



UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE MECANIQUE



Projet de Fin d'études
Pour L'obtention du Diplôme de Master En
Fabrication Mécanique

Titre

Simulation en 3D des Transferts de Chaleur en Perçage
Par La Méthode des Eléments Finis.

Proposé et encadré par :

- Pr.TEMMAR
- Dr.MELZI NESRINE

Réalisé par :

- Reddaoui Nedjmeddine
- Derbil Feriel

Remerciements

Nous remercions le Bon Dieu de nous avoir donné la force, la patience et le courage d'avancer en cette période spéciale de notre existence.

Nos vifs remerciements à notre promoteur Monsieur TEMMAR Mustapha ainsi qu'à notre copromotrice madame MELZI Nesrine pour nous avoir encadrés, orientés, aidés et conseillés.

Nous adresserons aussi nos sincères remerciements aux enseignants du département de Génie Mécanique de l'université de Saad Dahlab pour les conseils prodigués et leurs soutiens inestimables qui ont largement contribué à notre formation

Nous voudrions remercier les membres du jury pour leur précieux temps accordé à la lecture et à la critique de ce travail.

Nous remercions nos chers parents qui ont suivi de loin et de près nos recherches.

Nos remerciements vont également à tous les étudiants de notre promotion à qui nous souhaitons une bonne continuation .

Un grand merci à nos familles et à nos amis pour leur encouragement.

Dédicaces

Avant tout je remercie Allah qui nous a aidés à élaborer ce modeste travail que je dédie : A ma chère et tendre mère

A celle qui a tant souffert sans me faire souffrir qu'elle trouve dans ce mémoire le témoignage de ma reconnaissance de son affection pour les sacrifices, l'extrême amour et de bonté qu'elle m'a offerts. Et particulièrement à mon père

A qui je dois ma réussite et tout le respect, qu'il trouve ici l'expression de mon affection et une récompense des sacrifices consentis pour moi

A mon mari Redhouane et à toute ma famille, A mon binôme Nedjmeddine et tous mes amis de l'université

A tous ceux que J'aime et qui m'aiment et qui me sont très chers.

Derbil

FERIEL

Dédicaces

*Avant tout je remercie Allah qui nous a aidés à élaborer ce
modeste travail que je dédie : A ma chère et tendre mère
A celle qui a tant souffert sans me faire souffrir qu'elle trouve
dans ce mémoire le témoignage de ma reconnaissance de son
affection pour les sacrifices, l'extrême amour et de bonté
qu'elle m'a offerts. Et particulièrement à mon père
A qui je dois ma réussite et tout le respect, qu'il trouve ici
l'expression de mon affection et une récompense des sacrifices
consentis pour moi
A toute ma famille, A ma bînome Feriel et tous mes amis de
l'université
A tous ceux que J'aime et qui m'aiment et qui me sont très
chers.*

**REDDAOUI
NEDJMEDDINE**

ملخص :

تعد عملية الحفر من أقدم طرق إزالة المواد وتظل واحدة من أكثر العمليات استخداما في هذه الصناعة، فدراسة الحفر المعدني تطرح بعض الصعوبات الإضافية بسبب احتواء القطع، والضغط الحراري، وإطلاق الرقائق، والهندسات المعقدة لأدوات القطع المستخدمة، وتنوع ظروف القطع على طول الحواف المتطورة .

تتعلق هذه الدراسة بمحاكاة عملية حفر ثلاثية الأبعاد بطريقة العنصر المحدود

على ظاهرة نقل الحرارة وتقلب درجة الحرارة اعتمادا على (V_c, f_s) وأجريت عمليات محاكاة لتقييم تأثير معاملات القطع المواد المجهزة

من ناحية أخرى ، تهدف هذه الدراسة إلى تحليل النماذج العددية لدراسة تأثير ارتفاع درجة الحرارة على الجزء المجهز وعلى حياة الأداة

الكلمات المفتاحية: الآلات عن طريق إزالة المواد، والحفر، ونظام بوم، وخفض درجة الحرارة، والنمذجة.

Résumé :

L'opération de perçage est l'une des plus anciennes méthodes d'enlèvement de matière et reste l'une des opérations les plus utilisées dans l'industrie, l'étude du perçage des métaux présente quelques difficultés supplémentaires du fait du confinement de la coupe, et des contraintes thermiques, de dégagement des copeaux, des géométries complexes des outils coupants utilisés et de la variation des conditions de coupe le long des arêtes de coupe,

Cette étude se rapporte à la simulation d'une opération de perçage en 3D par la méthode des éléments finis

Des simulations ont été menées afin d'évaluer l'influence des paramètres de coupe (V_c, f_s) sur le phénomène de transfert de chaleur et de la variabilité de la température en fonction du matériau usiné.

D'autre part, cette étude a pour but d'analyser les modèles numériques pour étudier l'influence de la température élevée sur la pièce usinée et sur la durée de vie de l'outil.

Mots clés : Usinage par enlèvement de matière, perçage , système POM, température de coupe ,modélisation

ABSTRACT :

The drilling operation is one of the oldest methods of material removal and remains one of the most used operations in the industry, the study of metal drilling presents some additional difficulties due to the containment of the cut, and the thermal stresses, the release of chips, the complex geometries of the cutting tools used and the variation of the cutting conditions along the cutting edges ,

This study relates to the simulation of a 3D drilling operation by the finite element method

Simulations were conducted to evaluate the influence of cutting parameters (V_c , f ,) on heat transfer phenomenon and temperature variability depending on the machined material.

On the other hand, this study aims to analyze the numerical models to study the influence of high temperature on the machined part and on the life of the tool.

Tags: Machining by material removal, drilling, POM system, cutting temperature, modeling

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Usinage par enlèvement de matière.....	
1.1. Introduction.....	3
1.2. L'usinage.....	3
1.3. La relation Outil / Machine / Pièce.....	4
1.4. Le coupe.....	4
1.5. Les procédés d'usinage.....	5
1.5.1 Le tournage.....	5
1.5.1.1 Principe de tournage.....	6
1.5.1.2 Les tours.....	7
1.5.1.3 Différentes opérations de tournage.....	7
1.5.2 Le fraisage.....	9
1.5.2.1 Les outils de fraisage.....	10
1.5.3 Le perçage.....	11
1.6. Outil de coupe.....	11
1.7. Les copeaux	13
1.8. Matériaux des outils de coupe	15
1.9. Lubrification.....	16
1.10. Les procédés d'usinage	18
Chapitre II : Procédé de Perçage.....	
2.1. Perçage.....	20

2.2. Principe de perçage.....	20
2.3. Différents types de perceuses.....	21
2.4. Les types de perçage.....	24
2.5. Le foret.....	26
2.6.Morphologie d'un foret.....	27
2.7. La classification des forets.....	30
2.8. Les différents modèles de forets à métaux.....	31
2.9. Les différents types de queue.....	33
2.10. Matériaux d'un foret.....	34
2.10.1 Acier rapide supérieur ou Hss.....	34
2.10.2 Carbure.....	34
2.10.3 Céramiques.....	35
2.10.4 Diamant poly-cristallin.....	35
2.11. Les différents affûtages du foret.....	35
2.12. La vitesse de coupe.....	37
2.13. La fréquence de rotation.....	37
2.14.La vitesse d'avance.....	38
2.15. Lubrification et perçage à sec ou à lubrification minimale.....	38
2.16. Formation des copeaux.....	40
2.17. Bavure.....	40
2.18. Types d'usure des forets en HSS ou en carbure et les causes.....	41
2.19. La température pendant le perçage.....	43
2.20.Conclusion.....	44
Chapitre III : Simulation numérique et analyses des résultats.....	
3.1. Introduction.....	46
3.2. Le modèle.....	46
3.2.1. Etapes pour obtenir un volume.....	46
3.2.2.Assemblages.....	47
3.2.3. Etapes de l'assemblage.....	47
3.3. Mise en plan.....	47
3.4.Application au modèle numérique.....	48
3.4.1.ANSYS explicite.....	48

3.5. Lois de comportement.....	48
3.5.1.Comportement mécanique de la pièce.....	48
3.5.2.Critère d'endommagement de Johnson-Cook.....	49
3.6. Simulation du problème en ANSYS.....	50
3.6.1.Les étapes à suivre pour la modélisation.....	50
3.7. Modélisation de l'outil de coupe.....	52
3.8. Modélisation de la pièce à usiner.....	52
3.9.Les propriétés physiques et mécaniques de la pièce et le foret.....	52
3.10.Conditions aux limites et chargement.....	53
3.11.Types d'éléments et domaine du maillage.....	53
3.11.1.Le maillage et la gestion de contact.....	54
3.12. Resultats de la simulation.....	55
3.12.1. Distribution de la température à l'interface outil/pièce/copeau.....	55
3.12.2.Distribution des contraintes équivalentes à l'interface outil/pièce/copeau.....	57
3.13.Discussion des Résultats de La simulation Numérique.....	59
3.14.Etude de transfert de chaleur par Ansys thermique transitoire.....	60
3.14.1.Méthode de la résolution.....	60
3.15.Comparaison entre les deux cas étudiés.....	63
Conclusion générale.....	64

Liste des figures

Chapitre I : Usinage par enlèvement de matière.

Figure 1.1 : La relation Outil / Machine / Pièce.....	4
Figure 1.2 : Le coup dans l'usinage.	5
Figure 1.3 : Procédure de tournage.....	6
Figure 1.4 : Principe de tournage.....	6
Figure 1.5 : Composantes de tour.....	7
Figure 1.6 :Différentes opérations de tournage.....	7
Figure 1.7 : Le fraisage.....	10
Figure 1.8 : Les différents types des outils de fraisage.....	10
Figure 1.9 : Les opérations réalisées avec des forets Etagés.....	11
Figure 1.10 : Eléments de l'outil.....	12
Figure 1.11 : Angles du taillant.....	13
Figure 1.12 : Copeau continue.....	14
Figure 1.13 : Copeau cisailé.....	14
Figure 1.14 : Copeau discontinue.....	14
Figure 1.15 : Lubrification.....	17

Chapitre II : Les procédés de perçage.

Figure 2.1 : Le principe de perçage.....	21
Figure 2.2 : La Perceuse sensitive.....	21
Figure 2.3 : La perceuse à colonne.....	22
Figure 2.4 : La perceuse radiale.....	23
Figure 2.5 : La perceuse à broches multiples.....	23
Figure 2.6 : La perceuse multibroches.....	24
Figure 2.7 : L'opération de perçage au centre.....	25
Figure 2.8 : L'outil de perçage profond (forage).....	25
Figure 2.9 : L'opération micro-perçage.....	26
Figure 2.10 : L'opération de perçage orbital.....	26
Figure 2.11 : Le foret hélicoïdal.....	27
Figure 2.12 : La tête d'un foret.....	29
Figure 2.13 : La tête d'un foret hélicoïdal.	29

Figure 2.14 : Angle d'un foret.....	30
Figure 2. 15 :Foret queue conique.....	31
Figure 2.16 : Foret queue cylindrique.....	31
Figure2.17 :Les différents modèles de forets à métaux.....	31
Figure 2.18 : Les différents affutages du foret.....	36
Figure 2.19 : Lubrification interne et externe	39
Figure 2.20 : Le copeaux pendant le perçage.....	40
Figure 2.21 : Les déférant types de Bavure.....	41
Figure2.22 :Types d'usure des forets en HSS ou en carbure et les causes.....	43

Chapitre III : Simulation numérique et analyses des résultats

Figure 3.1. : Etapes pour obtenir un volume.....	46
Figure3.2 :L'ensemble outil pièce et coupeau.....	47
Figure 3.3 :Procédure de la modélisation numérique de la formation des copeaux lorsde l'utilisation de logiciel ANSYS Workbench explicite dynamique.....	51
Figure 3.4 : Méthode appliquée pour le contact (Foret pièce)	54
Figure 3.5 : La distribution de la température à l'interface outil/copeau de titane standard (1 ^{er} cas).....	55
Figure 3.6 :La distribution de la température à l'interface outil/copeau de titane standard (2eme cas).....	56
Figure 3.7 :La distribution de la température à l'interface outil/copeau de titane standard (3eme cas).....	56
Figure 3.8 :La distribution de la contrainte équivalente à l'interface outil/copeau de titane standard(1 ^{er} cas).....	57
Figure 3.9 :La distribution de la contrainte équivalente à l'interface outil/copeau de titane standard(2eme cas).....	58
Figure 3.10 :La distribution de la contrainte équivalente à l'interface outil/copeau de titane standard(3eme cas).....	59
Figure 3.11 :Le Phénomène de transfert de chaleur à l'interface Outil-pièce lors de la découpe(1 ^{er} cas).....	61
Figure 3.12 :Le Phénomène de transfert de chaleur à l'interface Outil-pièce lors de la découpe(2eme cas).....	62
Figure 3.13 :Transfert de chaleur avec couplage thermomécanique.....	63

Liste des tableaux

<u>Tableaux 2.2:</u> la vitesse de coupe au perçage avec outils en acier rapide et sa vitesse d'avance.....	38
<u>Tableau 3.1:</u> Paramètres de la loi de comportement de cuivre standard.....	52
<u>Tableau 3.2 :</u> Critère d'endommagement Johnson-Cook de cuivre standard.....	52
<u>Tableau 3.3:</u> les propriétés thermomécaniques de matériau et de l'outil.....	53

Liste des symboles

- V_c** : Vitesse de coupe en mètre/minute.(en m/min).
- (Z1)** : Zone de cisaillement primaire.
- (Z2)** : Zone de cisaillement secondaire.
- (Z3)** : Zone de cisaillement tertiaire (zone morte).
- D** : Diamètre du foret, de la pièce, de la fraise.(en m).
- N** : Fréquence de rotation en tours par minute (nombre de tours). (en tr/min).
- f** : Vitesse d'avance.(en mm/tr).
- (ϵ)** : La vitesse de déformation plastique.
- ($\epsilon^{\bar{}}$)** : Le seuil à partir duquel la vitesse de déformation.
- T** : La température absolue.
- T₀** : La température de fusion.
- T_{amb}** : La température ambiante ou de référence.
- (A ,B et n)** : Les paramètres représentant l'écrouissage.
- C** : La constante définissant la dépendance à la vitesse de déformation.
- M** : Le paramètre définissant la dépendance à la température.
- ϵ_f** : La déformation équivalente à rupture du matériau.
- σ_m** : La contrainte moyenne.
- σ_{eq}** : La contrainte équivalente de Von Mises.
- D1, D2, D3, D4 et D5** : Constantes de rupture de Johnson-Cook.

Introduction générale

L'industrie est un terme polysémique recouvrant originellement la plupart des travaux humains. Il s'agit de présenter la production des biens grâce à la transformation des matières premières ou des matières ayant déjà subi une ou plusieurs transformations et de l'exploitation des sources d'énergie.

Dans le domaine de l'industrie il y a plusieurs méthodes de production des pièces mécaniques, mais l'usinage par enlèvement de matière (fraisage, perçage...) reste le plus utilisé dans le domaine de fabrication mécanique et le moyen le plus fiable pour obtenir des pièces de précision.

Ce domaine soumis à de fortes contraintes : économique, physique, technologique... etc. les industries ont besoin d'améliorer leurs processus de production pour l'augmentation de la productivité en réduisant les inconvénients de ses opérations.

Pour un matériau donné et même si on emploie un foret adéquat, le perçage ne sera pas rentable si la vitesse de coupe, la vitesse d'avance et le type de lubrifiant utilisé ne soient pas soigneusement sélectionnés. Mais avant d'examiner ces différents facteurs, il convient d'insister sur le fait que des erreurs sont toujours possibles en ce qui concerne le montage pour l'opération de perçage.

L'objectif de ce travail est de simuler la formation de copeau en 3D, lors d'une opération de perçage à sec. En utilisant la loi de comportement et d'endommagement de Johnson Cook afin d'étudier le transfert de chaleur à l'interface outil et copeau et présumer si la température qui se forme au frottement entre l'outil et la pièce a une influence sur la durée de vie de l'outil.

Le présent travail est articulé en trois chapitres :

Dans le chapitre I : une recherche bibliographique introduira les notions nécessaires sur l'usinage en générale.

Le chapitre 2 sera consacré à l'état de l'art sur le procédé de perçage et sur le comportement mécanique global du système POM (pièce-outil de coupe-outil) dynamique de coupe.

Des simulations numériques de l'opération de perçage et la discussion des résultats ont été effectuées dans le chapitre 3.

La dernière partie, à savoir la conclusion générale.

Chapitre I :
Usinage par enlèvement de matière.

1.1 Introduction :

L'usinage par enlèvement de matière consiste à réduire progressivement les dimensions de la pièce par enlèvement du métal à froid et sans déformation en utilisant un outil. La quantité de matière enlevée est dite copeaux et l'instrument avec lequel est enlevée la matière est appelé outil de coupe. L'opérateur utilise des machines dites machines-outils pour réaliser l'usinage d'une pièce.

Le domaine des procédés d'usinage est extrêmement vaste. Il est généralement caractérisé par l'action d'un outil sur un matériau pour obtenir une nouvelle forme. Traditionnellement, les procédés d'usinage mécanique sont divisés entre les opérations dites traditionnelles et les opérations dites non traditionnelles en distinguant les techniques d'usinage classique des autres. Mais il semble pertinent de classer schématiquement les procédés d'usinage selon les phénomènes physiques mis en jeu.

Ces derniers peuvent être classés en deux grandes catégories :

- Les procédés physico-chimiques.
- Les procédés mécaniques.

1.2 L'usinage :

L'usinage est une famille de procédé de fabrication de pièce par enlèvement de copeaux. Le principe de l'usinage est d'enlever de la matière de façon à donner à la pièce brute la forme et les dimensions voulues, à l'aide d'une machine-outil. Par cette technique, on obtient des pièces d'une grande précision. Lors de l'usinage d'une pièce, l'enlèvement de matière est réalisé par la conjonction de deux mouvements relatifs entre la pièce et l'outil : le mouvement de coupe (vitesse de coupe) et le mouvement d'avance (vitesse d'avance).

Il existe deux manières de générer la surface recherchée : par travail de forme ou par travail d'enveloppe. Dans le cas du travail de forme c'est la forme de l'arête tranchante de l'outil qui conditionne la surface obtenue. Dans le cas du travail d'enveloppe, c'est la conjonction des mouvements de coupe et d'avance qui définit la surface finale.

De nos jours, des machines-outils à commande numérique (MOCN), c'est-à-dire asservies par un système informatique (FAO), permettent d'automatiser partiellement ou totalement la procédure [1].

1.3. La relation Outil / Machine / Pièce :

Usiner consiste à modifier la forme d'une pièce par l'action d'une machine, au moyen d'un outillage. Donc tout usinage met en relation ces trois éléments :

- L'outil,
- La machine,
- La pièce.

La pièce et l'outil sont fixés sur la machine grâce au porte-pièce et au porte-outil. Suivant les chaînes relationnelles « Outil / Machine / Pièce » et le repère d'axes dans lequel s'inscrivent les différents déplacements, les principes d'usinage mis en œuvre varient et définissent ainsi différents types d'usinages (par enlèvement de matière).

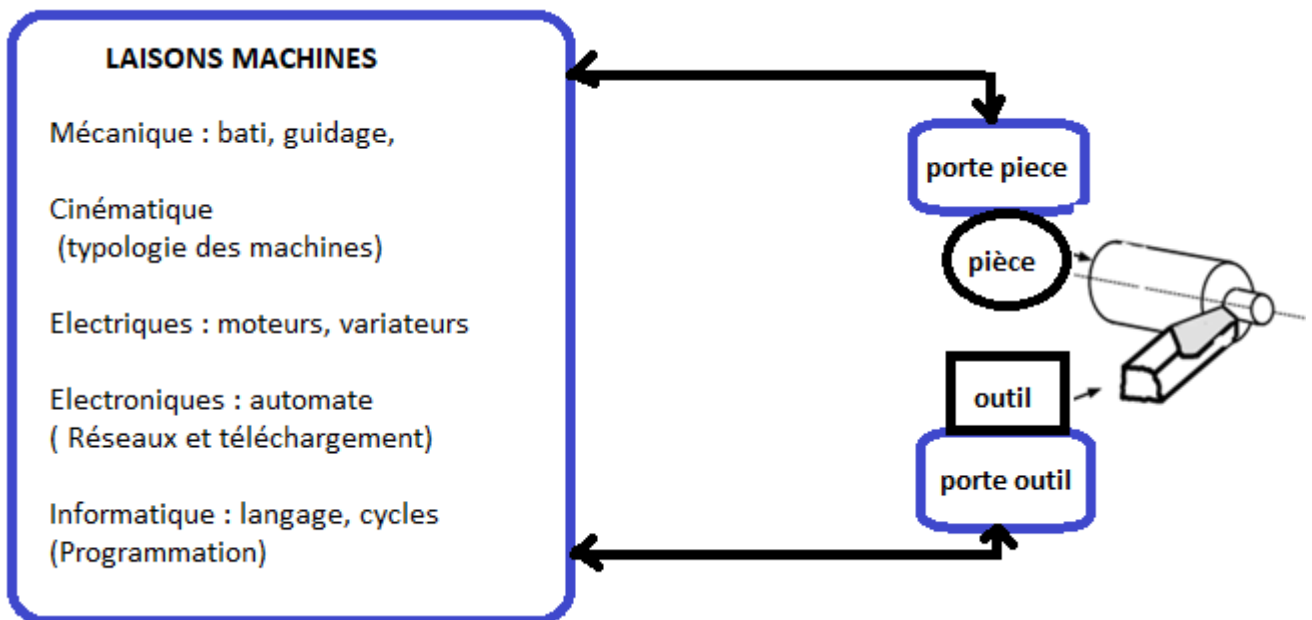


Figure.1.1 La relation Outil / Machine / Pièce

1.4 La coupe :

Le principe de base de l'usinage est l'enlèvement de matière. Il est obtenu par la coupe du matériau constitutif de la pièce. La coupe s'opère par le déplacement d'un outil de coupe en interférence avec la pièce. La dimension de cette interférence est définie par l'avance en mm. Lors de la coupe, la matière en interférence avec la trajectoire de l'outil est détachée par déformation plastique du reste de la pièce et se transforme en copeaux. Toutefois, l'ajustage réalisé à la lime ne constitue pas à proprement parler un usinage. L'usinage requiert l'usage d'une

machine-outil qui génère de façon autonome les mouvements relatifs pièce-outil en garantissant leur précision ainsi que la puissance mécanique nécessaire à la coupe.

