

Etude de l'endommagement des outils de coupe en céramique noire et en CBN lors du tournage d'un acier durci

M. Yallese

Laboratoire Mécanique et Structure (LMS),
Université de Guelma, BP 401, 24000 Guelma, Algérie,
yallese@yahoo.fr,

L. Boulanouar

Laboratoire Mécanique des Matériaux et Maintenance Industrielle (LR3MI)
Université de Annaba, BP 12, Annaba 23000, Algérie.
boulanouar_lak@yahoo.fr

S. Belhadi

Laboratoire Mécanique et Structure (LMS),
Université de Guelma, BP 401, 24000 Guelma, Algérie,

Résumé

Dans cet article sont exposés les résultats, relatifs à l'étude du comportement à l'usure de deux outils de coupe : la céramique noire CC650 et le Nitrure de Bore Cubique CBN7020, lors de l'usinage de l'acier 100Cr6 trempé à usinabilité difficile. L'influence de la vitesse de coupe sur la tenue des deux matériaux à outils, ainsi que l'influence de leur usure sur la rugosité ont été étudiées. Les résultats obtenus montrent que le CBN7020 dépasse de loin la céramique noire CC650 en qualité de surface et en durée de vie. A la vitesse de 120 m/min, la tenue du CBN7020 est 19 fois supérieure à celle de la céramique CC650. La rugosité des surfaces générées est comparable à celle de la rectification ($0,2 \mu\text{m} < \text{Ra} < 1,6\mu\text{m}$). Une corrélation entre la durée de vie et la vitesse de coupe est proposée.

Mots clés : Céramique, Usure, Usinage, Durée de vie, Nitrure de Bore Cubique, Acier.

Abstract

In this paper are exposed the results relating to the study of wear behavior of black ceramic CC650 and cubic boron nitride CBN7020 cutting tools during the machining of 100Cr6. The latter is a hardened steel known for its difficult machinability. The influence of cutting speed on the tool-life, as well as that of wear on roughness were studied. The obtained results in terms of surface quality and tool-life show that the CBN7020 exceeds by far black ceramic. At 120 m/min, the CBN7020 life is 19 times higher than that of CC650. The generated surface roughness is comparable with that of grinding ($0,2 \mu\text{m} < \text{Ra} < 1,6 \mu\text{m}$). Finally, a correlation relating tool-life and corresponding cutting speed is deduced.

Key words: Ceramic, Wear, Machining, Tool-life, Cubic Boron Nitride, Steel.

1. INTRODUCTION

Durant le processus de coupe et suite à l'action intensive et mutuelle entre les surfaces de contact de la partie active de l'outil et celles de la pièce à usiner, surgissent de grands efforts de coupe, de hautes

températures et d'autres facteurs, qui provoquent l'apparition de l'usure sur les facettes de la partie active de l'outil. Celle-ci conduit à l'endommagement de la précision et de la qualité de l'état de surface de la pièce usinée. Par conséquent l'usure des outils de coupe est un processus très complexe, durant lequel sur les surfaces de contact de la partie active avec le copeau et la pièce à usiner, apparaissent des phénomènes physico-chimiques. Autrement dit l'usure est un processus de destruction des couches superficielles de la partie active de l'outil, qui conduit avec le temps à la modification progressive de la forme et de l'état de surface des pièces usinées. Elle affecte également les paramètres géométriques (angles et rayon du bec) de l'outil, la température, les efforts de coupe, la durée de vie, la précision macro et micro- géométrique de la surface usinée. En fonction des conditions d'usinage, elle peut affecter une, deux ou l'ensemble des surfaces de la partie active de l'outil [1, 2, 3, 5, 6, 8].

L'usure se traduit avant tout par un arrachement de petites particules de métal des surfaces d'attaque et de dépouille principale et auxiliaire de l'outil. L'usure suivant la surface d'attaque (caractérisée par un cratère) est due à son frottement avec le copeau, alors que celle des surfaces de dépouille principale et auxiliaire (caractérisée par une bande) est due respectivement à leur contact avec la surface de coupe et la surface usinée de la pièce.

Il est à noter que l'usure des outils de coupe, notamment lors de l'usinage des matériaux difficiles à usiner, se manifeste dans des conditions de travail beaucoup plus sévères que celles des pièces de machines. En effet la pression spécifique dans les surfaces de contact des pièces de machines ne dépasse pas quelques MPa et la température d'échauffement est inférieure à 100°C, alors que la pression spécifique dans les surfaces de contact de la partie active d'un outil de coupe est de l'ordre de 10^3 à 2×10^3 MPa et la température d'échauffement dans ce cas varie de 100°C à 1000°C et même plus [1, 2].

La nature physique du mécanisme d'usure des outils travaillant dans des conditions différentes est élucidée par une série d'hypothèses [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 18]. Selon ces dernières le mécanisme d'usure s'explique par l'effritement, l'abrasion, l'adhésion et la diffusion.

En fonction des conditions de travail (propriétés physico-mécaniques de la matière à usiner et celles du matériau de l'outil, éléments du régime de coupe, liquide de lubrification et d'arrosage, rigidité du système usinant...etc.), l'usure des outils de coupe se manifeste d'une manière très variée. En règle générale, l'outil s'use suivant sa surface d'attaque et ses surfaces de dépouille. Néanmoins ces conditions de travail peuvent faire dominer tel ou tel type d'usure [1, 4, 7, 12].

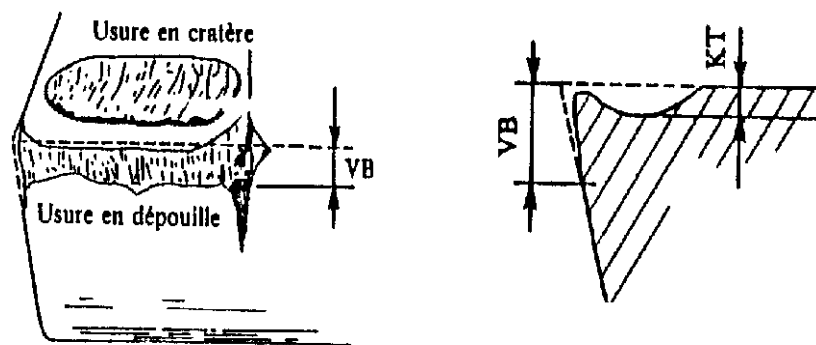


Figure 1 : Eléments caractéristiques de l'usure d'un outil.

