

Influence des paramètres de coupe sur l'usure d'une plaquette en carbure métallique

D. Kara-Ali *

A. Liazid **

A. Cheikh *

F. Hadjoui *

*Faculté des Sciences de l'Ingénieur ; Département de génie mécanique ; Université Abou Bekr Belkaid, BP 230, Tlemcen 13000, Algeria. E.mail : dj_kara_ali@yahoo.fr

**Laboratoire LTE, BP 1523 El Mnaouer 31000- ENSET-Oran ; liazid@enset-oran.dz; Tel/fax : 041 41 69 16

Résumé- Cet article présente les résultats d'un travail expérimental portant sur l'étude de l'influence des paramètres de coupe sur l'usure d'une plaquette en carbure métallique. Les essais concernent une opération de chariotage de finition à sec d'un acier C20. Les paramètres étudiés sont la vitesse de coupe 'V', l'avance 'a' et la profondeur de passe 'p'. L'étude s'appuie sur le suivi de l'usure en dépouille et, l'usure en cratère en fonction du temps d'usinage. Bien que l'usure en dépouille constitue un critère prépondérant par rapport à la qualité de l'état de surface, l'analyse des résultats montre que l'usure en cratère obéit à un processus complexe dont le comportement reste à approfondir. Un modèle corrélatif concernant l'usure en dépouille a été établi. Ce modèle illustre et confirme la loi de Taylor. Une discussion des résultats obtenus a été effectuée. Des perspectives couronnent ce travail.

Mots clés: Chariotage, carbure métallique, usure, dépouille, corrélation.

Abstract- This paper presents experimental work results concerning the influence of the cutting parameters on tool wear. The tests concern an operation of finish turn a C20 steel work piece without lubrication. The studied parameters are the cut speed 'V', the advance 'a' and the pass depth 'p'. The study leans on the follow-up of scratch in remain sand scratch in crater according to the machining time. Although scratch in remains constitutes the major criteria in relation to the state surface quality, the analysis of the results shows that scratch in crater obeys a complex process of which the behaviour remained to deepen. A correlative model concerning scratch in remains has been established. This model confirms the Taylor law. A discussion of the obtained results has been done. Some perspectives crown this work.

Keywords: Chariotage, metallic carbide, scratch, remains, correlation.

Notations

Symbole	Désignation
a	Avance (mm/tr)
C	Constante de Taylor
C20	Acier non allié pour traitement thermique
n	Exposant de Taylor
K	Constante dépendante de la nuance de l'outil et de la matière usinée
KT	Usure en cratère (mm)
KM	Usure en cratère (mm)
p	Profondeur de passe (mm)
T	Durée de vie de l'outil (mn)
TU	Temps d'usure
V	Vitesse de coupe (m/mn)
VB	Usure en dépouille (mm)
V _a	Vitesse d'avance (m/mn)

1. Introduction

La coupe des métaux est un procédé d'usinage qui a connu une grande expansion avec la

mécanisation des ateliers de fabrication. Malgré l'apparition de nouvelles techniques au cours des dernières années, elle reste à l'heure actuelle l'un des procédés le plus largement utilisé. C'est une activité industrielle qui

emploie plus de 10 millions de personnes dans le monde [AMRI'87]. La recherche d'une meilleure productivité et donc de meilleures conditions de coupe reste une préoccupation majeure. Cette amélioration permanente repose directement sur l'étude approfondie des mécanismes physiques et des lois régissant ce procédé. Le développement rapide des techniques de mise en forme des matériaux ne faisant pas appel à l'enlèvement de matière peut conduire à se poser la question de la pertinence à mener des investigations sur la coupe des métaux. La modélisation numérique contribue à cette évolution. Cependant, l'étude de la coupe des métaux est au centre de tous les problèmes d'usinage sur machines-outils. Elle fait appel à de nombreuses connaissances scientifiques et techniques (matériaux, usinabilité, géométrie, thermochimie, etc...). La recherche d'une meilleure productivité par l'optimisation des opérations d'usinage par outil coupant suppose la connaissance des limitations de productions inhérentes aux performances de la machine-outil et des outillages utilisés. Elle repose sur l'analyse des mécanismes fondamentaux du processus de la coupe et sur la détermination des lois qui régissent l'évolution de ses facteurs mécaniques et physiques. Les progrès continus des matériaux pour outils coupants ont largement accru la variété des outillages et l'étendue de leur champs d'utilisation. Les conditions de coupe ayant une influence non négligeable sur les coûts de fabrication, il est utile de connaître les lois d'usures des outils coupants. En effet, connaissant ces lois, il est possible de déterminer les conditions de coupe optimales et d'agir directement sur les coûts de fabrication inhérents à la coupe. Cet article consiste en une étude expérimentale portant sur l'influence des paramètres de coupe en tournage (chariotage) sur l'usure des outils en carbure métallique à plaquettes rapportées.