Lors de l'usinage d'une pièce, l'enlèvement de matière est réalisé par la conjonction de deux mouvements relatifs entre la pièce et l'outil : le mouvement de coupe (vitesse de coupe) et le mouvement d'avance (vitesse d'avance). La vitesse de coupe est la vitesse de déplacement de l'arête tranchante de l'outil par rapport à la pièce. Elle est définie en m/min. Étant donnée la forte puissance requise pour la coupe, l'avance qui définit la quantité de matière enlevée est limitée. Par conséquent, l'usinage nécessite de nombreuses coupes successives [2].

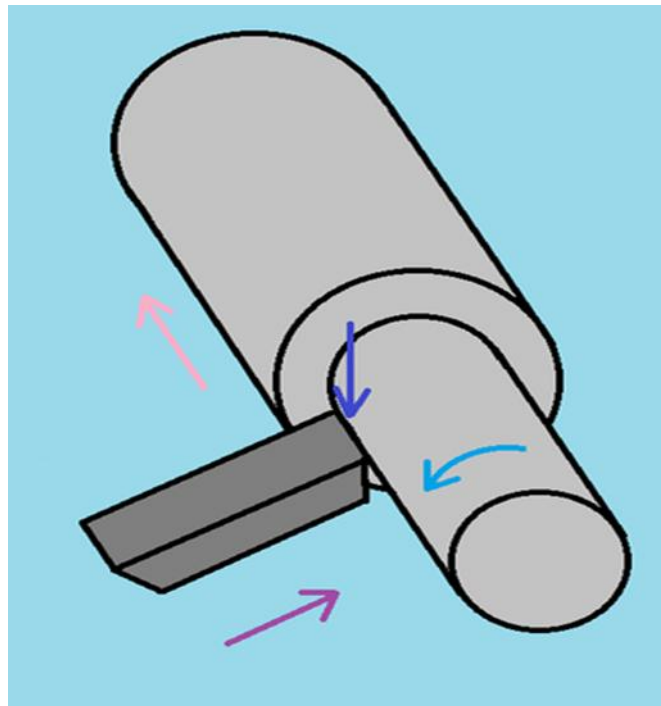


Figure 1 .2 opération d'usinage [2]

1.5 .les procédés d'usinage:

1.5.1 Le tournage :

Le tournage est un procédé de fabrication mécanique par coupe (enlèvement de matière) mettant en jeu des outils à arête unique. La pièce est animée d'un mouvement de rotation (mouvement de coupe), qui est le mouvement principal du procédé, l'outil est animé d'un mouvement complémentaire de translation (rectiligne ou non) appelé mouvement d'avance, permettant de définir le profil de la pièce. La combinaison de ces deux mouvements, ainsi que la forme de la partie active de l'outil, permettent d'obtenir des usinages de formes de révolution (cylindres, plans, cônes ou formes de révolution complexes).

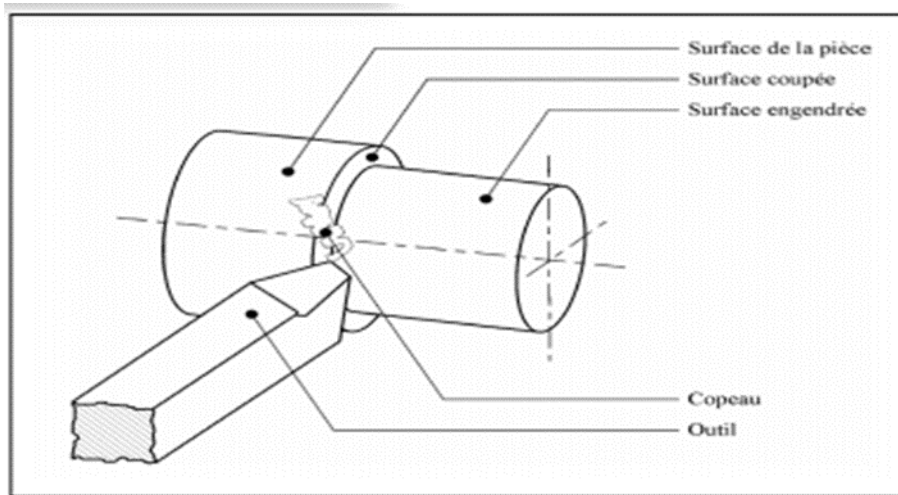


Figure 1.3 Procédure de tournage.

1.5.1.1 Principe de tournage :

La pièce est animée d'un mouvement circulaire uniforme c'est le mouvement de coupe M_c Me l'outil est animé d'un mouvement de translation parallèle ou oblique par rapport à l'axe de rotation c'est le mouvement d'avance M_f .

Dans son mouvement, la pointe de l'outil décrit une ligne appelée génératrice qui transforme la pièce en un solide de révolution, en faisant varier le déplacement de l'outil (mouvement radial) il sera possible d'obtenir tous les solides de révolution tels que cylindre, cône, sphère, etc... Le tournage permet également le façonnage des formes intérieures par perçage, alésage, taraudage.

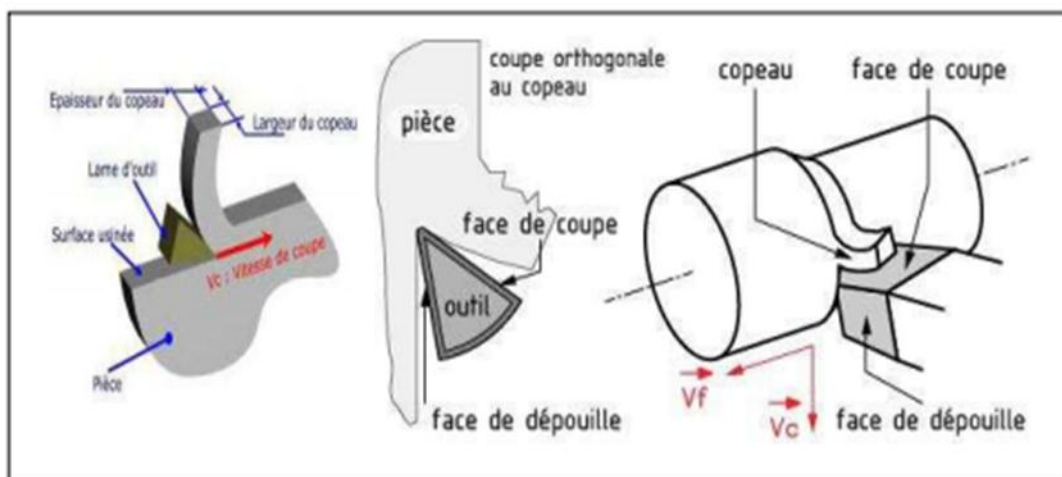


Figure 1.4 Principe de tournage.

1.5.1.2 Les tours :

Les tours (voir Figure. 1.5) permettent de réaliser des surfaces de révolution et hélicoïdales (filetage) : cylindres, cônes et plans (génératrice perpendiculaire à l'axe de révolution). L'utilisation principale de ces machines est l'usinage des arbres. La pièce, généralement tenue par le mandrin, a un mouvement de rotation (mouvement de coupe) transmis par la broche. L'outil peut se déplacer en translation suivant deux directions. Ces deux directions, perpendiculaires entre elles, appartiennent à un plan auquel l'axe de la broche est parallèle. Le premier mouvement de translation est parallèle à l'axe de la broche. Le deuxième mouvement de translation est perpendiculaire à l'axe de la broche.

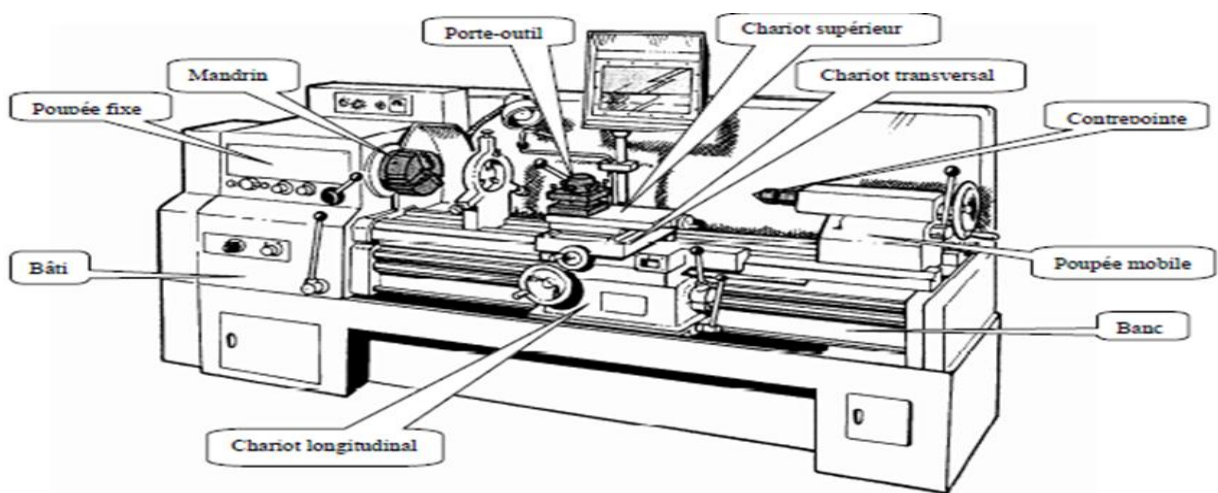
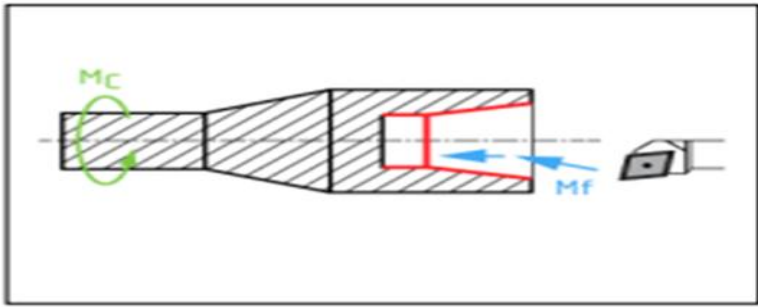
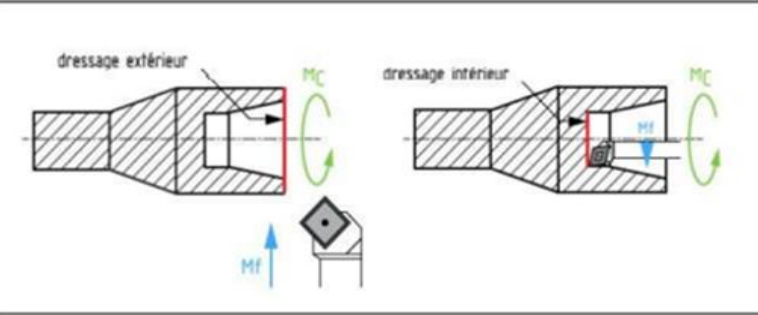
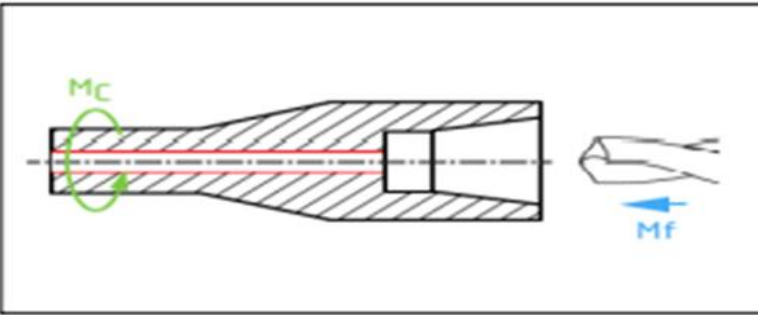
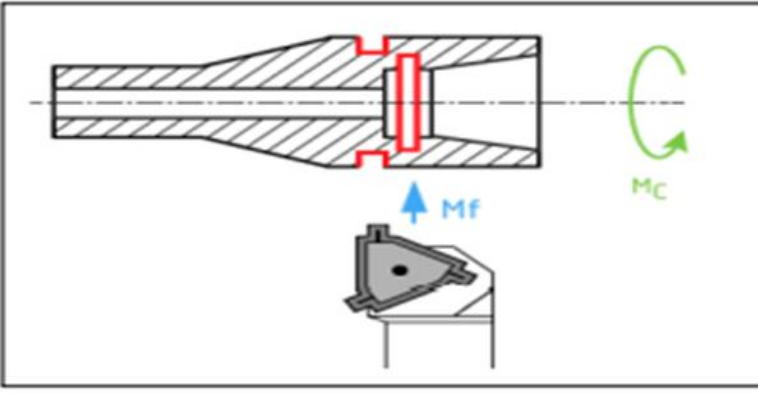
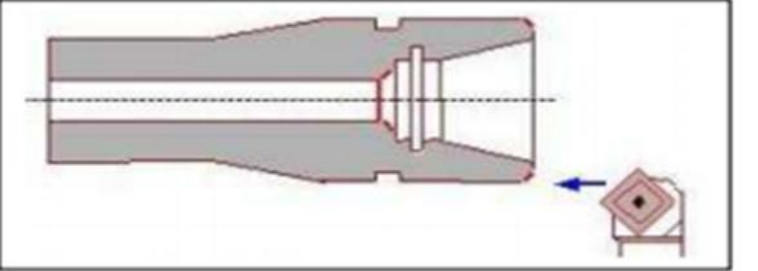


Figure 1.5 Composantes de tour.

1.5.1.3 Différentes opérations de tournage :

Chariotage	Opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique extérieure.	<p>The diagram illustrates two types of turning operations on a lathe. It shows a workpiece with a cylindrical section on the left and a conical section on the right. A cutting tool is shown in contact with the workpiece. Labels include 'chariotage cylindrique' (cylindrical turning) and 'chariotage conique' (conical turning). A green circular arrow labeled 'MC' indicates the rotation of the workpiece. A blue double-headed arrow labeled 'MT' indicates the longitudinal movement of the tool along the axis of the workpiece.</p>
------------	--	---

<p>Alésage</p>	<p>Opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique intérieure</p>	 <p>The diagram shows a cross-section of a tapered shaft with a central hole. A cutting tool is positioned inside the hole, moving from right to left as indicated by a blue arrow labeled 'MF'. A green circular arrow labeled 'MC' indicates the rotation of the workpiece.</p>
<p>Dressage</p>	<p>Opération qui consiste à usiner une surface plane perpendiculaire à l'axe de la broche extérieure ou intérieure.</p>	 <p>Two diagrams illustrate chamfering. The left diagram, labeled 'dressage extérieur', shows a tool cutting a flat surface on the outer edge of a shaft. The right diagram, labeled 'dressage intérieur', shows a tool cutting a flat surface on the inner edge of a hole. Both diagrams show a blue arrow 'MF' for tool feed and a green circular arrow 'MC' for rotation.</p>
<p>Perçage</p>	<p>Opération qui consiste à usiner un trou à l'aide d'une forêt</p>	 <p>The diagram shows a drill bit being used to create a hole in a tapered shaft. A blue arrow labeled 'MF' indicates the axial feed of the drill bit, and a green circular arrow labeled 'MC' indicates the rotation of the drill bit.</p>
<p>Rainurage</p>	<p>Opération qui consiste à usiner une rainure intérieure ou extérieure pour le logement d'un céclépse ou d'un joint torique par exemple.</p>	 <p>The diagram shows a cutting tool creating a groove on the outer surface of a shaft. A blue arrow labeled 'MF' indicates the tool's axial movement, and a green circular arrow labeled 'MC' indicates the rotation of the workpiece.</p>
<p>Chanfreinage</p>	<p>Opération qui consiste à usiner un cône de petite dimension de façon à supprimer un angle vif</p>	 <p>The diagram shows a chamfering tool being used to create a small conical chamfer on the end of a shaft. A blue arrow indicates the tool's axial feed, and a green circular arrow indicates the rotation of the workpiece.</p>

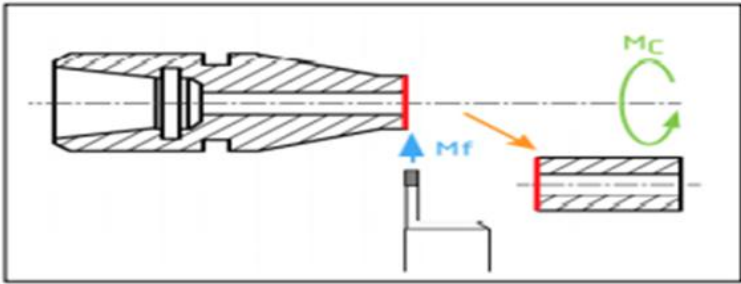
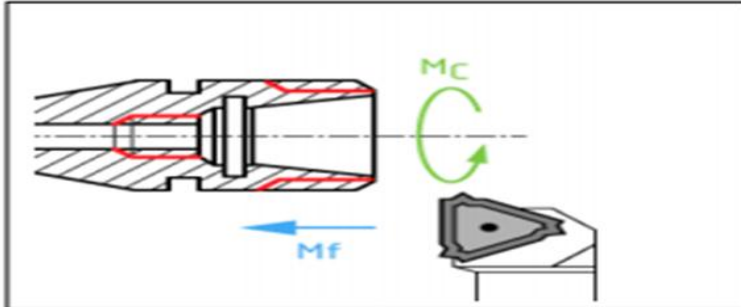
<p>Tronçonnage</p>	<p>Opération qui consiste à usiner une rainure jusqu'à l'axe de la pièce afin d'en détacher un tronçon.</p>	
<p>Filetage</p>	<p>Opération qui consiste à réaliser un filetage extérieur ou intérieur.</p>	

Figure1.6 :Différentes opérations de tournage.

1.5.2 le fraisage :

Le **fraisage** est un procédé de fabrication où l'enlèvement de matière sous forme de copeaux résulte de la combinaison de deux mouvements : la rotation de l'outil de coupe, d'une part, et l'avancée de la pièce à usiner d'autre part.

Le fraisage est habituellement réalisé par une machine-outil, la fraiseuse qui est particulièrement adaptée à l'usinage de pièces prismatiques et permet également, si la machine est équipée de commande numérique, de réaliser tous types de formes même complexes. L'outil classiquement utilisé est la fraise.

Les fraiseuses actuelles sont fréquemment automatisées (fraiseuses à commande numérique et centres d'usinage). La programmation de commande numérique de ces machines nécessite le recours à des interfaces logicielles, pour une part embarquées sur la machine elle-même (Directeur de Code Numérique), et pour une autre part, extérieure à la machine (PC + logiciels Fabrication assistée par ordinateur 2D et 3D) . Dans l'industrie, les ouvriers fraiseurs qualifiés effectuent fréquemment des travaux de tournage complémentaires.

Dans le cas du fraisage : l'outil tourne, la pièce se déplace. Les centre de fraisage comportent généralement 3 axes (que l'ont peut commander individuellement pour faire des formes complexe : hélices...) et un plateau tournant pour présenter toutes les faces de la pièce devant la

broche. On peut aussi imaginer de monter l'outil au bout un bras de robot. Voir exemple ci-contre. L'outil tourne, la pièce se déplace par rapport à l'outil. Cela permet de réaliser des formes planes, des moules...

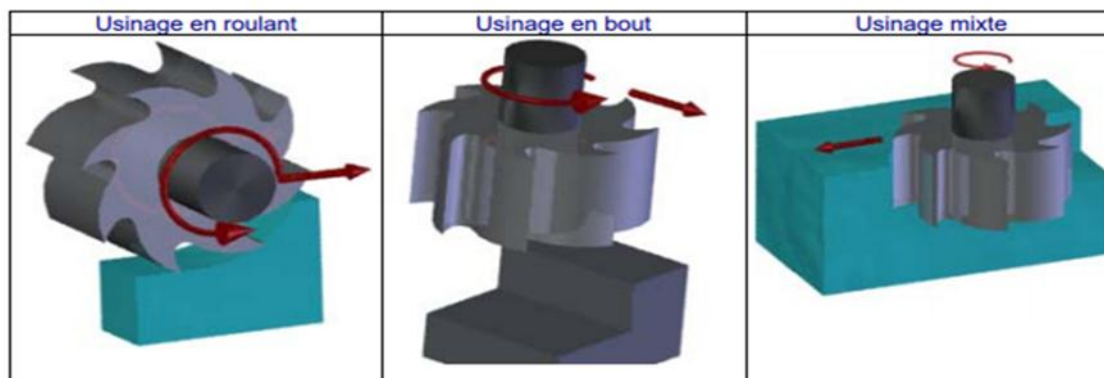


Figure 1.7 le fraisage

1.5.2.1 Les outils de fraisage :

Fraise deux tailles ARS	Usinages de plans. La fraise est en ARS. Cette fraise, une des plus courante, est remplacée par des fraises carbure.	
Fraise deux tailles à plaquettes rapportées	Fraise carbure, de défonçage. Cette fraise permet des ébauches rapides, mais ne permet pas de plonger dans la matière (pas de « coupe au centre »)	
Fraise 3 tailles	Fraise pour usiner les rainure. 3 plans sont usinés dans une seule passe.	
Fraise à surfacer	Fraise carbure à surfacer pour usiner des grands plans.	

Figure 1.8 les différents types de les outils de fraisage.

1.5.3 Le perçage :

Le perçage est une forme de fraisage avec une caractéristique particulière : l'outil doit plonger dans la matière. Il faut donc qu'il soit capable de couper au centre (zone où la vitesse de coupe est nulle). Le foret le plus courant est en ARS, il peut être revêtu d'une couche de carbure (couleur or), mais il existe des fraises à percer, l'arête de coupe étant formée de deux plaquette se chevauchant au centre, afin de pouvoir couper le centre du trou.

