'outil, il y a un frottement intense. Comme tous les frottements, celui-ci crée des élévations de température micro-localisées, des fusions et micro-soudures, ceci peut aboutir au collage d'une certaine quantité du matériau sur l'outil, juste au dessus de la coupe avec formation d'un troisième corps (figure 11). C'est ce qu'on appelle la fausse arête qui en croissant, va complètement changer les caractéristiques de l'usinage, la côte de la pièce finie et l'état de surface. Lorsque cette fausse arête aura trop grandi, elle sera soumise à des efforts tels qu'elle sera arrachée d'un bloc et otée de l'outil (figure 10), on reviendra alors, aux caractéristiques de coupe précédentes. Ce rythme entre la formation d'une fausse arête et son élimination, provoque des irrégularités de surfaces, semblables à des vagues (figure 8).

Aussi, le déplacement relatif entre ces surfaces rugueuses ne peut s'obtenir que par fissuration de l'interface ou fissuration des substrats. A cause de l'adhérence, une partie du déplacement peut être accommodée par la déformation plastique des couches superficielles, qui s'écaillent et qui peuvent être le siège de modification structurale [4, 7].

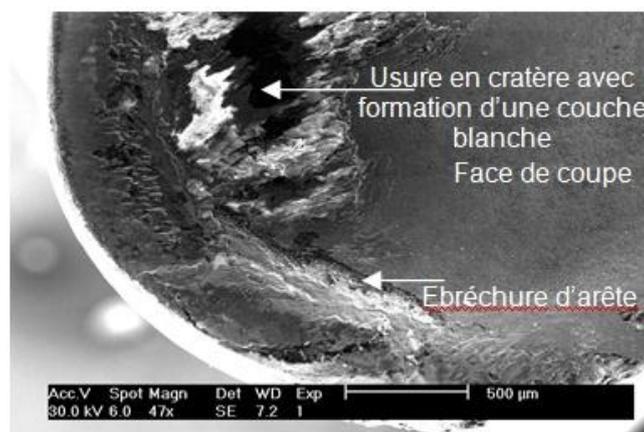


Figure 8 : Morphologie de la topographie sur MEB de l'usure de l'outil TiN sur 42CrMo4V  
 $V=450\text{m/mn}$ ,  $a=0.4\text{mm/tr}$ ,  $p=1\text{mm}$ ,  $t=40\text{mn}$  Usure en cratère avec formation d'une couche blanche

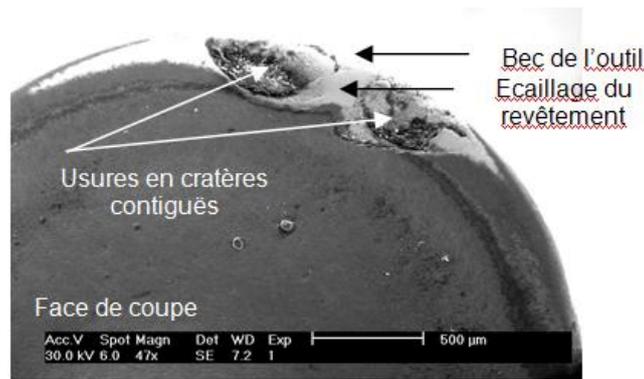


Figure 9 : Morphologie de la topographie sur MEB de l'usure de l'outil TiN sur 42CrMo4V  $V=450\text{m/min}$ ,  $a=0.4\text{mm/tr}$ ,  $p=1\text{mm}$ ,  $t=40\text{mn}$  Formation de deux usures en cratères contigus

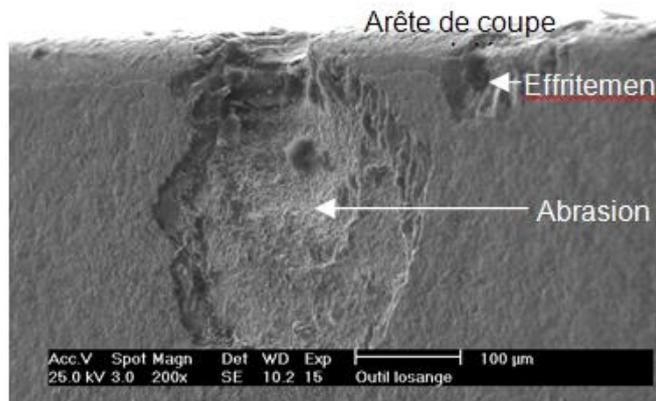


Figure 10 : Morphologie de la topographie sur MEB de l'usure de l'outil TiN sur 42CrMo4V,  $V=450\text{m/min}$ ,  $a=0.4\text{mm/tr}$ ,  $p=1\text{mm}$ ,  $t=40\text{mn}$ , Usure par abrasion et effritement