Selon la norme ISO 3685-1977 (F) [20], les éléments d'usure les plus caractéristiques d'un outil de tour sont représentés sur la Figure 1. Parmi les facteurs influençant les éléments d'usure de la Figure 1, il faut ajouter le facteur «temps» de travail. La relation entre l'usure et le temps a le caractère suivant connu dans la littérature [1,2,4,5,6,18,19] :

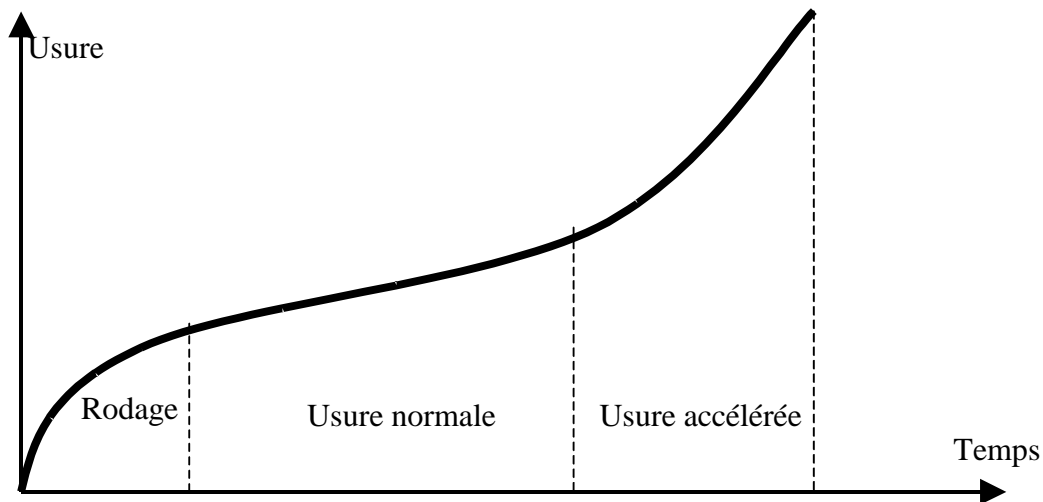


Figure 2 : Relation caractéristique entre l'usure d'un outil et le temps d'usinage.

En se basant sur ce bref aperçu traitant la question de l'usure des outils de coupe, on constate que les principaux paramètres technologiques, tels que la précision d'usinage, la qualité de l'état de surface, le prix de revient, la productivité de travail,...etc., sont en relation directe avec l'usure. Par conséquent l'étude approfondie et continue de l'usure, notamment lors de l'usinage des aciers durcis, tel que le 100Cr6 trempé, avec des matériaux à outils de hautes performances est une tâche d'une grande importance économique et technologique en productique mécanique. C'est pourquoi dans cet article, nous présentons les résultats expérimentaux du comportement à l'usure du Nitrure de bore cubique CBN7020 et celui de la céramique noire CC650 en fonction de la vitesse de coupe et du temps de travail lors de l'usinage de l'acier 100Cr6 trempé (60HRC), qui présente un comportement agressif envers les matériaux à outils. Nous exposons également les résultats de la dégradation de la qualité de la surface générée de la pièce, sous l'effet de l'usure de ces deux matériaux à outil.

2. PROCEDURE EXPERIMENTALE

Les essais consistent à faire des opérations de chariotage longitudinal à sec sur une longueur d'usinage constante et avec un montage mixte. La méthodologie entreprise est celle de longue-durée [1,2,14]. Les essais sont réalisés sur un tour à charioter et à fileter très rigide du type TOS TRENCIN, modèle SN40, ayant une puissance sur la broche de 6,6 kW. Les matériaux à outils testés sont livrés sous forme de plaquettes amovibles de forme carrée, en Nitrure de Bore Cubique «CBN7020 » et en céramique noire «CC650 ». Leur composition chimique ainsi que leur désignation sont données dans le tableau 1.

Matériau à outil	Composition chimique	Désignation
Nitrure de Bore Cubique CBN7020	57%CBN+35% TiCN+8% autres	SNGA120408
Céramique noire CC650	70% Al ₂ O ₃ + 30% TiC	SNGN120408

Tableau 1 : Composition chimique et désignation des plaquettes utilisées

Les porte-plaquettes utilisés pour leur fixation sont du type CSBNR2525M12 et PSBNR2525K12 et ils ont la géométrie suivante : $\chi_r = 75^\circ$, $\gamma = -6^\circ$, $\alpha = 6^\circ$, $\lambda = -6^\circ$.

Les essais d'usinage sont réalisés sur des éprouvettes en acier 100Cr6 trempé (60HRC), d'un diamètre de 80 mm et d'une longueur usinée de 400 mm. La composition chimique de cet acier est illustrée dans le tableau 2.

Éléments chimiques	C	Cr	Mn	Ni	Si	P	S
%	1,05	1,41	0,38	0,21	0,21	0,03	0,028

Tableau 2 : Composition chimique de l'acier 100Cr6

Cet acier a subi un traitement thermique de trempe et revenu, ce qui a permis d'augmenter sa dureté de 285 HB à 60HRC. Grâce à sa haute résistance à l'usure, il est généralement utilisé pour la fabrication des billes, rouleaux, bagues et cages de roulement. Il est également employé comme matrice de formage pour la mise en forme à froid, cylindres de laminoirs et enfin comme revêtement d'usure.

Les essais sont effectués d'après la méthode uni factorielle. Les valeurs de la vitesse de coupe en tant que facteur variable sont prises comme suit :

- Pour les essais avec le CBN : $V_{c1} = 120$ m/min, $V_{c2} = 180$ m/min, $V_{c3} = 220$ m/min,
- Pour les essais avec la CC650 : $V_{c1} = 60$ m/min, $V_{c2} = 90$ m/min, $V_{c3} = 120$ m/min

Les valeurs de l'avance et de la profondeur de passe sont maintenues constantes et elles sont respectivement égales à 0,08 mm/tr et 0,5 mm.

