



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



جامعة باجي مختار- عنابة -

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR –ANNABA-

BADJI MOKHTAR ANNABA UNIVERSITY

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de master

INTITULE

**EFFET DE LA VITESSE DE COUPE SUR LES
PARAMETRES D'EVALUATION DE
L'USINABILITE DE L'ACIER 100Cr6 AU COURS
DU FRAISAGE PAR CONTOURNAGE**

DOMAINE : SCIENCE ET TECHNIQUE

FILIERE : GENIE MECANIQUE

SPECIALITE : FABRICATION MECANIQUE ET PRODUCTIQUE

DIRECTEUR DU MEMOIRE : Dr. M. BENGHERSALLAH

PRESENTE PAR : SLAMA Ilyas

DEVANT LE JURY

PRESIDENT : Pr. BOULANOUAR LAKHDAR

EXAMINATEURS : Pr. HAMADACHE HAMID

Dr. MENAIL YOUNES

Dr. MOKAS NACER

ANNEE 2019

★ Remerciements ★

" نحمد لله العلي العظيم الذي سخر لنا هذا و ما كنا له مقرنين "

*Je tiens avant tout à remercier Allah pour la force et la volonté qu'il m'a données
pour pouvoir achever ce travail.*

J'exprime toute ma reconnaissance à mon directeur de mémoire

***Dr. M.bengharsallah** pour son aide, son soutien, ses conseils ainsi que la
confiance qu'il m'a fait en acceptant de m'encadrer.*

Je remercie également les enseignants du département Génie mécanique.

Je tiens également à remercier le personnel du TSS de SIDER El-Hadjar.

Annaba pour leurs aides pendant le stage.

*Je remercie mes parents **Slama Houssin** et **Touhami Ezouhra** pour leurs
soutiens et contribution à la réalisation de ce travail.*

*Enfin, mes sincères remerciements vont à mes amies **BENJERIOU Bilal**,
BOUTABA Lakhdar, **TAHRAOUI Mohamed El Haddi** et **SALHI Ryad**.*

★ *Dédicace* ★

Je dédie ce travail aux être les plus chers à moi dans ce monde :

mes parents

Mes frères

A toute ma famille

A mes amis

Table des matières

Listedes figures	
Listedes tableaux	
Introductiongénérale	

Chapitre I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 LES ACIERS	2
I.1.1 Historique de l'acier	2
I.1.2 définition	2
I.1.3 Propriétés des aciers	2
I.1.4 Classification générale	3
I.1.4.1 D'après la composition.....	3
I.1.4.2 D'après des critères attachés à l'utilisation	3
I.1.5L'acier faiblement allié 100Cr6 selon "EN ISO 683-17".....	5
I.2 LE FRAISAGE :.....	6
I.2.1 Introduction	6
I.2.2 Les fraiseuses	7
I.2.3 Types de fraiseuse (Ancienne classification).....	7
I.2.3.1 Fraiseuse universelle	7
I.2.3.2 Fraiseuse verticale.....	8
I.2.3.3 Fraiseuse horizontale	8
I.2.4 Types de fraiseuse (Nouvelle classification).....	9
I.2.5 :Fraise (outil).....	10
I.2.5.1 la forme.....	11
I.2.5.2Matériaux des fraises.....	11
I.2.6 Conditions de coupe.....	13
I.3 L'USURE DES OUTILS.....	14
I.3.1La géométrie de l'arête de coupe.....	14
I.3.2 BILAN DES TROIS TYPES DE COUPE SUR L'USURE	14
I.3.3 INFLUENCE DES PARAMETRES DE COUPE SUR L'USURE	14

Table des matières

I.3.4 MANIFESTATION DE L'USURE.....	15
I.3.4.1.Usure frontale	16
I.3.4.2. Usure cratère	16
I.3.4.3 Usure par déformation plastique.....	17
I.3.5 USURE VISIBLE SUR L'OUTIL	17
I.3.5.1 Usure par déformation plastique de l'arête	17
I.3.5.2. Usure par écaillage de l'arête	18
I.3.5.3Usure par arête rapportée ou copeau adhérent	18
I.3.5.4Usure en dépouille.....	19
I.3.5.5. Usure en cratère	20
I.3.6.Modèles de lois d'usure.....	20
I.4 Modèle de TAYLOR généralisé.....	20
I.5États de surface.....	22
I.5.1 Analyse de la surface.....	22
I.5.2 Les paramètres de la rugosité	22
I.5.3 Inscription normalisée d'un état de surface.....	23
I.6 Usinabilité des matériaux.....	24
I.6.1 introduction sur l'usinabilité	24
I.6.2 définition.....	25
I.6.3 Evaluation de l'usinabilité.....	25
I.6.3.1 introduction.....	25
I.6.3.2 comment évaluer l'usinabilité.....	26
I.6.4 conclusion.....	26
I.7 le revêtement d'une plaquette.....	27
I.7.1 Dépôt physique en phase vapeur (PVD).....	27
 CHAPITRE II : PREPARATION DES EQUIPEMENTS ET PLANIFICATION DES EXPERIENCES	
II. Equipements et méthodologie de recherche	29
II.1Condition opératoire et méthode d'essais	29

Table des matières

II.2 Banc d'essai.....	29
II.3 Les appareils de contrôle.....	34
II.4 Conditions de coupe	35

CHAPITRE III :Traitement des résultats de l'usure

III.1Détermination de la tenue T des plaquettes 1130 à revêtement AlTiCN	37
III.2 Détermination de la Rugosité R de la surface fraisée.....	38
III.3 Evolution de l'usure en dépouille Vb pour les deux conditions de coupe en fraisage par contournage.....	41
III.4 Calcule de constante cv.....	43
Conclusion.....	44
Référence bibliographique	

Table des matières

Liste des figures

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Fig. I.1 Courbe de trempabilité en fonction de la profondeur.....	5
Fig I.2 Fraiseuse universelle (HURON).....	7
Fig I.3 Fraiseuse verticale.....	8
Fig I.4 Fraiseuse horizontale.....	8
Fig I.5 Fraiseuse 4 axes.....	9
Fig I.6 Fraiseuse 5 axes.....	9
Fig I.7 En plus de ces outils de fraisage, presque tous les outils utilisés sur une perceuse peuvent être employés sur la fraiseuse.....	10
Fig.I.8 Différentes formes de fraises	11
Fig I.9 : principe du fraisage en bout	11
Fig I.10 : principe du fraisage en concordance dit en avalant	12
Fig I.11 : principe du fraisage en opposition.....	12
Fig. I.12. Géométrie de l'arête de coupe.....	14
Fig. I.13 Représentation des différentes zones d'usures de l'outil durant la phase de formation du copeau.....	15
Fig.I.14 Formes d'usure de l'outil de coupe d'après la norme NFE 66 505.....	16
Fig.I.15 Usure par déformation plastique de l'arête.....	17
Fig.I.16 Usure par écaillage de l'arête.....	18
Fig.I.17. Usure par arête rapportée.....	19
Fig. I.18 Usure en dépouille.....	19
Fig. I.19 Usure en cratère.....	20
Fig I.20 Représentation graphique du modèle de Taylor.....	21
Fig.I.21 analyse d'une surface.....	22
Fig.I.22 structure réelle d'une surface usinée.....	22
Fig.I.23 paramètres normalisés de la rugosité.....	23
Fig.I.24 Symbolisation des indications de l'état de surface usinée	23
Figure I.25 Schéma structurel de l'usinabilité.....	24

Table des matières

Figure I.26 Schéma d'évaluation de l'usinabilité.....	26
Fig I.27 : Méthodes générales de dépôt des couches minces sous vide.....	28
Fig I.28 : Schéma de principe de dépôt Chimique en phase vapeur (CVD).....	28
Fig I.29 : Principe de la pulvérisation cathodique DC.....	28

CHAPITRE II : PREPARATION DES EQUIPEMENTS ET PLANIFICATION DES EXPERIENCES

Figure II.1 : Fraiseuse verticale utilisée pour les essais.....	29
Figure II.2 : Eprouvettes d'essais en acier 100Cr6.....	31
Figure II.3 : Montage d'essais.....	32
Figure II.4 Outil de coupe fraise coromill R390.....	32
Figure II.5 : La géométrie de l'outil fraise et de la plaquette.....	33
Figure II.6 : Microscope optique modèle MMN-2.....	34
Figure II.7 : Mise en coordonnées de la plaquette.....	35
Figure II.8 : Rugosimètre Mitutoyo SJ 201.M.....	35

Chapitre III Traitement des résultats

Figure III.1 : Schéma expérimental.....	38
Figure III.2 Rugosité Ra en fonction des conditions de fraisage.....	39
Figure III.3 Rugosité Rz en fonction des conditions de fraisage.....	39
Figure III.4 Rugosité Rt en fonction des conditions de fraisage.....	40
Figure III.5 Rugosité Ra mesurée sur les deux faces fraisées.....	40
Figure III.6 Evolution de l'usure suivant le régime (60/0.02/9/1).....	41
Figure III.7 Evolution de l'usure suivant le régime (120/0.02/9/1).....	41
Figure III.8 Evolution de l'usure Vb par rapport au temps pour les deux vitesses de coupe..	41
Figure III.9 Photo de l'usure Vb sur la plaquette R390 11T3à Revêtement AlTiCrN.....	41

Table des matières

Liste des tableaux

Chapitre I ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau I.1 Désignation et Correspondance des principales normes d'aciers.....	4
Tableau I.2 Composition chimique.....	5
Tableau I.3 Façonnage à chaud et traitements thermique.....	5
Tableau I.4 Caractéristiques mécaniques.....	5
Tableau I.5 Valeurs usuelles des vitesses et avances préconisées pour les nuances de matériaux selon ISO.....	13
Tableau I. 6 Valeurs moyennes de l'exposant n.....	21
Tableau I.7 Valeurs moyennes de l'exposant α	21

Chapitre II préparation des équipement

Tableau II.1 : tableau des vitesses de la broche.....	30
Tableau II.2 : tableau des vitesses de la boîte des avances.....00.....	30
Tableaux II.3 : Composition chimique pour l'acier 100Cr600.....	31

Chapitre III TRAITEMENT DES RESULTATS

Tableaux III.1 et III.2 Tableaux des relevées d'usure en fonction du temps de coupe effectif.....	37
Tableau III.3 Plan d'expériences	38
Tableau III.4 : tableau des valeur log V_{ci} et log T_i calculé	43

Résumé

Résumé

Le sujet de notre mémoire de master porte sur une étude expérimentale sur le fraisage par contournage dans le but d'évaluer l'influence de la vitesse de coupe sur la durée de vie de l'outil comme critère principale. La rugosité de la surface obtenue est considérée comme critère complémentaire.

Pour cela nous avons utilisé un acier faiblement allié 100Cr6, usiné par une fraise de contournage à plaquettes en carbure revêtu PVD en AlTiCrN. Les conditions de coupe adoptées dans le plan expérimental sont deux vitesses de coupe ($V_c=60\text{m/min}$ et $V_c=120\text{m/min}$), l'avance par dent f_z et la profondeur a_p et l'engagement axial a_e sont maintenus constants.

Les résultats obtenus montrent que la vitesse de coupe a une influence majeure sur la durée de vie T de l'outil. Les rugosités de surface relevées montrent que pour le mode de fraisage en opposition les valeurs sont meilleures. La face de profil usinée a une rugosité plus faible.

Nous avons aussi noté que les plaquettes en carbure revêtu AlTiCrN ont donné une grande résistance à l'usure. Les tenues obtenues ainsi que les valeurs de la rugosité R_a, R_z, R_t répondent aux exigences industrielles.

Introduction générale

INRODUCTION GENERALE :

La fabrication mécanique à une grande importance dans le domaine de la technologie. Elle participe au développement de l'industrie et le progrès dans l'économie d'un pays. Elle contribue à l'amélioration des moyens de production locaux. La nouvelle stratégie industrielle mondiale est basée sur la haute technologie moderne acquise par les grands constructeurs internationaux. Il faut améliorer la qualité du produit, la productivité, le prix de revient et le temps d'exécution tout en consommant le minimum possible d'énergie et en respectant l'environnement.

L'opération de fraisage est utilisée pour usiner des pièces prismatiques. Notre travail a pour objectif l'étude de l'effets la vitesse de coupe sur les paramètres d'évaluation de l'usinabilité (l'usure de l'outil, la rugosité), Ce travail a été effectué au niveau de département de mécanique, université Badji Mokhtar Annaba.

Le mémoire est structuré comme suit :

Ce mémoire comprend trois chapitres. Nous avons présenté quelque lien direct avec les paramètres d'évaluation de l'usinabilité.

Le premier chapitre traite l'étude bibliographique concernant les acier, classification et Propriétés des aciers, le fraisage en générale : les fraiseuses, mode de fraisage, les types de fraises etc... Le chapitre deux nous avons présenté la Préparation des équipement et planification des expériences.

Le chapitre trois concerne le traitement des résultats de l'usure, la rugosité et la détermination graphique de la tenue de l'outil.

Enfin une conclusion générale.

Chapitre I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 LES ACIERS :

I.1.1 Historique de l'acier :

L'acier est apparu, avec l'évolution de la métallurgie, vers 1786. Cette année-là, trois savants français, Berthollet, Monge et Vandermonde, caractérisèrent trois types de produits obtenus à partir de la coulée des hauts-fourneaux : le fer, la fonte et l'acier. L'acier était alors obtenu à partir du fer, lui-même produit par affinage de la fonte issue du haut-fourneau. L'acier était plus dur que le fer et moins fragile que la fonte.

Au XIXe siècle sont apparues Siemens-Martin. Ces découvertes, permettant la fabrication en masse d'un acier de « qualité » (pour l'époque), participent à la Révolution industrielle. Enfin, vers la seconde moitié du XIXe siècle, Dimitry Chernov découvre les transformations polymorphes de l'acier et établit le diagramme binaire fer/carbone, faisant passer la métallurgie de l'état d'artisanat à celui de science [1]

I.1.2 Définition :

Les aciers sont des alliages fer-carbone qui comportent aussi une concentration appréciable d'autres éléments. Il existe des milliers d'alliages de ce type dont la composition est différente, de même que les traitements qu'ils ont subis. Les propriétés mécaniques dépendent de la teneur en carbone, laquelle est normalement inférieure à 1%.

On classe quelques-uns des aciers les plus courants selon leur concentration en carbone, à savoir les aciers à faible teneur en carbone. Chaque groupe se subdivise en sous-groupes selon la concentration des autres éléments d'alliage. Les aciers au carbone ordinaires ne contiennent que des concentrations résiduelles en impuretés autres que le carbone et un peu de manganèse. Quant aux aciers alliés, on leur ajoute davantage d'éléments d'alliage en concentration précises

On appelle aciers les produits ferreux qui sont en général aptes au façonnage à chaud. A l'exception de certains aciers à haute teneur en chrome, ils contiennent moins de 1,9% de carbone, teneur limite qui les sépare des fontes définies par l'euronorm 1.[2]

I.1.3 Propriétés des aciers :

Les aciers sont élaborés pour résister à des sollicitations mécaniques ou des agressions chimiques ou une combinaison des deux.

Pour résister à ces sollicitations et/ou agressions, des éléments chimiques peuvent être ajoutés en plus du carbone. Ces éléments sont appelés éléments d'additions, les principaux sont le manganèse (Mn), le chrome (Cr), le nickel (Ni), le molybdène (Mo).

Les éléments chimiques présents dans l'acier peuvent être classés en 3 catégories :

- **Les impuretés**, originellement présentes dans les ingrédients de haut fourneau qui serviront à produire la fonte qui servira à fabriquer l'acier. Ce sont le soufre (S) et le phosphore (P) présent dans le coke mais aussi le plomb (Pb) et l'étain (Sn) qui peuvent être présents dans les aciers de récupération ainsi que nombre d'autres éléments à bas point de fusion comme l'arsenic (As), l'antimoine (Sb) ;
- **Les éléments d'addition** mentionnés plus haut et qui sont ajoutés de manière intentionnelle pour conférer au matériau les propriétés recherchées, et enfin ;

- **Les éléments d'accompagnement** que l'aciériste utilise en vue de maîtriser les diverses réactions physico-chimiques nécessaires pour obtenir en final un acier conforme à la spécification. C'est le cas d'éléments comme l'aluminium, le silicium, le calcium.