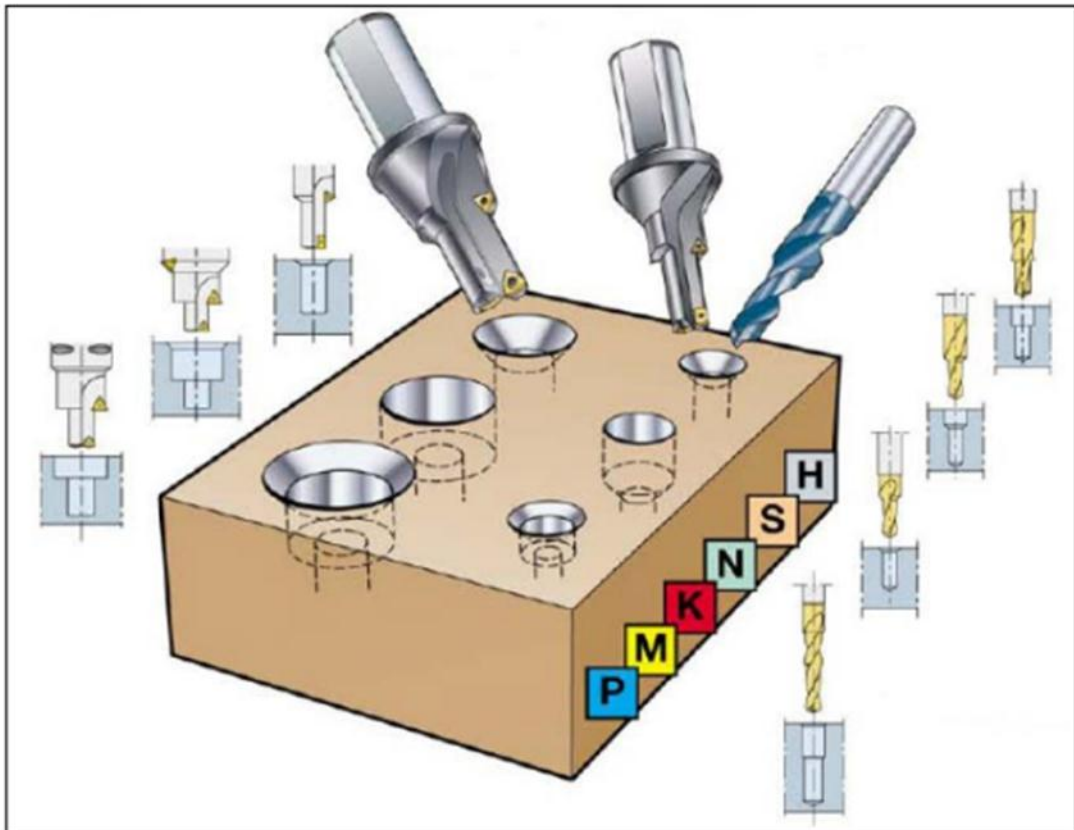


Figure 1.9 Les opérations réalisées avec des forets Etagés.

1.6 Outil de Coupe :

Les outils permettent d'enlever le copeau. La géométrie de l'outil influe directement sur les formes usinables sur la pièce. On peut définir les éléments de coupe et les Faces et Arêtes de l'outil.[3].

- Éléments de l'outil :

Il existe une grande diversité d'outils de coupe. Toutefois, les principaux éléments des différents outils sont semblables. Ainsi, afin de simplifier la compréhension de différents éléments définissant un outil quelconque, nous nous baserons sur un outil de coupe en tournage. Les définitions peuvent ensuite être déduites pour tout autre type d'outil. Dans cette partie, on ne

donne que les définitions nécessaires à la compréhension de phénomènes de coupe expliqués plus loin. Les définitions complètes se trouvent dans la norme ISO3002/1982.

- Faces et arêtes de l'outil :

Un outil de coupe consiste en un corps et une queue. Un corps est la partie de l'outil portant les éléments coupants ou les plaquettes. Parfois, les arêtes peuvent être taillées directement dans le corps. D'autre part, la queue de l'outil est la partie par laquelle celui-ci est maintenu.

La partie de l'outil qui intervient directement dans l'opération de coupe (les arêtes, la face de coupe et la face de dépouille) est appelée partie active. On y distingue différentes faces et arêtes qui sont illustrées sur la figure 1.10 suivante (les arêtes, la force de coupe et la face de dépouille).

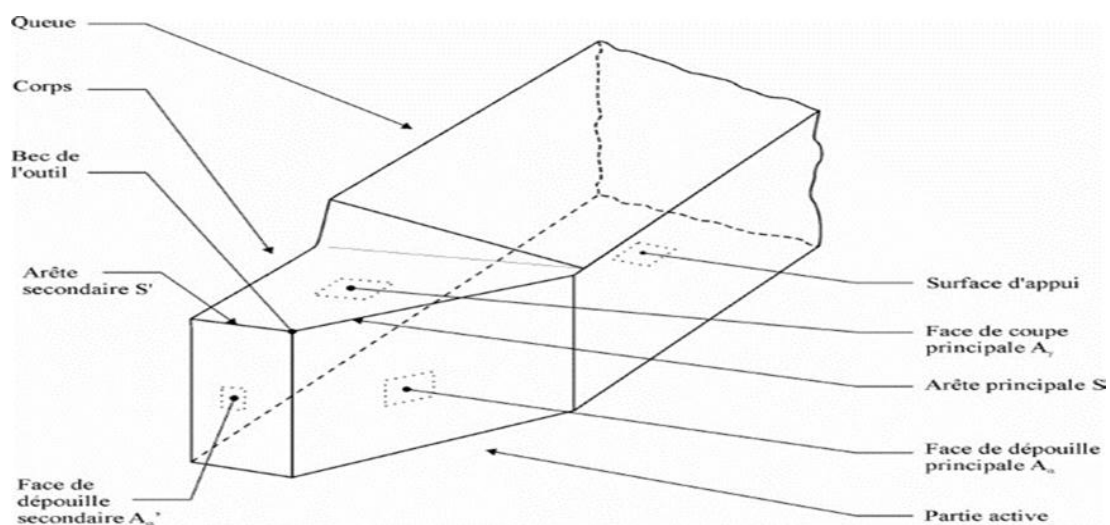


figure 1.10 Eléments de l'outil.

La partie de l'outil impliquée directement dans la coupe est appelée taillant. Elle est limitée par trois faces : la face de coupe le long de laquelle glisse le copeau et les deux faces de dépouille (principale et secondaire) le long desquelles passent les surfaces coupée et engendrée.

On appelle une arête un bord de la face de coupe destiné à l'enlèvement de matière. Dans un outil de tournage simple, on peut distinguer une arête principale, intersection entre la face de coupe et la face de dépouille principale, et une arête secondaire, intersection entre la face de coupe et la face de dépouille secondaire. La jonction des arêtes principale et secondaire forme le bec de l'outil. Il peut être droit, arrondi ou représenter l'intersection vive des deux arêtes.

- Angles de l'outil :

Pour faciliter l'explication des phénomènes de la coupe il est nécessaire de définir les angles ayant la plus grande influence sur lesdits phénomènes.

La figure 1.11 suivante illustre, dans le système de référence outil en main, les trois angles principaux du taillant, l'angle de dépouille α , l'angle de taillant β et l'angle de coupe γ .

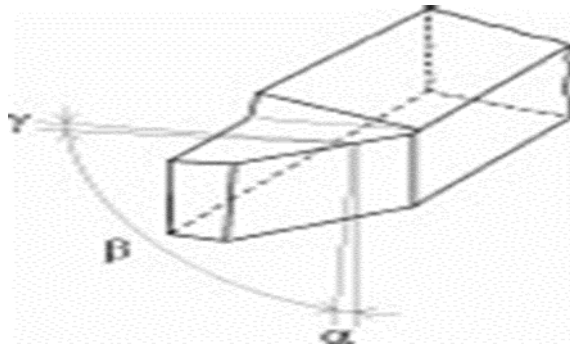


figure 1.11 Angles du taillant .

1.7 Les copeaux :

La coupe (formation du copeau) est un processus physique complexe qui s'accompagne de déformations plastiques et élastiques ; elle donne lieu à un frottement important (outil-pièce), au dégagement de chaleur, à la formation d'une arrête rapportée (copeau adhérent sur le bec de l'outil), à l'enroulement et au retrait du copeau, au durcissement de la pièce (surface usinée écrouie) et à l'usure de l'outil (détérioration de la partie active de l'outil).

La formation du copeau joue un rôle important sur la rugosité de la surface usinée. Elle est un phénomène de déformation élastique et plastique (compression) de la couche cisailée.

La déformation plastique consiste dans le glissement de certaines couches par rapport à d'autres suivant des plans de glissement qui se confondent en général avec la direction des contraintes de cisaillement maximales. Les glissements des couches du métal provoquent la modification de la forme des grains, de leurs dimensions et positions relatives. Elle s'accompagne d'un échauffement important et d'une modification des propriétés du métal. Cette modification rend le métal plus dur.

Les formes du copeau varient suivant les conditions d'usinage. L'usinage des métaux plastiques (aciers) donne lieu à trois types de copeaux : continu, cisailé et discontinu. On obtient aussi le copeau fragmenté produit par l'usinage de métaux peu plastiques (fontes, bronzes,...).[4]

Le copeau continu : sa formation est due à un écoulement constant de la matière dans lequel les contraintes, la déformation, la vitesse de déformation et la température restent constantes tout au long de la coupe.

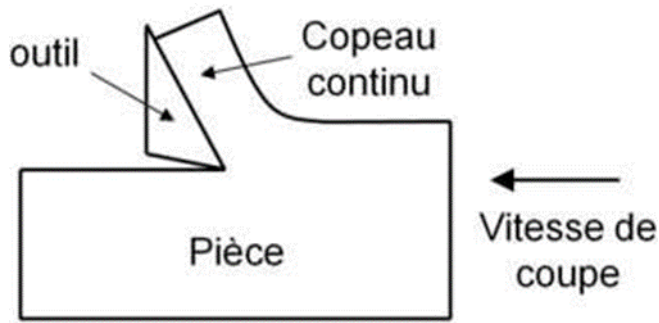


figure 1.12 copeau continu.

Le copeau cisailé : Il s'obtient lorsque l'usinage de l'acier se fait à vitesse moyenne. La face du copeau en regard de l'outil est lisse, alors que sa face opposée porte des entailles qui définissent la direction bien marquée des éléments isolés fortement liés les uns aux autres.

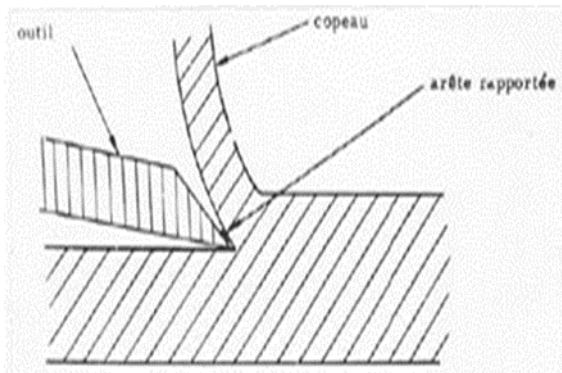


Figure 1.13 copeau cisailé.

Le copeau discontinu : Il s'obtient lors de l'usinage des métaux durs et peu ductiles, à faible vitesse de coupe. Il est composé d'éléments séparés, déformés plastiquement, peu liés ou pas liés du tout entre eux.

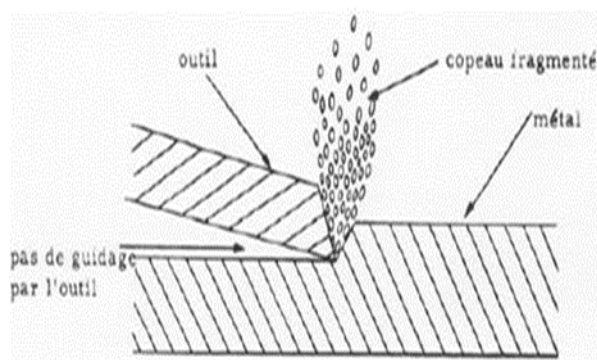


Figure. 1.14 copeau discontinu.

En usinage à grande vitesse, la formation des copeaux est affectée par des instabilités qui apparaissent avec l'augmentation de la vitesse lors de la coupe. Les sources d'instabilité peuvent être de diverse nature :

- les caractéristiques métallurgiques et thermoplastiques du matériau usiné.
- les conditions de coupe.
- les variations du cisaillement dans la zone de cisaillement primaire,
- l'usure de l'outil qui entraîne des variations des conditions de frottement dans la zone de cisaillement secondaire.
- les interactions entre les zones de cisaillement primaire et secondaire.
- la réponse de la structure de la machine et ses interactions avec le procédé de coupe.

1.8. MATERIAUX DES OUTILS DE COUPE :

Un bon outil doit permettre un maximum de rendement pour un minimum d'usure. Toutes ces caractéristiques nous amènent à employer les matériaux suivants, classés par ordre de dureté croissante:

- Les aciers au carbone trempés ou aciers fondus : Ils contiennent entre 0.8 à 1.2% de carbone. Leur dureté à froid atteint 65 HRC (essai Rockwell ou cône de diamant d'angle 120° C).
- Les aciers au carbone alliés (aciers rapides) : Ils sont des aciers avec des pourcentages importants d'éléments d'alliages, tel que le Tungstène (W) ou molybdène (D), Le Chrome (C), Le vanadium (V), le cobalt (K),...
- Les aciers au tungstène (W) trempés (aciers rapides supérieurs).
- Les alliages durs ou alliages coulés : Ils sont obtenus par fusion de métaux purs avec du carbone (C) au four électrique. Leur composition est la suivante :

Carbone (C) : 2.5 à 4%.

Cobalt (Co) : 40 à 50 %, Tungstène (W) : 25 à 80 %, Chrome (Cr) : 25 à 82 %, Fer (Fe) : environ 4%, Manganèse (Mn) : un peu. Ils conservent leur dureté à une température assez élevée (700 ° C).

- Les carbures métalliques frittés : Ces matériaux, dits « carbures », connaissent un développement de plus en plus grand, dus à leurs performances de coupe. Leur très grande

variété de leurs caractéristiques et leurs conditions d'élaboration par la technique du frittage font de ces matériaux une utilisation très fréquente dans le domaine de la coupe,

- Les céramiques : Ce sont des composés d'oxyde d'alumine très durs agglomérés dans des oxydes de chrome comme liant, frittés à 1 800 °C. Dès 1955, date de leur invention, ces produits entrent en concurrence avec les carbures avec une dureté naturelle à chaud de 82 HR, sans formation de copeau sur l'outil, avec des vitesses de coupe très élevées (100 à 800 m/min), ils sont sensible aux chocs et aux vibrations. Les plaquettes de céramiques ne peuvent pas être brasées mais soigneusement ajustée et fixées mécaniquement sur le cops d'outil. Elles sont dites « à jeter » car non affûtables, mais comme pour les carbures, elles présentent plusieurs arêtes de coupe à usage successif.
- Les corps super abrasifs.
- Les diamants : Les diamants, sertis à l'extrémité d'une tige d'acier, peuvent être utilisés pour le travail du cuivre, du bronze, de l'aluminium, pour le tournage des meules, pour le taillage des pierres précieuses, la coupe du verre ou servir d'agglomérant sur une meule d'affûtage d'outils.

1.9. Lubrification :

La formation du copeau s'accompagne d'un important dégagement de chaleur dû au frottement du copeau glissant sur la face de coupe et au frottement de la pièce sur la face de dépouille de l'outil.

L'échauffement de la partie active est fonction de la vitesse de coupe. Lors de l'usinage, cette partie active de l'outil doit être réduite pour ne pas entraîner sa perte de dureté. Aussi, les conséquences de l'augmentation de la température sur la pièce provoquent une dilatation de la pièce et des contraintes résiduelles en surface. En effet, dans la zone de formation du copeau, la température tend à augmenter la plasticité du métal et par conséquent, elle permet une diminution notable des efforts de coupe.

Pour éviter tous les phénomènes de chaleur, il est recommandé d'utiliser lors de l'usinage des lubrifiants ou des agents de refroidissement.



Figure. 1.15 Lubrification .

Ils agissent :

- En diminuant le coefficient de frottement copeau-outil et outil-pièce, c'est l'effet lubrifiant,
- En refroidissant l'outil et la pièce pour évacuer la chaleur produite, c'est l'effet réfrigérant.

En pratique, le débit doit être abondant et fonction de la puissance absorbée. La pression doit être suffisante pour évacuer les débris métalliques et pénétrer entre la face de coupe et le copeau. C'est essentiellement la partie active de l'outil qui doit être refroidie.

Un fluide de coupe convenablement choisi a une influence sur :

- L'usure de l'outil (réduction),
- Le choix de la vitesse de coupe,
- La rugosité de la surface usinée.

Parmi les produits lubrifiants, on peut citer :

- Les huiles minérales, elles sont issues de la distillation du pétrole,
- Les huiles solubles, ce sont des mélanges d'huiles minérales, d'émulgateurs et d'inhibiteurs de corrosion ajoutés à de l'eau,
- Les fluides synthétiques pour travaux spéciaux.

Il y a plusieurs raisons qui poussent les machinistes à utiliser du lubrifiant lors d'un processus d'usinage. Parmi celles-ci, on compte la réduction de la friction. Lors d'une coupe à haute vitesse, le travail des métaux génère de la chaleur. Cela est dû au fait que l'outil frotte sur la

pièce, ce qui dissipe de l'énergie sous forme de chaleur. Si la pièce ou même l'outil de coupe devaient atteindre une température trop élevée, elles pourraient subir une déformation thermique, ce qui peut altérer le travail ou endommager l'équipement. En réponse à ce phénomène, la lubrification permet de limiter la surchauffe de la pièce, en réduisant le frottement et en abaissant sa température.

Enfin, toujours lors de l'usinage, les fluides de coupe permettent de rincer la pièce et d'éliminer plus facilement les copeaux métalliques ou la limaille qui peut être produite. Ces copeaux peuvent ensuite être évacués vers un dispositif conçu pour les récolter. Il est primordial qu'aucun copeau n'adhère à la pièce, car cela pourrait affecter la précision de l'usinage.

1.10. Les procédés d'usinage:

Lors de l'usinage par enlèvement de matières, on utilise plusieurs procédés.

Les procédés d'usinage les plus répandus sont:

- Tournage,
- Fraisage,
- Perçage,
- Rectification,
- Rabotage,
- Usinage sur l'étau-limeur,
- le découpage (dé) : découpage plasma, découpage jet d'eau, découpage laser ;
- le grenailage : grenailage sphérique (gns), grenailage angulaire (gna) ;
- le roulage : usinage entre galets, comme le filetage à froid ;
- le sciage, le cisailage ;
- le limage ;
- le pointage ;
- Etc.,....

Chapitre II :

Procédés de perçage

2.1 Le perçage :

Le perçage est une opération d'usinage consistant à faire un trou dans une pièce, ce trou peut traverser la pièce de part en part, on l'appelle trou débouchant ou bien ne pas la traverser, c'est alors un trou borgne. Ce trou peut être effectué par un foret, par découpe à l'aide d'un poinçon (trou débouchant), par électroérosion, par laser, par brochage, etc . ce trou peut servir à faire passer une pièce ou un fluide, il peut être lisse ou taraudé pour recevoir un rivet ou une vis d'assemblage.(6)

Le perçage est l'opération d'usinage la plus courante dans l'industrie mécanique, par exemple des pièces de l'industrie automobile et de l'industrie aéronautique. Parmi les perçages à l'outil tournant coupant (foret), on peut distinguer : le perçage des trous courts, traité dans cette étude et le perçage de trous profonds appelé forage.

Les trous courts sont caractérisés par un faible rapport entre la profondeur et le diamètre : de l'ordre de 5 à 6 pour diamètre inférieurs à 30 mm et de 2 pour les diamètres supérieurs.

Ce rapport entre la profondeur et le diamètre du trou est limité par la technologie disponible, de sorte qu'il peut évoluer au rythme de développement de nouveaux outils. Les trous courts, de diamètre généralement compris entre 10 et 20 mm, sont les plus répandus. (6)

2.2 Principe de perçage :

Pour réaliser un perçage, deux mouvements sont nécessaires :

- Le mouvement de coupe (M_c) :

Rotation du foret (sur la perceuse) ou de la pièce (sur le tour).

- Le mouvement d'avance (M_f) :

Déplacement rectiligne de l'outil (dans l'axe de l'outil).

Avant toute opérations de perçage il faut :

- Avoir contrôlé le diamètre du foret.
- Avoir contrôlé l'affûtage du foret (état de l'arrête de coupe).
- Avoir bien bloqué la pièce dans l'étau car une pièce entraînée.

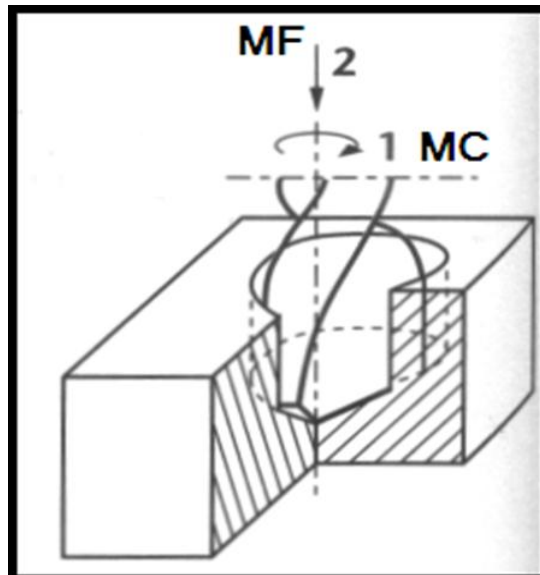
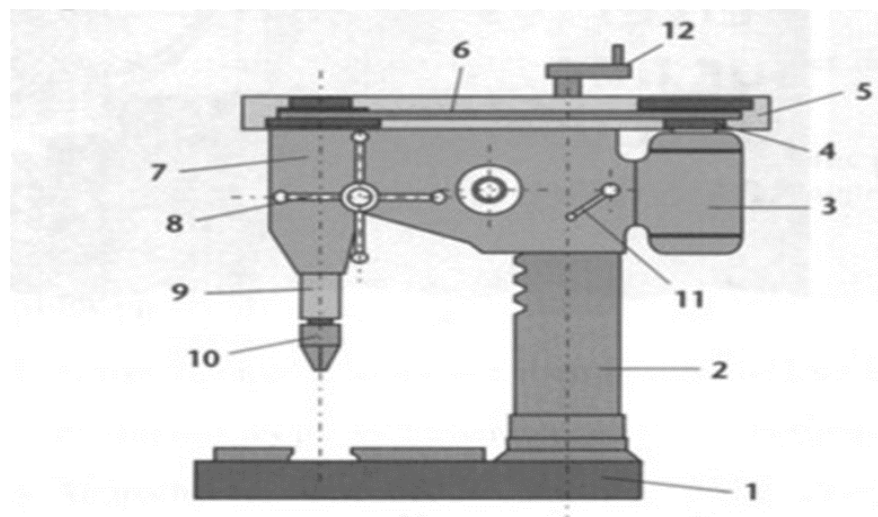


figure.2.1 le principe de perçage.