En se référant à la norme ISO 3685-1977 (F), nous avons retenu les critères suivants de l'usure admissible : $[VB] = 0,3$ mm, et $[KT] = 0,15$ mm.

Cependant, pour faire une analyse approfondie sur le comportement à l'usure de ces matériaux et sur la dégradation de l'état de surface en fonction de l'usure, nous avons jugé utile de pousser la valeur admissible de l'usure en dépouille jusqu'à $[VB] = 0,4$ mm.

Le suivi de l'évolution de l'usure a été effectué à l'aide d'un microscope optique, type HUND (W-AD), équipé d'une caméra CCD (Figure 3). Quant à la mesure des différents critères de la rugosité nous avons utilisé un rugosimètre SurfTest 301 (Mitutoyo), équipé d'une imprimante intégrée, de profil de rugosité.

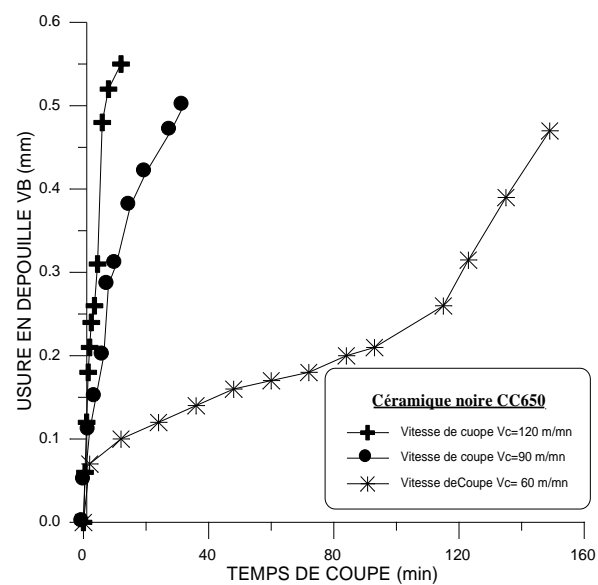


Figure 3 : Microscope optique équipé d'une caméra CCD pour la mesure de l'usure

3. RESULTATS

3.1. Résultats de l'usure

Les résultats du suivi de l'évolution de l'usure en dépouille (VB) et en cratère (KT) en fonction du temps et de la vitesse de coupe lors de l'usinage de l'acier 100Cr6 trempé avec les deux matériaux à outils testés sont illustrés par les figures (4 et 5).



a)

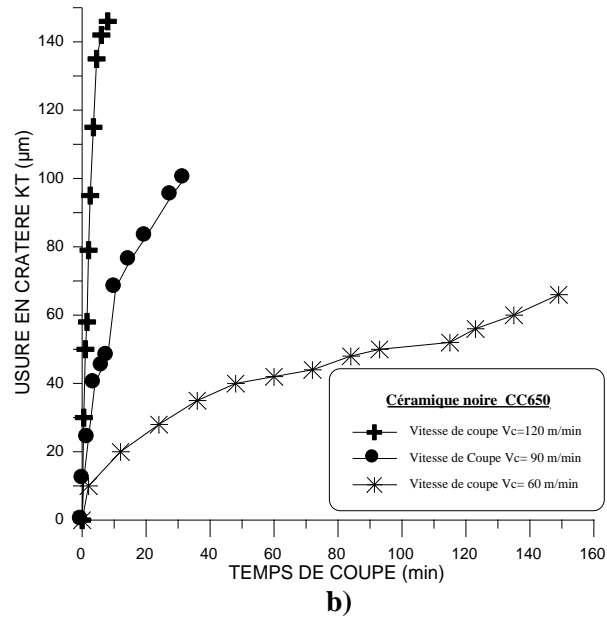
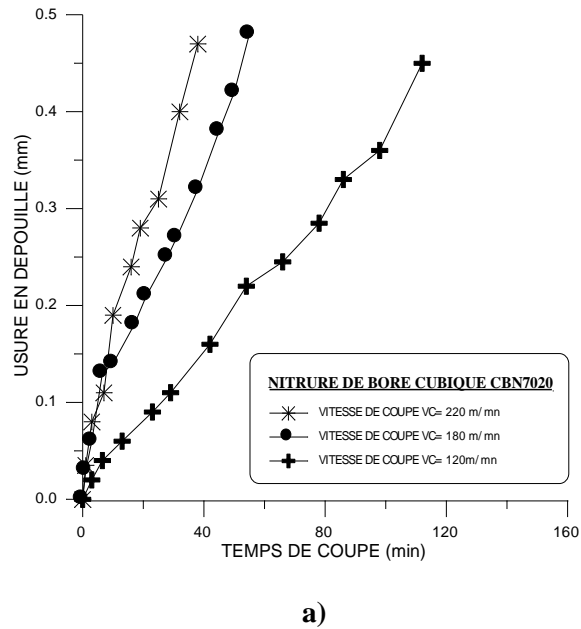
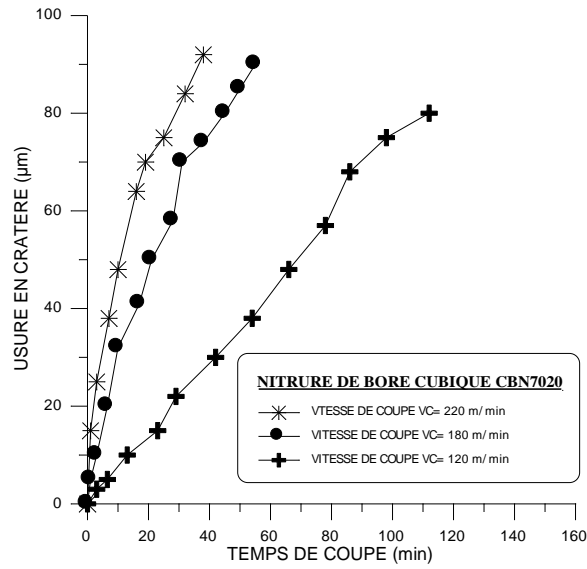


Figure 4 : Influence du temps et de la vitesse de coupe sur l'évolution de l'usure en dépeuille (a) et en cratère (b) des plaquettes en céramique noire CC650.