2. Modèles de lois d'usure

Généralement, seules les conditions de coupe sont prises en considération. Il est établi que les lois d'usures d'outils coupant parfaitement

définis pour un matériau usiné donné et dans des conditions de lubrification déterminées sont de la forme :

$$T = f(V, a, p) \quad [1]$$

Cependant, il est important de spécifier que la vitesse de coupe est en fait le paramètre le plus important d'où l'existence de lois d'usure sous la forme :

$$T = f(V) \quad [2]$$

Dans l'analyse du processus de la coupe il faut également tenir compte des critères suivants :

- Respect des côtes de la pièce usinée.
- Qualité de la surface obtenue sur la pièce.
- Formation du copeau.

Les principaux modèles mathématiques de l'usure établis depuis un siècle sont :

- Le modèle de Taylor généralisé. Ce fût le premier modèle proposé en 1907. Il s'agit d'un modèle mathématique reliant la durée effective de coupe T d'un outil aux paramètres de coupe.

$$T = C.V^n \quad [3]$$

Ce modèle est linéaire dans un système de coordonnées logarithmiques. En 1950, Gilbert [GELI'99] a proposé la généralisation du modèle de Taylor. La constante C est remplacée par une expression qui tient compte de la géométrie de l'outil et du copeau :

$$T = K.p^x.a^y.V^n \quad [4]$$

- Le modèle de Kronenberg date de 1968 et ne prend pas compte l'influence de l'avance et de la profondeur de passe. Tout comme le modèle de Taylor il est caractérisé par l'équation :

$$T + K = C.V^n \quad [5]$$

- Le modèle de Koning-Depiereux est établi en 1969. Ce modèle conduit à une représentation correcte de la loi d'usure. Son caractère exponentiel est en accord avec les courbes expérimentales qui déterminent l'usure des outils de coupe.

$$T = \exp. (-\alpha.V^v - y.p^u - \sigma.a^\lambda) \quad [7]$$

Compte tenu des dispersions liées aux essais d'usure, le modèle simple de Taylor est suffisamment représentatif [ROUM'75], il est couramment utilisé aujourd'hui pour tous les matériaux d'outils.

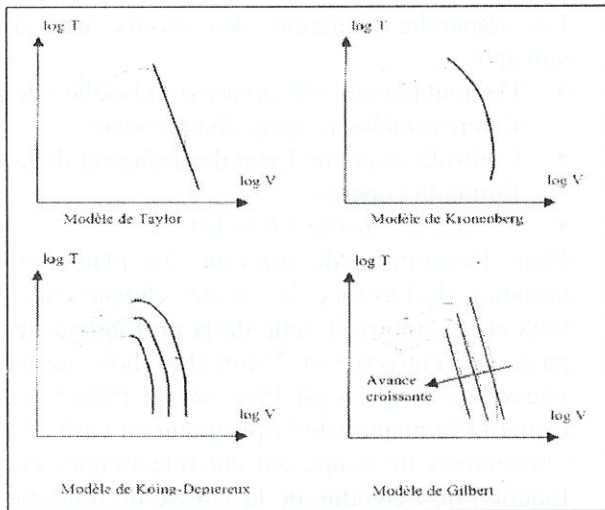


Fig. 1 : Représentation graphique des différents modèles [ROUM'75].