2.3 Différents types de perceuses :

1.La perceuse sensitive :

La perceuse sensitive est une machine qui sert à entraîner un foret. La descente du foret s'effectue exclusivement à la main (d'où le nom sensitive) par un système pignon/crémaillère.

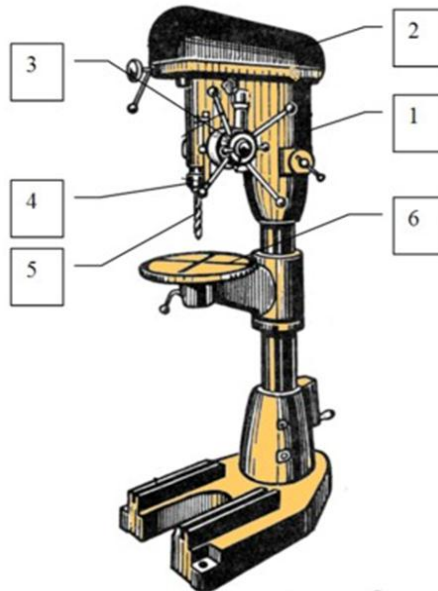


- | | |
|--------------------|----------------------------|
| 1 : Socle ou table | 7 . Bâti |
| 2 : Colonne | 8 : Cabestan |
| 3 : Moteur | 9 : Broche |
| 4 : Poulie étagée | 10 : Mandrin |
| 5 : Carter | 11 : Blocage de la hauteur |
| 6 : Courroie | 12 : Réglage de la hauteur |

Figure.2.2 perceuse sensitive.

2. La perceuse à colonne :

Permet de réaliser des perçages courants, avec des diamètres importants. Peut posséder un mouvement d'avance automatique.



- | | |
|--|--|
| 1. Moteur à deux vitesses, | 4. Mandrin, |
| 2. Carter de protection des poulies et de la courroie, | 5. Foret |
| 3. Levier pour le travail en sensitive. | 6. Table (tablier) à hauteur réglable. |

Figure.2.3 la perceuse à colonne

3. La perceuse radiale :

Permet d'amener le foret au dessus des différents trous à percer par l'intermédiaire d'un bras radial.

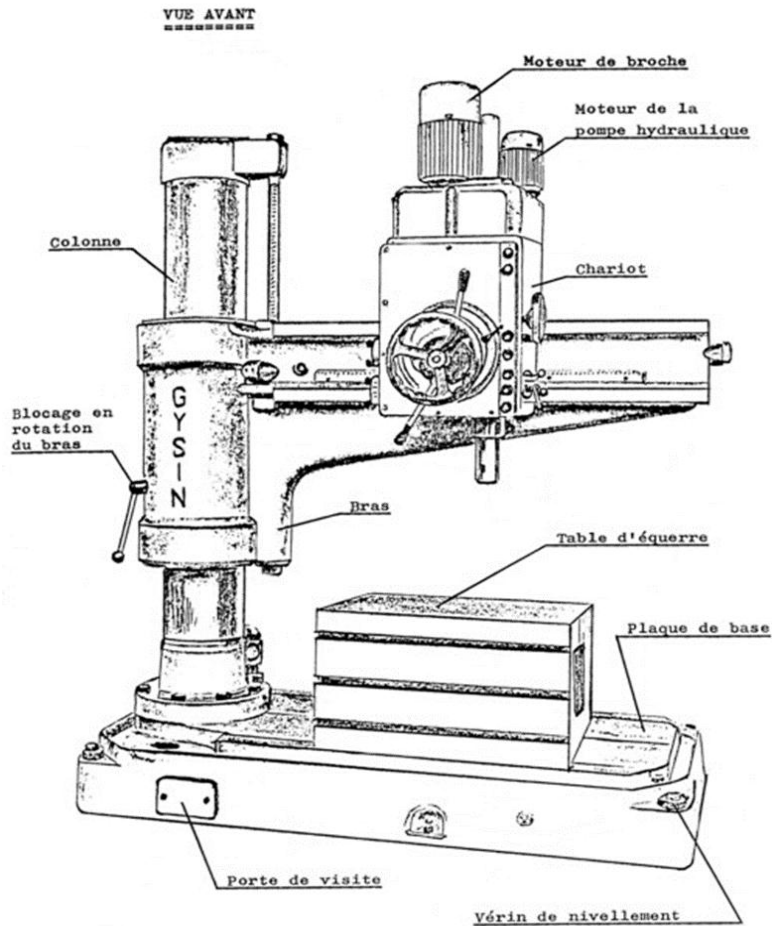


Figure.2.4 la perceuse radiale

4. Perceuse à broches multiples :

Les broches multiples sont fixées sur un même support et sont entraînées en partant de la principale, par des cardans et des engrenages. (Plusieurs trous dans une même pièce).

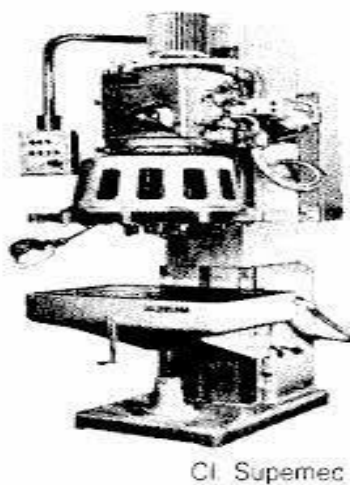


Figure.2.5 la perceuse à broches multiples.

5. Perceuse Multibroches :

Plusieurs machines à percer sur un seul bâti. Leurs broches sont commandées indépendamment l'une de l'autre. (Permet de faire les différentes opérations pour un même trou).

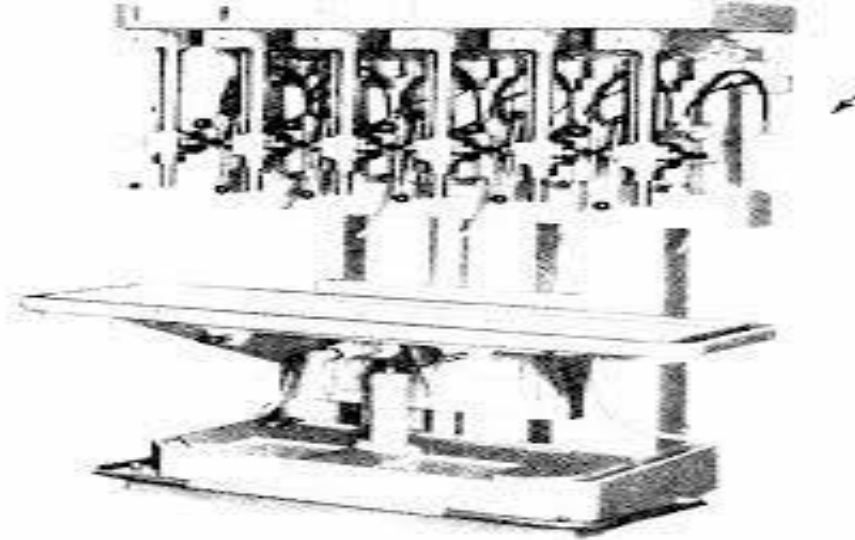


Figure .2.6. la perceuse multibroches

2.4. Les types de perçage :

1. Perçage ponctuel :

Le but du Perçage ponctuel est de percer un trou qui servira de guide pour percer le trou final. Le trou n'est percé que partiellement dans la pièce car il n'est utilisé que pour guider le début du prochain processus de perçage.

2. Perçage au centre :

Le but du perçage central est de percer un trou qui servira de centre de rotation pour les opérations suivantes possibles. Le perçage au centre est généralement exécuté à l'aide d'un foret avec une forme spéciale, connu comme un foret au centre.

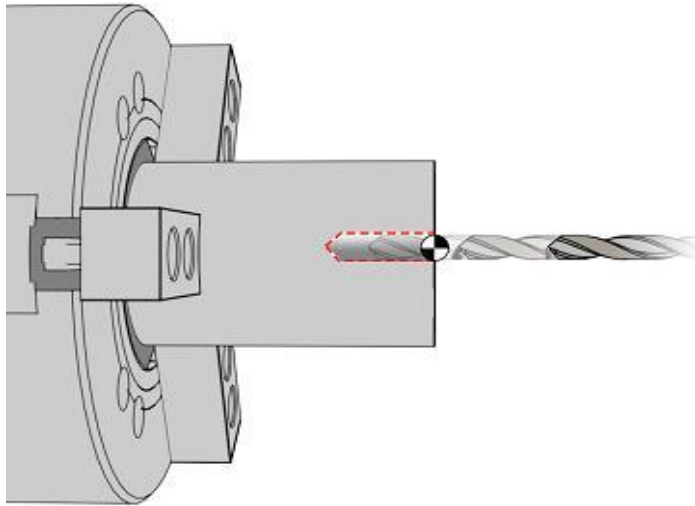


Figure.2.7 l'opération de perçage au centre

3. Perçage profond (forage) :

Le perçage en profondeur est défini comme une profondeur de trou supérieure à dix fois le diamètre du trou. Ces types de trous nécessitent un équipement spécial pour maintenir la rectitude et les tolérances. D'autres considérations sont la rondeur et la finition de surface.



figure.2.8 l'outil de perçage profond (forage).

4. Micro-perçage :

Le micro-perçage désigne le perçage de trous de moins de 0,5 mm. Le perçage des trous à ce petit diamètre présente des problèmes plus importants car les forets alimentés par le liquide de refroidissement ne peuvent pas être utilisés et des vitesses de broche élevées sont nécessaires. Des vitesses de broche élevées qui dépassent 10 000 tr / min nécessitent également l'utilisation de porte-outils équilibrés.

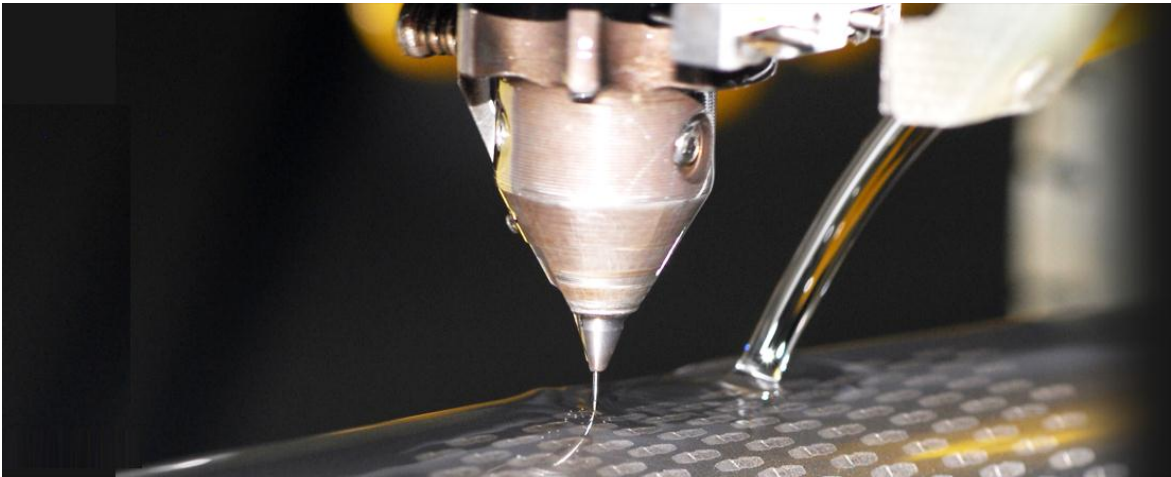


Figure .2.9 l'opération micro-perçage

5. Perçage orbital :

Le perçage orbital est basé sur la rotation d'un outil de coupe autour de son propre axe et simultanément autour d'un axe central décalé par rapport à l'axe de l'outil de coupe. L'outil de coupe peut ensuite être déplacé simultanément dans une direction axiale pour forer ou pour usiner un trou ou combiné avec un mouvement de côté arbitraire pour usiner une ouverture ou une cavité.

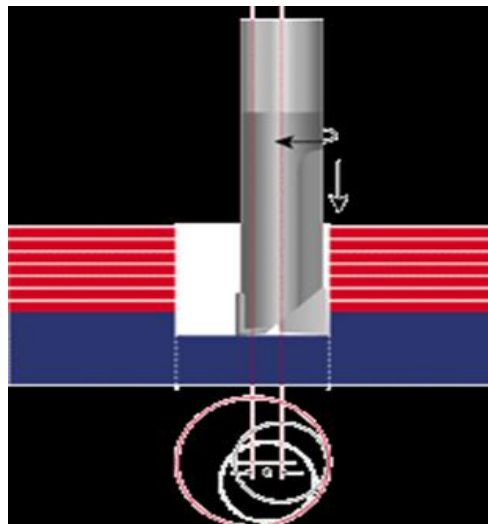


Figure .2.10 l'opération de perçage orbital

2.5 le foret :

Un foret ou une mèche est un outil qui sert à faire ou usiner des trous, le plus souvent avec une perceuse. Il en existe différents types suivant la géométrie du perçage à réaliser et les matériaux usinés. Un foret travaille en coupant la matière à son extrémité ; si la coupe survient sur le flanc il s'agit d'une fraise. Certains forets réalisent les deux : les forets aléseurs.

Le terme foret désigne l'outil de perçage dans du métal. Pour le bois ou les matériaux minéraux (bétons ou autre), c'est le terme de mèche qui est à utiliser (mèche à bois, mèche à béton).

Le foret le plus répandu est le foret hélicoïdal : c'est un cylindre dans lequel sont pratiquées des goujures (rainures hélicoïdales). Lorsque les goujures ne sont pas jointives, la partie de cylindre entre deux goujures s'appelle le listel. L'extrémité du foret est généralement conique, mais les mèches à bois ou à béton présentent parfois des dents en tête de listel pour améliorer la finition et faciliter le centrage.

En règle générale, plus le métal à percer est dur et plus l'angle de pointe est grand.

il faut bien veiller à l'angle de dépouille qui forme l'angle de coupe : s'il est absent, l'arrière du cône de pointe « talonne » le fond du trou lorsque le foret coupe le métal. Si c'est le cas, le foret s'échauffe et refuse de pénétrer.

2.6.Morphologie d'un foret :

Le foret utilisé pour les travaux de perçage courants est le foret hélicoïdal.

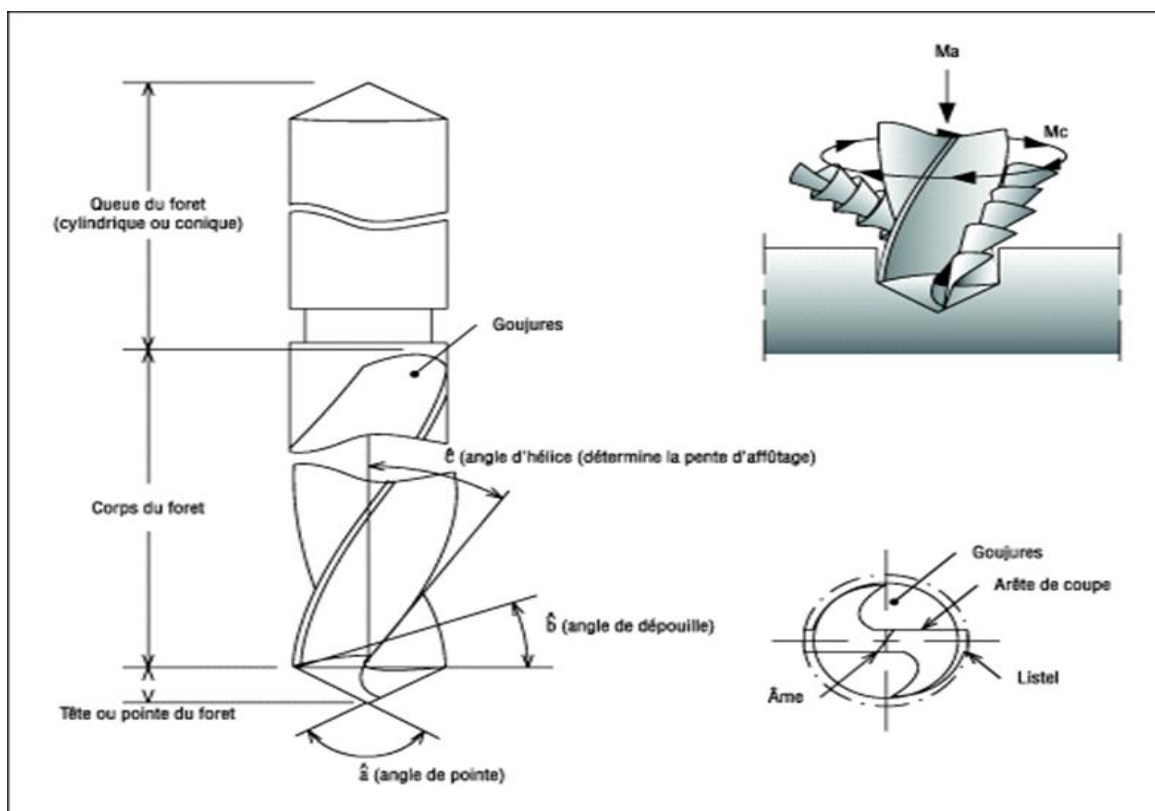


Figure. 2.11. le foret hélicoïdal

1. Le corps

constitué par un cylindre dans lequel ont été fraisées deux rainures hélicoïdales servant au dégagement des copeaux et au passage du lubrifiant. Certains gros forets sont obtenus par torsion d'une lame profilée spécialement.

La section du corps n'est pas circulaire, on remarque le long de chaque rainure une surface étroite nommée cordon ou listel suivie d'une partie en retrait appelée dos. Diamétralement opposés, les deux listels constituent les surfaces de guidage.

La partie qui sépare les deux rainures s'appelle l'âme du foret; elle s'épaissit de la tête vers la queue.

Le foret est légèrement conique; son diamètre diminue de la tête vers la queue afin de faciliter son dégagement (0,025 à 0,15 mm par 100 mm de longueur).

2. La tête

ou partie active formée par les deux surfaces d'affûtage: parties coniques dont l'arête d'intersection forme le sommet du foret.

Les arêtes tranchantes, ou lèvres du foret, sont déterminées par les intersections des surfaces coniques et des rainures hélicoïdales.

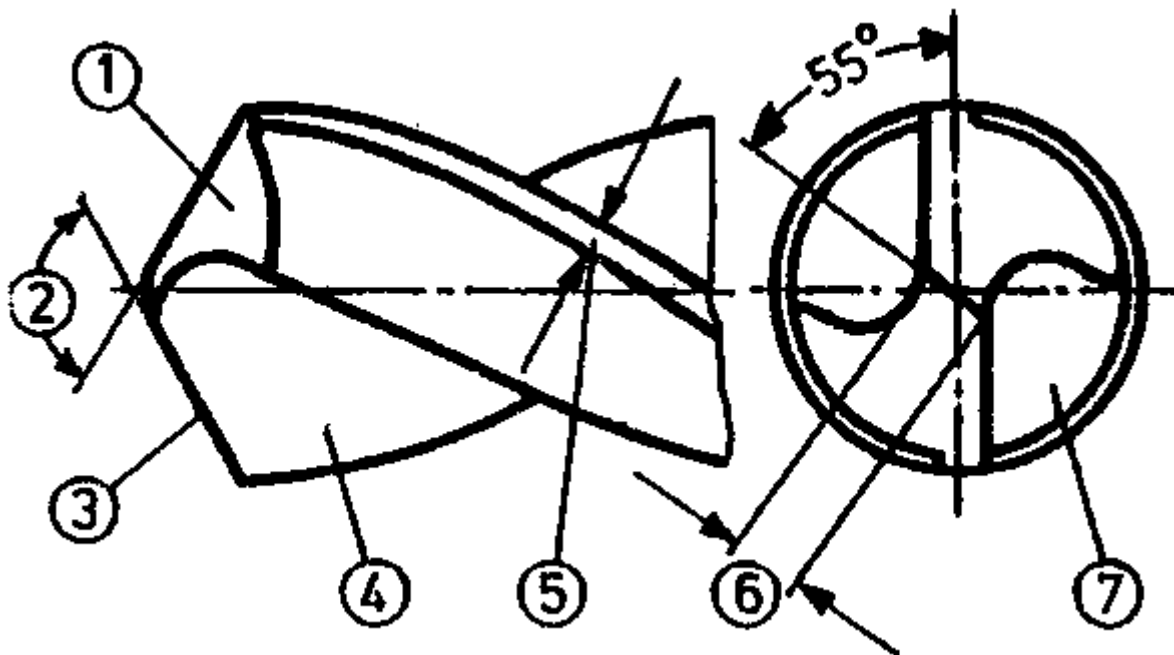
3. La queue

est cylindrique (diamètre max. 16 mm) ou tronconique (> 10 mm). Les queues tronconiques se terminent par un tenon d'entraînement qui empêche toute rotation dans l'organe de la machine.