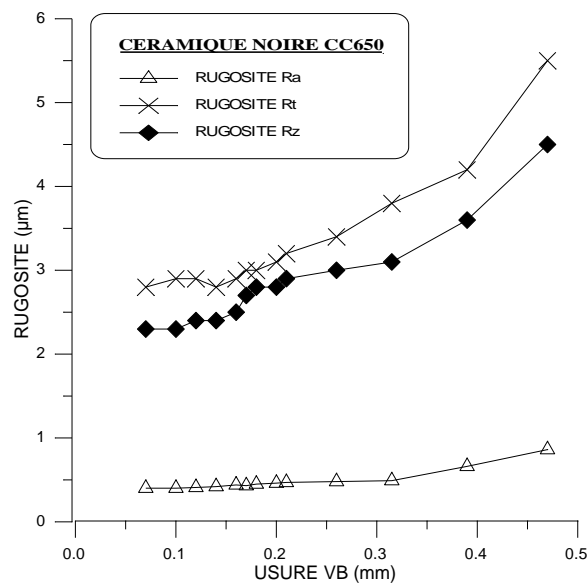


b)

Figure 5 : Influence du temps et de la vitesse de coupe sur l'évolution de l'usure en dépouille (a) et en cratère (b) des plaquettes en CBN 7020.

3.2. Résultats de la rugosité

Les résultats exprimant l'influence de l'usure des deux matériaux testés sur l'état de surface des éprouvettes en acier 100Cr6 trempé à différentes vitesses de coupe sont représentés sur les figures (6 et 7). Les profondeurs de passe et l'avance sont maintenues constantes et elles sont égales respectivement à 0,5 mm et 0,08 mm/tr.



a) Vc = 60 m/min

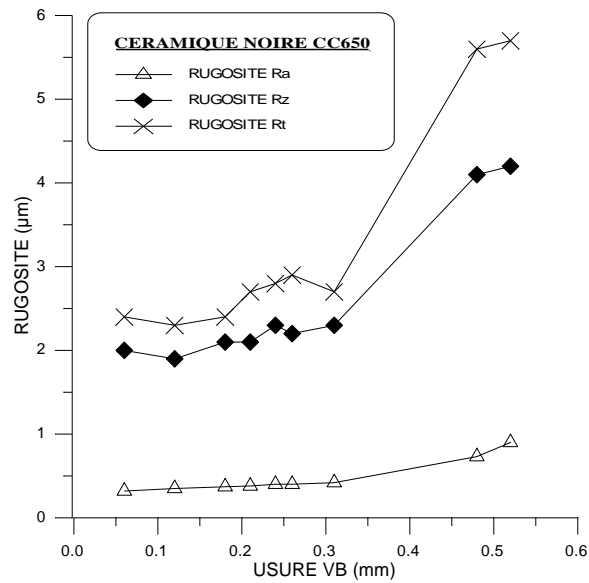
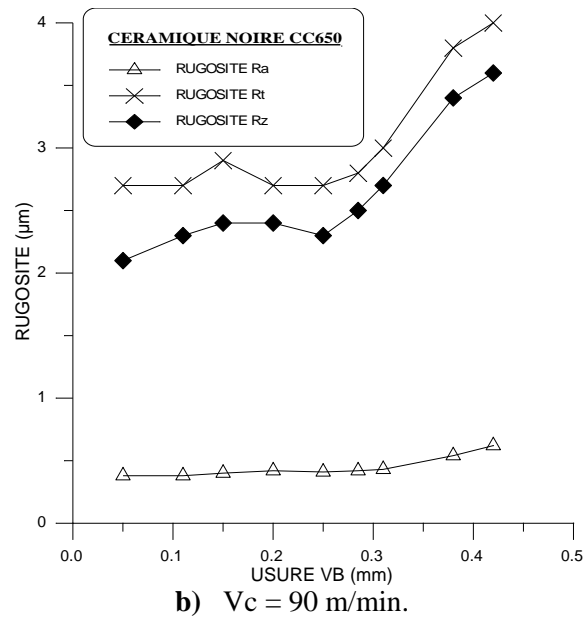
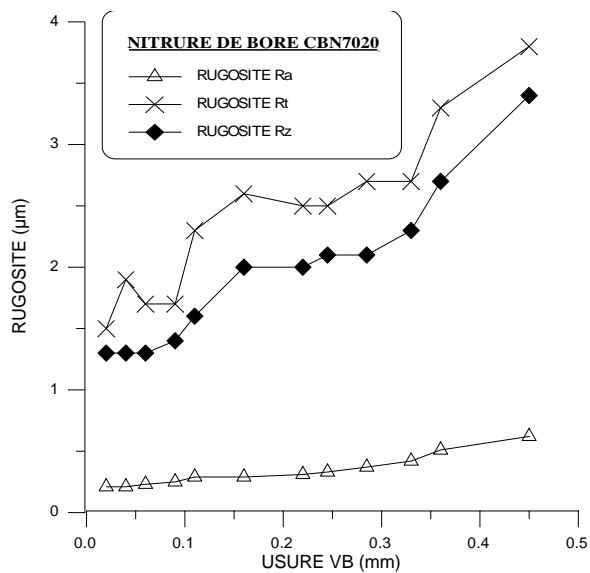
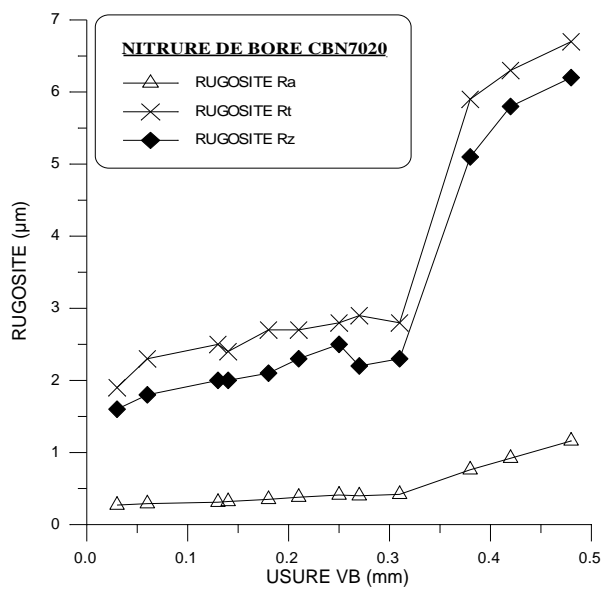