3. Description des essais expérimentaux

L'ensemble des essais expérimentaux est réalisé au sein de l'atelier d'usinage du département de génie mécanique à l'Université Abou-Bekr Belkaid de Tlemcen sur un tour parallèle conventionnel de marque TOS TRENCIN, figure (1). Les plaquettes en carbure métallique sont de type WNMG (plaquette trigone), figure (2) et rapportées sur un porte-outil de section rectangulaire de type PWLN 20 x 20 L 10. La figure (3) montre une photographie du montage de l'outil et de la pièce sur la machine. La longueur de la partie libre de l'outil est de 34 mm alors que la longueur de la partie fixée dans le porte-outil est de 68 mm. Les pièces sont positionnées en montage mixte, composé d'un mandrin à 3 mors durs et d'une pointe mobile.

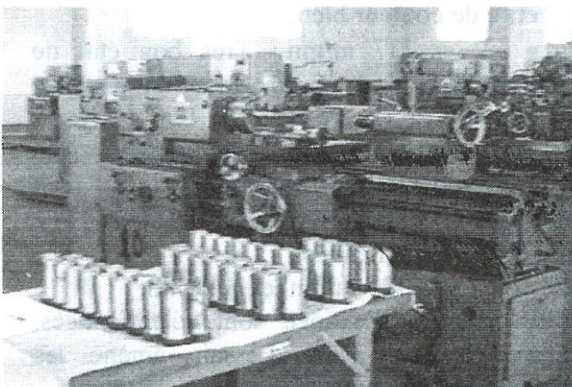


Fig. 1 : Photographie de l'ensemble des éprouvettes et de la machine-outil.

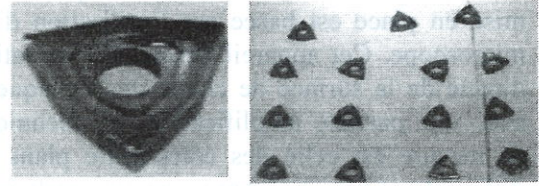


Fig. 2 : Photographie des plaquettes utilisées.

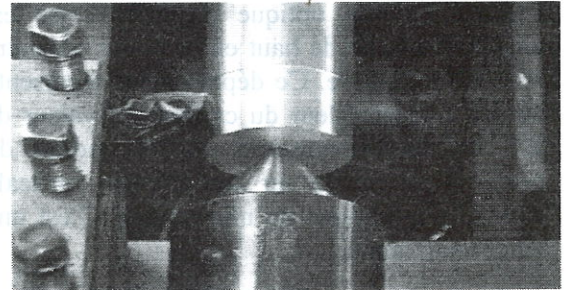


Fig. 3 : Photographie du montage outil pièce.

3.1 Moyens de mesure

Pour la mesure de l'usure en dépouille VB, la procédure mise en place est basée sur l'utilisation d'un projecteur de profil. Cet appareil optique permet d'observer avec précision la surface et le contour de pièces opaques. L'image agrandie est projetée sur l'écran avec une parfaite amplification. La méthode de mesure repose sur l'utilisation des lignes croisées de l'écran. On cherche à confondre une ligne de l'écran avec le bord de l'arête restant neuf tout en faisant une première lecture sur le micromètre. On ramène ensuite la ligne de l'écran à se confondre avec la partie limite de l'usure. La valeur de VB est obtenue en différenciant la deuxième lecture de la première lecture. VB mesurée étant la valeur maximale. La figure (4) illustre le principe de mesure décrit.