Caractéristiques commerciales d'un foret hélicoïdal:

- le diamètre, marqué sur la queue, ou sur le collet;
- le sens d'inclinaison des rainures hélicoïdales: le plus souvent à droite, c'est-à-dire que le foret doit tourner dans le sens des aiguilles d'une montre;
- la série: courte (série courante), ou longue (perçage de trous profonds), ou extra courte;
- la forme de la queue; la matière.

Désignation de la tête d'un foret:



1. Surface d'incidence.

2. γ angle de pointe.

3. tranchants principaux ou lèvres.

4. Rainure de copeaux aussi appelé surface de dépouille.

5. Listel.

6. Tranchant transversal ou âme ou γ - psi - angle de tranchant transversal (env. 55°).

7. Rainure de copeaux.

Figure.2.12 La tête d'un foret.

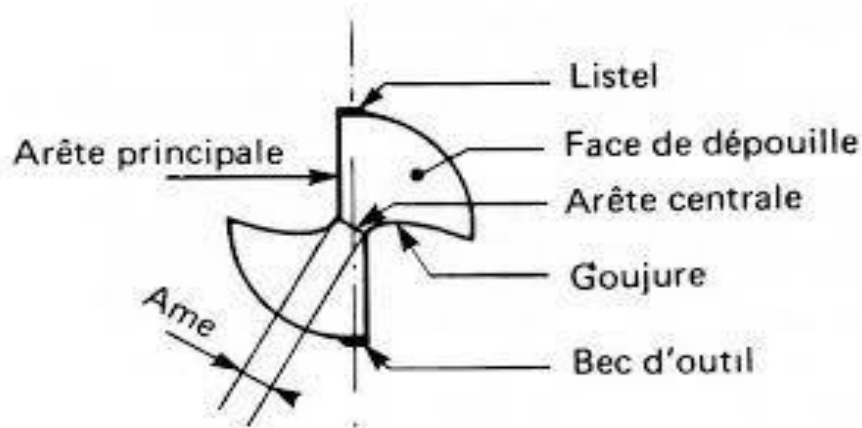


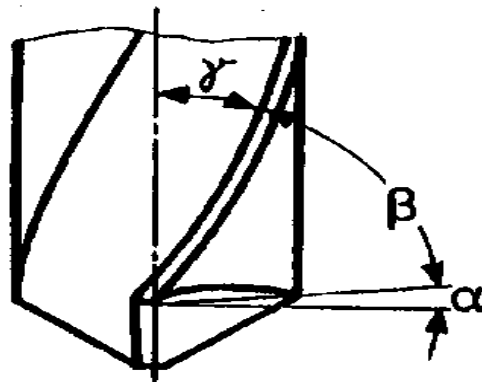
Figure. 2.13 La tête d'un foret hélicoïdal.

arêtes de coupe : elles assurent la formation du copeau et le centrage du foret dès l'attaque dans la matière. La géométrie des parties actives est déterminée par l'affûtage ; elle conditionne la qualité du travail réalisé ainsi que la tenue à l'usure du foret.

Les goujures : elles forment la face de coupe de l'outil et participent à la formation du copeau, elles servent également à évacuer celui-ci et à amener le fluide de coupe au niveau des parties actives. La forme et l'état de surface des goujures ont une grande importance pour la formation et l'évacuation du copeau.

Les listels: ils frottent sur la portion du trou usiné, ils assurent le guidage de l'outil, ils sont généralement rectifiés.

Les angles d'un foret:



- α l'angle d'incidence.
- β l'angle de coin.
- γ l'angle de dépouille

Figure. 2.14 Angle d'un foret.

2.7 La classification des forets :

1. Suivant leur forme, on distingue :

- les forets **cylindriques** : série extra-courte, courte, longue et extra-longue.
- les forets à **queue conique** ou cône morse (utilisés pour le travail de série) : série longue, série courte et série extra-longue.
- les forets **aléseurs** : à queue cylindrique et à queue conique.

2. Suivant leur angle d'hélice, on classifie les forets dans les catégories suivantes :

- à hélice **normale** - pour les perçages courants.
- à hélice **longue** - pour les métaux à copeaux fragmentés.
- à hélice **courte** - pour des métaux à copeaux continus.

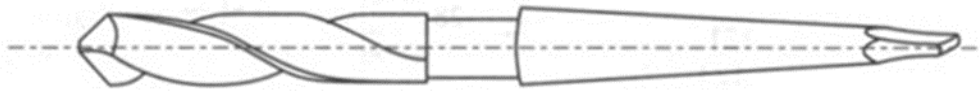


Figure. 2. 15 foret queue conique

On utilise des forets à queue conique pour les diamètres supérieurs à 13 mm et des forets à queue cylindrique pour les diamètres inférieurs ou égaux à 13mm.

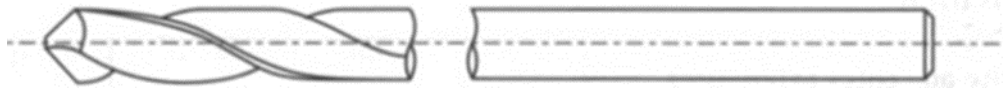




Figure. 2. 16 foret queue cylindrique


Les forets sont fabriqués en acier rapide et la qualité de l'acier est inscrite sur le foret avec les symboles: ARO (Acier Rapide Ordinaire), ARS (Acier Rapide Supérieur), et en anglais, HSS(High Speed Steel).

Les qualités supérieures des forets sont à réserver pour les productions intensives.

2.8. Les différents modèles de forets à métaux :

Il existe différents types de forets pour perceuse selon la géométrie du perçage à réaliser et la pièce à usiner. Le foret **le plus répandu est le foret hélicoïdal**.

foret hélicoïdal	Il possède des goujures (= rainures) hélicoïdales.	
foret étagé	Il permet de réaliser plusieurs perçages de diamètres et angles différents en une seule opération (par exemple	

	<p>: le passage d'une vis de fixation et une fraisure pour la tête à fraisée d'une vis).</p>	
<p>foret à centrer</p>	<p>Il est très court et très rigide de manière à réaliser un petit trou positionné avec une très grande précision. Il peut être utilisé avant de percer avec un foret classique de manière à bien le positionner, ou utilisé pour effectuer un trou de centre pour une pointe de tour. Il existe trois types de géométries pour le foret à centrer :</p> <ul style="list-style-type: none"> -le type A qui ne possède pas de chanfrein de protection -le type B qui possède un chanfrein de protection -le type R qui a un profil curviligne et dont la pointe est en forme de rayon (idéal pour percer le verre, le carrelage et la céramique). 	




foret conique	Il permet le perçage de paroi de faible épaisseur.	
foret alésoir	Il permet de faire le travail du foret et de l'alésoir en même temps, cependant sa précision pour le diamètre est moindre comparé à l'utilisation des deux outils.	
foret à plaquette	Il sert au perçage de trous de grand diamètre. Il peut être utilisé à une vitesse bien plus importante que le foret monobloc hélicoïdal et sur une plus grande variété de matières.	

Figure 2.17 Les différents modèles de forets à métaux

2.9. Les différents types de queue :

La queue du foret est la partie qui va être attachée à la machine-outil. Le foret possède trois types de queue :

- la **queue cylindrique** qui nécessite un mandrin à mâchoires pour serrer le foret.
- la **queue « Cône Morse »** qui nécessite un mandrin conique correspondant au cône Morse.

- la **queue SDS** qui nécessite un mandrin SDS rétractable de même dimension pour réaliser un montage et un serrage automatiques.

2.10. Matériaux d'un foret :

Le foret peut être fabriqué avec différentes matières, chacune ayant sa spécificité. Voici les principales matières :

2.10.1 Acier rapide supérieur ou HSS :

Acier fortement allié dont la dureté est élevée (> 60 HRC) et garantie jusqu'à 600°C. Par conséquent, il possède une très bonne qualité de coupe. L'affûtage peut s'effectuer à la main. Il est généralement utilisé pour le perçage, le taraudage, l'alésage et le centrage.

L'acier rapide HSS est composé de carbone, de chrome, de vanadium, de tungstène et de molybdène. Il peut également contenir du cobalt. Selon sa teneur en cobalt, les applications du foret HSS change :

- HSS sans cobalt : acier rapide standard pour les outils d'usinage comme le foret.
- HSS Co5% : acier rapide d'une teneur de 5% de cobalt à utiliser pour un usinage nécessitant une grande sollicitation thermique de l'outil. Cette nuance offre une bonne tenue à l'échauffement tout en ne fragilisant pas trop l'outil.
- HSS Co8% : acier rapide d'une teneur de 8% en cobalt pour un usinage nécessitant une très grande sollicitation thermique de l'outil. Cette nuance est idéale pour les aciers fortement alliés au chrome, vanadium, tungstène et molybdène. Seul inconvénient : l'outil devient cassant.

2.10.2 Carbure :

Ce n'est pas un acier à proprement parlé. Il s'agit plutôt d'un mélange fritté de carbure de tungstène (60 à 97 %), de métaux de liaison, titane et tantale (1 à 35 %) et de cobalt ou de nickel (3 à 30 %). Les proportions du mélange ne sont pas fixes, chaque proportion donne une qualité de carbure différente. Par exemple, une forte teneur en cobalt donne de la ténacité au carbure. Au contraire, une faible teneur de cobalt rend le foret carbure monobloc plus dur et plus fragile mais en même temps plus résistant à l'usure.

Sa dureté de 850 à 2 000 HV est maintenue jusqu'à une température de 1 000°C. Grâce à toutes ses qualités, on peut utiliser des vitesses de coupe et des avances plus élevées que celles pratiquées avec les outils en acier rapide.

2.10.3 Céramiques :

Les matériaux céramiques sont durs et peuvent conserver leurs propriétés aux températures très élevées induites lors de l'usinage des alliages de titane. Deux types de céramiques sont répertoriées : à base d'oxyde d'aluminium (Al_2O_3) ou à base de nitrure de silicium (Si_3N_4). Leur faible conductivité thermique, leur mauvaise résistance à la fracture (ténacité) et leur activité chimique avec le titane, ne permettent pas de les utiliser d'après Ezugwu et al. [6]. Les outils présentent assez rapidement une usure en cratère importante, selon Klocke et al. [7]. Les céramiques à base d'alumine se dégradent rapidement par un phénomène d'attrition, selon Dearnley et al. [8].

2.10.4 Diamant poly-cristallin (PCD) :

Le diamant monocristallin est le matériau le plus dur, environ 7500 HK (Dureté Knoop). En usinage, ce sont des diamants poly-cristallins de synthèse qui sont généralement utilisés. Ils sont obtenus à partir des cristaux de diamants fins, agglomérés par frittage sous des températures et des pressions élevées. Ils offrent une dureté d'environ 5000 HK (49 GPa) et une conductivité thermique élevée, de l'ordre de $560 \text{ W.m}^{-1} .\text{K}^{-1}$. Ils se présentent soit en pastilles à braser sur la partie active de l'outil, soit ils constituent l'ensemble de l'outil. Les performances des outils PCD dans l'usinage des alliages de titane est discutée dans la littérature. Selon Nabhani [14], le PCD présente une résistance à l'usure deux fois supérieure à celle des c-BN et trois fois supérieure à celle des carbures. Ezugwu [10] montre également que les outils PCD présentent des durées de vie élevées, pour des vitesses de coupe comprises entre 175 m/min et 300 m/min, sous lubrification conventionnelle et sous haute pression (203 bars). Les travaux de Hartung et al. [11] ont en effet montré que la formation de la couche de TiC est favorisée. D'après Schultz [12], l'outil en PCD ne convient pas à l'usinage à grande vitesse de l'alliage TA6V à cause des températures élevées générées et de cette réactivité du matériau usiné, qui conduit à la dégradation du diamant. Du point de vue économique, le choix du PCD n'est pas toujours viable selon Ezugwu et al. [6] Le coût d'un outil PCD est en effet dix fois supérieur à celui d'un carbure.

2.11. Les différents affûtages du foret :

Notre gamme de forets comporte 8 types d'affûtages différents. Chacun a une utilisation spécifique.

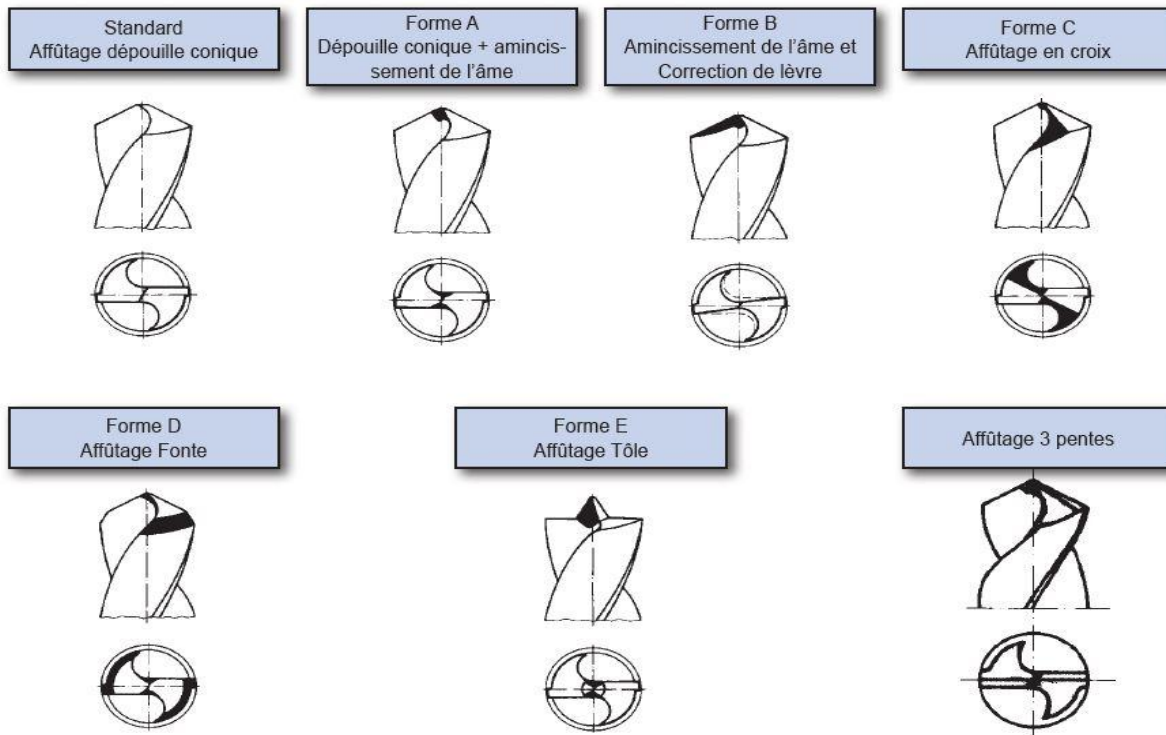


Figure. 2.18 les différents affutages du foret

- **Affûtage standard (dépouille conique) :** c'est le plus fréquemment utilisé, il est aussi le plus facile à réaffûter. On le retrouve surtout sur les forets en nuance HSS et en goujures de types N, W ou H.
- **Affûtage Forme A :** il est surtout utilisé pour les forets de gros diamètres a fin de réduire l'effort de poussée axiale nécessaire au perçage.
- **Affûtage Forme B :** affûtage moins courant qui permet de favoriser la fragmentation du copeau.
- **Affûtage Forme C :** il est surtout utilisé pour les forets en cobalt qui ont une âme plus épaisse que les forets HSS ou les forets utilisés pour le perçage en électroportatif. Cet affûtage se dit auto-centrant étant donné que la contre dépouille est faite jusqu'à l'axe du foret, ce qui permet d'obtenir une épaisseur d'âme pratiquement nulle au centre du foret et une réduction de la poussée axiale lors du perçage. Son inconvénient se situe au niveau du réaffûtage plus délicat et nécessitant une machine adaptée.
- **Affûtage Forme D :** il est surtout utilisé pour le perçage de la fonte ou des matériaux ayant tendance à s'écailler lors du dégagement du foret. Le fait de réaliser un double angle de pointe (120° puis 90° en général) permet au foret de se dégager progressivement du trou sans provoquer d'arrachements ou d'écailllements de la matière.

- **Affûtage Forme E** : il est surtout utilisé pour l'usinage de tôles. Sa pointe de centrage permet de guider le foret et la forme de l'affûtage permet de limiter les bavures en sortie de perçage.
- **Affûtage 3 pentes** : il est surtout utilisé dans l'industrie automobile et pour l'usinage de la fonte.

2.12.la vitesse de coupe :

La vitesse de coupe est la distance parcourue en une minute, par un point situé sur le listel du foret. Elle est exprimée en m/min. Elle est fonction du matériau percé, de la qualité du foret et de la lubrification.

$$V_c \text{ m/min} = \pi DN/1000.$$

Vc m/min: Vitesse de coupe en mètre/minute.

D: Diamètre du foret, de la pièce, de la fraise exprimé en mètre.

N: Fréquence de rotation en tours par minute (nombre de tours).

- Pour un **acier S235** la vitesse indicative est comprise entre **20 à 40 m/min.**
- Pour un **acier S355** la vitesse indicative est comprise entre **23 à 30 m/min.**
- Pour une **fonte** la vitesse indicative est comprise entre **12 à 18 m/min.**
- Pour un **acier inox austénitique** la vitesse indicative est comprise entre **10 à 20 m/min.**
- Pour un **aluminium et ses alliages** la vitesse indicative est comprise entre **30 à 60m/min.**
- Pour un **cuivre et ses alliages** la vitesse indicative est comprise entre **30 à 60 m/min.**

2.13 La fréquence de rotation :

La fréquence de rotation est exprimée en tours/minutes et elle est fonction de la vitesse de coupe et du diamètre du foret. Elle est définie par calcul avec la formule :

$$N=1000.V_c / \pi.D$$

Avec :

N en tours/minutes.

Vc en m/minutes.

D en mm.

2.14 la vitesse d'avance :

La vitesse d'avance est la vitesse de pénétration du foret dans la matière. Certaines machines sont équipées d'un système d'avance automatique. Elle s'exprime en mm/tour. Sa valeur dépend des mêmes paramètres que pour la vitesse de coupe, mais aussi du diamètre du forêt.

Vitesse de coupe au perçage avec outils en acier rapide							
Matière	Vitesse de coupe en m/min	Diamètre du foret en mm					
		4	8	10	15	20	30
		Avances en mm/tr					
Acier non allié	25-35	0.10	0.18	0.22	0.40	0.40	0.45
Acier allié	15-25	0.08	0.15	0.20	0.30	0.30	0.35
Acier coulé	20-30	0.10	0.20	0.25	0.45	0.45	0.50
Fonte grise < 210HB	25-40	0.12	0.20	0.30	0.50	0.60	0.70
Fonte grise > 210HB	20-30	0.10	0.18	0.25	0.35	0.40	0.45
Acier inoxydable	10-20	0.08	0.15	0.15	0.25	0.30	0.35
Laiton, Bronze	25-35	0.08	0.15	0.20	0.30	0.30	0.35
Aluminium et ses alliages	80-150	0.12	0.20	0.30	0.50	0.60	0.70
Matières synthétiques	25-50	0.15	0.25	0.30	0.40	0.45	0.50

Tableaux2.1: la vitesse de coupe au perçage avec outils en acier rapide et sa vitesse d'avance.

2. 15. Lubrification et perçage à sec ou à lubrification minimale :

Le perçage de trous courts avec des forêts en carbure permet d'atteindre des taux élevés d'enlèvement de matière avec cependant une très importante génération de chaleur. Cette chaleur générée et l'important volume de copeaux produit sont évacués par le liquide de coupe dont l'apport, interne ou externe, s'effectue sous haute pression. Les conditions extrêmes rencontrées en perçage en ce qui concerne l'évacuation des copeaux et les hautes températures rendent nécessaires une pression et un débit correct du liquide de coupe pour garantir un usinage fiable et des résultats de bonne qualité. Il existe des diagrammes fournissant des valeurs guides, mais qu'il faut cependant parfois ajuster en fonction des conditions d'usinage effectives et, entre autres, de la nature de la matière usinée.

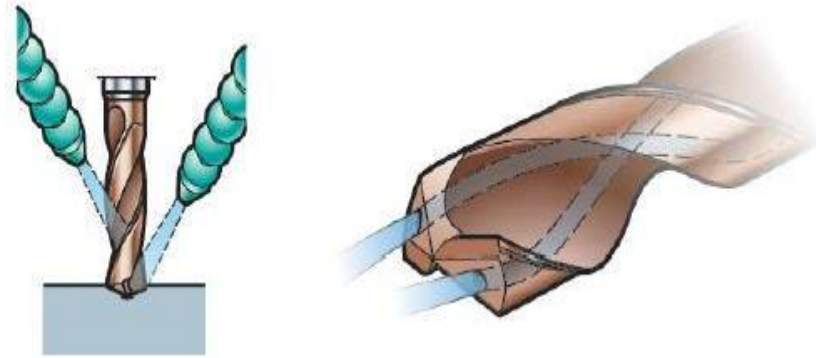


Figure 2.19 Lubrification interne et externe [13]

Aujourd'hui, l'usinage lubrifié est encore largement répandu dans l'industrie mécanique. Cependant des travaux de recherche ont été conduits pour minimiser voire éliminer l'emploi des fluides de coupe et un nouveau concept de lubrification minimale (ou de quantité minimale de lubrifiant) et d'usinage à sec a été introduit [14]. En plus d'être nocifs pour l'environnement et la santé humaine, l'emploi de ces lubrifiants occasionne des coûts de production et d'évacuation des déchets plus élevés. Suivant les pièces usinées, l'usinage à sec permet d'économiser jusqu'à 17% du coût total de la pièce fabriquée, cette économie est principalement réalisée grâce à la suppression de plusieurs postes budgétaires, à savoir : l'approvisionnement en lubrifiant, le traitement et l'évacuation des fluides usagés [15] et le nettoyage des pièces après usinage. La réduction des coûts associée à la minimisation de la pollution.