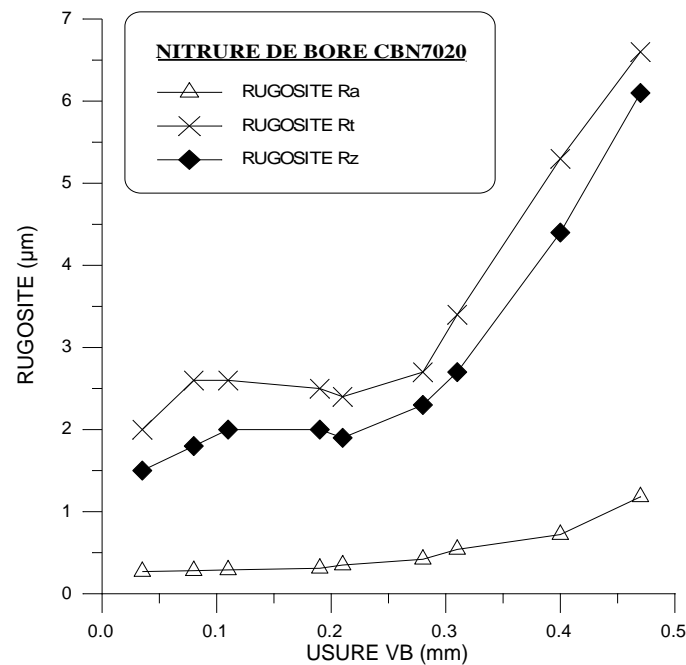
Figure 6 : Rugosité en fonction de l'usure (VB) de la céramique noire à différentes vitesses de coupe.



a) $V_c = 120$ m/min.



b) $V_c = 180$ m/min.



c) $V_c = 220$ m/min.

Figure 7 : Rugosité en fonction de l'usure (VB) du CBN 7020 à différentes vitesses de coupe.

4. TRAITEMENT ET ANALYSE DES RESULTATS

4.1. Traitement et analyse des résultats de l'usure

Le traitement des résultats de l'usure en dépouille VB (figures 4 et 5) en fonction du temps a permis la détermination des durées de vie (tenues) des deux matériaux à outils testés (Céramique CC650 et CBN7020) pour les différentes vitesses de coupe retenues. Il est à noter que la durée de vie (T) a été déterminée en se basant uniquement sur l'usure en dépouille car la vitesse d'accroissement de celle-ci par rapport à celle de l'usure en cratère est nettement plus grande. Les valeurs des tenues trouvées sont données dans le tableau 3.

Matériau à outil	Facteur variable (Vitesse de coupe) (m/min)	Valeurs de la durée de vie (T), (min) pour différents critères d'usure	
		[VB] = 0,3 mm	[VB] = 0,4 mm
Nitrure de Bore Cubique CBN7020	$V_{c1} = 120$	80	105
	$V_{c2} = 180$	35	47,3
	$V_{c3} = 220$	22	34
Céramique noire CC650	$V_{c1} = 60$	119	137
	$V_{c2} = 90$	14	24
	$V_{c3} = 120$	4,2	5,25

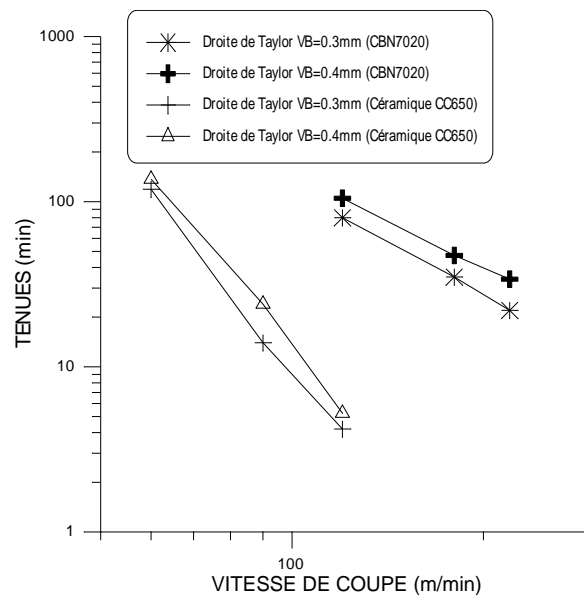
Tableau 3 : Valeurs obtenues des durées de vie de la Céramique CC650 et du CBN7020 en fonction de la vitesse de coupe.

Le traitement d'après la méthode des moindres carrés des valeurs trouvées de la tenue en fonction de la vitesse de coupe (tableau 3), a permis la mise au point de corrélations reliant ces deux paramètres comme illustré dans le tableau 4 :

Matériau à outil	Corrélation		Coefficient de détermination R^2
	[VB] = 0,3 mm	[VB] = 0,4 mm	
Nitride de Bore Cubique CBN7020	$T = e^{14,52} V_c^{-2,117}$	$T = e^{13,625} V_c^{-1,876}$	$R^2 = 0,992$
Céramique noire CC650	$T = e^{24,6035} V_c^{-4,854}$	$T = e^{24,122} V_c^{-4,679}$	$R^2 = 0,988$

Tableau 4 : Corrélations entre la tenue et la vitesse de coupe.