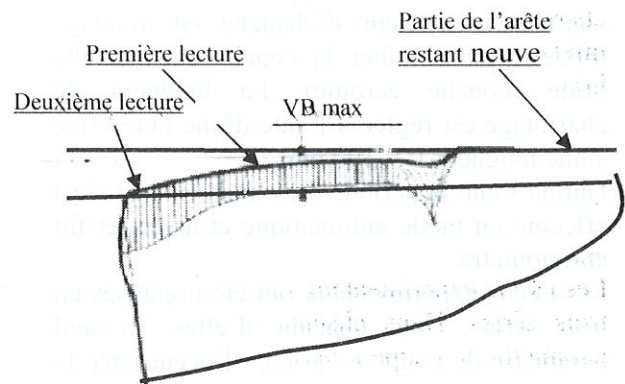


Fig. 4 : Mesure de l'usure VB

Concernant la mesure de KT, la procédure mise en place est basée sur l'utilisation d'un microscope. Cet appareil permet l'observation directe de la surface de coupe de la plaquette avec une parfaite amplification. La technique de mesure est celle des côtes entre plans de différents niveaux. Après avoir recherché minutieusement le cratère, on règle un plan avec la surface de coupe non touchée par l'usure. La tête optique du microscope est ensuite déplacée de haut en bas pour atteindre le fond du cratère. Ce déplacement représente au fait la profondeur du cratère. La valeur de KT est lue directement sur le cadran du comparateur monté sur une colonne verticale avec la tête optique du microscope. C'est une valeur maximale.

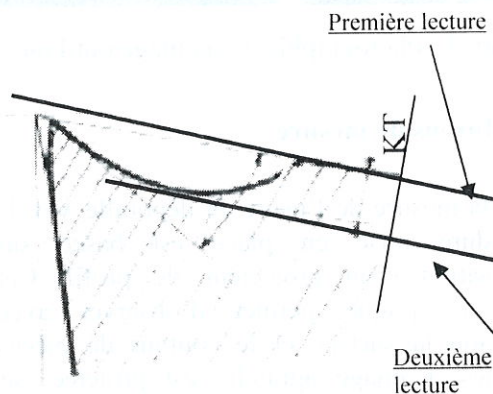


Fig. 5 : Mesure de l'usure KT

Il est à préciser que l'ensemble des mesures sont effectuées avec une précision de l'ordre du centième de millimètres.

Les essais expérimentaux nécessitent la préparation des éprouvettes. Celles-ci sont obtenues en débitant une barre d'acier C20, de diamètre 80 mm et de longueur 6m. Des opérations de dressage et de centrage des faces ont été effectuées ainsi qu'une opération de chariotage extérieur d'ébauche en montage mixte, pour éliminer la couche superficielle brute (couche écrouie). La longueur de chariotage est réglée à l'aide d'une butée fixe à une longueur $L = 100$ mm.

Durant toute la période d'essai, l'usinage s'est effectué en mode automatique et à sec, et fut chronométré.

Les essais expérimentaux ont été organisés en trois séries. Dans chacune d'elles, un seul paramètre de coupe a varié en l'occurrence la vitesse de coupe "V" ou l'avance par tour "a" ou la profondeur de passe "p". A chaque usinage une arête tranchante neuve fut utilisée.

La démarche générale des essais est la suivante :

- Démontage et observation visuelle de l'arête tranchante après chaque série.
- Contrôle visuel de l'état de surface et de la forme du copeau.
- Mesure de l'usure VB et KT.

Pour l'opération de finition, la plage de variation de l'avance "a", a été choisie entre 0,08 et 0,3 mm/tr et celle de la profondeur de passe "p" entre 0,5 et 2 mm. Le choix de la vitesse de coupe s'est basé sur la matière à usiner et la nuance de la plaquette en carbure. Six régimes de coupe ont été sélectionnés en fonction de l'étendue de la vitesse de rotation disponible sur la broche du tour.

La description des trois séries d'essais est la suivante :

- **Série 1 :** $a = 0,2$ m/mn et $p = 1$ mm.

Les six régimes de coupe sélectionnés sont : $V = 46$ m/mn, 64,5 m/mn, 89,5 m/mn, 125 m/mn, 173 m/mn et 237 m/mn.

Cette première série d'essais amène les constatations suivantes :

- $V = 46$ m/mn : Très mauvais état de surface. Copeau continu tubulaire blanc.
- $V = 64,5$ m/mn : Etat de surface amélioré. Copeau continu au début puis il se fragmente mais reste de couleur blanche.
- $V = 89,5$ m/mn : Etat de surface lisse. Copeau continu ouvert et brûlé.
- $V = 125$ m/mn : Bon état de surface. Copeau continu et brûlé. Température élevée de la plaquette.
- $V = 173$ m/mn : Pour les premières pièces un bon état de surface est obtenu puis celui-ci se détériore. Copeau continu étiré de couleur bleu.
- $V = 237$ m/mn : Très bon état de surface. Copeau continu bleu, température élevée.