Le contact entre les premiers corps (outil et matière), est le siège d'un phénomène de compression dû au contact entre le métal usiné et la face d'attaque de l'outil.

La figure 13 montre le mécanisme de formation du 1er corps. On remarque d'abord sur la figure 13.a, qui montre la face de dépouille de l'outil, que le contact outil-pièce est très réduit, lorsqu'on le compare à la zone de contact outil-copeau (figure 13.b).

On observe une usure remarquable et importante sur la face de dépouille, qui se caractérise par une morphologie dégradée de l'outil (figure 13.a).

Sur la figure 13.b, on note une usure en cratère caractéristique du phénomène de contact entre les deux autres corps. Le rapport entre les dimensions des deux contacts est très voisin du 1/10, d'après les facteurs d'agrandissement utilisé.

Un agrandissement localisé dans cette zone de contact outil/copeau (figure 13.c), montre que le premier corps présente deux zones bien distinctes (figure 13.d):

- Une zone d'adhésion qui reste liée à la pièce;
- Une zone de frottement avec l'outil.

L'apparition des deux zones est observée dans le sens d'écoulement du copeau. Ainsi, si l'on veut évaluer la capacité de la coupe de l'outil, on adopte généralement le critère d'usure recommandé par ISO, prévoyant une valeur de l'usure frontale  $V_B=0.3\text{mm}$ , qui ne peut être applicable directement pour ce type de matériaux.

La formation du copeau pour les matériaux tendres, est caractérisée par la présence d'une zone de déformation plastique intense. Cette zone est le siège d'apparition de fissures qui se manifestent par une propagation de dislocations. Il apparaît ainsi un glissement de plan parallèle, d'où l'appellation de cette zone de zone de cisaillement primaire (figure 13.e).

Une augmentation de la vitesse de coupe entraîne une modification de la morphologie du copeau. Lorsque la vitesse de coupe devient très élevée, un phénomène de fragmentation apparaît jusqu'à l'obtention de copeau pulvérulent.

Les analyses quantitatives du premier corps (figure 12), montrent la diffusion de la couche protectrice qu'on retrouve sur l'outil de coupe, comparable à un oxyde ou un mélange d'oxyde.

L'analyse EDAX a révélé les éléments suivants : le calcium, du silicium, du chrome, du manganèse, de l'aluminium et du fer qui constituent le 3<sup>ème</sup> corps.

Ainsi, ce dépôt peut servir à la formation d'une couche visqueuse qui joue le rôle de lubrifiant et d'autre part, à des soudures qui constituent une couche servant le rôle de pseudo-outil.