II.1.4 Classification générale :

La classification des nuances d'acier d'après les critères énumérés s'effectue sur la base de l'analyse de coulée. A chaque nuance est ainsi attribuée dans la classification une place qui peut être fixée à l'avance.

II.1.4.1 D'après la composition :

Les aciers sont groupés d'après leur composition chimique en trois classes:

1. aciers non alliés,
2. aciers faiblement alliés,
3. aciers fortement alliés.

II.1.4.2 D'après des critères attachés à l'utilisation :

Les classes mentionnées sont elles-mêmes subdivisées suivant des critères attachés à l'utilisation en :

1. aciers d'usage général,
2. aciers spéciaux.

Dans cette subdivision on applique un échelonnement de nuances définies par certaines caractéristiques mécaniques, physiques ou chimiques.

La désignation des aciers selon la norme européenne EN 10027 distingue cinq principaux types d'acier :

- les aciers non-alliés, ou acier au carbone :
 - les aciers non-alliés d'usage général (« aciers à ferronnerie »),
 - les aciers non-alliés spéciaux (pour traitement thermique, malléables, soudables, forgeables, ...);
- les aciers faiblement alliés ;
- les aciers fortement alliés (au moins un élément a une teneur supérieure ou égale à 5 %), essentiellement les aciers inoxydables ;
- les aciers rapides, qui gardent la trempe à haute température, donc qui restent durs malgré un échauffement ; ils sont essentiellement utilisés comme aciers à outil (foret, fraises, anciens outils d'usinage).[3]

Tableau I.1 Désignation et Correspondance des principales normes d'aciers

Aciers pour décolletage					Aciers pour traitement thermique					Aciers pour trempe superficielle														
NF	UNI	DIN	W.Nr	EURO NORM	SAE	NF	UNI	DIN	W.Nr	EURO NORM	SAE	NF	UNI	DIN	W.Nr	EURO NORM	SAE							
A37Pb	-	-	-	-	-	XC25	C25	Ck22	-	2C25	1025	XC42TS	C43	-	-	-	-							
AG0Pb	-	-	-	-	-	XC32	C30	-	-	-	1030	XC48	C48	Ck45	-	C46	1045							
S250	CF95Mn28	95Mn28	-	115Mn28	-	(XC38)	C35	Ck35	1181	2C35	1038	-	38Cr4	38Cr4	7043	38Cr4	-							
S250Pb	CF95MnPb28	95MnPb28	-	115MnPb28	-	(XC42)	C40	-	1186	-	1042	-	36CrMo4	-	-	-	-							
S300	-	95Mn36	-	-	-	(XC48)	C45	Ck45	1191	2C45	1045	42CD4TS	41CrMo4	41CrMo4	7223	41CrMo4	(4140)							
S300Pb	CF95MnPb36	95MnPb36	0737	95MnPb35	12L14	(XC48)	C50	Ck50	1206	-	1050	40NCD3TS	40NiCrMo3	-	-	40NiCrMo3	-							
18MFS	-	-	-	17S20	1117	XC35	C35	Ck35	1203	2C35	1035	Aciers pour roulement												
45MFA	CF445MnPb28	45S20	-	45S20	1146	XC65	C60	Ck60	1221	2C60	1065							NF	UNI	DIN	W.Nr	EURO NORM	SAE	
Aciers de cémentation						42C4	41Cr4	41Cr4	7035	41Cr4	5147							100C6	100Cr6	100Cr6	3505	100Cr6	52100	
NF	UNI	DIN	W.Nr	EURO NORM	SAE	-	36CrMn5	-	-	-	-							-	-	100CrMn4	(100CrMn6)	(5520)	(100CrMn6)	-
XC10	C10	Ck10	1121	2C10	1010	25CD4	25CrMo4	25CrMo4	7218	25CrMo4	-							100CD7	100CrMo7	W5	(3536)	(100CrMnMo7)	-	
XC18	C15	Ck15	1171	2C15	1017	30CD4	30CrMo4	-	-	-	4130							-	-	-	-	-	-	
-	-	15C3	7015	15C2	-	35CD4	35CrMo4	34CrMo4	7220	34CrMo4	4135							-	-	-	-	-	-	
16MCS	16MnCr5	16MnCr5	7131	16MnCr5	-	42CD4	42CrMo4	42CrMo4	7225	42CrMo4	4142							-	-	-	-	-	-	
20MCS	20MnCr5	20MnCr5	7141	-	-	40NCD2	40NiCrMo2	(42NiCrMo2-2)	(6546)	40NiCrMo2	8640							-	-	-	-	-	-	
18CD4	18CrMo4	16CrMo1	(7242)	18CrMo4	-	40NCD3	39NiCrMo3	-	-	39NiCrMo3	-							-	-	-	-	-	-	
-	12NiCr3	-	-	-	-	-	40NiCrMo7	(40NiCrMo7-3)	(6562)	-	6340	-	-	-	-	-	-							
14NC11	16NiCr11	(14NiCr10)	(5732)	13NiCr12	-	-	30NiCrMo12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
-	16CrN4	-	-	-	-	-	30NiCrMo12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
-	20CrN4	-	-	-	-	-	30NiCrMo12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
20NCD2	20NiCrMo2	21NiCrMo2	6523	20NiCrMo2	8620	35NCD16	34NiCrMo16	(30NiCrMo16-6)	(6747)	34NiCrMo16	-	-	-	-	-	-	-							
-	18NiCrMo5	-	-	17NiCrMo5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
-	18NiCrMo7	-	-	-	4320	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
-	16NiCrMo12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							

L'acier faiblement allié 100Cr6 selon "EN ISO 683-17"

Groupe de matière: Acier de roulement

Utilisation:

Pour pièces de roulement de toutes sortes, par ex. billes, aiguilles, cônes, anneaux jusqu'à 30 mm d'épaisseur de paroi et pour une température max. jusqu'à 200 °C.

Tableau I.2 Composition chimique

Composition chimique [%]										
Abréviation	N° de qualité	C	Si	Mn	P max.	S max.	Cr	Mo max.	Cu max.	Al max.
100Cr6	1.3505	0.93...1.05	0.15...0.35	0.25...0.45	0.025	0.015	1.35...1.60	0.10	0.30	0.050

Tableau I.3 Façonnage à chaud et traitements thermiques

Recuit doux °C	Recuit d'élimination de tensions °C	Trempe °C	Moyen de refroidissement	Revenu °C
780...800	650...680 <small>(valable seulement pour l'état de livraison doux)</small>	830...870 <small>(31 HRC saut de trempe)</small>	Huile, bain chaud 180...220 °C	150...180

Tableau I.4 Caractéristiques mécaniques

Etat de livraison	Dureté [HB]	Forme produit
Recuit au carbure granulaire (+AC)	≤ 207	Barre, fil de laminage, fil, tube, anneaux et disque

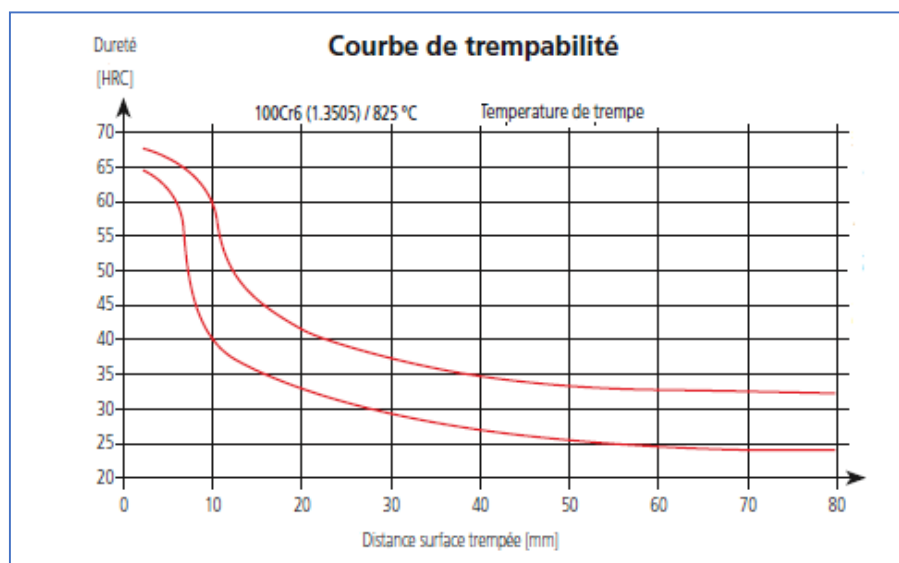


Fig I.1 : courbe de trempabilité

I.2 LE FRAISAGE :**I.2.1 Introduction :**

Le fraisage est, dans son principe, un procédé de fabrication mécanique par coupe (enlèvement de matière) faisant intervenir, en coordination, le mouvement de rotation d'un outil à plusieurs arêtes (mouvement de coupe) et l'avance rectiligne d'une pièce (dit mouvement d'avance). Aujourd'hui, toutefois, on a également un déplacement de l'outil par rapport à la pièce, lequel peut s'effectuer pratiquement dans n'importe quelle direction. L'outil de fraisage, la fraise, comporte plusieurs arêtes de coupe dont chacune enlève une certaine quantité de métal sous forme de copeaux. Les avantages du fraisage sont un rendement élevé, un bon fini de surface et une haute précision, ainsi qu'une grande souplesse au niveau de la génération de différentes formes. Le plus souvent, le fraisage est utilisé pour produire des surfaces planes, des épaulements et des gorges, mais son efficacité en contournage va croissante grâce à l'utilisation des techniques CNC (Computerized Numerical Control).

Le fraisage est en passe de devenir une méthode d'usinage de plus en plus universelle, disposant d'une gamme toujours plus étendue de machines, de systèmes de commande et d'outils de coupe. Par exemple, les centres d'usinage utilisent largement le fraisage et ont donc besoin, dans ce domaine, d'une grande diversité d'outils. Le fraisage s'effectue donc sur différents types de machines, allant des fraiseuses conventionnelles dont la conception date du début du siècle jusqu'aux machines CNC sophistiquées à axes multiples.

Comme nous le verrons, le fraisage permet non seulement d'effectuer une grande diversité d'opérations, mais fait également intervenir de nombreux types de machines, d'outils et de pièces. Il est très largement influencé par l'état des équipements utilisés et de la pièce usinée, et exige de l'opérateur une connaissance approfondie des différentes limitations existantes.

C'est à partir du plan de la pièce et sur la base des impératifs de production que l'on choisit le type d'opération et d'outil de fraisage. Les méthodes conventionnelles doivent toujours ici être remises en question du fait des perspectives nouvelles ouvertes au fraisage en raison des développements intervenus au fil des années.

Il faut donc étudier le type d'usinage concerné afin de déterminer comment l'exécuter au mieux, ce qui permettra un double gain de temps et de qualité au niveau du résultat. Il convient également d'envisager si une seule ou plusieurs opérations sont nécessaires.

Lorsqu'il est décidé qu'une pièce doit être usinée par fraisage, l'étape suivante consiste à choisir la machine appropriée : fraiseuse horizontale, verticale, universelle, à portique, à commande numérique ou centre d'usinage, c'est-à-dire la meilleure solution pour l'opération en question. Une fois obtenue une bonne compatibilité entre les paramètres d'usinage et les capacités de la machine choisie, il convient de déterminer divers facteurs tels que stabilité, précision et fini de surface désiré. L'instabilité est la principale menace en usinage des métaux par enlèvement de copeaux, non seulement pour la qualité des résultats obtenus, mais également en ce qui concerne la durée de vie et les performances de l'outil, quelle que soit par ailleurs l'aptitude de la machine et de l'outil à l'utilisation qui en est faite.[4]

I.2.2 Les fraiseuses :

Une fraiseuse est une machine-outil utilisée pour usiner tous types de pièces mécaniques, à l'unité ou en série, par enlèvement de matière à partir de blocs ou parfois d'ébauches estampées ou moulées, à l'aide d'un outil nommé fraise.

La fraise munie de dents est mise en rotation et taille la matière suite à son déplacement ou au déplacement de la pièce en direction de ladite fraise. La forme de la fraise est variable. Elle peut être cylindrique, torique, conique, hémisphérique ou quelquefois de forme encore plus complexe. La fraise est souvent montée sur une tête à trois axes (on parle alors de fraiseuse trois axes). Il existe des fraiseuses à quatre ou cinq axes. Les caractéristiques physiques de la fraise, sa fréquence de rotation, son avance, dépendent de la matière à usiner, de la profondeur de travail et de la coupe. On utilise principalement le carbure de tungstène recouvert de revêtements résistant à l'abrasion du copeau.

Il existe les fraiseuses manuelles où les mouvements sont commandés par le "fraiseur", les fraiseuses à apprentissage qui peuvent répéter les mouvements donnés une fois par l'opérateur (enregistrement des mouvements) et les fraiseuses à commande numérique où sont enregistrés des ordres de mouvement d'outil pour usiner une pièce complexe (pilotée par un programme informatique en langage ISO(langage)). Elles sont équipées d'un organe de contrôle informatique (automate programmable ou base PC) lui même relié à un réseau. La CAO associée à la fabrication se nomme FAO ou CFAO.

I.2.3 Types de fraiseuse (Ancienne classification):

I.2.3.1 Fraiseuse universelle :

La fraiseuse universelle : l'axe de la broche est réglable :

- tête bi-rotative, avec 2 coulisses circulaires (perpendiculaires l'une par rapport à l'autre) ;
- tête oblique, avec 2 coulisses circulaires (incliné à 45°) ;
- tête articulée.



Fig. I.2: Fraiseuse universelle (HURON).

I.2.3.2 Fraiseuse verticale :

Ce qui différencie le plus cette dernière de la précédente, c'est que la tête verticale possède un déplacement axial de broche ; la table n'est pas orientable ; elle n'est pas conçue pour recevoir des organes de conversion ; la tête ne peut être démontée mais elle est orientable dans un plan. Elle est surtout employée pour exécuter des surfacages, rainures et épaulements avec des capacités de coupe bien supérieures, comparé à une machine tête universelle.

En outre, le déplacement axial du fourreau de broche permet la réalisation successive d'épaulements ou des surfacages à des niveaux étagés sur une même pièce en épargnant le mécanisme du mouvement vertical de la console qui reste bloqué pendant toute la durée des opérations.



Fig. I.3 Fraiseuse verticale

I.2.3.3 Fraiseuse horizontale :

La fraiseuse horizontale : l'axe de la broche est parallèle à la table. Cette solution permet aux copeaux de tomber et donc de ne pas rester sur la pièce. De cette manière, on n'usine pas les copeaux, et la qualité de la pièce est meilleure. Mais ce type de montage était surtout destiné à installer des fraises 3 tailles ou fraises disques dans le but de réaliser des rainurages de profilés plats.



Fig. I.4 : Fraiseuse horizontale

I.2.4 Types de fraiseuse (Nouvelle classification):

Aujourd'hui les machines à Manivelles sont quasiment disparues, la commande numérique permet de faire bouger simultanément des axes qui étaient autrefois presque systématiquement fixes. Cela a entraîné une révision des classifications plus dépendantes des contraintes rencontrées au niveau des opérations d'usinage.

Fraiseuse 3 axes

- Broche Verticale. L'axe Z est vertical.
- Broche Horizontale. L'axe Z est horizontal.

Dans les 2 cas, la fraise est perpendiculaire à la table, c'est la table qui se trouve positionnée de façon différente. Dans les cas de la broche Horizontale il y a une meilleure évacuation des copeaux, et du liquide de lubrification qui sinon peut s'accumuler dans les parties creuses.

Fraiseuse 4 axes

C'est souvent une fraiseuse 3 axes Broche Horizontale dotée d'un plateau tournant. C'est une configuration très pratique en production industrielle mécanique (Automobile Aviation etc...).