Il ressort que pour la vitesse de coupe $V = 125$ m/mn, les valeurs mesurées de VB et KT sont faibles. C'est donc cette vitesse qui fût retenue pour les séries suivantes.

- **Série 2 :** $V = 125$ m/mn et $p = 1$ mm.

Trois vitesses d'avance sont sélectionnées. Cette deuxième série d'essais amène les constatations suivantes :

- $a = 0,08$ mm/tr : Mauvais état de surface. Copeaux fragmentés blancs.

- $a = 0.128$ mm/tr : Etat de surface légèrement rugueux. Copeau continu brûlé.
- $a = 0.2$ mm/tr : Bon état de surface. Copeau continu brûlé.

L'état de surface s'améliore en augmentant l'avance.

- **Série 3** : $V = 125$ m/mn et $a = 0,08$ mm/tr. Trois profondeurs de passe sont choisies. Il a été remarqué que pour :

- $P = 0.5$ mm : Mauvais état de surface. Copeau discontinu blanc.
- $P = 1$ mm : Bon état de surface. Copeau continu bleu.
- $P = 1.5$ mm : Très bon état de surface. Copeau continu brûlé.

Pour avoir un bon état de surface, il faut une très faible avance et une profondeur de passe supérieure à 1 mm.

4. Résultats et commentaires

Dans une première étape, l'influence de la vitesse de coupe sur l'usure en dépouille VB et l'usure en cratère KT a été analysée. La figure (6) montre l'évolution de l'usure en dépouille en fonction de la vitesse de coupe pour quatre volumes de copeaux différents ($V_{cop1} = 43950$ mm³, $V_{cop2} = 87920$ mm³, $V_{cop3} = 131880$ mm³ et $V_{cop4} = 175840$ mm³). L'analyse de la tendance de ces évolutions s'est appuyée sur la technique de corrélation. En effet, les figures (7) à (10) montrent que l'usure en dépouille garde la même loi d'évolution en fonction de la vitesse de coupe. Il s'agit d'une loi Gaussienne.

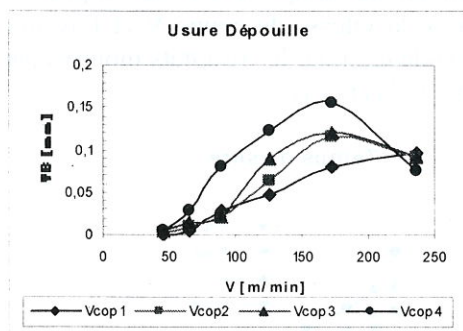


Fig. 6 : Evolution de l'usure VB en fonction V pour différents volumes de copeaux usiné.

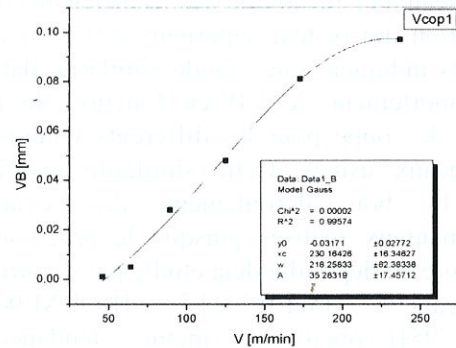


Fig. 7 : Evolution de l'usure VB en fonction de la vitesse de coupe V pour le cas Vcop1.

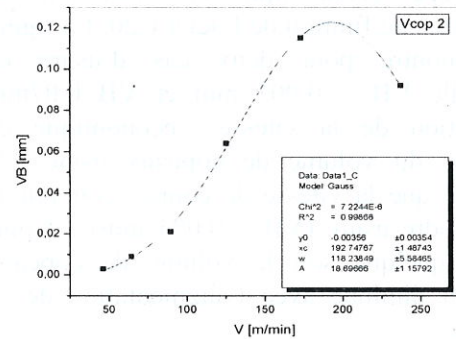


Fig. 8 : Evolution de l'usure VB en fonction V pour le cas Vcop2.