La caractéristique essentielle de la lubrification minimale est d'obtenir l'effet réfrigérant du lubrifiant par l'application d'un jet d'air comprimé. Un faible apport de lubrifiant est alors nécessaire, à condition qu'il soit injecté de manière efficace dans la zone de coupe. Ce lubrifiant est complètement utilisé et les copeaux formés sont quasiment secs. Cependant, tous les effets produits par l'utilisation classique de la lubrification (fort débit de fluide de coupe) ne sont pas obtenus par la lubrification minimale. Toutefois, les résultats obtenus avec la lubrification minimale en perçage sont excellents en comparaison de ceux obtenus avec la lubrification classique [16]. La lubrification minimale est alors une solution alternative intéressante d'un point de vue économique, mais aussi pour le respect de l'environnement. Elle combine en effet les deux fonctions (refroidissement et lubrification) avec une quantité extrêmement faible de lubrifiant, elle a donc le potentiel suffisant pour combler l'intervalle entre lubrification classique et usinage à sec.

2.16 Formation des copeaux :

La matière à usiner, la géométrie de l'outil, la vitesse de coupe, l'avance et le choix du liquide de coupe influent sur la formation des copeaux. Une forte avance et/ou une vitesse de coupe réduite produisent des copeaux plus courts. La longueur des copeaux peut être considérée comme acceptable lorsque ceux-ci peuvent être évacués sans problème au niveau des goujures. Des essais de l'outil, sous différentes combinaisons de vitesses de coupe et d'avance, dans la matière concernée, sont nécessaires pour trouver les bonnes conditions de fonctionnement de l'outil et de formation des copeaux. Il faut, pour assurer une bonne évacuation du copeau, que les arêtes de coupe forment un copeau continu, donc ne débouchent pas transitoirement dans le vide après amorçage du processus de coupe. Quand le foret attaque la surface de la pièce selon une direction oblique, il est donc nécessaire que le rapport vitesse de coupe sur vitesse d'avance soit inférieur à une valeur critique.

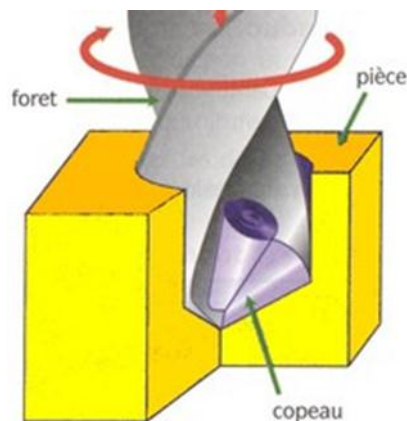


Figure. 2.20 Le copeaux pendant le perçage.

2.17.Les bavures :

Comme pour la majorité des opérations d'usinage, le perçage d'un trou débouchant peut entraîner la formation d'une bavure sur la face inférieure et parfois supérieure de la pièce. Le terme bavure signifie un surplus involontaire de matière souvent de très faible épaisseur qui n'existe pas avant le perçage, c'est une petite lamelle de métal très déformée restant attachée au bord du trou (Figure 21). La plupart des problèmes liés à la bavure sont causés par la bavure inférieure. Ces problèmes sont très variables : du mauvais alignement pour les assemblages,

réduction de la durée de vie en fatigue (causée par le comportement de la bavure comme un point d'initiation d'une fissure) et des sérieuses dégradations dans les pièces en mouvement. Pour ces raisons il est préférable d'éviter ou de minimiser les bavures, sinon une opération supplémentaire d'ébavurage s'avère parfois nécessaire. La forme et la taille de bavure dépend de plusieurs paramètres : par exemple la matière percée et les conditions de coupe

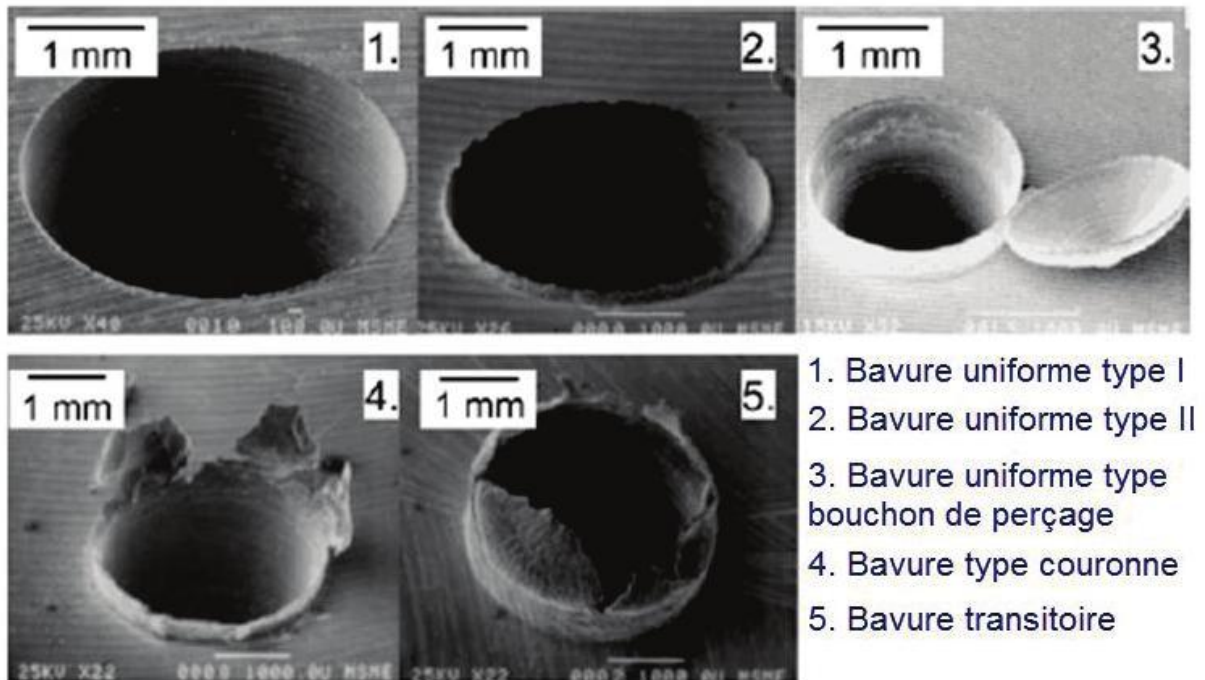


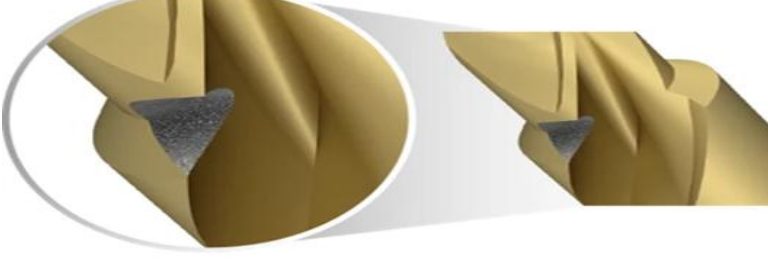


Figure 2.21 les différents types de Bavures.

Plusieurs chercheurs ont étudié ce phénomène afin de comprendre et de contrôler la formation des bavures [17]. Cependant aucun modèle analytique ou empirique n'est capable de résoudre efficacement ce problème. En effet la complexité de l'opération du perçage et les nombreux paramètres qui gouvernent la formation de la bavure rendent la modélisation difficile.

2. 18.Types d'usure des forets en HSS ou en carbure et les causes :

<p>Ecaillage des coins</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La pièce bouge lors de l'entrée du foret (ex: Serrage de la pièce non optimal). • Lubrification insuffisante. • Défaut de concentricité trop important.. 	
<p>Ecaillage des listels</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Instabilité de la pièce. • Erreur de manipulation. 	
<p>Ecaillage de la zone étagée</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Stabilité d'usinage insuffisante • Force et qualité de serrage de l'outil non optimales 	

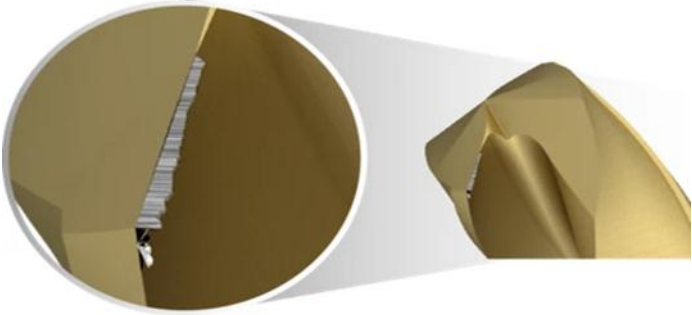
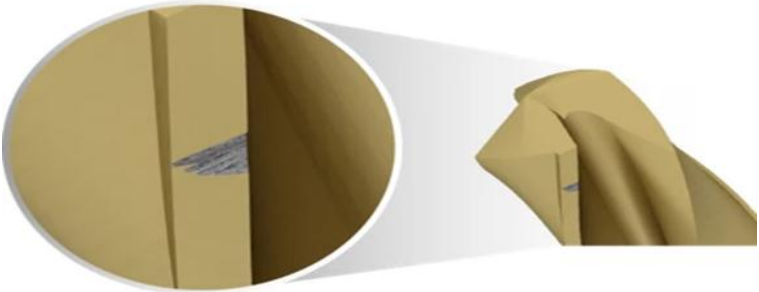
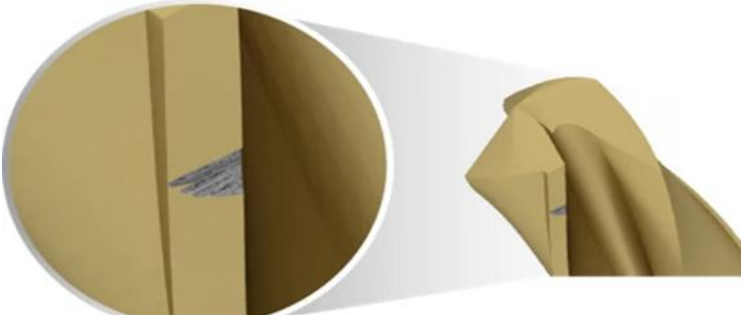
<p>Arête rapportée</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vitesse de coupe trop faible. • Témoin négatif sur l'arête de coupe. • Lubrification insuffisante. 	
<p>Rupture des listels</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La pièce bouge lorsque le foret débouche "micro vibrations". • Lubrification insuffisante. 	
<p>Rupture de l'arête principale</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Conditions d'usage instables. • Coupes interrompues. • Degré maximal d'usure dépassé. 	

Figure 2.22 Types d'usure des forets en HSS ou en carbure et les causes.

2.19 La température pendant le perçage :

Le perçage est le procédé d'usinage qui consiste dans la création des trous dans une pièce donnée en utilisant un foret. Le foret est un outil complexe de coupe qui a deux arêtes symétriques qui coupent et enlèvent la matière et une zone centrale qui déforme, repousse la matière et l'écroute (zone d'indentation). Les deux arêtes coupantes se trouvent sur une surface généralement conique, la pointe du foret. Les goujures du foret (hélicoïdales) ont pour rôle d'évacuer les copeaux. Du point de vue thermique, le perçage est l'opération d'usinage la plus

délicate. La coupe et l'indentation génèrent de la chaleur. la chaleur difficilement évacuée puisque la zone de coupe est confinée à l'extrémité du trou percé. Une partie est évacuée par les copeaux et l'apport d'un fluide de coupe permet de réduire l'élévation de température dans l'outil et la pièce. La lubrification ou le refroidissement le plus efficace étant celui réalisé par le centre de l'outil. Cependant, l'emploi des lubrifiants est aujourd'hui limité et des solutions d'usinage à sec ou avec un minimum de fluide de coupe sont recherchées. La géométrie du foret joue un rôle non négligeable dans la coupe et donc dans la production de chaleur lors du perçage. Afin de limiter l'échauffement du foret et par voie de conséquence les mécanismes d'usure il est nécessaire d'optimiser la géométrie du foret. La température a un effet important sur l'usure du foret, la durée de vie du foret, la qualité du trou, le niveau des contraintes résiduelles, les altérations métallurgiques de la surface du trou.

L'optimisation de la géométrie du foret et la maîtrise de l'échauffement du foret sont ainsi des préoccupations importantes pour les fabricants d'outils. Pour connaître l'échauffement du foret, il est alors primordial de pouvoir mesurer les températures de l'outil et la pièce percée. Une difficulté importante vient ici du fait que le foret est en mouvement de rotation. Il est présenté dans la suite, différentes techniques de mesure en perçage.[13]

2.20 conclusion :

Le perçage des trous courts de diamètre généralement compris entre 10 et 20 mm est une opération très courante dans l'industrie mécanique. Les outils employés pour réaliser ce type de trous sont majoritairement des forets monoblocs. Les progrès effectués dans le domaine des machines-outils ont incités les fabricants des forets à développer des géométries de plus en plus complexes et à utiliser dans la fabrication de ceux-ci des matériaux et des revêtements de plus en plus performants. Ces forets munis d'une géométrie modifiée ont radicalement transformé les conditions de perçage des trous courts. Leur propriété d'auto-centrage, les tolérances étroites qu'ils respectent, et les taux nettement plus élevés d'enlèvement de matière montrent l'efficacité de ces géométries. Malgré ces améliorations, de nombreux problèmes liés au perçage peuvent avoir lieu, comme par exemple : l'erreur de forme, de surface, les bavures, le délaminage dans le cas des matériaux composites, la vibration, le broutement et l'usure ou la rupture de l'outil. Ces difficultés sont dues à un mauvais choix de l'outil ou des conditions de coupe utilisées. En outre, des nouvelles nuances de matériaux sont développées dont leur usinabilité et leur condition de coupe optimale sont à déterminer.

Pour résoudre ces problèmes, il faut choisir voir même développer, la géométrie du foret, la matière et le revêtement de l'outil. Pour valider la géométrie et déterminer les meilleures

conditions et stratégies de coupe pour un matériau donné, de nombreux essais. Optimiser le procédé et économiser du temps et de l'argent sont les principales motivations d'une modélisation du perçage.

Chapitre III : Simulation numérique et analyse des résultats

3. 1. Introduction :

La simulation numérique est particulièrement basée sur la méthode des éléments finis, représente actuellement une phase inévitable dans tous les projets de conception, de fabrication et d'optimisation des produits et des procédés. Elle prend de plus en plus d'importance du fait des exigences accrues en termes de qualité, de fiabilité et de coût [18]. Dans ce chapitre nous avons modalisé la géométrie de foret et l'opération du perçage en 2D et 3D avec le logiciel de dessin et de conception CAO (Solidworks) . est nous avons simuler ce modèle par le logiciel basé sur la méthode des éléments finis . Ce logiciel permet d'avoir la distribution de la température lors du perçage.

3. 2. Le modèle :

La pièce est l'objet 3D monobloc. La modélisation d'une telle entité dépendra de la culture de l'utilisateur. Comme de nombreux logiciels conviviaux, Solidworks permet d'aboutir à un même résultat apparent par des voies souvent différentes. C'est lors de la retouche de ces fichiers ou de leur exploitation qu'on appréciera la bonne méthode. Une pièce est la réunion d'un ensemble de fonctions volumiques avec des relations d'antériorité, des géométriques, des relations booléennes (ajout retrait)... Cette organisation est rappelée sur l'arbre de construction. Chaque ligne est associée à une fonction qu'on peut renommer à sa guise.[18].

3.2.1.Etapes pour obtenir un volume :

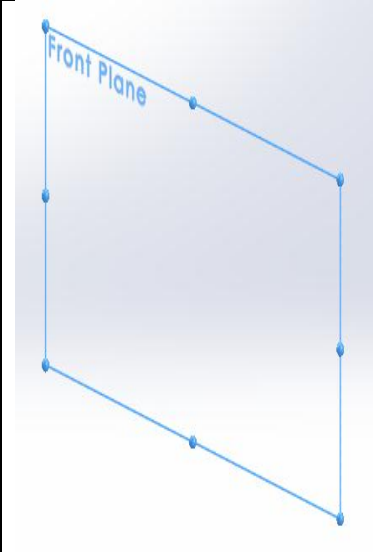
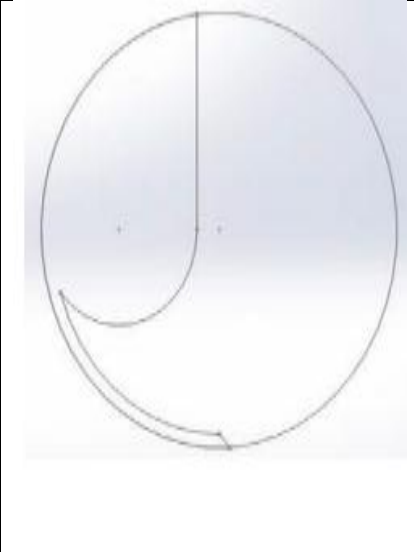

Choisir un plan	Tracer une esquisse	Générer un volume
		

Figure .3.1. Etapes pour obtenir un volume.

3.2. 2. Assemblages :

Les assemblages sont obtenus par la juxtaposition de pièces. La mise en position de pièces est définie par un ensemble des contraintes d'assemblage associant, deux entités respectives par une relation géométrique (coïncidence, tangence, coaxialité...). Dans une certaine mesure, ces associations de contraintes s'apparentent aux liaisons mécaniques entre les pièces. Le mécanisme monté, s'il possède encore des mobilités, peut être manipulé virtuellement. On peut alors aisément procéder à des réglages à l'aide des différents outils disponibles (déplacement composants, détection de collision ou d'interférence, mesure des jeux, etc.) [19].

3.2.3. Les étapes de l'assemblage :

- a. Ajouter des pièces dans un assemblage
- b. Déplacer et faire pivoter des composants dans un assemblage
- c. On peut positionner et orienter les composants à l'aide des contraintes qui créent des relations entre les composants[21].

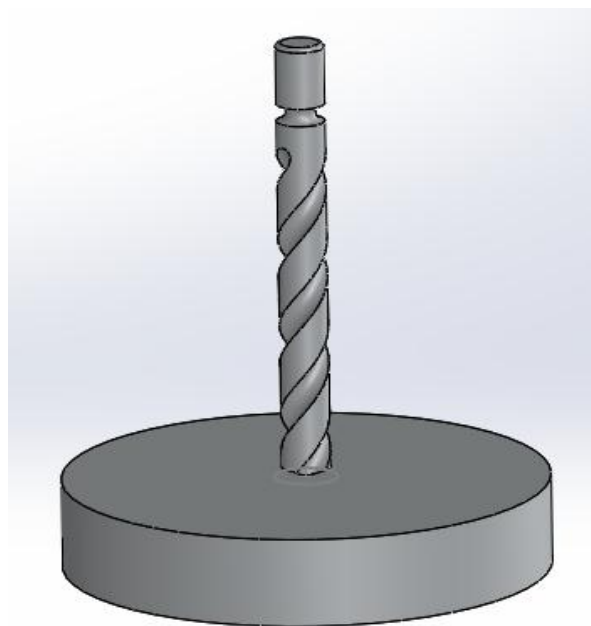


Figure 2.2L'ensemble outil / pièce.

3.3 .Mise en plan :

Une fois les pièces ou les assemblages sont créés, il est possible de générer automatiquement les mise en plan (représentation 2D) avec insertion automatique des cotes et liaisons entre les

vues 2D et le modèle 3D. De plus, des fonctions d'habillage (texte, hachure, cotation,...) permettent à l'utilisateur d'annoter rapidement un plan. Pour faire des mises en plan, il est tout d'abord nécessaire d'avoir des fonds de plan pour y projeter les dessins. Ces fonds de plans ont un format (A4, A3,...), une orientation (portrait ou paysage) et contiennent éventuellement un cartouche. Un certain nombre de fonds de plan de base sont proposés à l'origine, mais il est préférable, avant de commencer, de personnaliser les fonds en plan que l'on utilisera par la suite.

3.4. Application au modèle numérique :

Des modèles numériques simulant l'usinage ont déjà été réalisés avec le logiciel d'éléments finis ANSYS intégrant la loi de Johnson-Cook[[20].

Il y a plusieurs paramètres importants à prendre en compte pour la modélisation de l'usinage. Nous cherchons donc à simuler en éléments finis la formation du copeau. Nous avons ensuite affiné notre modèle en modifiant la dimension des composants pour avoir un résultat précis.

On donne dans ce qui suit la démarche à effectuer pour simuler l'opération de perçage en 3D du cuivre standard avec le logiciel ANSYS.

3.4.1. ANSYS explicite:

Nous utiliserons pour notre démarche de simulation, la version explicite du logiciel ANSYS : un produit d'analyse d'éléments finis qui adopte un schéma d'intégration explicite pour résoudre les problèmes dynamiques ou quasi-statiques non-linéaires.

Le critère de base de cette intégration permet aussi la simplification de la gestion des contacts (frottements), dans notre cas on l'adapte pour la coupe des métaux.

3.5. Lois de comportement:

Le choix de la loi de comportement adaptée est primordial dans l'établissement d'un modèle numérique.

Pour décrire le comportement mécanique et thermomécanique de la pièce en cuivre standard, la loi de type Johnson Cook [20] a été choisie.

3.5.1. Comportement mécanique de la pièce:

Un modèle 3D basé sur une approche lagrangienne a été employé pour mener à bien une analyse couplée thermomécanique dans le code de calcul ANSYS /Explicit, Le modèle se compose

ici d'une pièce déformable et d'un foret rigide.

Le comportement du matériau usiné est pris en compte par une loi de type Johnson-Cook. C'est un modèle semi-empirique très utilisé pour lequel les paramètres sont disponibles pour de nombreux métaux [20].

$$\sigma = (A + B(\bar{\epsilon}^p)^n) \left(1 + C \ln \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0}\right) \left[1 - \left(\frac{T - T_0}{T_{amb} - T_0}\right)^m\right]$$

Avec :

(ϵ) : c'est la vitesse de déformation plastique.

$(\bar{\epsilon})$: c'est le seuil à partir duquel la vitesse de déformation est prise en compte.

T_{amb} : c'est la température ambiante ou de référence.

T_0 : c'est la température de fusion.

$(A, B \text{ et } n)$: sont les paramètres représentant l'écrouissage.

C : c'est la constante définissant la dépendance à la vitesse de déformation.

m : c'est le paramètre définissant la dépendance à la température.