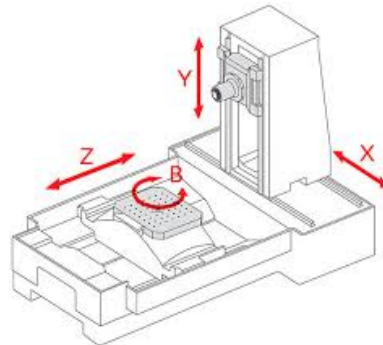


Fig. I.5: Fraiseuse 4 axes[6]

Fraiseuse 5 axes

On peut trouver sous cette catégorie plusieurs topologies de construction.

Une fraiseuse 5 axes comporte toujours 3 axes linéaires (X,Y,Z) et 2 axes rotatifs à Choisir parmi (A,B,C). Les machines vont se différencier par la position des axes rotatifs Les 3 types sont :

- 2 axes sur tête (C'est la tête qui comporte les axes B et C. Les axes X , Y et Z étant sur la table ou sur la tête. Ce détail de configuration n'étant pas déterminant. Configuration très répandue, elle permet d'usiner à peu près tous les types de pièces, mais peut souffrir de problème de puissance ou de rigidité. Le boum de l'UGV (Usinage à Grande Vitesse) a beaucoup contribué au développement de cette topologie.
- 2 axes sur table.
- 1 axe sur Table, 1 axe sur tête.[5]

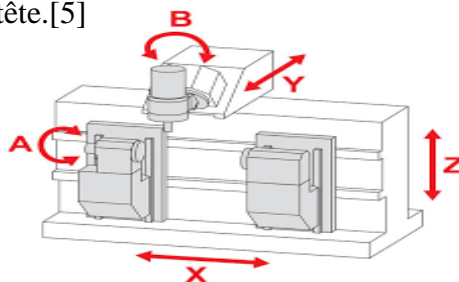


Fig. I.6: Fraiseuse 5 axes[6]

I.2.5 :Fraise (outil)

La fraise est un outil qui permet d'usiner la matière (métal, bois, etc.). Elle est généralement utilisée sur une fraiseuse pour faire du fraisage.

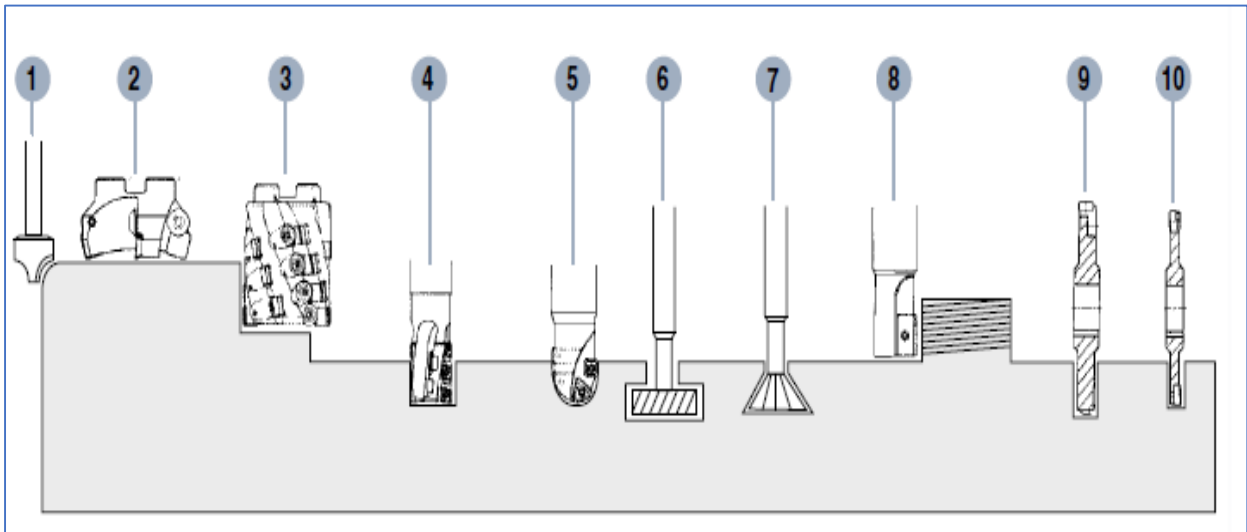


Fig. I.7: En plus de ces outils de fraisage, presque tous les outils utilisés sur une perceuse peuvent être employés sur la fraiseuse[7]

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1. Fraise à arrondir les coins | 6. Fraise en T |
| 2. Fraise à surfacer | 7. Fraise pour queues d'aronde |
| 3. Fraise à surfacer et à dresser | 8. Outil à tailler des filets sur fraiseuse |
| 4. Fraise en bout à rainurer | 9. Fraise trois tailles |
| 5. Fraise à rayon | 10. Fraise-scie |

Sens de coupe

Les fraises sont coupe :

- à droite ;
- à gauche.

Type de denture

L'inclinaison des arêtes de coupe peut varier d'une fraise à l'autre, la fraise peut être à :

- dentures droites ;
- dentures hélicoïdales (avec l'hélice à gauche ou à droite) ;
- dentures alternées (double hélice). [8]

I.2.5.1 la forme

suitant le profil des génératrices par rapport à l'axe de l'outil, on distingue : les fraises cylindriques, coniques et les fraises de forme.



Fig.I.8. Différentes formes de fraises

I.2.5.2 Matériaux des fraises

Il existe plusieurs groupes de matériaux entrants dans la composition des fraises:

- les fraises en acier rapide ;
- les fraises en carbure monobloc;
- les fraises à plaquettes carbure amovibles ou brasées;
- les fraises CBN;
- les fraises diamant

❖ Le fraisage en bout

Lors du fraisage en bout, l'axe de la fraise est perpendiculaire à la surface à usiner. La fraise coupe principalement avec les tranchants d'hélice (principaux), tandis que les tranchants en bout (secondaires) n'enlèvent qu'un copeau fin. Étant donné que plusieurs dents sont engagées simultanément, il est possible d'appliquer une grande charge si on fixe la fraise avec un porte-à-faux minimal.

On appelle fraisage périphérique en bout l'usinage où les tranchants principaux périphériques et les tranchants secondaires (en bout) produisent simultanément deux surfaces planes et que les deux surfaces font partie de l'usinage à produire.

Les conditions de coupe les plus avantageuses sont offertes lorsque la fraise est engagée à une profondeur d'environ $\frac{3}{4}$ du diamètre de la fraise.

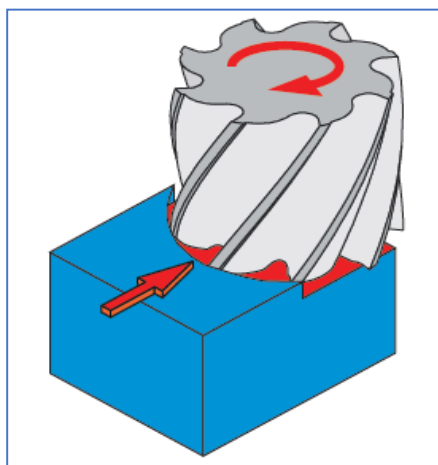


Fig I.9 : principe du fraisage en bout

Dans le fraisage en bout, la fraise doit idéalement être de **20 à 30%** plus grande que la surface à fraiser.

❖ Le fraisage en roulant

L'usinage d'une surface par un fraisage périphérique est appelé *fraisage en roulant*.

A cet effet, on utilise des fraises dont le tranchant principal est constitué par l'hélice de la fraise.

Exemples :

- fraises cylindriques
- fraises détalonnées
- fraises à disque

❖ Mode de fraisage

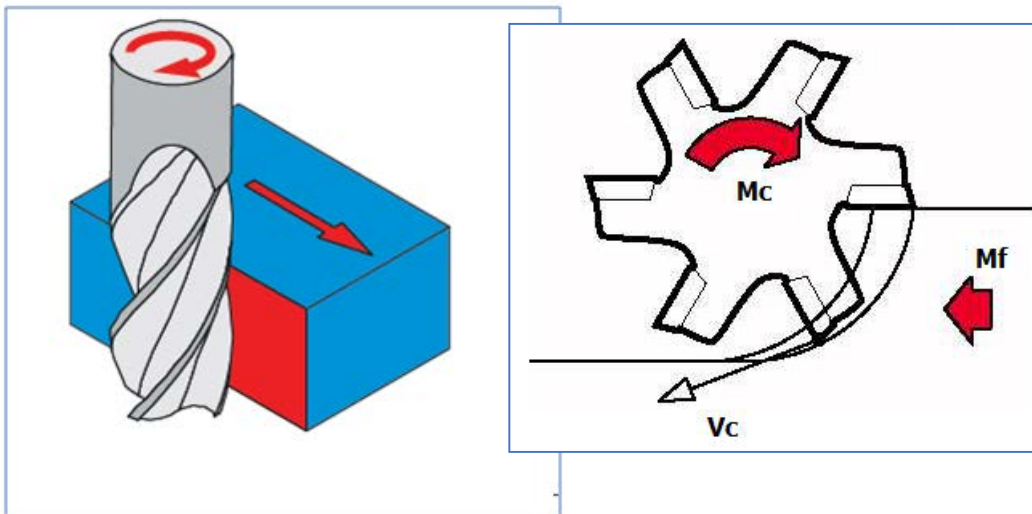


Fig I.10 : principe du fraisage en concordance dit en avalant

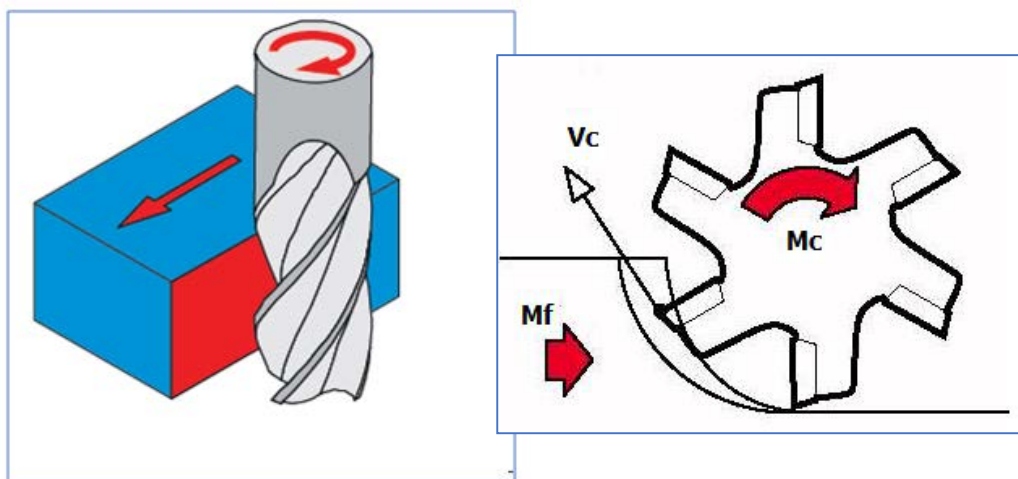


Fig I.11 : principe du fraisage en opposition

I.2.6 Conditions de coupe

En fraisage les *paramètres de coupe* sont les suivants:

- p : profondeur de passe en mm.

- V_c : vitesse de coupe en m/min.

- et f_z : avance par dent en mm/tr/dent:

Elle varie suivant le diamètre de la fraise, le matériau de la pièce et de la fraise et l'opération de fraisage. V_c et f_z sont déterminés à partir des tableaux. Quand les impératifs d'établissement des conditions de coupe ne sont pas respectés, on utilise des facteurs de correction des valeurs des avances et vitesses de coupe en fonction de la nature du travail effectué.

Les *paramètres à régler sur la machine* sont:

- N : fréquence de rotation de la broche ou fréquence de rotation de la fraise définie par la formule :

$$N = \frac{1000 V_c}{\pi D}$$

où D désigne le diamètre de la fraise.

- et V_f : vitesse d'avance en mm/min définie par la formule : $V_f = N f = N z f_z$.

f définie l'avance par tour (mm/tr) et z le nombre de dents de la fraise. [9]

Tableau I.5 Valeurs usuelles des vitesses et avances préconisées pour les nuances de matériaux selon ISO

Nuance ISO	Matériaux à usiner Avance f en mm/dent/tour	Fraisage				Fraisage filetage
		Acier Rapide		Carbure		Carbure
		0.03 à 0.1	0.1 à 0.2	0.05 à 0.2	0.2 à 0.3	$f = \text{pas du filet}$
P	Acier Non Allié	50	40	140	120	150
	Acier Faiblement Allié	30	25	100	80	130
	Acier Fortement Allié	20	15	80	70	100
	Acier Moulé Faiblement Allié	25	20	90	80	120
M	Acier inoxydable	20	15	100	90	150
K	Fonte lamellaire (EN-GJL...)	35	30	100	90	120
	Fonte Modulaire (EN-GJM...)	30	25	80	70	100
	Fonte Sphéroïdale (EN-GJS...)	40	35	100	90	120
K-N	Alliages d'aluminium de faible dureté sans silicium (AW 2030 ...)	250	200	500	400	300
	Alliages d'aluminium durs sans silicium ou %Si moyen (AW2017, AW 6060 ...)	120	80	300	200	250
	Alliages d'aluminium à haute teneur en silicium > 12%	80	40	120	80	100
Vitesse de coupe V_c en m/min						

I.3 L'USURE DES OUTILS

I.3.1 La géométrie de l'arête de coupe

Usuellement dans les modèles de coupe, la partie active de l'outil est définie par trois plans (Fig. I.12(a)) sans raccordement. En réalité, la zone de coupe de l'outil est constituée de 3 plans raccordés par deux rayons (Fig. I.12(b)) : le rayon de bec ϵ et le rayon d'acuité de l'arête de coupe, qui est souvent négligée dans un grand nombre de modèles

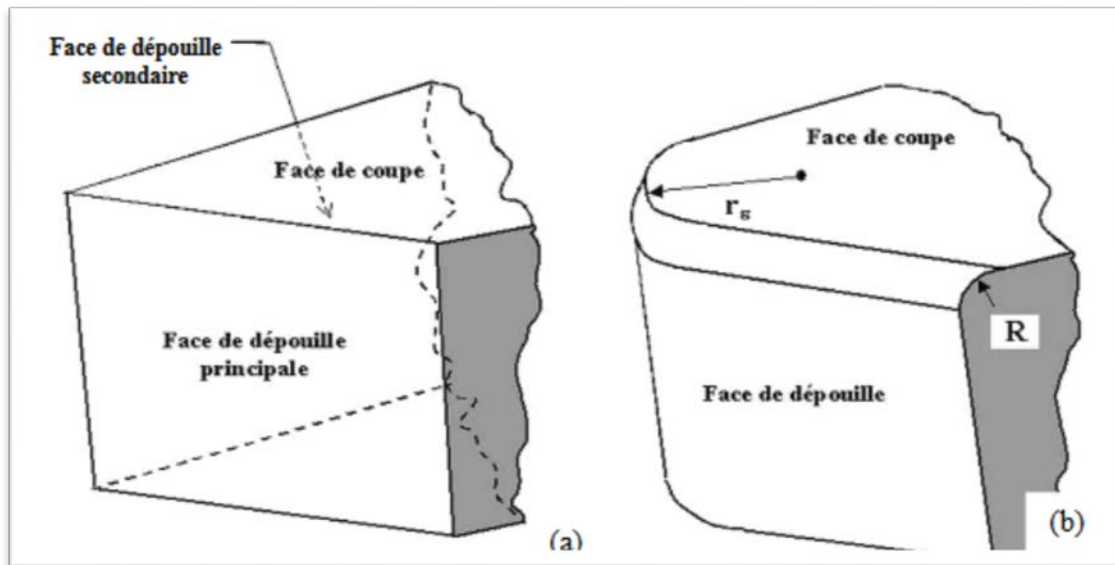


Fig. I.12. Géométrie de l'arête de coupe.

I.3.2 BILAN DES TROIS TYPES DE COUPE SUR L'USURE

- Les dépôts macroscopiques constitués à température moyenne ($\approx 400\text{C}^\circ$) provoquent essentiellement un endommagement mécanique (régime vibratoire de travail de l'outil conduisant à la fissuration et à la rupture) ;
- Les dépôts microscopiques formés à température élevée ($\approx 1000\text{C}^\circ$) donnent lieu à des altérations de l'outil générant ainsi un endommagement chimique ;
- Les débris de toute nature sont cause d'une abrasion de la surface des outils, cela se traduisant par un endommagement physique.