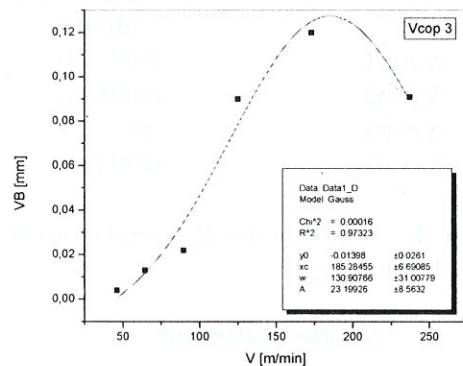


Fig. 9 : Evolution de l'usure VB en fonction de V pour le cas Vcop3.

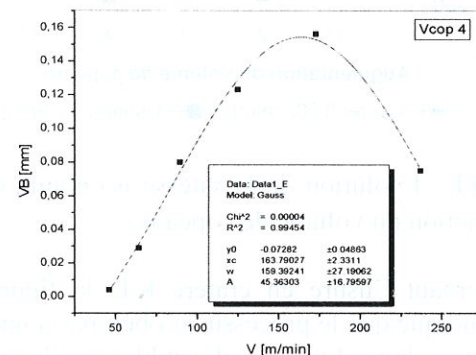


Fig. 10 : Evolution de l'usure VB en fonction de V pour le cas Vcop4.

Le tableau (1) récapitule les coefficients de corrélation qui restent supérieurs à 97%. Ces résultats indiquent une grande similarité dans le comportement de VB en fonction de la vitesse de coupe pour les différents volumes de copeaux usinés. Cette similarité justifie bien le bon déroulement des essais expérimentaux réalisés puisque le processus de l'usure en dépouille déjà étudié par d'autres chercheurs ([WEIL'71] [ROUM'94] [BOUL'95]) obéit aux mêmes tendances obtenues. Ainsi, il est confirmé que par rapport à une même usure, il existe une vitesse de coupe économique en opération de chariotage de finition de l'acier C20. La figure (11) montre pour deux cas d'usure en dépouille VB = 0.003 mm et VB=0.07mm l'évolution de la vitesse économique en fonction du volume de copeaux usiné. On constate que la vitesse de coupe économique de moindre usure (VB = 0.003 mm) est plus élevée quelque soit le volume de copeaux usiné et diminue avec l'augmentation de ce volume.

Volume du copeau	Courbe de corrélation Valeur de R ²
Vcop1	0.99574
Vcop2	0.99868
Vcop3	0.97323
Vcop4	0.99454

Tableau 1 : Coefficients de corrélation des courbes de tendance.

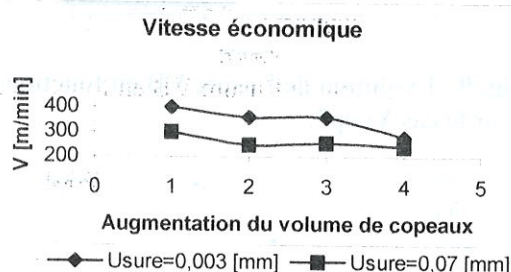


Fig. 11 : Evolution de la vitesse économique en fonction du volume de copeaux.

Concernant l'usure en cratère KT, la figure (12) indique que le processus n'obéit pas à une tendance claire. En effet, il semble qu'elle est tributaire d'une association complexe entre les conditions de coupe, les matériaux du système

outil pièce, la géométrie de l'outil, les effets mécaniques et thermiques etc....

Comme notre expérience a montré que l'usure en cratère se manifeste toujours la première et est plus importante en intensité que l'usure en dépouille VB, il semble logique d'émettre l'explication suivante :

La pression de l'écoulement du copeau sur la face d'attaque de l'outil génère un durcissement superficiel de cette surface qui devient fragile ce qui favorise l'usure sous haute température.

Cette explication est certainement discutable et incomplète. Elle mérite cependant, d'être étudiée d'une façon approfondie à l'aide de moyens appropriés de visualisation et de mesure durant le processus de la coupe.