Les valeurs des tenues obtenues expérimentalement au tableau 3, ainsi que celles calculées d'après les corrélations trouvées au tableau 4 en fonction de la vitesse de coupe sont présentées à l'échelle logarithmique sur la figure 8.



a)

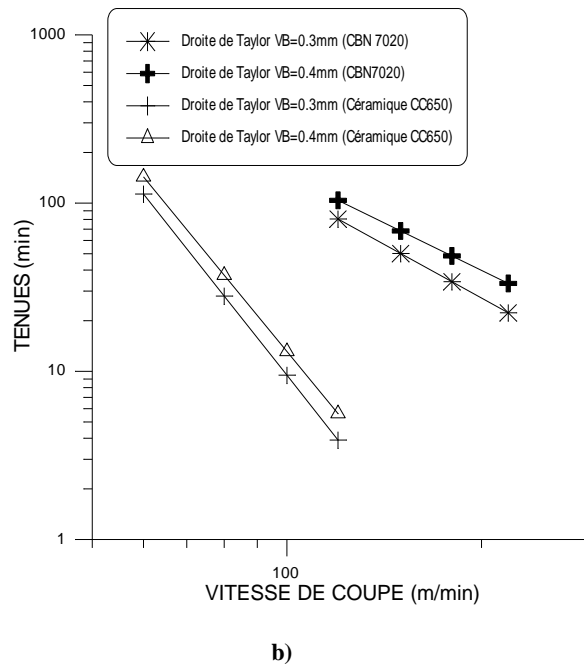


Figure 8 : Valeur des tenues des outils CBN7020 et céramique CC650 en fonction de la vitesse de coupe, (a) expérimentales et (b) calculées.

Ces figures montrent les tendances de variation des tenues en fonction de la vitesse de coupe pour les deux matériaux à outils testés et pour les deux critères de l'usure admissible. Il en découle que le degré d'influence de la vitesse de coupe sur la tenue est plus significatif lors de l'usinage avec la céramique noire. Ceci est justifié également par les valeurs des exposants de la vitesse de coupe dans les corrélations déduites (tableau 4). Les rapports de ces degrés d'influence pour les deux critères d'usure admissible sont 2,29 et 2,49. Autrement dit, la vitesse d'accroissement d'usure de la céramique noire est deux fois supérieure à celle du CBN7020. Cette comparaison est faite pour des intervalles de vitesses qui ne sont pas identiques car la vitesse maximale lors du travail avec la CC650 correspond à la vitesse minimale de l'intervalle de variation de la vitesse lors de l'usinage avec le CBN7020. Par conséquent, il est clair que si on travaille dans le même intervalle avec ces deux matériaux, la vitesse d'accroissement de l'usure de la céramique sera nettement plus grande que celle du CBN. A titre indicatif, à $V_c = 120$ m/min, la tenue obtenue en travaillant avec le CBN7020 est 19 fois supérieure à celle de la céramique noire CC650.

En analysant le mode de dégradation de l'arête tranchante principale, il est constaté que l'usure en dépouille se manifeste tout d'abord par l'apparition d'une bande striée et brillante parallèle à l'arête tranchante principale, suivie par l'apparition de micro-écaillages. En parallèle, l'usure en cratère sur la surface d'attaque prend progressivement de l'ampleur (dans les plans horizontal et vertical) jusqu'à ce qu'elle atteigne l'usure en dépouille. Il en découle un effondrement de l'arête tranchante principale comme indiqué dans les Figures 9 et 10.

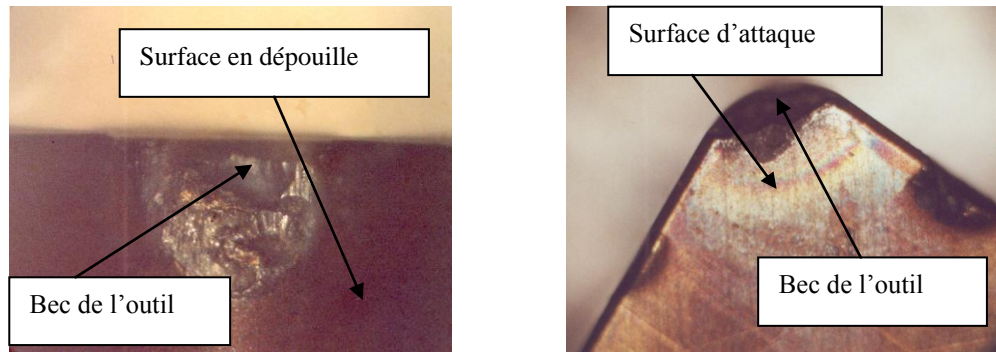


Figure 9 : Effondrement du bec de l'outil CBN7020 sur les surfaces en dépouille (a) et d'attaque (b), $V_c=220\text{m/min}$, $f=0.08\text{mm/tr}$, $a_p=0.5\text{mm}$.



Figure 10 : Effondrement du bec de la céramique CC650 sur les surfaces en dépouille (a) et d'attaque (b), $V_c=120\text{m/min}$, $f=0.08\text{mm/tr}$, $a_p=0.5\text{mm}$.

Le suivi de l'usure en cratère du CBN7020 et de la céramique CC650, montre que celle-ci augmente avec des vitesses de coupe élevées. Ceci s'explique d'une part, par le fait que la vitesse à l'interface de la surface d'attaque de l'outil et le copeau est extrêmement élevée et d'autre part la couche enlevée (copeau) est très dure et très agressive. Par conséquent ces deux paramètres entraînent l'élévation de la température, qui conduit par la suite à l'accroissement de l'usure en cratère. En se rapprochant de l'arête tranchante principale, l'usure en cratère la fragilise et conduit à sa rupture (figure 11 et 12).

L'analyse des valeurs de la tenue en fonction de la vitesse de coupe (tableau 3), montre que celle-ci a une influence significative sur elle. En effet avec l'augmentation de cette dernière on assiste à une diminution considérable de la tenue. Ceci est valable pour les deux matériaux testés. Par conséquent l'effet de la vitesse de coupe sur la tenue peut être exprimé par les rapports, donnés dans le tableau 5.

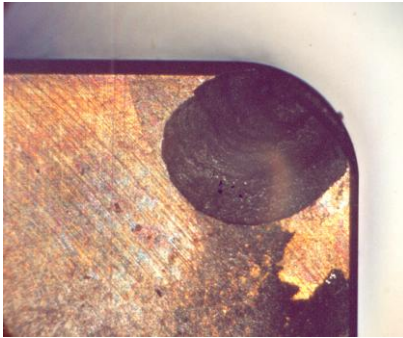


Figure 11 : Aspect de l'usure en cratère finale du CBN7020.