3.5.2. Critère d'endommagement de Johnson-Cook:

La loi d'endommagement de Johnson et Cook [20] est utilisée comme critère de rupture ductile. Ce critère fait apparaître les trois mêmes termes:

- La contrainte équivalente;
- La vitesse de déformation ;
- Et les températures (Ambiante, transition et fusion du matériau+).

$$\epsilon_f = \left(D_1 + D_2 \exp D_3 \frac{\sigma_m}{\sigma_{eq}}\right) \left(1 + D_4 \ln \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0}\right) \left(1 + D_5 \left(\frac{T - T_0}{T_{amb} - T_0}\right)\right)$$

ϵ_f : La déformation équivalente à rupture du matériau.

σ_m : La contrainte moyenne.

σ_{eq} : La contrainte équivalente de Von Mises.

D_1, D_2, D_3, D_4 et D_5 : sont les constantes de rupture de Johnson-Cook(les paramètres d'initiation de l'endommagement du matériau usiné à déterminer expérimentalement.

3.6.Simulation du problème en ANSYS :

3.6.1.Les étapes à suivre pour la modélisation :

Le code d'éléments finis ANSYS AIM 17.2 est utilisé dans cette partie pour simuler le comportement du mécanisme de contact par frottement des deux corps (pièce et foret) lors d'une opération de perçage . Ce code possède des algorithmes de gestion du contact avec frottement basés sur la méthode des multiplicateurs de Lagrange, ou bien une méthode de Lagrangien augmentée. Pour commencer l'étude, la création du modèle sur ANSYS Workbench est une étape très importante. Il faut sélectionner l'analyse explicite dynamique pour spécifier le type de résolution. Cette dernière représente la modélisation de la pièce et de l'outil (foret) .

La deuxième étape consiste à définir le matériau. Les matériaux vont être sélectionnés dans la bibliothèque de logiciel en caractérisant pour chaque pièce les propriétés mécaniques et physiques.

Dans la troisième étape, on choisit le type de maillage. Plus les mailles sont petites, plus la précision est grande. La prochaine étape est de définir les conditions aux limites et chargement.

La dernière étape de cette analyse est l'obtention des résultats, le logiciel nous donne des solutions schématiques selon le type de résolution.

La figure suivante montre les procédures à suivre pour la modélisation de la température sur ANSYS Workbench explicite dynamique.

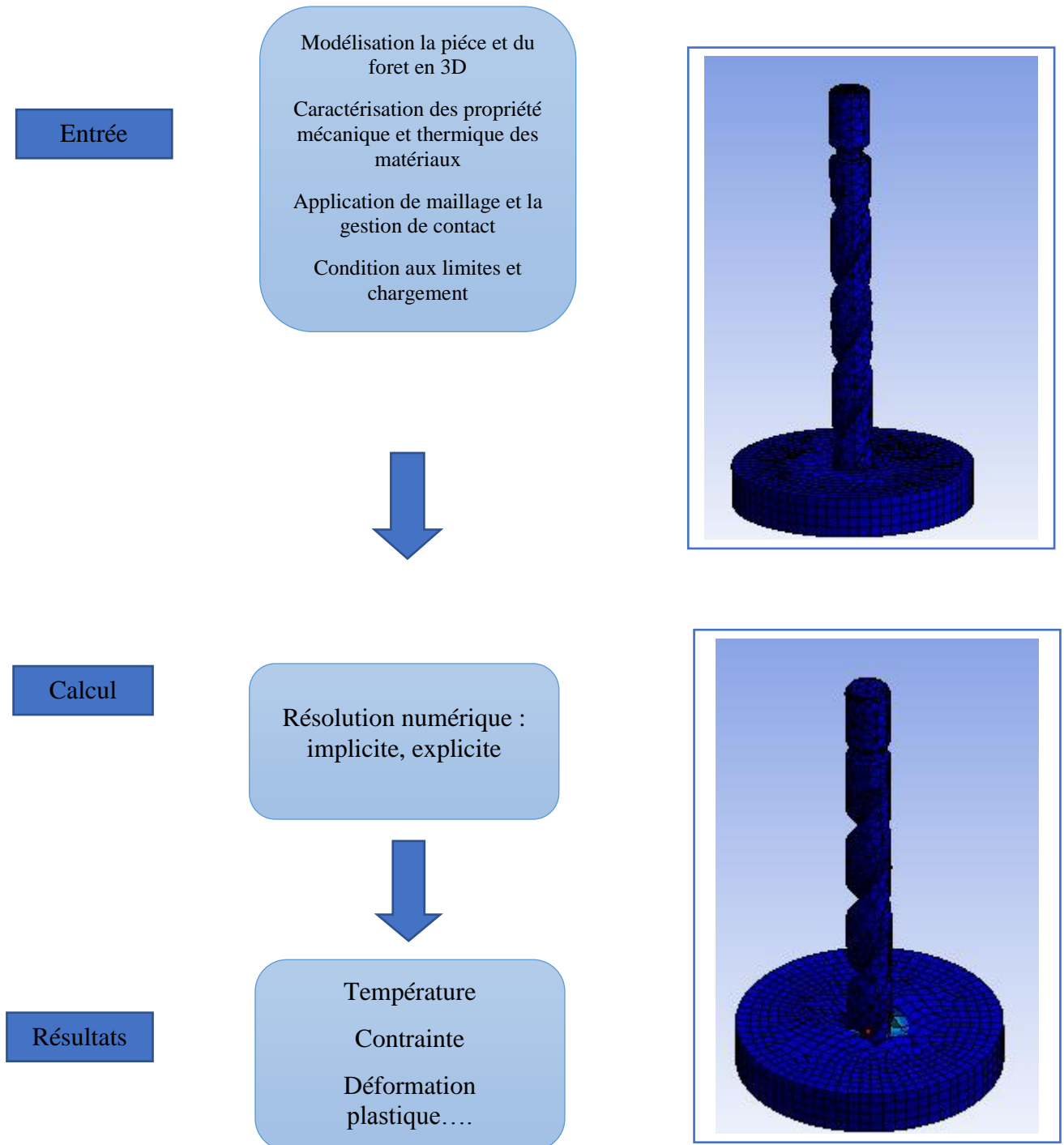


Figure3.3: Procédure de la modélisation numérique de la formation des copeaux lors de l'utilisation de logiciel ANSYS Workbench explicite dynamique.

3.7.Modélisation de l’outil de coupe :

Durant l’analyse, l’outil de coupe est assimilé à un corps indéformable (rigide), aucun champ de déformation sur le corps, mais avec une conduction de la chaleur; les variables géométriques de l’outil sont données

3.8.Modélisation de la pièce à usiner :

L’étude s’est focalisée sur un cuivre standard. Il est fourni en barre cylindrique de dimensions (diamètre 100 Ø x 20mm).

Le logiciel ANSYS met à la portée des utilisateurs des données sur le comportement de quelques matériaux, sous forme de tableaux contenant des valeurs de contrainte et de déformation en fonction de différentes températures et vitesses de déformation. En outre, il est

possible de déterminer les paramètres de certaines lois de comportement notamment celle de Johnson – Cook [20].

Les tableaux (III.1) et (III.2) donnent respectivement les critères et les paramètres de la loi de Johnson Cook du matériau standard [22].

A [MPa]	B [MPa]	C -	n -	m-	T ₀ °C
90	292	0,025	0,31	1,09	294

Tableau 3.1:Paramètres de la loi de comportement de cuivre standard

D1	D2	D3	D4	D5
0.54	4.89	-3.03	0.014	1.12

Tableau 3.2:Critère d’endommagement Johnson-Cook de cuivre standard

III.9.Les propriétés physiques et mécaniques de la pièce et le foret:

Les propriétés thermomécaniques de cuivre standard et de l’outil en titane standard sont représentées dans le tableau suivant :

Propriétés	Cuivre standard	Foret titane standard
Masse volumique (g/cm ³)	8300	4620

Module de Young (GPa)	46	45
Coefficient de Poisson	0,34	0,34
Chaleur spécifique (J/kg k)	385	522
Module de cisaillement	$6,7 \times 10^6$	$6,5 \times 10^6$

Tableau III.3: les propriétés thermomécaniques de matériau et de l'outil

3.10. Conditions aux limites et chargement:

La pièce est modélisée comme un corps déformable. L'outil est modélisé par un corps rigide, La température initiale de la pièce et de l'outil est de 22°C (295,15K).

Le modèle ci-dessous représente une opération de perçage, Pour les conditions de coupe, on a pris trois cas :

- **1^{er} cas** : $V_c = 550 \text{ m/min}$ et $f = 0,4 \text{ mm/tr}$.
- **2^{ème} cas** : $V_c = 860 \text{ m/min}$ et $f = 0,4 \text{ mm/tr}$.
- **3^{ème} cas** : $V_c = 900 \text{ m/min}$ et $f = 0,4 \text{ mm/tr}$.

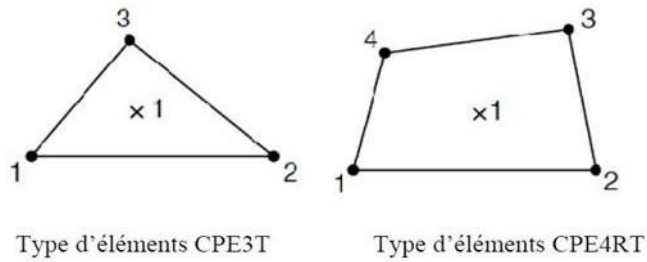
Le contact entre le foret et la pièce usinée est considéré avec frottement. Le coefficient de frottement outil- pièce est estimé à $\mu = 0.4$.

3.11. Types d'éléments et domaine du maillage :

Pour la simulation du processus de coupe, les codes commerciaux les plus utilisés sont, ANSYS, et DEFORM. ABAQUS est un outil très important pour résoudre les problèmes linéaires et non linéaires statiques et dynamiques, contact entre solides et la capacité de modéliser de larges changements dans les solides. Plusieurs auteurs développent différents modèles et techniques pour des cas spécifiés dans la simulation du champ de coupe.

Le domaine des mailles à différentes conditions aux limites, géométriques et régions pour l'analyse, tous les modèles dépendent des conditions d'usinage, la géométrie de l'outil, la morphologie des copeaux. Chaque modèle employé a le même type d'éléments, généralement quadrilatéral avec des propriétés thermomécaniques couplées

(CPE3T, CPE4RT).



3.11.1. Le maillage et la gestion de contact :

Une fois la structure créée, on procède au maillage. Le modèle pièce/foret a été maillé par des éléments volumiques tétraédriques et quadratiques.

L'outil de coupe est modélisé en générant 7376 éléments, et 4095 nœuds. Le couplage thermomécanique est introduit. La distribution des mailles est uniforme sur toute la surface de l'outil, une densité de maillage est très élevée sur la face d'attaque de l'outil pour obtenir plus de résultats comme la température. Le frottement de Coulomb est déterminé par le contact entre l'outil et la pièce à usiner, les propriétés de contact sont : coefficient de frottement est de 0.4, le coefficient dynamique est de 0.2 et la constante de dégradation est égale à zéro, La température initiale de la pièce et de l'outil est de 22°C.

La gestion du contact est basée sur la stratégie de la surface maîtresse et de nœuds esclaves. On définit une surface maîtresse (corps rigide) et une surface esclave (corps déformable) en sélectionnant les ensembles de corps concernés par le contact.

La figure montre respectivement le maillage par élément finis et la méthode de contact (foret/pièce) utilisé.

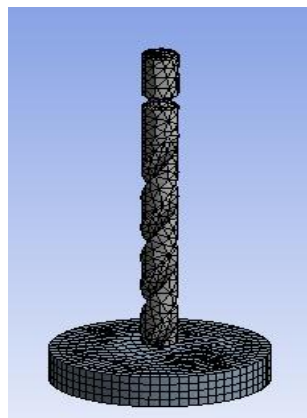


Figure 3.4: Méthode appliquée pour le contact (Foret / pièce)

3.12. RESULTATS DE LA SIMULATION :

3.12.1. Distribution de la température à l'interface outil/pièce/copeau:

Dans notre modèle numérique d'usinage en 3D, nous arrivons à obtenir la formation d'un copeau et à définir l'influence de la vitesse de coupe sur le profil de la température à l'interface foret /copeau. On observe convenablement le déchirement de la matière formant un copeau.

Les distributions de la température à l'interface outil/pièce/copeau sont présentées dans notre simulation pour les trois cas étudiés.

1^{er} cas: $V_c= 550m/min$ et $f=0.4mm/tr$:

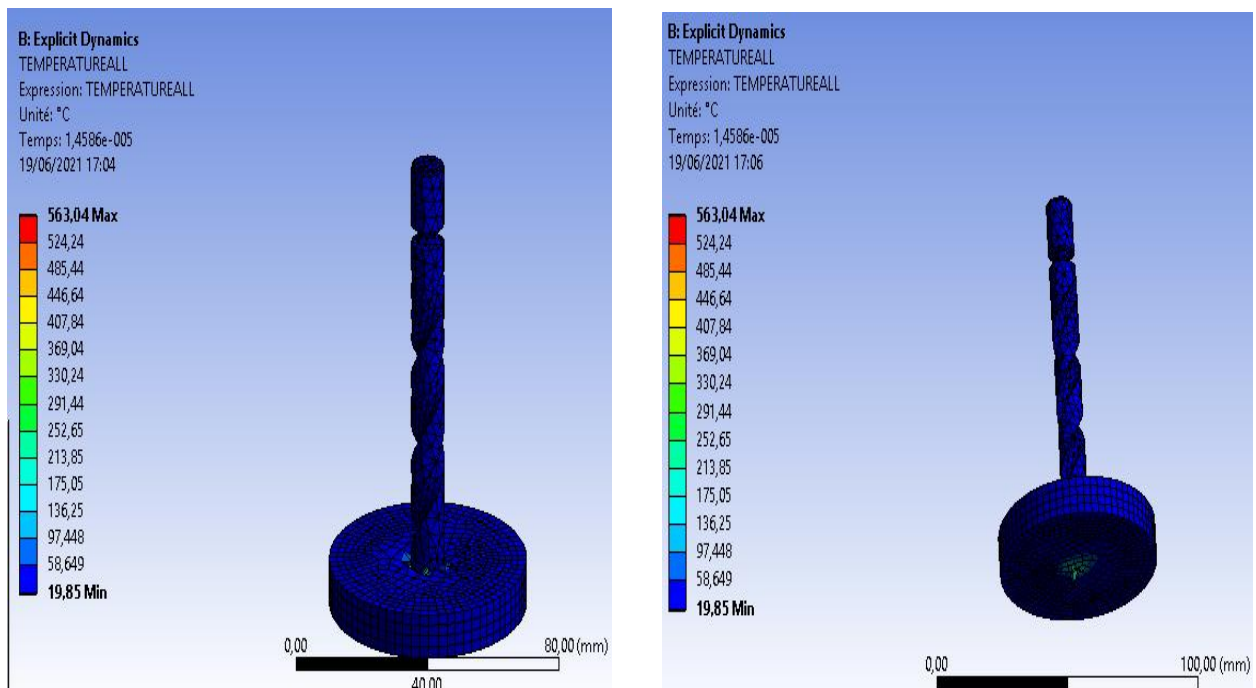


Figure 3.5: la distribution de la température à l'interface outil/copeau de titane standard ($V_c= 550m /min$ et $f=0.4mm/tr$)

2^{ème} cas : $V_c=860 \text{ m/min}$ et $f=0.4\text{mm/tr}$

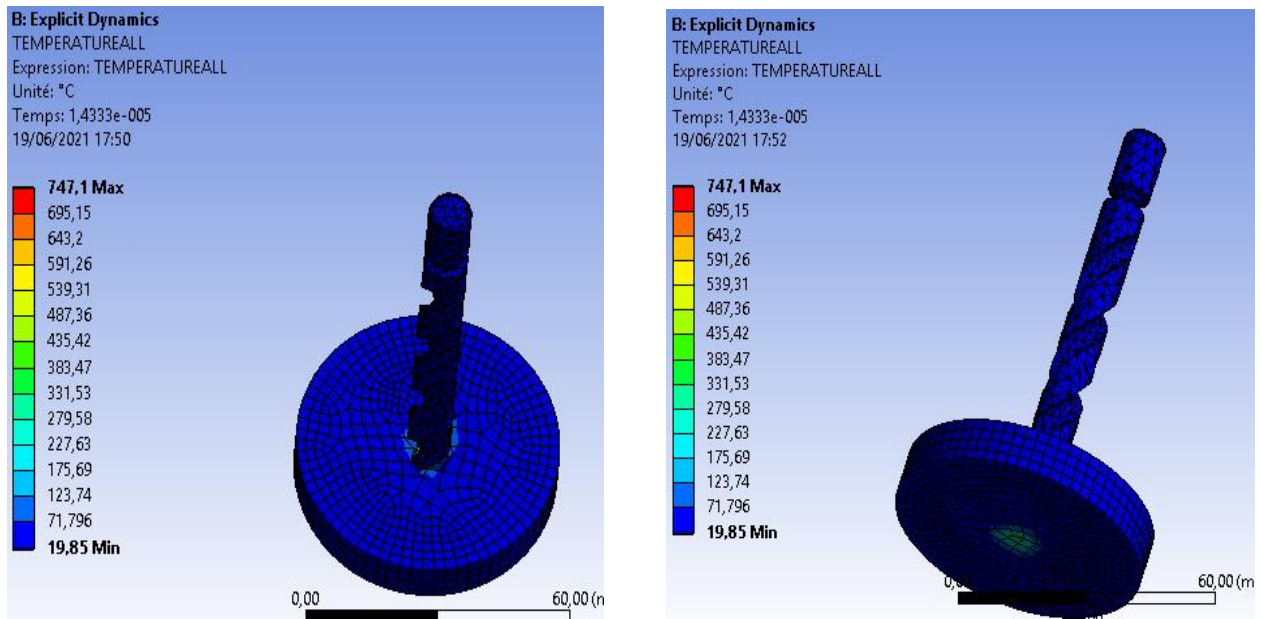


Figure 3.6: la distribution de la température à l'interface outil/copeau de titane standard ($V_c=860\text{m /min}$ et $f=0.4\text{mm/tr}$)

3^{ème} cas : $V_c=900 \text{ m/min}$ et $f=0.4\text{mm/tr}$:

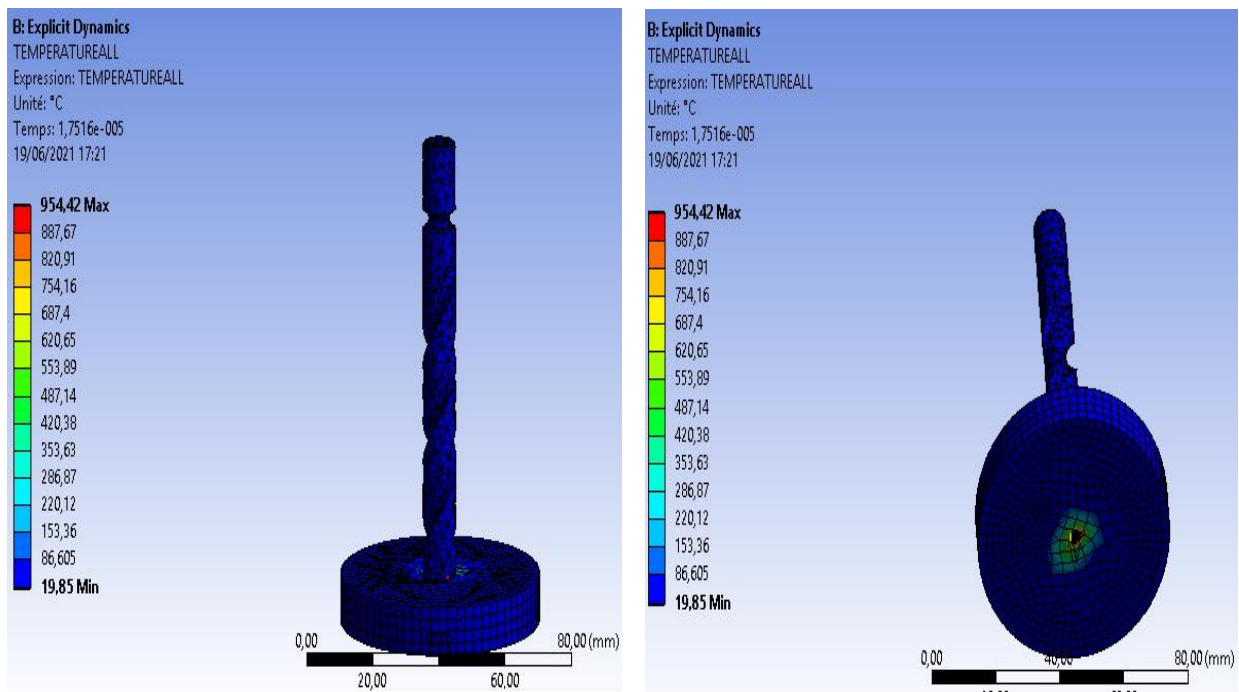


Figure 3.7: la distribution de la température à l'interface outil/copeau de titane standard ($V_c= 900\text{m /min}$ et $f=0.4\text{mm/tr}$)