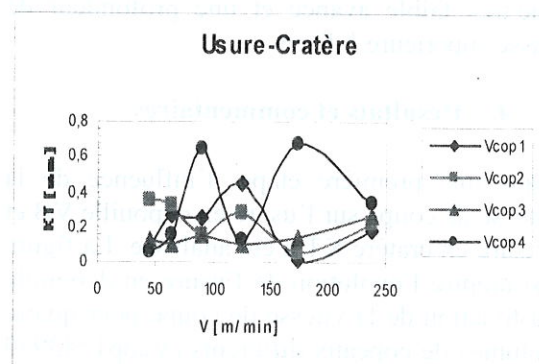


Fig. 12: Evolution de KT en fonction de la vitesse de coupe V pour différents volumes de copeaux usinés.

Afin de mieux interpréter les résultats obtenus, un modèle traduisant la relation temps d'usure – conditions de coupe a été développé en fonction de la vitesse de coupe V et l'avance a. Ce modèle exploite les résultats montrés par les figures (13) et (14).

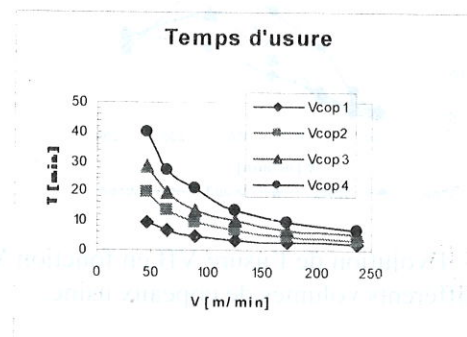


Fig. 13 : Evolution du temps d'usure fonction de la vitesse de coupe V.

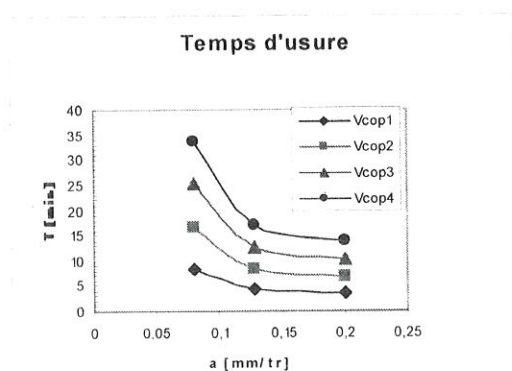


Fig. 14 : Evolution du temps d'usure en fonction de l'avance 'a'.

Ainsi une modélisation mathématique des différentes conditions de travail envisagées a été établie et a permis la déduction de la loi d'usure suivante :

$$TU = 9 V_{\text{cop}}^{1/14} V^{-1} \quad [8]$$

Où TU est exprimé en minutes, le volume du copeau en cm^3 et la vitesse de coupe en m/min.

La figure (15) compare le modèle élaboré avec les résultats de l'expérience. On constate une bonne concordance. L'erreur maximale est inférieure à 8%. Ainsi et comme le confirme la figure (16) qui traduit l'expression logarithmique de l'équation [9], le processus d'usinage expérimenté obéit au comportement établi par Taylor. L'intérêt de ce modèle corrélatif est qu'il associe indifféremment l'avance et la profondeur de passe au sein du volume de copeau usiné. Ceci étant dicté par les aspects complexes de l'influence de l'avance sur l'usure, figures (17).

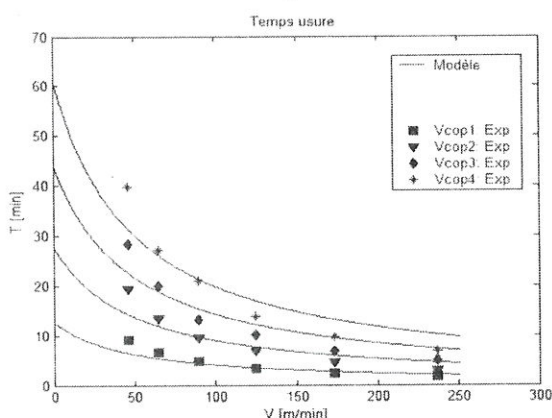


Fig. 15: Comparaison expérience modèle d'usure définie par l'équation [9].