I.3.3 INFLUENCE DES PARAMETRES DE COUPE SUR L'USURE

On peut observer deux grands groupes de paramètres dans le processus de coupe. Le premier est formé par la matière usinée et les conditions de coupe (vitesse de coupe, avance, profondeur de passe, lubrification).

-Vitesse de coupe : la température de coupe étant croissante avec la vitesse de coupe, ce paramètre aura une très grande influence sur l'usure,

-Avance : les grandes avances font augmenter l'intensité des efforts de coupe, et diminuent la durée de vie de l'outil,

-Profondeur de passe : la variation de la profondeur de passe modifie légèrement l'écoulement de la chaleur le long de l'arête tranchante, son influence reste modeste sur l'usure,

-Matériau usiné : son influence sur l'usure dépend de ses propriétés physiques (conductibilité thermique), de ses propriétés mécaniques (pression spécifique de coupe) et de ses propriétés chimiques (% de certains éléments d'addition),

-Lubrification : son influence intervient faiblement sur le coefficient de frottement pièce-outil et copeau-outil, mais permet la baisse de la température de la partie active de l'outil.

Le second groupe est formé par les paramètres physiques et mécaniques de l'outil (géométrie et composition du matériau de l'outil, dureté, effort et propriété thermiques).

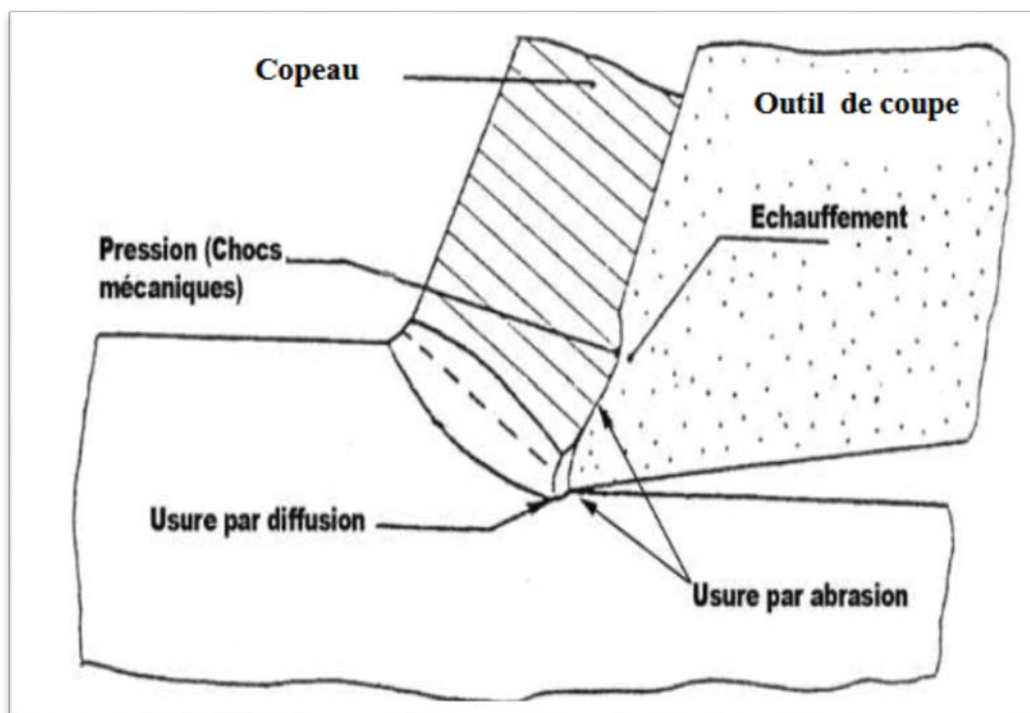


Fig. I.13 Représentation des différentes zones d'usures de l'outil durant la phase de formation du copeau.

I.3.4 MANIFESTATION DE L'USURE

L'observation de la partie active de l'outil fait apparaître des formes d'usure caractéristiques qui correspondent aux conditions dans lesquelles l'outil travaille, selon la nature des matériaux en présence (outil-pièce), selon les conditions extérieures dues à l'environnement et enfin selon le régime de coupe affiché (fig I.14), on peut rencontrer les diverses formes d'usure suivantes :

Indices :

- KM : Distance du centre du cratère / pointe initiale de l'outil
- KT : profondeur d'un cratère
- KB : Largeur du cratère

- γ_c : Angle de cratérisation
- VB : Hauteur de l'usure en dépouille
- VN : profondeur d'entaille par rapport à l'arête de coupe initiale
- VBC : Profondeur entre l'arête initiale et la zone usée
- SV : Profondeur entre l'arête initiale et la pointe de l'outil usée

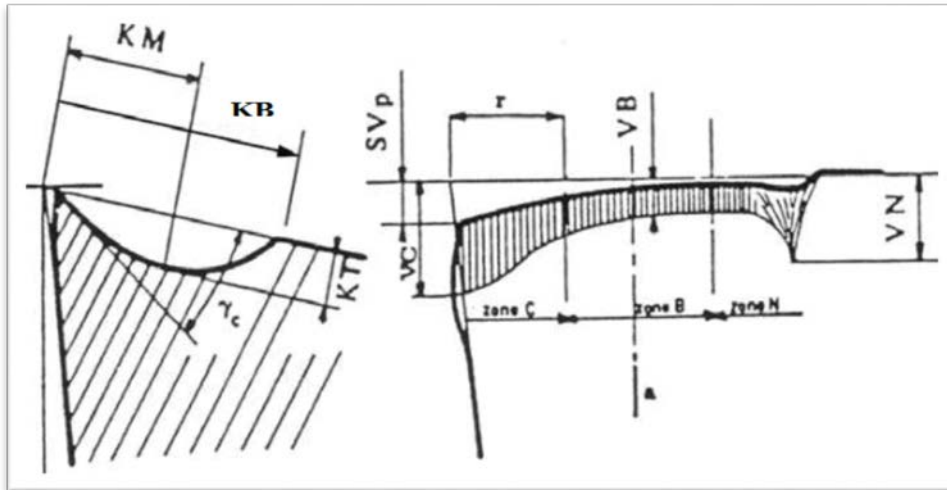


Fig.I.14. Formes d'usure de l'outil de coupe d'après la norme NFE 66 505.

I.3.4.1. Usure frontale

Elle s'observe sur la face en dépouille principale de l'outil. Elle apparaît suivant une bande striée brillante et parallèle à l'arête de coupe (Fig. I.14). Elle se manifeste lors de travaux de finition, à forte vitesse de coupe et à faible avance, elle est due conjointement aux températures élevées qui se produisent le long de l'arête de coupe et au frottement continu de la surface de la pièce sur la face en dépouille de l'outil. Sur le plan pratique, cette forme d'usure est la plus importante puisqu'elle conditionne simultanément l'état de surface de la pièce usinée et la précision dimensionnelle. On la caractérise par la distance entre l'arête de coupe initiale et la droite associée aux crêtes situées sur la face en dépouille (VB).

I.3.4.2. Usure cratère

Elle s'observe sur la face d'attaque de l'outil sous la forme d'une cuvette obtenue par frottement intense du copeau (Fig. I.14). Cette forme d'usure se manifeste principalement lors de travaux d'ébauche, à faible vitesse de coupe et à forte avance, sur les matériaux abrasifs. L'effort très important exercé par le copeau-outil, des températures élevées favorables à l'usure par diffusion. L'observation de cette forme d'usure se rencontre plus fréquemment sur les outils en carbure métallique et en céramique qui offrent une structure plus favorable que les outils en acier rapide. L'usure sur ces derniers se stabilise après sa naissance par un écrouissage superficiel du métal (symbole KT, pour respecter les appellations de la norme française NEF66505). On caractérise l'usure en cratère par la profondeur KT, le rapport KT/KM ou par l'angle de caractérisation

I.3.4.3 Usure par déformation plastique

La pointe de l'outil peut subir une déformation permanente sous l'effet des températures élevées et des hautes pressions régnant dans la zone de coupe. On rencontre en particulier ce type d'usure dans l'utilisation des outils de carbures lors d'usinage des matériaux à hautes résistances mécaniques ou à faible usinabilité.

Cette déformation se traduit par un affaissement plastique de la pointe de l'outil caractérisé par la valeur la flèche SV_p , et par un renflement sur les faces en contre dépouille. Il s'en suit une modification importante de la géométrie de la pointe de l'outil qui nuit à la précision et à l'état de la surface usinée.

L'affaissement plastique entraîne une usure frontale vers la pointe de l'outil de valeur VC généralement supérieure à la valeur VB dans la zone centrale B , et, une déformation importante du cratère. Celui-ci présente alors une profondeur maximale au niveau de l'arête secondaire de l'outil.

I.3.5 USURE VISIBLE SUR L'OUTIL

I.3.5.1 Usure par déformation plastique de l'arête

Ce type d'usure est caractérisé par l'effondrement de l'arête tranchante. Si la température sur l'arête devient trop élevée. Celle-ci peut se déformer sous l'effet de la contrainte mécanique

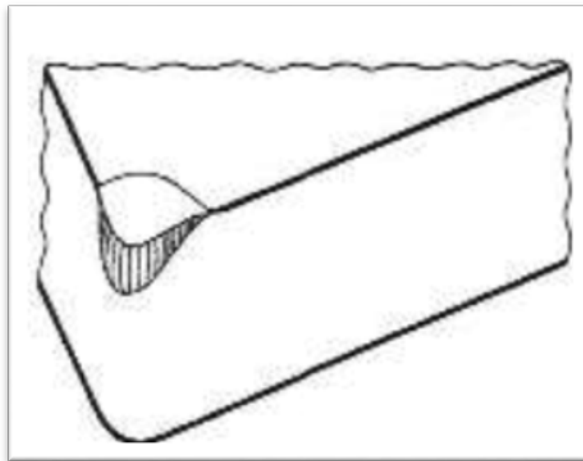


Fig.I.15 Usure par déformation plastique de l'arête.

Mesures correctives :

- Choisir une nuance plus tenace,
- Utiliser une plaquette plus robuste et dotée d'un rayon de bec plus important,
- Choisir une géométrie brise
- copeaux pour section de copeaux plus importante,

-Réduire l'avance et éventuellement aussi la profondeur de passe.

I.3.5.2. Usure par écaillage de l'arête

Se constate quand la fragilité de la nuance employée est trop grande en égard au travail à exécuter, ou également, quand l'outil subit des chocs thermiques. Des criques se forment perpendiculairement à l'arête de coupe et des particules de carbure sont arrachées progressivement de cette arête (FigI.16).

Mesures correctives :

- Choisir une nuance plus tenace,
- Utiliser une plaquette présentant une géométrie d'arête plus stable,
- Réduire l'avance en début de coupe, en cas d'écaillage par impact de copeaux,
- Choisir une géométrie brise-copeaux différente,
- Modifier l'angle de direction d'arête de l'outil,
- Faire une préparation d'arête de coupe (rodage de l'arête de 0,04 mm par exemple).

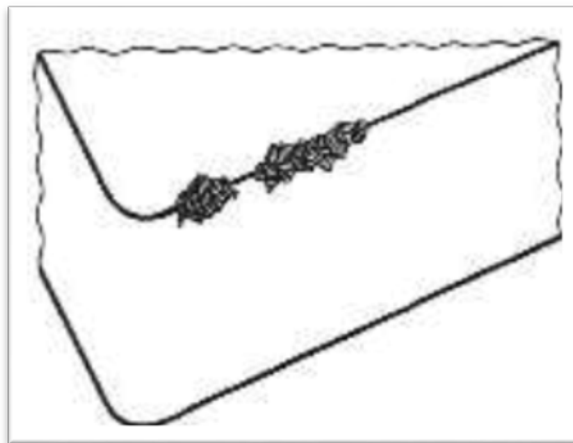


Fig.I.16 Usure par écaillage de l'arête.

I.3.5.3 Usure par arête rapportée ou copeau adhérent

Ce type d'usure est due à une température trop basse dans la zone de coupe, se qui provoque un mauvais écoulement du copeau et celui-ci se soude a l'arête. Ce copeau adhérent entraîne un accroissement de la puissance nécessaire à la coupe, et une détérioration rapide de l'état de surface de la pièce (Fig. I.17)

Mesures correctives :

- Accroître la vitesse de coupe,
- Utiliser les métaux durs revêtus ou des cermets,
- Choisir une géométrie d'arête positive,

-Travailler avec arrosage

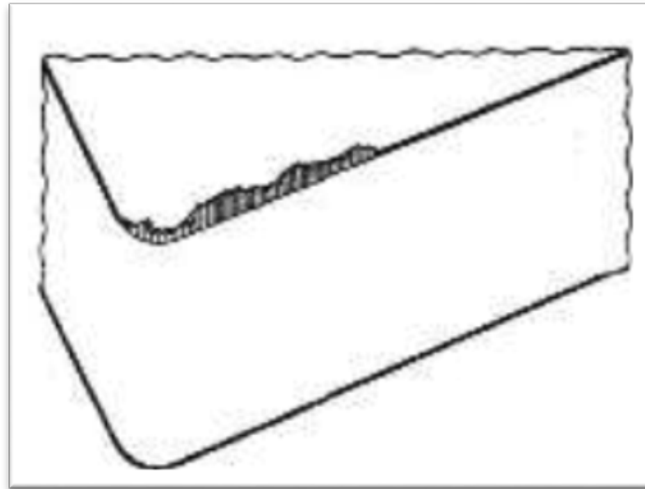


Fig.I.17. Usure par arête rapportée.

I.3.5.4 Usure en dépouille

Il caractérise la durée de vie. Quand il est trop grand les efforts de coupe augmentent et l'état de surface est moins bon (Fig. I.18). C'est un critère général pour la tenue d'outil, caractérisée parue valeur d'usure admissible VB. Les valeurs indiquées se rapportent généralement à une tenue d'outil (durée de vie T=15 min).

VB critique = 0,6 mm en ébauche et 0,3 mm en finition

Cela est dû une vitesse de coupe excessive ou à une mauvaise position angulaire de l'outil (face de coupe / pièce)

Mesures correctives :

- Choisir une nuance présentant une meilleure résistance à l'usure,
- Réduire la vitesse de coupe.

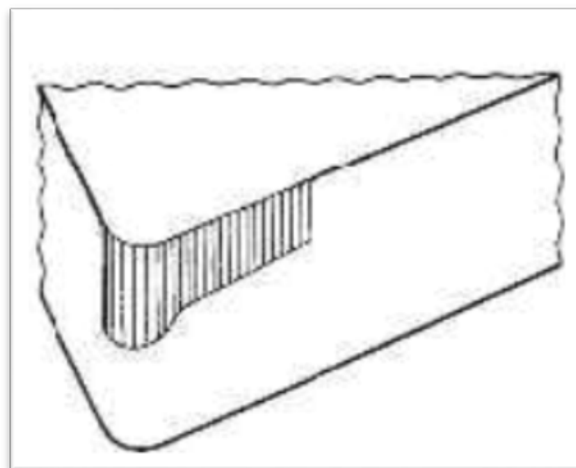


Fig. I.18 Usure en dépouille.

I.3.5.5. Usure en cratère

C'est une usure en creux sur la face de coupe (Fig. I.19), elle est due de frottement du copeau sur la face de coupe de l'outil. Lors de l'usinage la température élevée à l'interface copeau-outil et les pressions de contact entre le copeau et l'outil, provoque une diffusion importante de la matière de l'outil vers le copeau par processus d'adhésion. Elle donne aussi une déformation plastique de la pointe de l'outil, caractérisée par processus SVP et un renflement de la face de dépouille. L'usure est souvent constatée sur les outils en carbure métallique, elle provoque généralement la rupture de la pointe de l'outil

Valeur limite : $KT \text{ critique} = 0,06 + 0,3 f^2$

La valeur critique est celle à partir de laquelle l'outil est considéré comme hors d'usage avec risque important de rupture de l'outil (f : avance par tour).