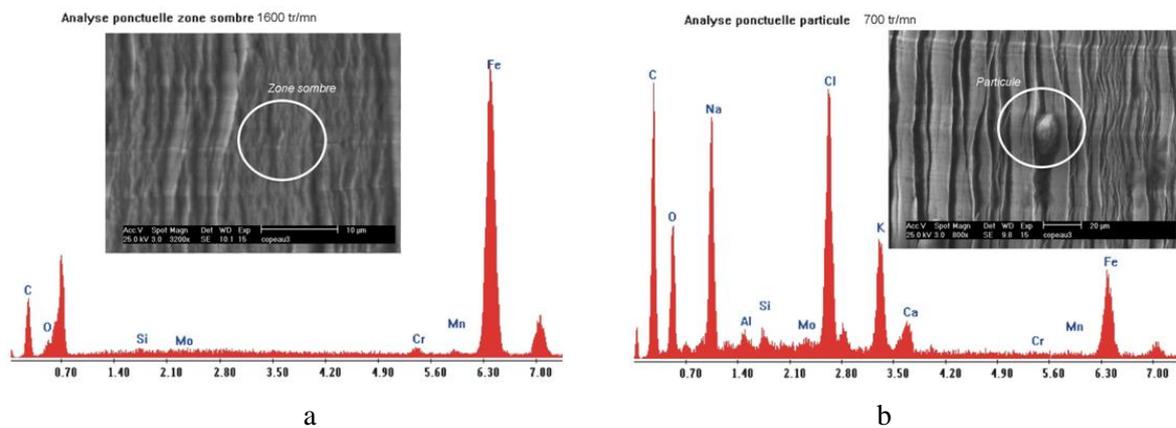


Figure 12 : Morphologies et analyses quantitatives du 1er corps pour différents cas de paramètres de coupe a) Analyse ponctuelle particule à 700 tr/mn b) Analyse ponctuelle zone sombre à 1600 tr/mn

## 7. Discussion et conclusion

L'analyse des résultats présentes précédemment est difficile, car les contradictions apparentes sont nombreuses et les données ou lignes directrices de réflexions insuffisantes pour tenter de les concilier. L'obstacle principal provient du fait que chaque essai analysé, se fait avec une optique le plus souvent mono-disciplinaire, ce qui laisse dans l'ombre les éléments d'appréciation propres aux autres domaines. Le premier enseignement est donc, que toute recherche est pluridisciplinaire. Elle exige la contribution d'un mécanicien, d'un physicien des volumes et des surfaces, et d'un chimiste.

L'analyse de chacune des principales formes d'usure des surfaces devrait permettre d'une part, de rendre un diagnostic sûr, concernant l'origine des détériorations examinées sur les surfaces détériorées et, d'autre part, de proposer un ou plusieurs remèdes destinés à lutter contre une usure ultérieure.

La morphologie des usures obtenues, nous laisse présager qu'un accommodement est à faire entre les résistances de tous les types d'usures et de surcroît le revêtement avec ses critères physico-chimique.

De plus, un aspect morphologique spécifique de la détérioration, même non masqué par des phénomènes secondaires, n'informe pas toujours, sur le type d'usure impliqué. Ainsi, la présence de petites cavités sur une surface peut être due à un processus de fatigue, ou de corrosion de contact, ou d'érosion par cavitation [2, 3].

Nous avons également constaté à travers nos multiples expérimentations que la nature et l'évolution de l'usure des outils de coupe dépendent de nombreux facteurs (vitesse de coupe, géométrie du copeau, nature et géométrie de l'outil, matériaux usinés ...); De ce fait, il est très difficile d'établir un critère d'usure, d'emploi très général, pour la détermination du temps effectif de coupe des outils [1, 4].

Cependant, la comparaison des résultats obtenus avec les mêmes matériaux, conduit à des conclusions variées quant à la possibilité d'évolution rapide des paramètres de la loi d'usure des outils; la validité de ces procédures dépend en effet du type de matériau et de la possibilité d'établir un modèle à la fois simple d'expression et suffisamment représentatif, pour décrire l'évolution du processus d'usure.

Les recherches entreprises ces dernières années sur les revêtements pour outils de coupe, ont montré que les revêtements TiC et TiN sont généralement les plus efficaces malgré que, dans certaines circonstances particulières, ces alliages sont extrêmement réactifs (réaction chimique) et dans ce cas on leur préfère un revêtement en  $Al_2O_3$ .