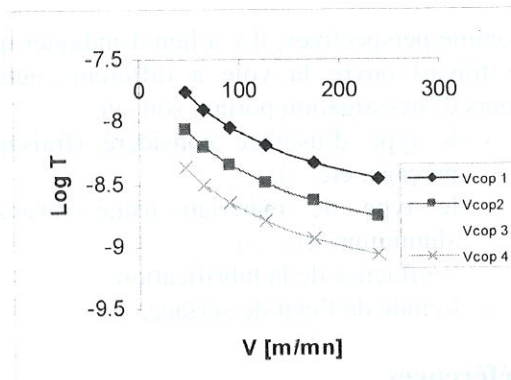


Fig. 16 : Evolution logarithmique du modèle d'usure élaboré.

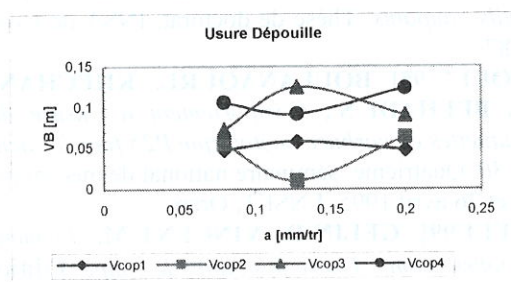


Fig. 17 : Influence de l'avance sur

4. Conclusions et perspectives

Cet article a traité le problème de l'usure des outils de coupe et a présenté plus particulièrement l'influence des paramètres de coupe sur une opération de chariotage à sec de l'acier C20 à l'aide d'un outil à plaquette rapportée en carbure métallique. Après une période d'investigation expérimentale, un ensemble de résultats a pu être dégagé. Il s'agit essentiellement du :

- Caractère Gaussien de l'évolution de l'usure en dépouille VB en fonction de la vitesse de coupe.
- Caractère difficile de l'évolution de l'usure en cratère en fonction de la vitesse de coupe. Il ressort qu'une étude approfondie à l'aide de moyens appropriés est nécessaire pour se prononcer sur ces cas.
- L'élaboration d'un modèle de type Taylor qui caractérise le temps d'usure en fonction de la vitesse de coupe et du volume de copeaux usiné.

Il a été relevé que l'influence de l'avance sur l'usure est complexe et du même ordre de grandeur que celle de la vitesse de coupe. Ceci justifie certainement la nécessité d'approfondir ce travail dans ce sens et de détailler davantage le modèle élaboré.

Comme perspectives, il y a lieu d'indiquer que ce travail ouvre la voie à différents autres sujets d'investigation portant soit sur :

- le type d'usinage considéré (fraisage, perçage, etc...),
- le type de matériau usiné (bronze, aluminium, etc....)
- l'influence de la lubrification,
- l'étude de l'état de surface,

Références

[AMRI' 87] **AMRI B**, *Contribution à l'étude du comportement des matériaux modernes pour outils coupants*. Thèse de doctorat, INSA de Lyon, 1987.

[BOUL' 95] **BOULANAOURI, KHECHANA M, BELHADI S**; *Comportement à l'usure des plaquettes en carbure métallique P25 face à l'acier XC30*. Quatrième séminaire national de mécanique, 25 et 26 avril 1995, ENSET, Oran.

[GELI'99] **GELIN D., VINCENT M.**, *Eléments de fabrication – Usure des outils de coupe*. Edition Nathan, pp.195-203, 1999.

[KARA' 05] **KARA – ALI D**, *Influence des paramètres de coupe sur l'usure d'une plaquette en carbure métallique*; Mémoire de magister; Université Abou Bakr Belkaïd-Tlemcen; Juin 2005.

[ROUM'75] **ROUMESY B**; *Détermination des lois d'usure de coupe*. Machines outils, Mai n°301, pp. 34-36; 1975.

[ROUM'94] **ROUMESY B, BEDRIN C**; *Mise en œuvre de plan d'expériences pour la détermination de la loi d'usure des outils de coupe*. Technologies et Formations, n° 52, pp. 23-34, 1994.

[WEIL'71] **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.