Mesures correctives :

- Utiliser des nuances de métal dur revêtu,
- Choisir des plaquettes à géométrie positive
- Réduire la vitesse de coupe ou augmenter l'avance. [10]

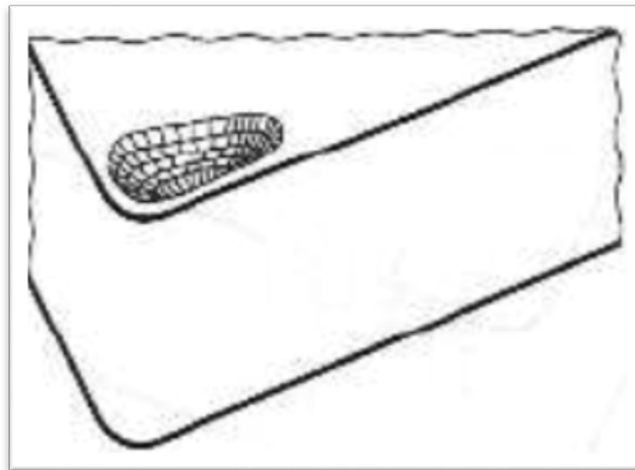


Fig. I.19. Usure en cratère.

I.4. Modèles de lois d'usure

➤ Modèle de TAYLOR

Taylor fut le premier à proposer en 1907, un modèle mathématique reliant la durée effective de coupe T d'un outil aux paramètres de coupe.

V : Vitesse de coupe, m/mn

$$T = C.V^n$$

T : Durée de vie, min

n : Exposant de TAYLOR

C : Constante dépendant de couple outil/pièce.

Dans un système de coordonnées bi logarithmiques, ce modèle peut être exprimé par une droite

$$\text{Log } T = n \cdot \text{log } V + \text{log } C$$

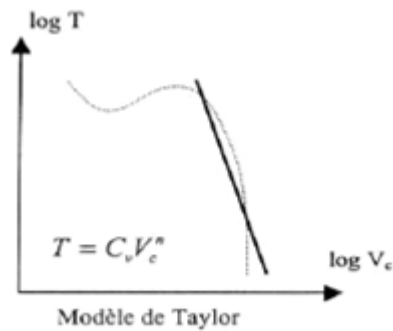


Fig. I.20 : Représentation graphique du modèle de Taylor

Tableau I. 6 Valeurs moyennes de l'exposant n

Matériau d'outil	ARS/HSS	Carbure	Carbure revêtu	Céramique
n	-6	-4	-3	-2

$$Vc = CT \cdot T^\alpha$$

Tableau I.7 Valeurs moyennes de l'exposant α

Matériau d'outil	Acier rapide	Carbure métallique	Céramique
α	0.1-0.125	0.2-0.3	0.4-0.5

➤ **Modèle de Gilbert ou le modèle de Taylor généralisé en 1950**

$$T = C \cdot f^x \cdot a^y \cdot Vc^n$$

où f est l'avance, a est la profondeur de passe

x, y, n sont des exposants qui indiquent le degré d'influence de chaque paramètre .

La constante C : dépend du Couple Outil / Matière

Les coefficients x, y et n : dépendent que du matériau constituant l'outil, avec

$x \approx n/6$ et $y \approx n/3$ [11]

I.5 États de surface

I.5.1- Analyse de la surface

– Défauts de 1er ordre : écarts de forme – Défauts de 2ème ordre : ondulation (ligne enveloppe supérieure) – Défauts micro géométriques : caractérisent la rugosité de la surface (3ème ordre : stries et sillons ; 4ème ordre : arrachements, fentes...)

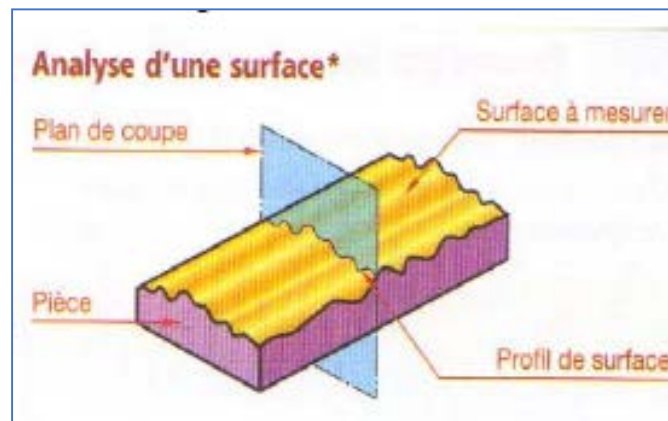


Fig.I.21 Analyse d'une surface

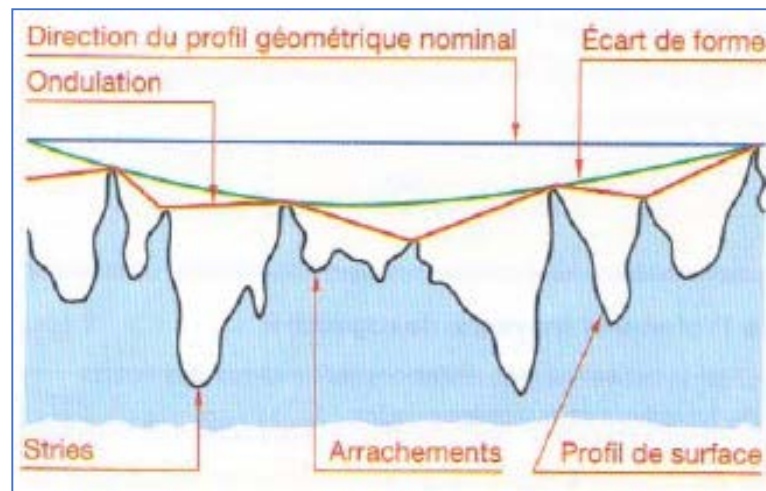


Fig.I.22 Structure réelle d'une surface usinée

I.5.2 Les paramètres de la rugosité

Rugosité R_z : Hauteur maximal du profil Distance entre la ligne des saillies et la ligne des creux
 Rugosité R_a : Écart moyen arithmétique du profil. Correspond à la moyenne des valeurs absolues des écarts entre le profil et une ligne moyenne de ce profil.

Remarque : valeurs exprimées en μm

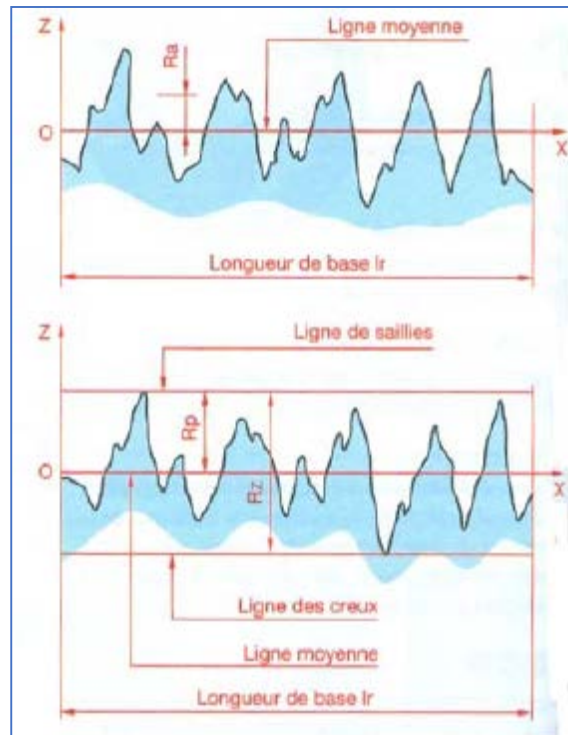


Fig.I.23 Paramètres normalisés de la rugosité

I.5.3 Inscription normalisée d'un état de surface

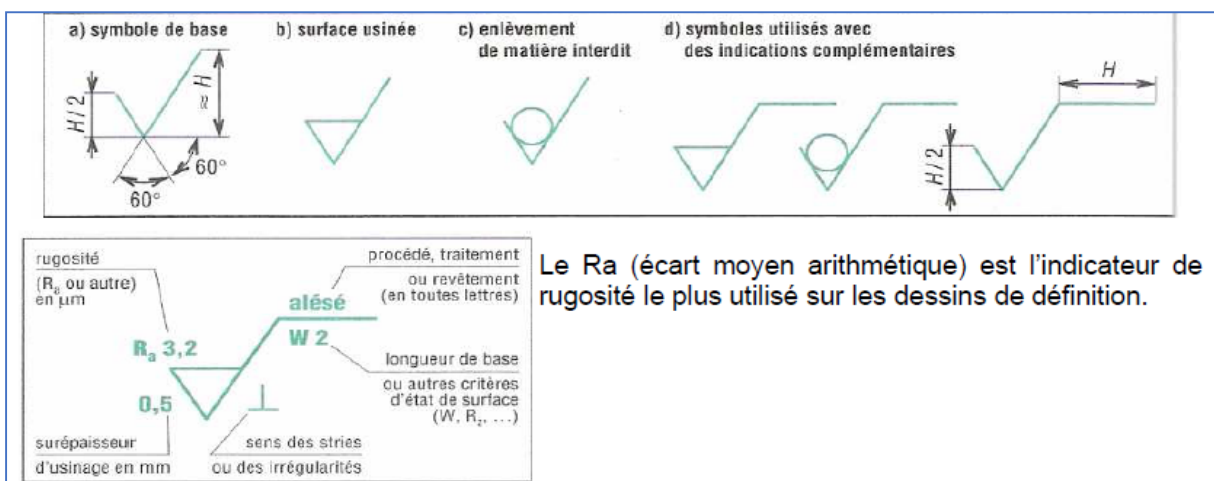


Fig.I.24 Symbolisation des indication de l'état de surface usinée[12]

I.6 USINABILITE DES MATERIAUX

I.6.1 Introduction sur l'usinabilité :

L'usinabilité ou capacité d'un matériau d'être travaillé par outil de coupe est une propriété mécanique très complexe.

Cette complexité vient du fait que l'usinabilité est une propriété qui est sensible à un nombre important de paramètres, que l'on peut mettre en évidence par le schéma suivant:

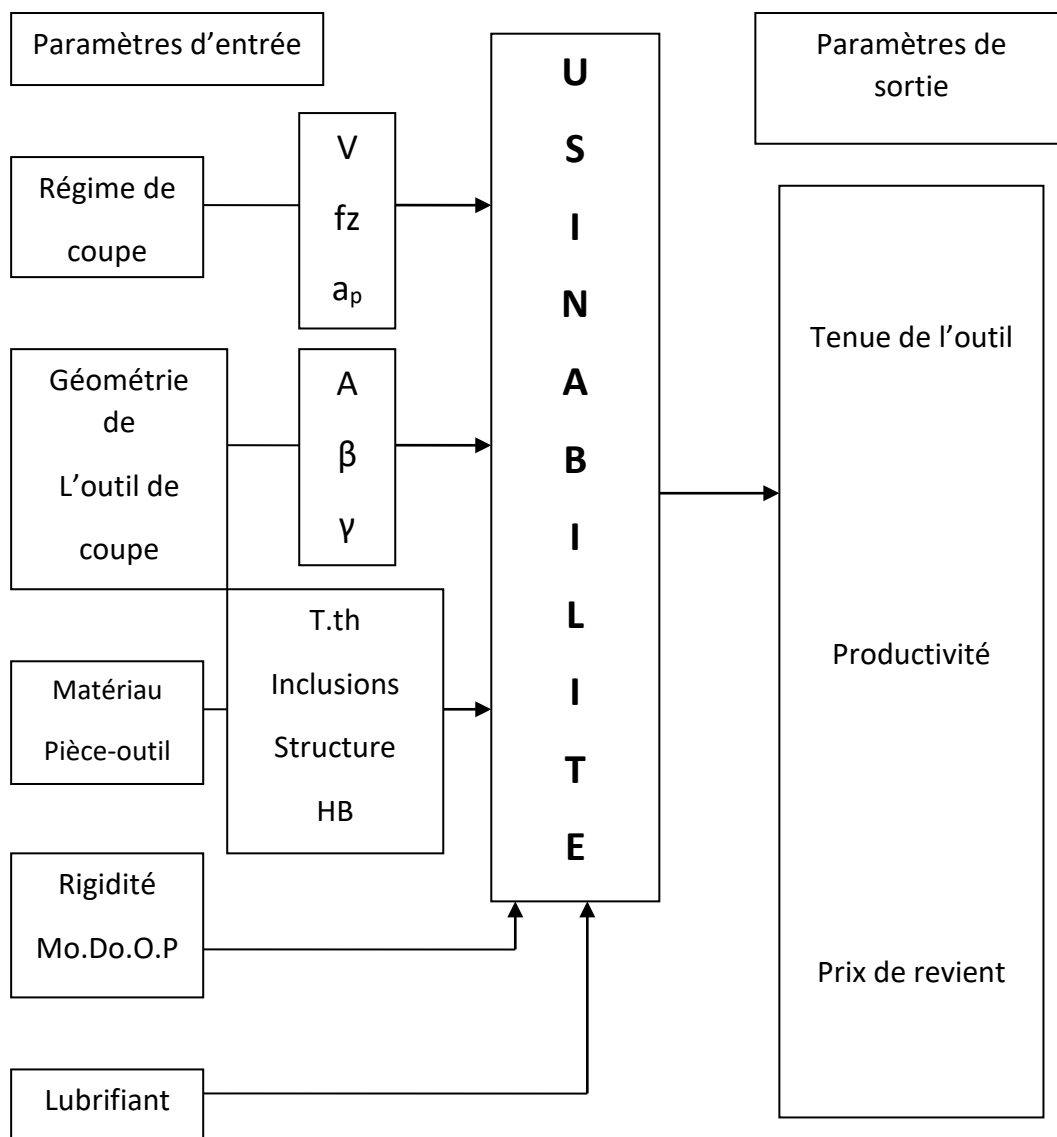


Figure I.25 Schéma structurel de l'usinabilité

L'usinabilité n'est donc pas une propriété scientifiquement définie et régie par les lois mathématiques fixées. C'est une caractéristique qui devient insignifiante si les conditions dans lesquelles elle a été appréciée ne sont pas précises [13]

I.6.2 Définitions

Plusieurs chercheurs dans le domaine de la coupe des métaux définissent l'usinabilité comme étant l'aptitude à la coupe par enlèvement de copeaux est l'ensemble de propriétés complexes dont l'effet peut se ramener à l'obtention de deux valeurs principales :

- Précision des cotes macro et micro géométriques,
- Prix de revient.

L'usinabilité est l'aptitude d'un matériau à être amené à des dimensions et formes déterminées avec un état de surface défini par une ou plusieurs opérations d'usinage.

L'usinabilité n'est pas une propriété simple de la matière, elle n'est pas directement mesurable. C'est une propriété mécanique complexe désignant la facilité plus ou moins grande d'un matériau à être amené par enlèvement de copeaux à une forme et cote fixées.

L'acier d'usinabilité optimale est celui permettant enlèvement le plus rapide de la plus grande quantité de copeaux avec un fini de surface satisfaisant et sans réaffûtage de l'outil

I.6.3 Evaluation de l'usinabilité

I.6.3.1 Introduction :

En construction mécanique, la réalisation d'un produit quelconque nécessite l'emploi de divers matériaux. La connaissance exacte des différentes caractéristiques du matériau est primordiale.

Lorsqu'un matériau est transformé par usinage (enlèvement de copeaux), il est important de connaître son usinabilité. Plusieurs chercheurs et constructeurs notamment dans le domaine de la métallurgie ont étudié et évalué cette caractéristique.

I.6.3.2 Comment évaluer l'usinabilité ?

L'usinabilité des matériaux est évaluée par un certain nombre de critères.