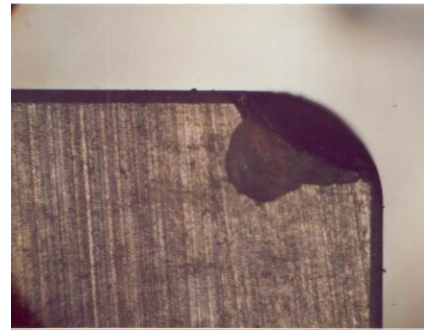


Figure 12 : Aspect de l'usure en cratère finale de la céramique noire CC650.

Matériau à outil	Intervalle des vitesses de coupe de V1 à V2 (m/min)	Rapport des tenues (T_{v1}/T_{v2})
Nitrure de Bore Cubique CBN7020	de 120 à 180	2,28
	de 120 à 220	3,63
	de 180 à 220	1,6
Céramique noire CC650	de 60 à 90	8,5
	de 60 à 120	28
	de 90 à 120	3,33

Tableau 5 : Rapport des tenues des outils en CBN7020 et de la céramique CC650 en fonction de la vitesse de coupe sur la tenue du CC650.

L'analyse des rapports de la tenue, donnés dans le tableau 5 montre qu'avec l'augmentation de la vitesse, la tenue chute. On constate également que le taux de cette diminution est plus marqué dans le cas de la céramique noire, ce qui signifie que le CBN7020 est plus résistant à l'effet de la vitesse de coupe. Il est à noter également que ces rapports sont fonction non seulement de l'écart entre les vitesses, mais aussi de leur niveau de grandeur (petites ou grandes vitesses).

Cette analyse du taux d'augmentation ou diminution de la tenue en fonction de la vitesse, nous renseigne, également sur la quantité de copeau produite à différentes vitesses de coupe. Par conséquent nous pouvons dire qu'à la vitesse 120 m/min le CBN7020 produit 9600 m de copeau, alors que la céramique noire CC650, n'arrive à enlever que 504 m. De ce fait, il découle que le CBN7020 est nettement plus productif que la céramique CC650. Les longueurs produites de copeaux en fonction des vitesses de coupe pour les deux matériaux testés sont données dans le tableau 6.

Matériau à outil	Vitesse de coupe (m/min)	Tenue (min)		Copeau usiné (m)	
		[VB]=0.3mm	[VB]=0.4mm	[VB]=0.3mm	[VB]=0.4mm
Nitrure de Bore Cubique CBN7020	120	80	105	9600	12600
	180	35	47.3	6300	8514
	220	22	34	4840	7480
Céramique noire CC650	60	119	137	7140	8220
	90	14	24	1260	2160
	120	4.2	5.25	504	630

Tableau 6 : Longueur du copeau usiné à différentes vitesses de coupe.

L'analyse comparative des tenues obtenues par ces deux matériaux à la même vitesse de 120 m/min, montre que la durée de vie du CBN7020 est 19 fois supérieure à celle de la céramique noire CC650. L'explication de cette supériorité réside dans le fait que le CBN7020 se caractérise par la haute rigidité et la tenue exceptionnelle de ses arêtes de coupe, ainsi que par sa dureté accrue et sa stabilité chimique aux températures élevées. C'est pourquoi ce nouveau matériau de coupe devient approprié à l'usinage de finition des matériaux durs.

Lors de la réalisation des essais sur l'acier 100Cr6 trempé et avec toutes les vitesses planifiées (120 - 220) m/min, le CBN7020 s'est montré très résistant à l'usure et l'usinage s'est déroulé dans des conditions stables. Par contre l'usinage avec la céramique CC650 à la vitesse de coupe 120 m/min s'est caractérisé par une instabilité et un énorme étincelage, ce qui a conduit après quelques minutes de travail à la destruction complète de son arête de coupe (Figures 13). Par conséquent il est conseillé de travailler avec des vitesses de coupe inférieures à 120 m/min, afin d'avoir des tenues intéressantes sur le plan industriel.

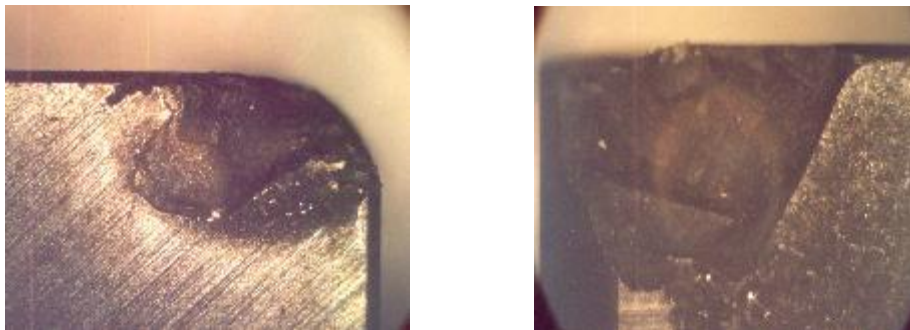


Figure 13 : Aspect de la céramique CC650 sur la face d'attaque et en dépouille après 5 min de travail à 120 m/min.

A des vitesses de coupe supérieures à 120 m/min, la coupe de l'acier durci 100Cr6 avec les outils en CBN7020 est caractérisée par un écoulement de copeau très chaud prenant l'aspect d'une braise. Il est constaté que la pièce ne subit pas les effets thermiques et ceci est expliqué par le fait que la majeure partie de la quantité de chaleur générée lors de l'usinage s'évacue avec le copeau ce qui ne lui donne pas un temps suffisant pour diffuser dans la pièce.

Lors de la réalisation des essais, il est remarqué que même si l'usure de l'outil CBN7020 dépasse la valeur admissible $[VB]=0,3$ mm comme recommandé par l'ISO et arrive jusqu'à 0,4 mm, aucune anomalie n'est observée. Il est entendu par anomalie l'apparition de vibrations au niveau du système usinant, la dégradation de l'état de surface de la pièce usinée ou l'imprécision dimensionnelle

remarquable. Par conséquent, pour les opérations de semi-finition et d'ébauchage, où les exigences envers la précision et le fini ne sont pas aussi sévères comme dans le cas de la finition. Il est recommandé dans ces conditions d'augmenter la valeur admissible de l'usure jusqu'à ce que l'outil ne perde pas ses capacités de coupe. A cet effet, la tenue de l'outil sera plus grande et par conséquent la productivité de travail s'améliore.