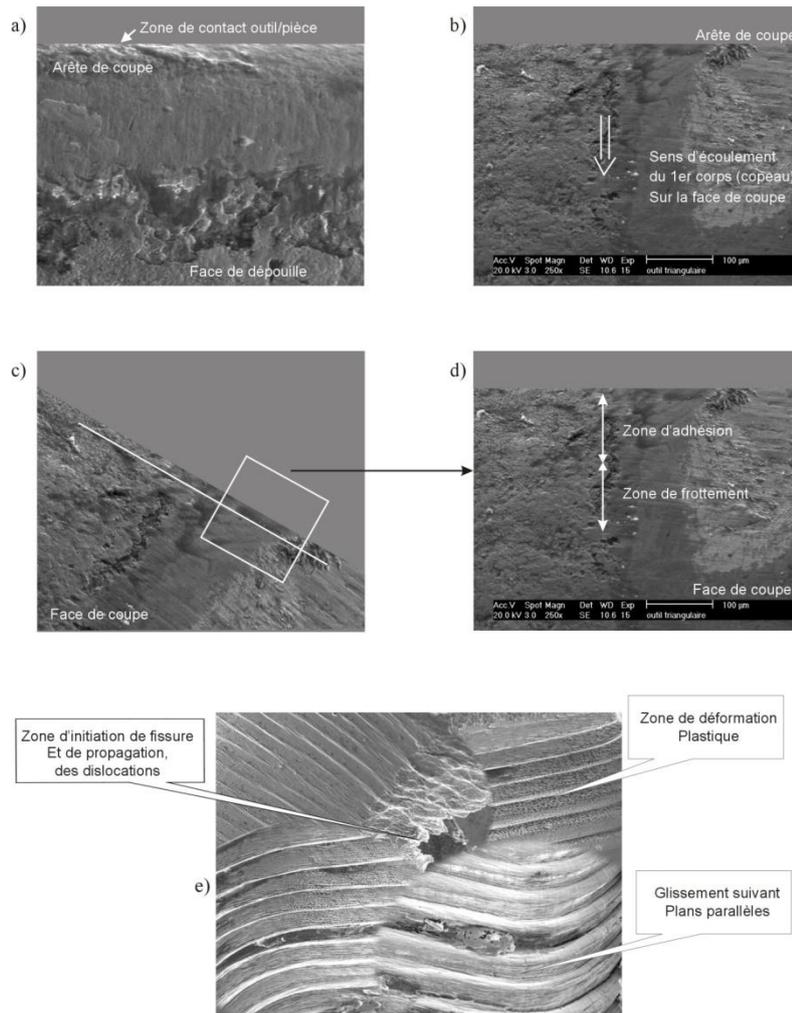
Par ailleurs, des recherches sur l'endurance des outils de coupe, ont montré que ces revêtements contribuent à une meilleure tenue des outils. Les vitesses de coupe permises peuvent aller de 15m/mn pour l'ébauche des super-alliages à base de Nickel, jusqu'à 180 m/mn pour le Titane [5].

Enfin, il faudrait souligner par contre que ces revêtements ne sont pas des revêtements miracles, qui excellent à la fois en terme de coefficient de friction, de dureté, de température maximale permise et de stabilité chimique.

Il faudrait donc accepter un compromis en ce qui concerne les performances recherchées [6 et 7].

#### ***i. Références bibliographiques***

- [1] F. LEROY, "Endommagement des outils de coupe", *Technique de l'ingénieur*, B. 7042, 2004.
- [2] M. GODET, "Extrapolation in tribology", *wear*, Vol. 77, pp. 29 – 44, 1982.
- [3] P. GUIRALDENQ, "Diffusion dans les métaux", *Ecole centrale de Lyon*, M. 55, 2003.
- [4] B.ROUMESY, C.BEDRIN, "Correlation between evolution of tool wear during machinability fast test", *annals of C.I.R.P.*, Vol. 28, N° 1979, pp. 1-5.
- [5] G. COVAREL, P. LOUIS, "Etude expérimentale et théorique des relations entre structure et propriétés mécaniques de matériaux TiC et TiN utilisés comme revêtement d'outil, soumis aux conditions extrêmes des processus d'usinage", *Surface and coating technology*, 2001.
- [6] F. LE MAITRE, PH. COCHET, "Mécanisme d'usure et de rupture des outils carbure, 25<sup>ème</sup> Assemblée générale du C.I.R.P.", *Freudenstadt*, 27 août 1975.
- [7] P. KAPSA et M. CARTIER, "Usure des contacts mécaniques manifestation de l'usure", *Technique de l'ingénieur*, BM 5067, 2004.



Vue au MEB de la zone de contact entre le 1er corps et le 2ème corps plaquette revêtue TiN

- a) Contact outil/pièce
- b) Contact outil/copeau
- c) Zoom sur contact outil/copeau
- d) Observation des zones d'adhésion et de frottement
- e) Zone de déformation plastique