Ces critères ont été classés différemment par les chercheurs en coupe des métaux, mais le schéma général sur lequel l'ensemble des études s'est basé pour évaluer l'usinabilité d'un matériau peut-être comme suit :

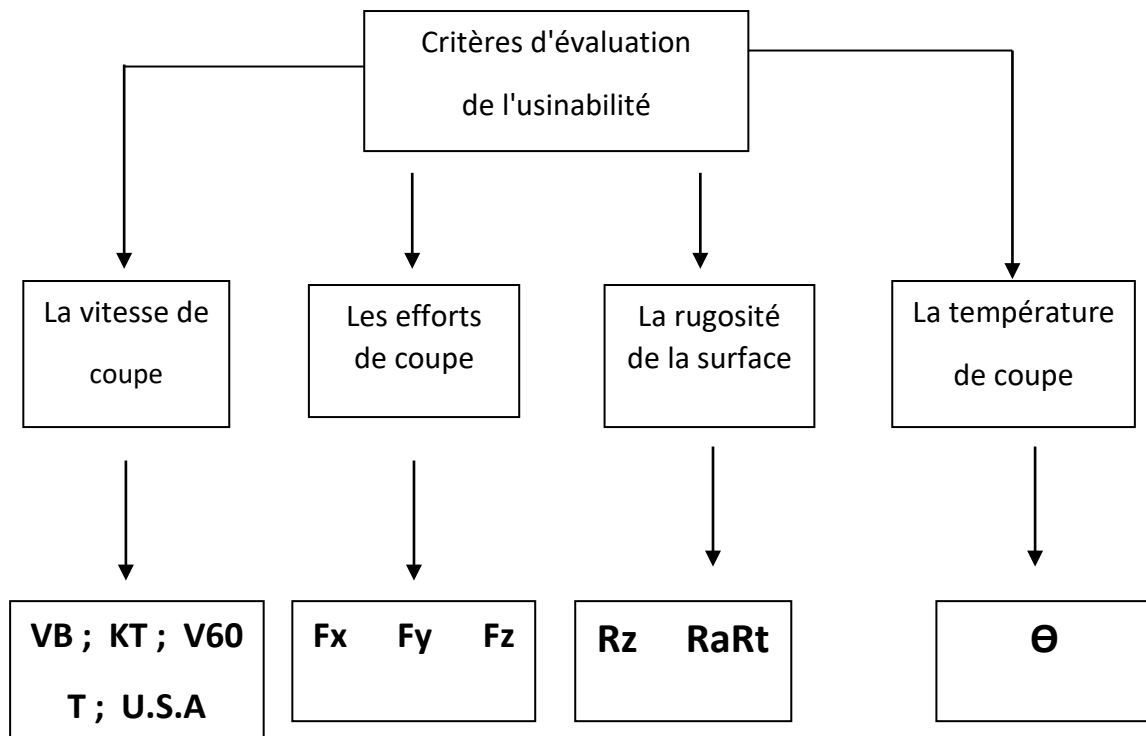


Figure I.26 Schéma d'évaluation de l'usinabilité [13]

Les conclusions présentées par les chercheurs montrent que les critères d'évaluation de l'usinabilité peuvent être ordonnés comme suit :

- **La vitesse de coupe**
- Les efforts de coupe
- **La rugosité de la surface usinée**
- La température de coupe.

I.7 le revêtement d'une plaquette (couche mince)

I.7.1 Généralité :

Les techniques pour l'amélioration des caractéristiques des outils coupants sont nombreuses, on se limitera à l'étude de certaines méthodes qui se résument par les techniques de revêtements en matériaux durs et aussi par des traitements structurels et superficiels des outils destinés à enlever la matière.

Les besoins de l'industrie de coupe, demandeuse d'outils dotés d'une excellente résistance à l'usure, ont conduit, depuis plusieurs décennies, au développement de couches minces de nitrides de métaux de transition déposées par procédés physiques en phase vapeur (PVD).

I.7.2 Dépôt physique en phase vapeur (PVD) :

Le développement de la technologie de vide a progressé considérablement pendant les trois dernières décennies et cela a permis le développement des techniques de dépôt sous vide telles que les techniques de base de la PVD sont : l'évaporation et la pulvérisation sous toutes ses formes. Ces techniques de dépôt permettent l'obtention d'une large variété de matériaux à température de dépôt relativement basse ($< 500\text{ °C}$), par exemple :

- Films métalliques (Al, Cu, Ti...etc.) et leurs alliages.
- Films des métaux réfractaires (Mo, Ta, W,...etc.).
- Films d'oxydes (ZrO_2 , SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 ,...etc.).
- Films de nitrides, de siliciures, de carbures, de borures et de fluorures.

Ces techniques ont été largement utilisées pour l'obtention des revêtements réfractaires résistants à l'érosion et à l'usure, comme par exemple WC.

Le dépôt physique en phase vapeur (PVD) présente beaucoup d'avantages par rapport au dépôt chimique en phase vapeur, par exemple les films sont denses, le processus est facile à contrôler et il n'y a pas de pollution [14]

La classification des méthodes est présentée sur le schéma de la figure I.26

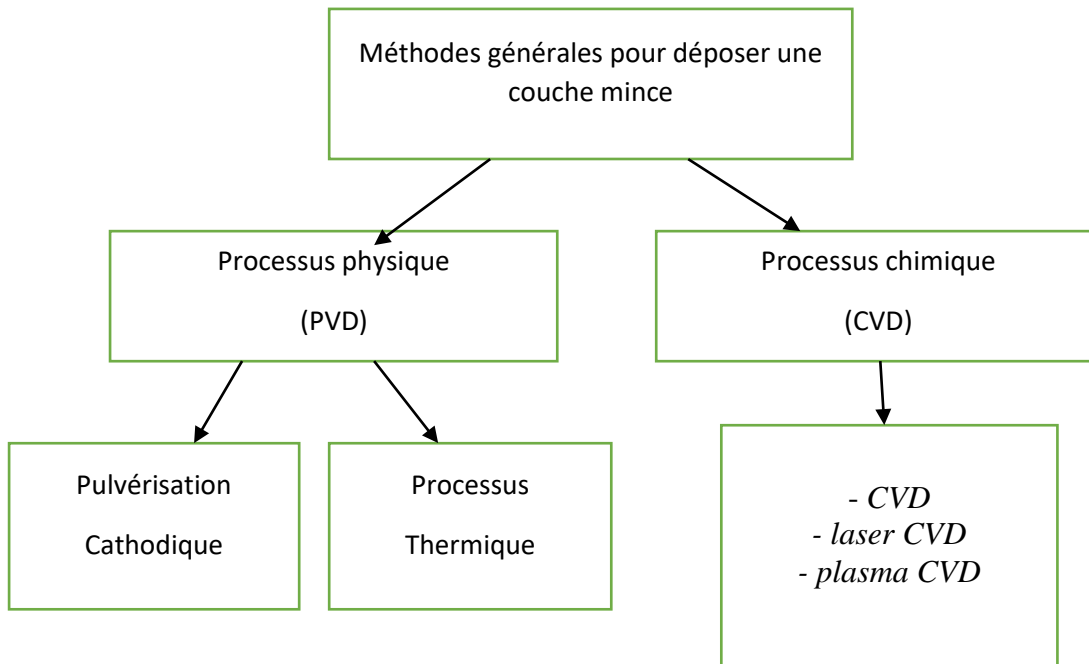


Fig I.27 : Méthodes générales de dépôt des couches minces sous vide

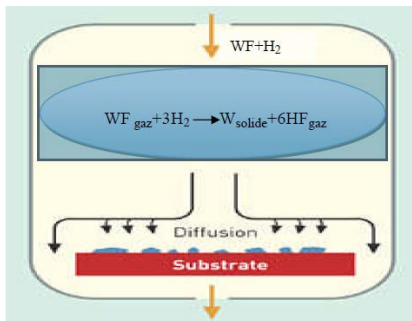


Fig I.28: Schéma de principe de dépôt Chimique en phase vapeur (CVD).

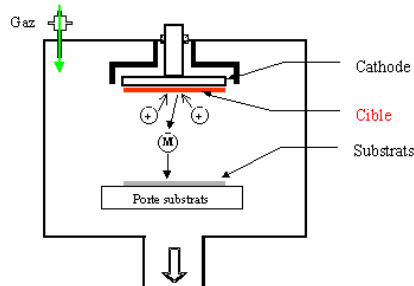


Fig I.29 : Principe de la pulvérisation cathodique DC [15]

Conclusion

Cette étude bibliographique nous permettra d’entamer notre travail expérimental sur le fraisage par contournage de l’acier 100 Cr6 recuit à l’aide de plaquettes de coupe à revêtement AlTiCrN

II. Equipements et méthodologie expérimentale :

II.1 Condition opératoire et méthode d'essais :

Les expériences nécessaires à notre étude ont été effectuées dans les laboratoires de la technologie de base au sein du département de génie mécanique de l'université de Annaba.

II.2 Banc d'essai :

➤ Machine-outil

Nous avons réalisé les opérations d'usinage des ébauches sur une fraiseuse verticale de type 6H11 de fabrication soviétique de grande rigidité et de puissance sur la broche de 4.5 KW (figure II.1).

Nous présentons les différentes caractéristiques de cette machine.



Figure II.1 : Fraiseuse verticale utilisée pour les essais

Caractéristiques de la machine fraiseuse modèle : **6H11**

Moteur de broche :

- ✓ Puissance4.5KW
- ✓ Nombre de tour1450tr/mn

Moteur des avances :

- ✓ Puissance1.5KW
- ✓ Nombre de tour1400tr/mn

Table porte-pièce :

- ✓ Surface utile1200×250 mm²
- ✓ Course max. longitudinale500mm²
- ✓ Course max. transversale400mm²
- ✓ Course max. verticale400mm²

Vitesses de la broche en tr/min.

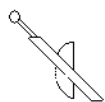
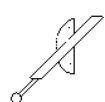
	65	80	100	125	160	210	225	300
	380	490	590	725	945	1225	1500	1800

Tableau II.1 : tableau des vitesses de la broche

Vitesses de la boîte des avances en mm/min

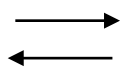


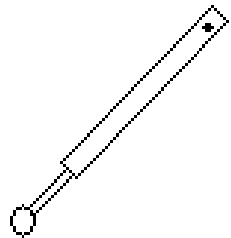
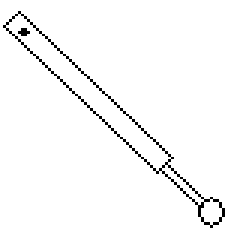
La table porte pièce			
	35	28	14
	45	35	18
	55	40	20
	65	60	30
	85	70	35
	115	90	45
	135	110	55
	170	130	65
	210	160	80
	270	210	105
	330	260	130
	400	310	155
	530	410	205
	690	535	268
	835	650	325
	1020	790	390

Tableau II.2 : tableau des vitesses de la boîte des avances.

➤ **Matière à usiner :**

Les essais de surface par le fraisage de face réalisés sur des éprouvettes (figure II.3) de découpées à partir de barres laminées en acier 100Cr6.

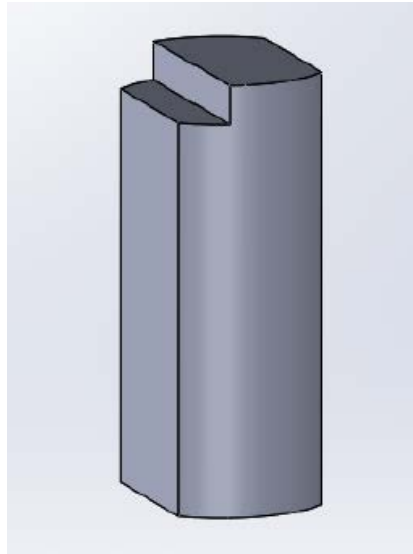


Figure II.2 : Eprouvettes d'essais en acier 100Cr6.

Tableaux II.3 : Composition chimique pour l'acier 100Cr6

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V
0.95-1.1	0.15-0.35	0.2-0.4	Max 0.03	Max 0.025	1.35-1.60	Trace	0.1	Trace

Caractéristiques mécaniques : 100Cr6

Dureté HB=230 avec une dureté HRC= 20

Résistance maximale $R_m=770 \text{ N/mm}^2$

Allongement 10%

Montage de la pièce :

La mise en position de l'éprouvette ainsi que son maintien est assurée par un étau à mors parallèles réglé préalablement et lié à la table de la fraiseuse.



Figure II.3 : Montage d'essais

➤ **Outil de coupe :**

L'outil de coupe utilisé (figure II.5 et II.6) est une fraise à surfacer de 25 mm de diamètre, ayant trois dents à plaquettes amovibles. Elle a respectivement la géométrie et la désignation suivante: $l_a=11\text{mm}$, $iW=6.8\text{mm}$, $S=3.59\text{mm}$, $b_s=1.5\text{mm}$, $r_e=0.8\text{mm}$,

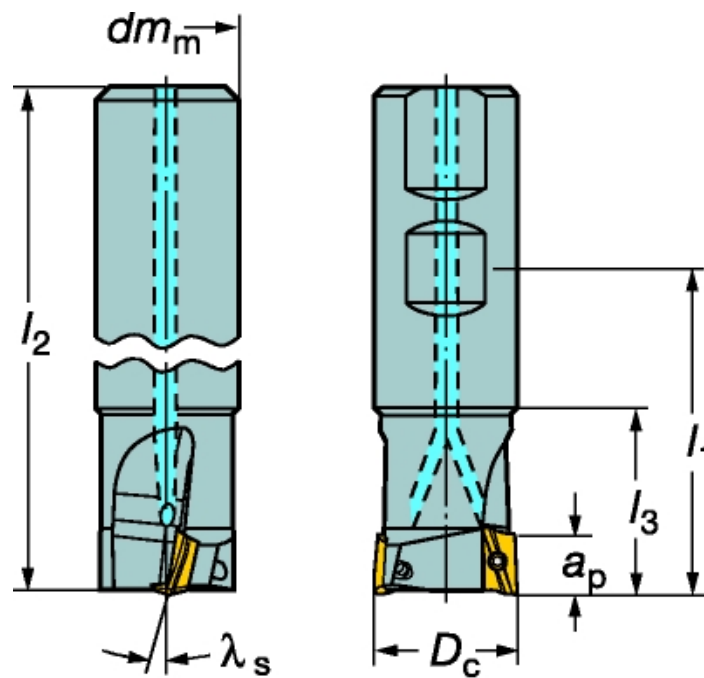


Figure II.4 Outil de coupe fraise coromill R390

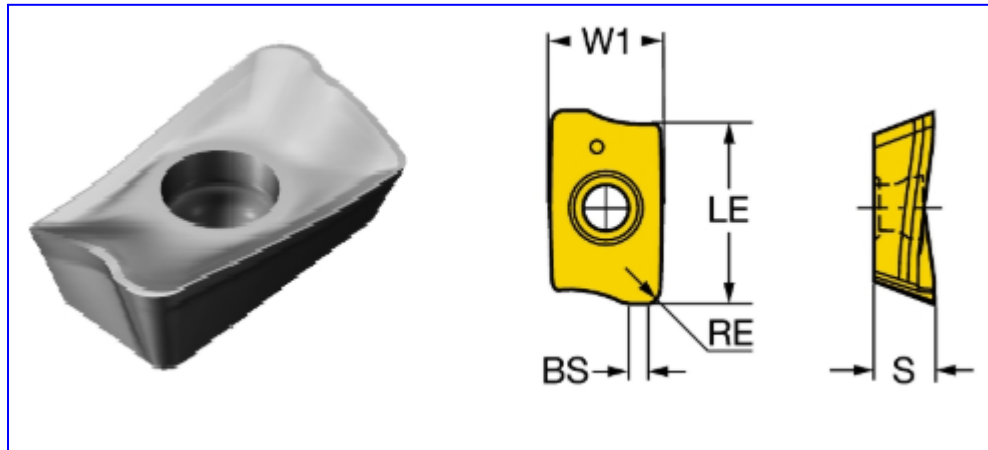


Figure II.5 : La géométrie de l'outil fraise et de la plaquette.