Les corrélations trouvées expriment la relation qualitative et quantitative entre la durée de vie des outils en CBN7020 et en céramique noire CC650 et la vitesse de coupe. Elles permettent d'une part de calculer la vitesse de coupe nécessaire pour une durée de vie imposée à l'outil et d'autre part, elles sont utiles pour l'élaboration des abaques ainsi que l'optimisation du processus de coupe. Les coefficients de détermination indiquent qu'ils sont en bonne concordance avec les résultats expérimentaux.

4.2. Analyse des résultats de la rugosité

L'analyse des résultats de la rugosité en fonction de l'usure de la céramique noire CC650 et du CBN7020 à différentes vitesses de coupe (figures 6 et 7), montre que l'augmentation de l'usure en dépouille VB, entraîne un endommagement de la qualité de la surface usinée. Il faut préciser à ce niveau que, tant que l'usure est régulière et ne dépasse pas la valeur admissible $[VB]=0,3$ mm la rugosité (notamment le critère Ra) évolue très lentement et l'état de surface demeure bon. Au-delà de cette valeur, la rugosité subit une augmentation relative brusque, mais elle reste fort acceptable. Les qualités de surface obtenues à l'aide du CBN7020 et de la céramique CC650 sont comparables à celles données par la rectification ($0,2 \mu\text{m} < \text{Ra} < 1,6 \mu\text{m}$).

5. CONCLUSION

En se basant sur l'analyse précédente on peut dégager les conclusions suivantes :

Malgré l'agressivité accrue de l'acier 100Cr6 trempé, le CBN7020 s'est montré relativement très résistant à l'usure par rapport à la céramique noire CC650. En travaillant dans les mêmes conditions, la tenue du CBN7020 est 19 fois supérieure à celle de la céramique noire CC650.

Grâce à son excellent effet sur la qualité des surfaces usinées, le CBN7020 offre la possibilité d'exécuter des opérations d'ébauche et de finition sur le même poste de travail. Ce qui améliore avantageusement le cycle de production, sur le coût de fabrication et sur la précision des pièces usinées.

La grande quantité de chaleur produite pendant l'usinage est évacuée principalement par le copeau. Par conséquent la pièce usinée ne sera pas affectée thermiquement et elle ne subira pas de dilatation qui peut endommager la précision macro et micro géométrique de la pièce.

L'évolution de la rugosité en fonction de l'usure est très lente et elle est similaire à celle obtenue lors de la rectification. Ceci est valable même en dehors de l'intervalle de l'usure tolérée par la norme ISO notamment pour le critère Ra.

Les corrélations proposées expriment la relation entre la durée de vie et la vitesse de coupe. Elles sont en bonne concordance avec les résultats expérimentaux et sont utiles pour l'élaboration des abaques et l'optimisation du processus de coupe.

REFERENCES

1. Popov S., Coupe des métaux, Technica, Sofia, 1975.

2. Boulanouar L., Khéchana M., Belhadi S., Comportement à l'usure des plaquettes en carbure métallique P25 face à l'acier XC30, Proceedings du 4^{ème} Séminaire National de Mécanique, ENSET-Oran, 25 et 26 avril 1995.
3. Roumesy B., Détermination des lois d'usure des outils, Machines.Outils, pp 319-323, 1975.
4. Boulanouar L., Analyse statistique et orientation pour la détermination de l'usure d'un outil de tour, Proceedings du Symposium Républicain, Varna, 1985.
5. Boulanouar L., Andonov I., Analyse morphologique de l'usure des plaquettes non réaffûtées en carbure métallique en tournage, Proceedings Gabrovo, 1985.
6. Weill R., Les phénomènes d'usure au contact du copeau et de l'outil, Revue Française de Mécanique, N° 18-19, pp. 63-72, 1971.
7. Maamar M., Girot F., Etude de l'usure des outils de coupe lors de l'usinage d'un composite (AS7G06+15% de SiC particulaire), Mécanique Industrielle et Matériaux, Revue du GAMI, Vol.47-N°3, 1994.
8. Poulachon G., Aspects phénoménologiques, mécaniques et métallurgiques en tournage CBN des aciers durcis. Thèse de doctorat de l'ENSAM de Cluny, 1999.
9. Pastor H., The evolution of cutting materials, Bulletin du Cercle d'Etude des Métaux, N° 13, 1996.
10. Chancel P., les nouveaux outils coupants, CETIM information N°147, 1996.
11. Nabahani F., Wear mechanisms of ultra-hard cutting materials, Journal of Materials Processing Technology 115, pp. 402-412, 2001.
12. Yallese M.A., Boulanouar L., Etude des performances des outils céramiques lors du tournage, Conférence Internationale sur la Productique, CIP2001, pp.345-350, 2001.
13. Yallese M.A., Boulanouar L., Etude du comportement des matériaux de coupe modernes, Projet de recherche N°J2425/01/99, Université de Guelma, Algérie, 1999.
14. Boulanouar L., Andonov I., Statistical modelling of the machinability of cutting tool steel X40CrMo6-2, Revue de Métallurgie, N°10, pp. 1311-1318, 1996.
15. Hug J.L., Tournage des métaux durs, Machine de Production, pp.17-19, 1995
16. König K., Machining of hard materials, Annals of the CIRP, pp.417-427, 1984.
17. Geiskopf F. et Coll., Usinage à grande vitesse, Rapport ENS Cachan, LURPA, 1999.
18. Luo S.Y., Lias Y.S., Tsai Y.Y., Wear characteristics in turning high hardness alloy steel by ceramic and CBN tools, Journal of Materials Processing Technology N°88 pp.114-121, 1999.
19. Kevin Y., Chris J., Evans, Cubic boron nitride tool wear in interrupted hard cutting, Wear 225-229 (1999) pp. 234-245, 1999.
20. Norme ISO 3685-1977 (F), Tool-life testing with single-point turning tools, Première édition 15-05, 1977.