Caractéristiques de la plaquette de coupe [15]

Classification des matières niveau 1 (TMC1ISO) P M N S H	Forme et taille de plaquette (CUTINTSIZESHAPE) CoroMill 390 -11T3				
Largeur de plaquette (W1) 6,8 mm	Code de forme de plaquette (SC) L				
Longueur effective d'arête de coupe (LE) 10 mm	Longueur d'arête de planage (BS) 1,5 mm				
Rayon de bec (RE) 0,8 mm	Angle d'attaque principal (KRINS) 90 deg				
Sens (HAND) R	Nuance (GRADE) 1130				
Substrat (SUBSTRATE) HC	Revêtement (COATING) PVD AlTiCrN				
Épaisseur plaquette (S) 3,59 mm	Poids de l'élément (WT) 0,002 kg				
Profondeur de coupe maximale (APMX) 10 mm	Sensor embedded property (SEP) 0				
État du cycle de vie (LCS) Introduit	ID du pack de lancement (RELEASEPACK) 15.2				
Valeurs de départ					
<table border="0"> <tr> <td style="background-color: #00aaff; color: white; text-align: center; width: 40px; height: 40px; font-size: 24px; font-weight: bold;">P</td> <td style="padding-left: 10px;"> fz 0.08 mm(0.05-0.15) vc 280 m/min(285-275) </td> </tr> </table>	P	fz 0.08 mm(0.05-0.15) vc 280 m/min(285-275)	<table border="0"> <tr> <td style="background-color: #ffff00; text-align: center; width: 40px; height: 40px; font-size: 24px; font-weight: bold;">M</td> <td style="padding-left: 10px;"> fz 0.08 mm(0.05-0.15) vc 270 m/min(275-260) </td> </tr> </table>	M	fz 0.08 mm(0.05-0.15) vc 270 m/min(275-260)
P	fz 0.08 mm(0.05-0.15) vc 280 m/min(285-275)				
M	fz 0.08 mm(0.05-0.15) vc 270 m/min(275-260)				

II.3 Les appareils de contrôle :

Nous avons décidé d'évaluer l'usinabilité en se basant sur la tenue des plaquettes en procédant à la mesure de l'usure et sur la détermination de la rugosité de la surface usinée comme critère complémentaire. Pour suivre l'évolution de l'usure des plaquettes nous avons utilisé pour la mesure et le contrôle, le microscope d'atelier modèle [MMN-2] initialement destiné pour la mesure des paramètres d'un filetage, que nous avons adopté pour le contrôle et la mesure de l'usure sur les différentes plaquettes de l'outil-fraise.

➤ Appareil de mesure de l'usure :

Pour mesurer l'usure des dents de la fraise nous avons utilisé un microscope optique d'atelier, modèle MMN-2 (figure II.7), ayant une précision de mesure de l'ordre de $5\mu\text{m}$. L'appareil est équipé d'un dispositif spécial porte fraise permettant le contrôle des plaquettes de la fraise sans nécessité de démontage.



Figure II.6: Microscope optique modèle MMN-2.

➤ Méthode de mesure et de contrôle :

Le principe de mesure consiste à présenter la zone d'usure de la plaquette face à l'objectif du microscope. La mise en position de la zone d'usure des plaquettes est déterminée grâce à un cadran mobile muni d'un repérage de coordonnées X, Y.

Principe de mise en position de la zone d'usure de la plaquette :

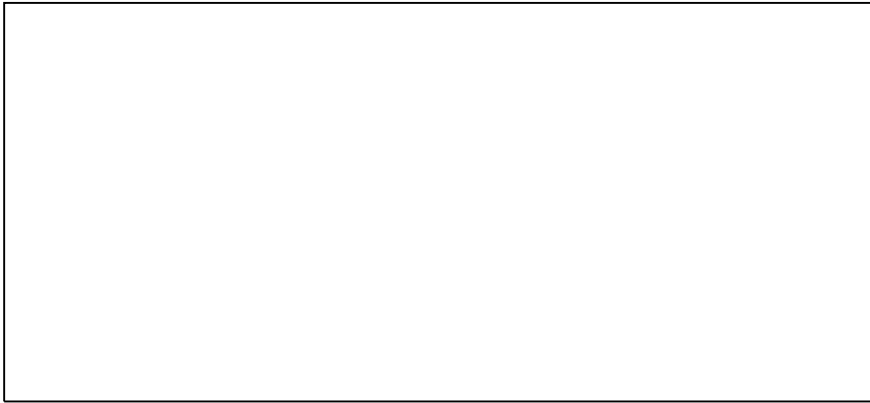


Figure II.7: Mise en coordonnées de la plaquette.

➤ **Appareil de mesure de l'état de surface :**

La rugosité de la surface usinée a été mesurée avec un rugosimètre du type Mitutoyo SJ 201.M ayant deux vitesses de déplacement 2mm/sec et 6mm/sec et doté d'un système à palpeur inductif.



Figure II.8 : rugosimètre Mitutoyo SJ 201.M

II.4 Conditions de coupe :

Pour quantifier l'effet des conditions de travail sur les paramètres technologiques étudiés nous avons varié les éléments du régime de coupe dans les intervalles suivants :

$V = (60 \div 120)$ m/min ; $f_z = (0,02)$ mm/dent et $a_e = 1$ mm, $a_p = 9$ mm.

Les essais ont été effectués à sec.

L'usure admissible VB retenue selon la norme ISO est 0,3 mm.

Formules de calcul des régimes de fraisageAvance de table, V_f (mm/min) Vitesse de coupe, V_c (m/min)

$V_f = f_z \times n \times Z_{EFF}$	$V_c = \frac{\pi \times DC_{ap} \times n}{1000}$
-------------------------------------	--

Vitesse de broche, n (tr/min) Avance à la dent, f_z (mm)

$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times DC_{ap}}$	$f_z = \frac{V_f}{n \times Z_{EFF}}$
--	--------------------------------------

Avance par tour, f_n (mm/tr) Débit copeaux, Q (cm³/min)

$f_n = \frac{V_f}{n}$	$Q = \frac{AP \times a_e \times V_f}{1000}$
-----------------------	---

Puissance nette, P_c (kW) Couple, M_c (Nm)

$P_c = \frac{a_e \times AP \times V_f \times k_c}{60 \times 10^6}$	$M_c = \frac{P_c \times 30 \times 10^3}{\pi \times n}$
--	--

III.1 Traitement des résultats de l'usure

III.1.1 Détermination de la tenue T des plaquettes 1130 à revêtement AlTiCN

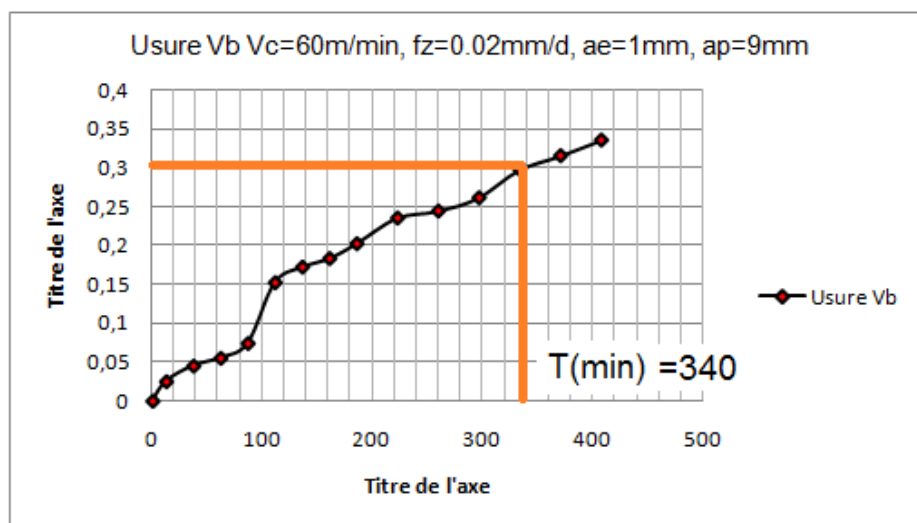
A partir de la courbe d'usure Vb en fonction du temps et pour la valeur Vb=0.3mm Critère de l'usure admissible en détermine graphiquement la tenue T en minutes. Pour la valeur Vb=0.3mm nous avons T₁=340min pour le régime (Vc=60m/min, fz=0.02mm/d, ae=1mm, ap=9mm) et T₂= 175 min pour le régime (Vc=120m/min, fz=0.02mm/d, ae=1mm, ap=9mm)

Tableaux III.1 et III.2 des relevées d'usure en fonction du temps de coupe effectif

Vc=60 m/min		
N°	Temps	VB
1	0	0
2	12,36	0,025
3	37,08	0,045
4	61,74	0,055
5	86,52	0,074
6	111,2	0,152
7	135,92	0,172
8	160,64	0,183
9	185,36	0,202
10	222,36	0,235
11	259,36	0,244
12	296,36	0,261
13	333,36	0,297
14	370,36	0,315
15	407,36	0,335

Vc=120 m/min		
N°	Temps	VB
1	0	0
2	12.36	0.15
3	37.08	0.182
4	61.74	0.194
5	86.52	0.202
6	111.2	0.214
7	135.92	0.263
8	160.64	0.283
9	185.36	0.31
10	222.36	0.340
11	259.36	0.384
12		
13		
14		
15		

Détermination de la tenue T(min) pour une usure Vb admissible [Vb]=0.3mm



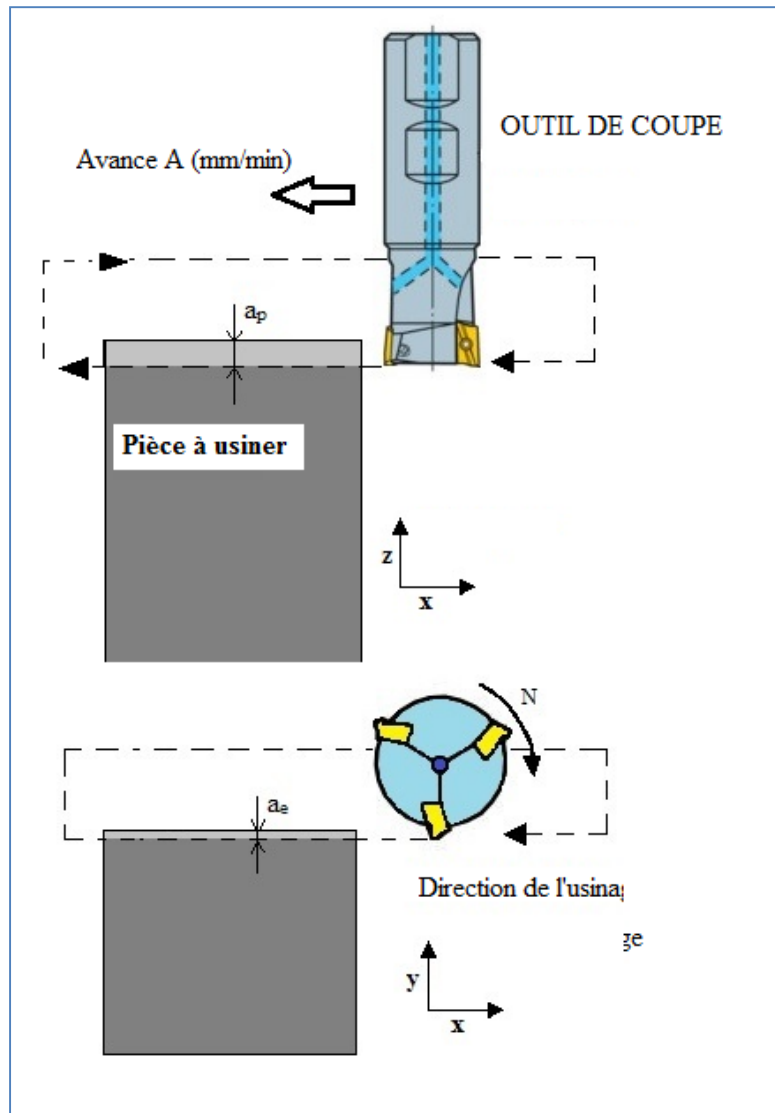


Figure III.1 : Schéma expérimental

Tableau III.3 Plan d'expériences

V_c (m/min)	N (tr/min)	f_z (mm/d)	A (mm/min)	a_e (mm)	a_p (mm)	R_a opposition (μm)	R_a avalant (μm)	T (min)
60	725	0.02	45	1	9	2.2	0.5	340
120	1500	0.02	85	1	9	0.6	0.32	175

III.2 Détermination de la Rugosité R_d de la surface fraisée

Nous avons grâce au rugosimètre pu relevé les valeurs R_a , R_z , et R_t des surfaces fraisées obtenues durant les deux modes (Avalant et opposition)

La figure III.2 montre la valeur de la rugosité Ra en fonction de la vitesse de coupe pour les deux modes de fraisage. on remarque que pour le fraisage en opposition, on obtient les meilleures rugosités.

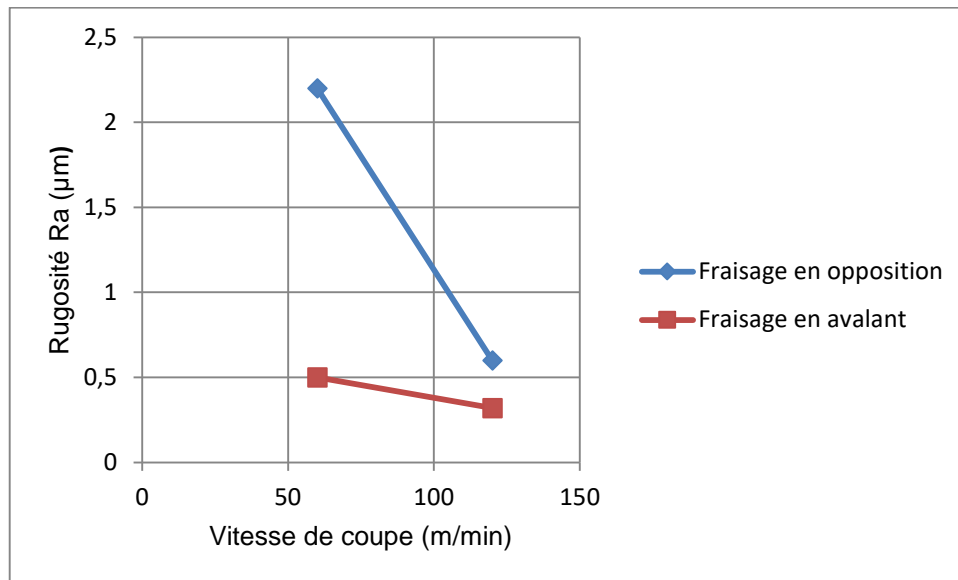


Figure III.2 Rugosité Ra en fonction des conditions de fraisage

La figure III.3 montre la valeur de la rugosité Rz en fonction de la vitesse de coupe pour les deux modes de fraisage. on remarque que pour le fraisage en opposition, comme pour Ra on obtient les meilleures rugosités Rz. Cependant pour $V_c=120\text{m/min}$ les valeurs Rz sont très proches.

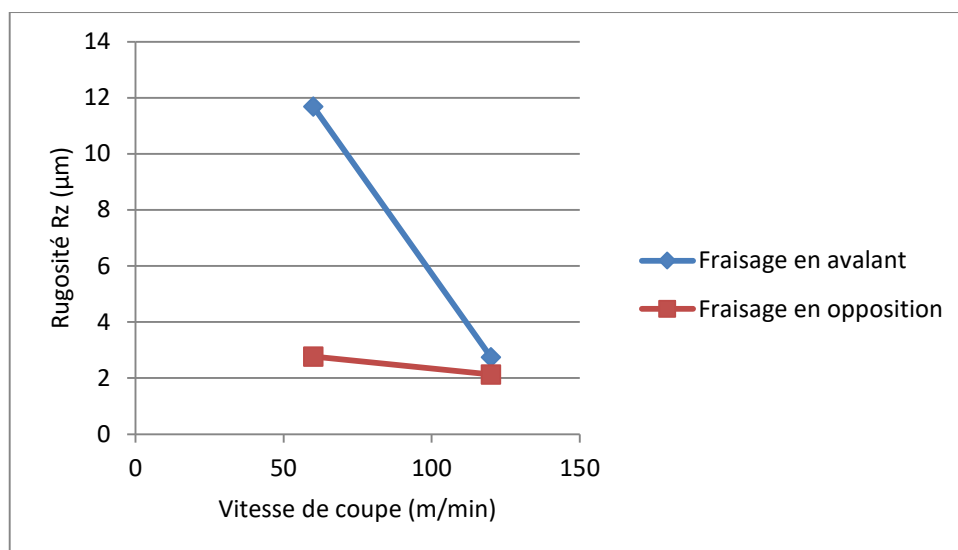


Figure III.3 Rugosité Rz en fonction des conditions de fraisage

La figure III.4 montre la valeur de la rugosité R_t en fonction de la vitesse de coupe pour les deux modes de fraisage. on remarque que pour le fraisage en opposition, comme pour R_a on obtient les meilleures rugosités R_t . Cependant pour $V_c=120\text{m/min}$ les valeurs R_z sont pratiquement égales.

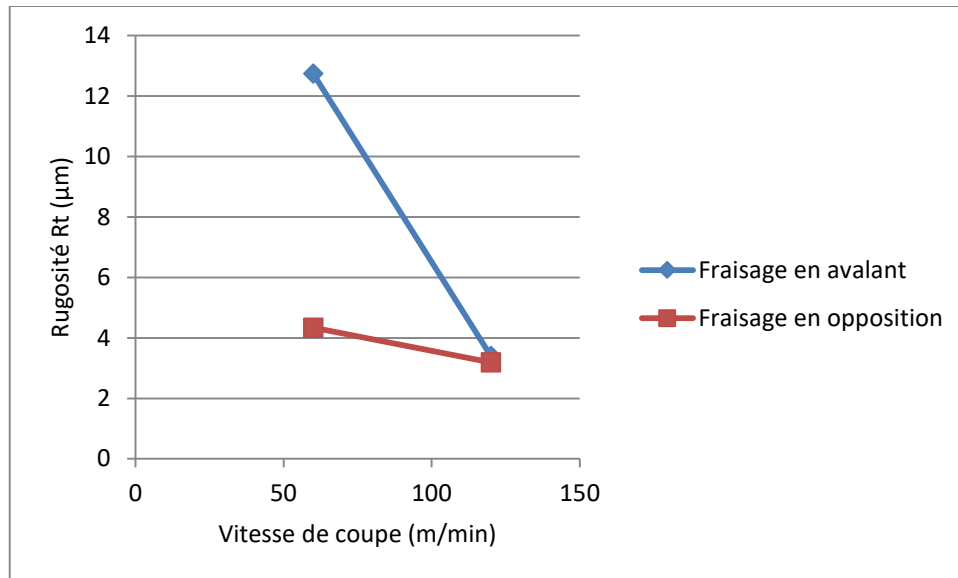


Figure III.4 Rugosité R_t en fonction des conditions de fraisage

Après plusieurs passes et pour permettre au palpeur du rugosimètre de relever dans les meilleures conditions nous avons mesuré la rugosité R_a sur la surface frontale

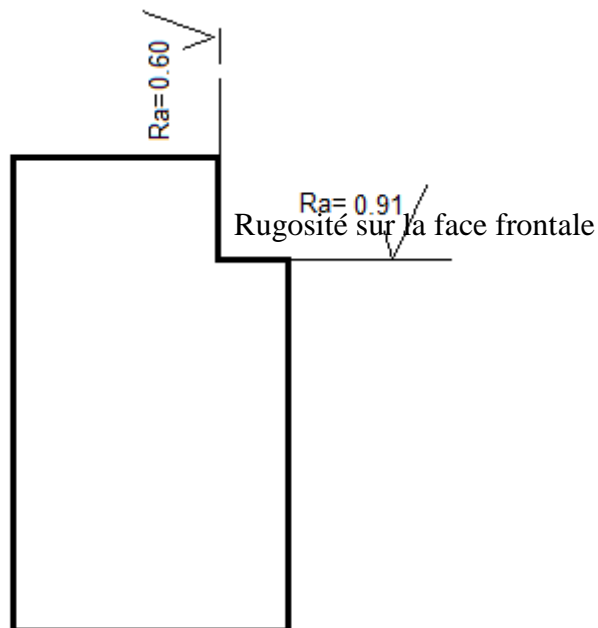


Figure III.5 Rugosité R_a mesurée sur les deux faces fraisées

La valeur de la rugosité Ra de la surface fraisée de la face de profil est inférieure à celle obtenue sur la surface de face. Cela est le résultat de l'usinage avec un fort ap 9mm et un faible ae=1mm

III.3 Evolution de l'usure en dépouille Vb pour les deux conditions de coupe en fraisage par contournage

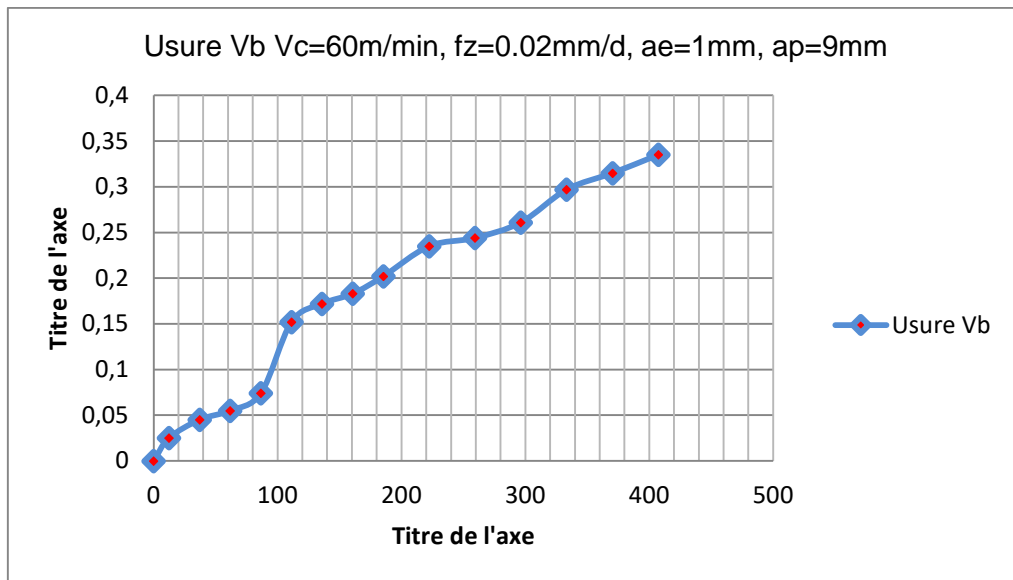


Figure III.6 Evolution de l'usure suivant le régime (60/0.02/9/1)

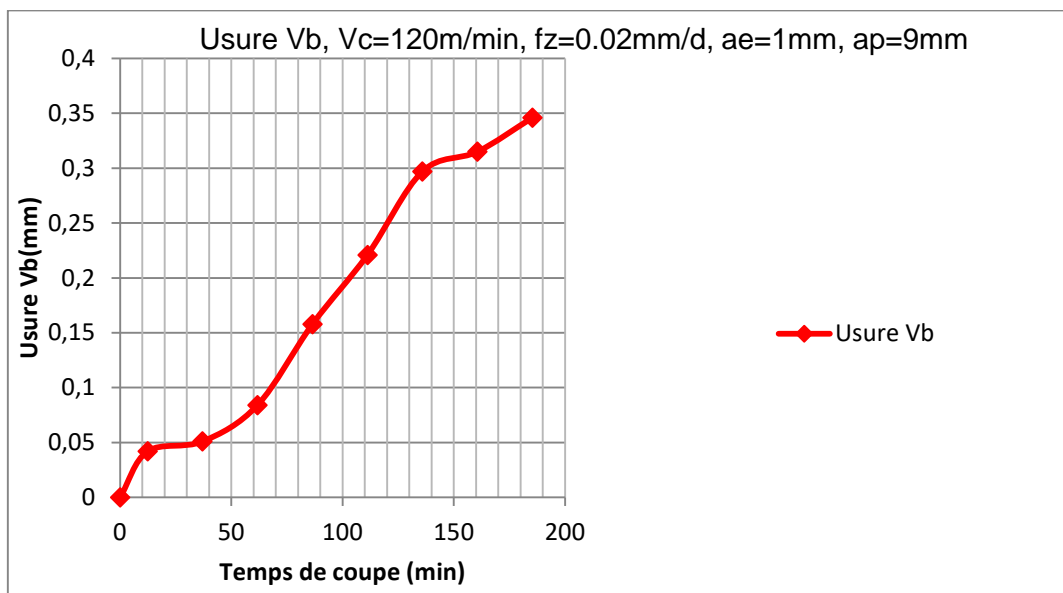


Figure III.7 Evolution de l'usure suivant le régime (120/0.02/9/1)

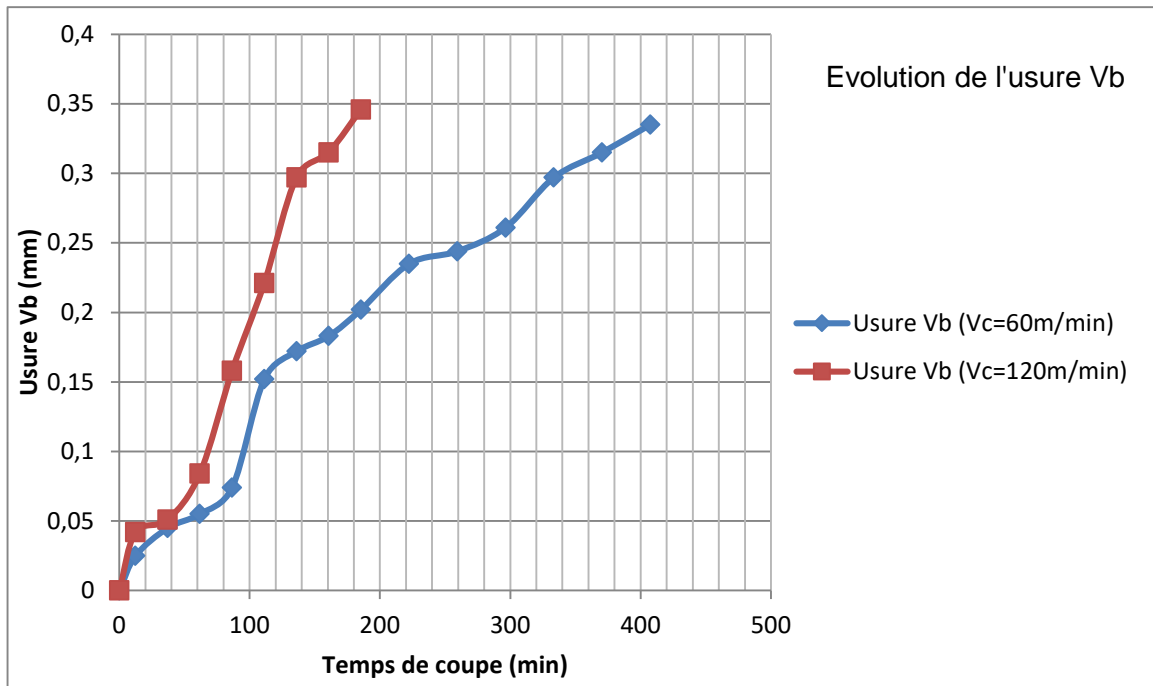


Figure III.8 Evolution de l'usure Vb par rapport au temps pour les deux vitesses de coupe

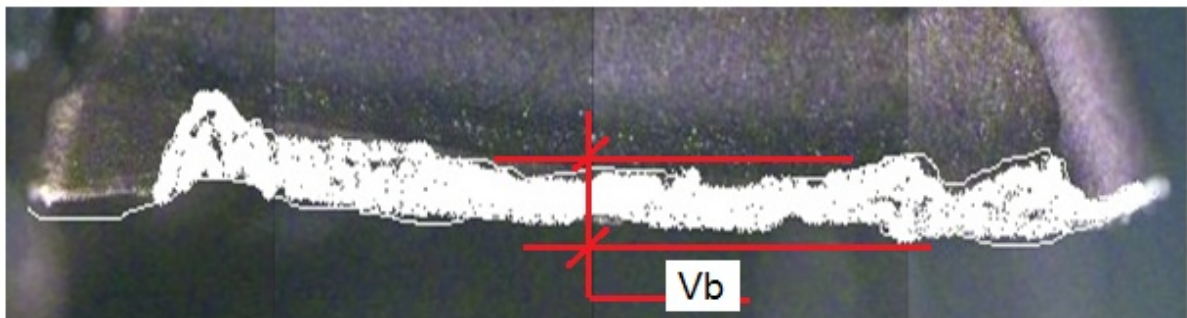


Figure III.9 Photo de l'usure Vb sur la plaquette R390 11T3à Revêtement AlTiCrN

III.4 Calcule de constante c_v : (constante d'ependan du couple outil/pièce)Tableau III.4 : tableau des valeur log V_{ci} et log T_i calculé

	V_{ci}	T_i	Log V_{ci}	Log T_i
1	60	340	1.78	2.53
2	120	175	2.08	2.24

le modèle de Taylor peut-être écrit sous la forme :

$$\text{Log } T = \text{Log } C_v - n \cdot \text{Log } V_c$$

$$\text{Log } T_i = \text{Log } C_v + n \cdot \text{Log } V_{ci}$$

$$\text{Log } T_1 = \text{Log } C_v + n \text{Log } V_{c1}$$

$$\text{Log } T_2 = \text{Log } C_v + n \cdot \text{Log } V_{c2}$$

$$(\text{Log } T_1 + \text{Log } T_2) = 2 \cdot \text{Log } C_v + n (\text{Log } V_{c1} + \text{Log } V_{c2}) \quad / n = -3$$

$$2 \text{Log } C_v = (2.53+2.24) + 3(1.78+2.08)$$

$$\text{Log } C_v = 8.175$$

$$\text{On obtient alors : } T = 10^{8.175} \cdot V_c^{-3}$$

Conclusion

A l'issue de ce travail effectué dans le cadre de la formation du master productique, je peux affirmer qu'il m'a non seulement permis de mieux comprendre comment résoudre une problématique mais aussi l'approche technique pour traiter un thème scientifique.

Le travail qui est une étude expérimentale sur l'usinabilité des matériaux et plus particulièrement l'acier 100Cr6. Les résultats obtenus au cours des essais expérimentaux sur le fraisage par contournage à l'aide de fraise cylindrique deux tailles à plaquettes revêtues ALTiCrN nous ont permis de quantifier la durée de vie et la rugosité de la surface usinée pour deux régimes de coupe.

On peut conclure ce qui suit :

- La durée de vie T diminue avec l'augmentation de la vitesse de coupe
- L'évolution de l'usure V_b est assez lente, ce qui explique la résistance du revêtement LTiCrN
- Au cours du mode de fraisage en avalant les vibrations sont importantes
- L'état de surface caractérisée par R_a , R_z , R_t est meilleur pour le cas du fraisage en opposition
- La rugosité est plus faible sur la surface de profil

Reference bibliographies

- [1] https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Acier.html#ref_2
- [2] William D. Callister, Jr, Science et génie des matériaux, MODULO, Canada 2001.
- [3] https://fr.wikibooks.org/wiki/Technologie/Mat%C3%A9riaux/G%C3%A9n%C3%A9ralit%C3%A9s/D%C3%A9signation_normalis%C3%A9e_des_aciers
- [4] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Fraisage>
- [5] www.lyrfac.com/soutiens/knbase/pdf/fraiseuse.pdf
- [6] <http://www.directindustry.fr/prod/starrag/product-122219-1368819.html>
- [7] Fraisage complexe, module 24, Techniques d'usinage (5223), Sherbrooke, 2004
- [8] [guide_d'auto-apprentissage_en_usinage](#)
- [9] Cours interactif : Le Fraisage *Elaboré par* GARA Souhir
- [10] NECIB. D/ Fabrication Mécanique/LMD-Usure des outils de coupe /Université KASDI Merbah-Ouargla
- [11] Coupe des Métaux en fabrication mécanique et productique, Dr. BENNEGADI mohammed El Larbi, Université des Sciences et Technologie d'Oran Mohammed BOUDIAF
- [12] STS IPM – Étude des produits et des outillages
- [13] Thèse de Magistère, Dr. M. BENGHARSALLAH, Université de Badji Mokhtar Annaba
- [14] Mémoire de magistère, HAMADI Billel, Université MENTOURI Constantine Faculté Des Sciences De L'ingénieur Département De Génie Mécanique
- [15] Mémoire master, KHECHBA Morad, Université Mentouri-Constantine Faculté des Science Exactes
- [16] Sandvick coromant « Outils de fraisage »