3.12.2. Distribution des contraintes équivalentes à l'interface outil/pièce/copeau :

1^{er} cas : $V_c = 550\text{m/min}$ et $f = 0.4\text{mm/tr}$

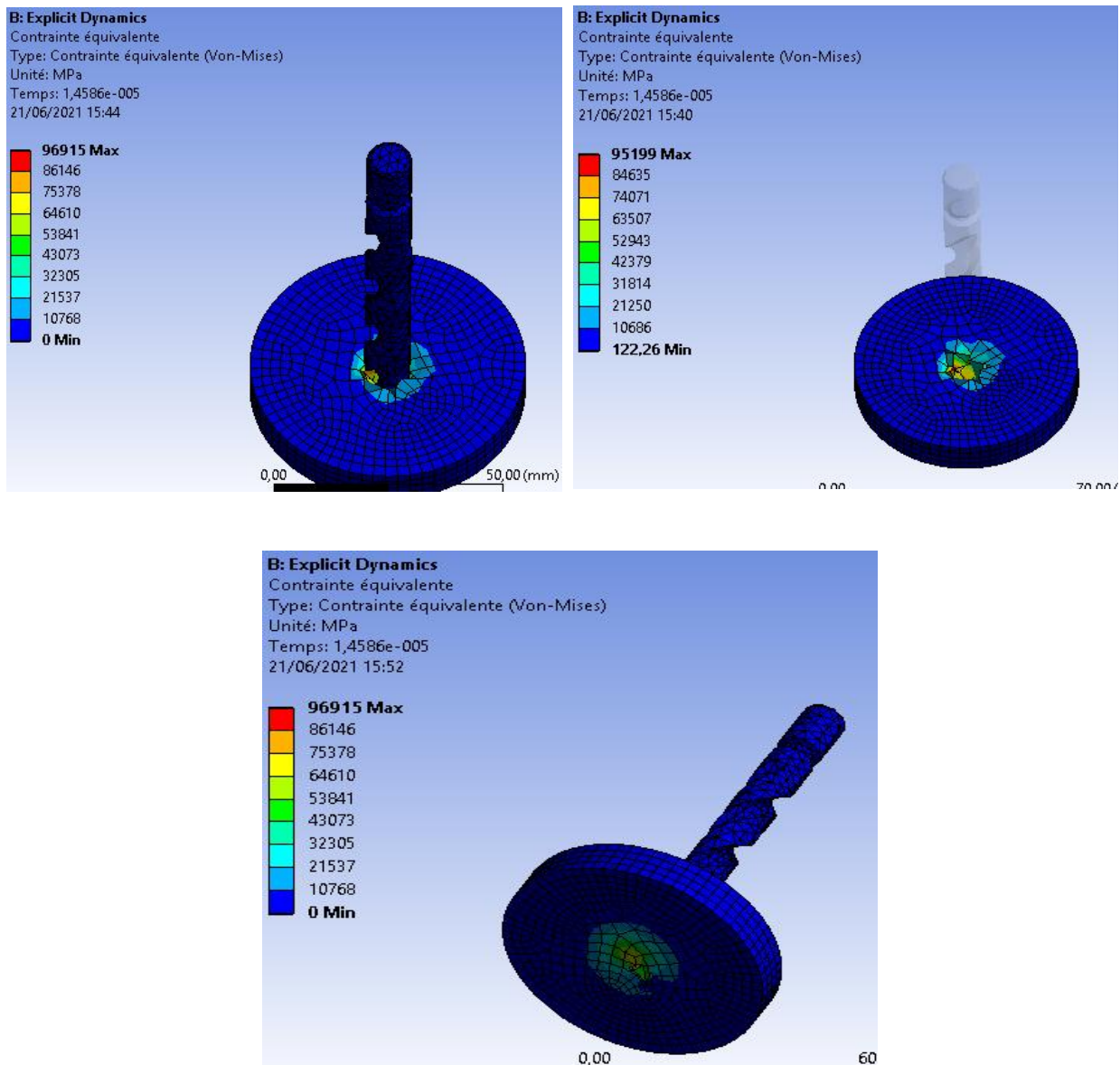


Figure 3.8: la distribution de la contrainte équivalente à l'interface outil/copeau de titane standard
($V_c = 550\text{m/min}$ et $f = 0.4\text{mm/tr}$)

2^{ème} cas : $V_c = 860\text{m/min}$ et $f = 0.4\text{mm/tr}$

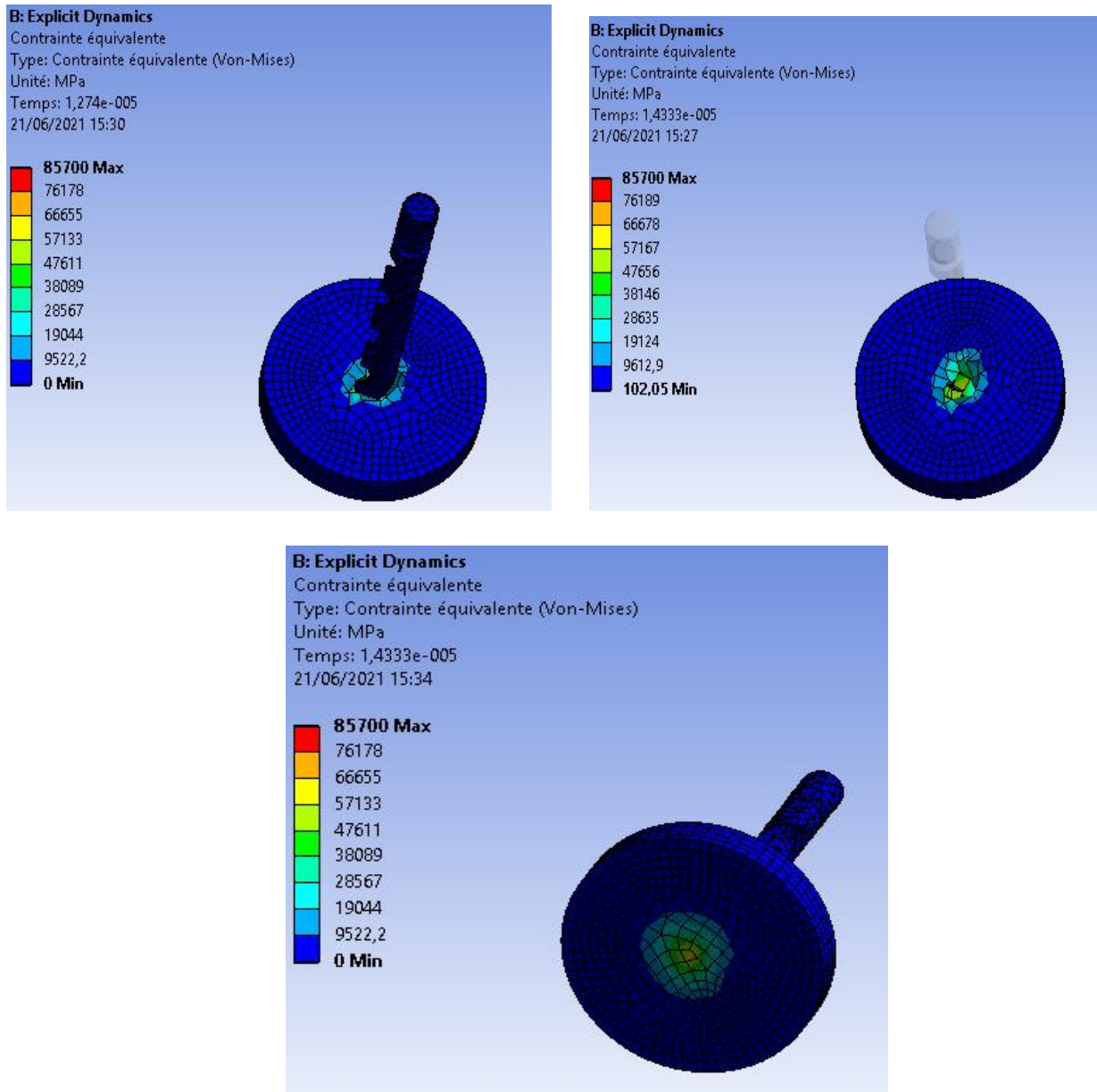


Figure 3.9: la distribution de la contrainte équivalente à l'interface outil/copeau de titane standard

($V_c = 860\text{m/min}$ et $f = 0.4\text{mm/tr}$)

3^{ème} cas: $V_c = 900\text{m/min}$ et $f = 0.4\text{mm/tr}$

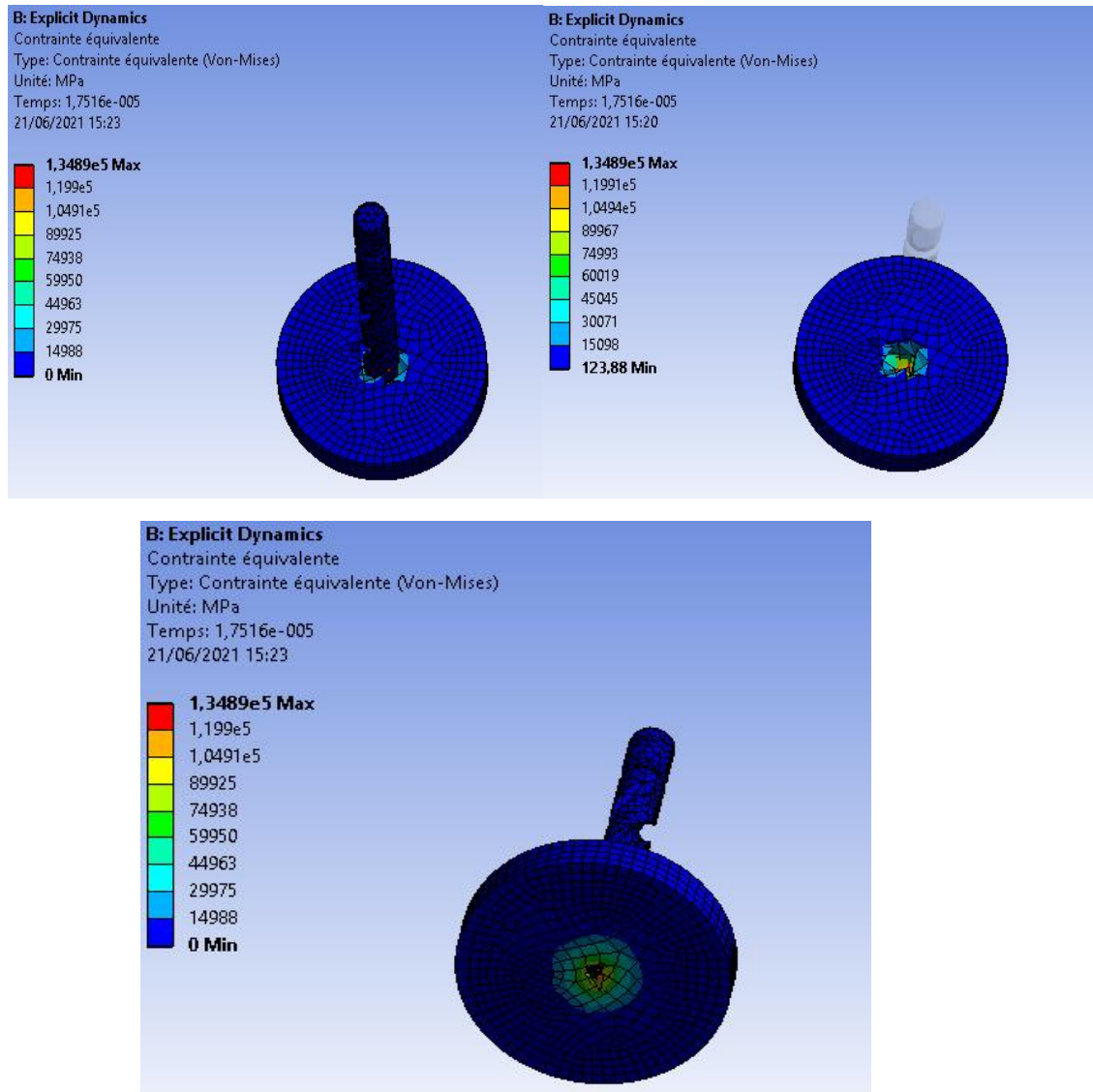


Figure 3.10: la distribution de la contrainte équivalente à l'interface outil/copeau de titane standard
($V_c = 900\text{m/min}$ et $f = 0.4\text{mm/tr}$)

3.13. Discussion des résultats de la simulation numérique:

Les résultats des simulations numériques de l'opération de perçage en 3D sont illustrés sur les figures (3.5) (3.6) (3.7) (3.8) (3.9) et (3.10)

On voit sur les figures (3.5) (3.6) et (3.7) que la température de la pièce varie au contact avec l'outil. Pour une vitesse de coupe de 860m/min , la température atteint une valeur maximale de

$T_{max} = 747,1^{\circ}\text{C}$. Par contre, $T_{max} = 563,04^{\circ}\text{C}$ pour une vitesse de coupe de 550 m/min (flamme rouge), $T_{max} = 954,42^{\circ}\text{C}$ pour une vitesse de coupe de 900m/min. Cette différence est essentiellement due à la zone de contact entre la pièce et l'outil. Plus elle est importante, plus la température est élevée. Ces résultats montrent que la température dans la zone de coupe augmente avec l'augmentation de la vitesse découpe.

En adoptant la méthode Lagrangienne, la température est uniformément distribuée sur les surfaces et la morphologie du copeau est meilleure dans la figure (3.7).

Le phénomène de conduction est représenté en rouge, par contre les dégradations des couleurs correspondent au phénomène de convection. La partie éloignée de la surface de contact qui est complètement refroidie est colorée en bleue. Plus la conductivité thermique du matériau est faible, plus la température est élevée.

Les figures (3.8) (3.9) et (3.10) présentent la répartition de la contrainte équivalente de Von Mises en fonction du temps de simulation.

On remarque l'apparition de la zone de séparation du métal en pointe de l'outil. Dans cette région, l'outil exerce un effort de compression sur le matériau qui se sépare en deux parties : le copeau et la pièce usinée. On remarque aussi l'apparition de la zone de cisaillement primaire (en rouge) et secondaire (en orange).

3.14. Etude de transfert de chaleur par ANSYS thermique transitoire :

Dans le cadre de notre étude et pour mieux comprendre le phénomène de la formation des copeaux et la distribution de la chaleur à l'interface pièce/outil, une autre étape a été faite, cette dernière consiste à définir la thermo élasticité dans le cas où les problèmes thermique et mécanique sont découplés.

Le code d'éléments finis ANSYS 17,2 est utilisé dans cette partie pour simuler le contact outil/pièce ; le type d'analyse choisi est thermique transitoire.

3.14.1. Méthode de la résolution :

Le contact entre l'outil et le copeau est thermiquement imparfait ce qui provoque un grand coefficient de transfert de chaleur par convection .

L'échange de chaleur par rayonnement est négligeable. Les figures suivantes montrent les phénomènes de transfert de chaleur à l'interface Outil/Pièce pour les deux cas étudiés.

1^{er} cas : $V_c = 550\text{m/min}$ et $f = 0.4\text{mm/tr}$

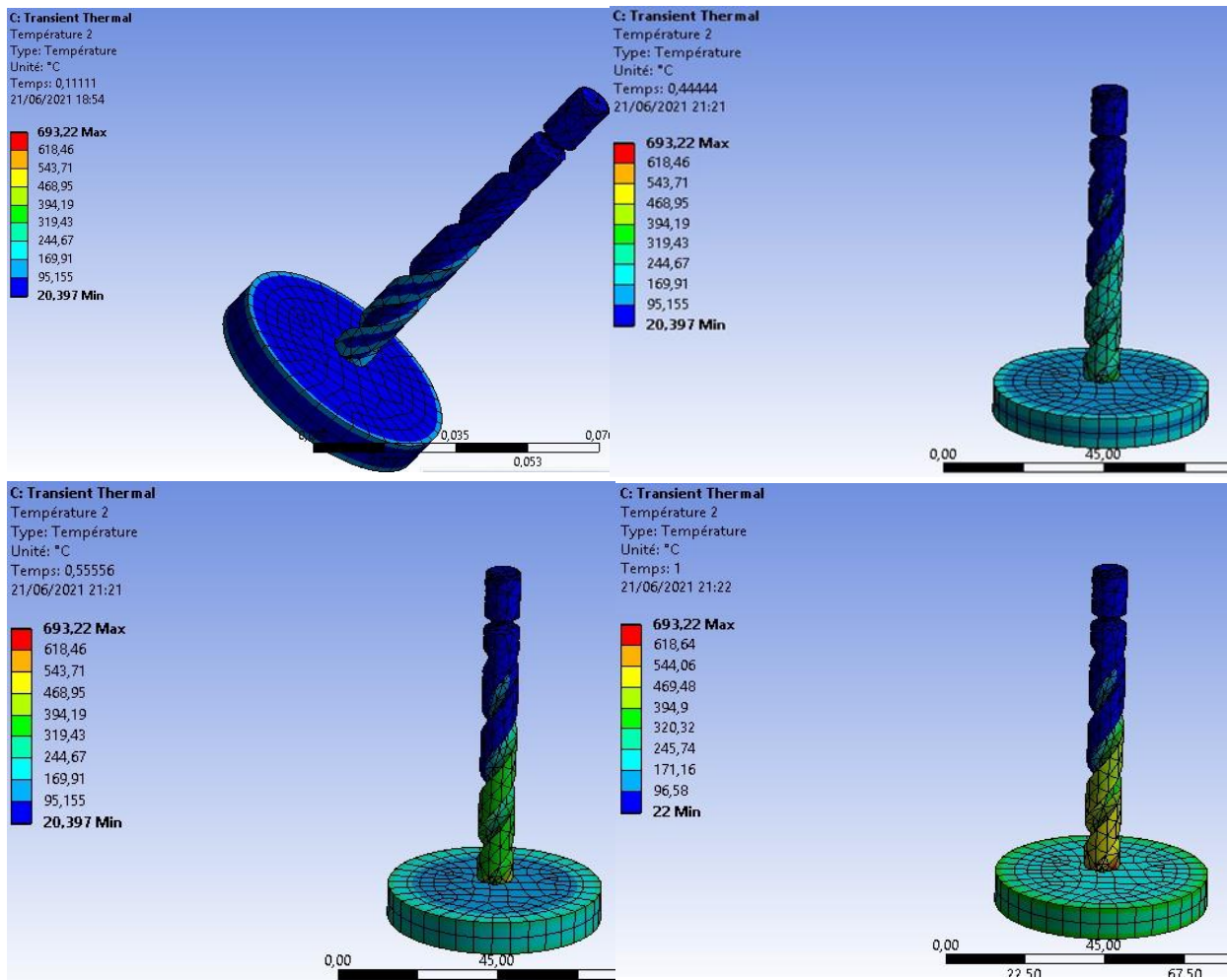


Figure 3.11: Phénomène de transfert de chaleur à l'interface Outil-pièce lors de la découpe de titane pour $V_c = 550\text{ m / min}$, $f = 0.4\text{ mm / tr}$

2^{ème} cas : $V_c = 860\text{m/min}$ et $f = 0.4\text{mm/tr}$

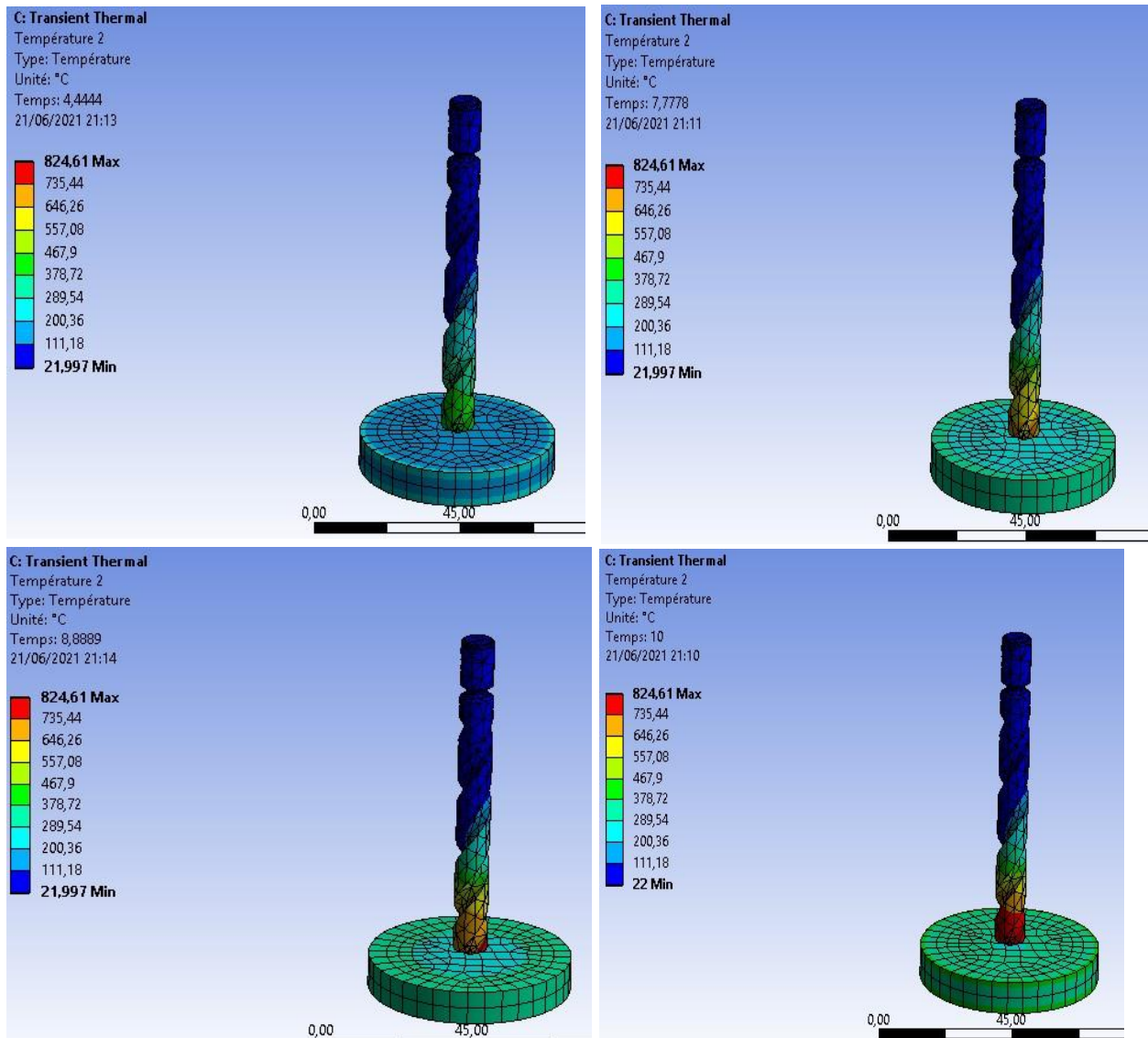


Figure 3.12: Phénomène de transfert de chaleur à l'interface Outil-pièce lors de la découpe de titane pour $V_c = 860\text{m/min}$, $f = 0.4\text{mm/tr}$

3.15. Comparaison entre les deux cas étudiés :

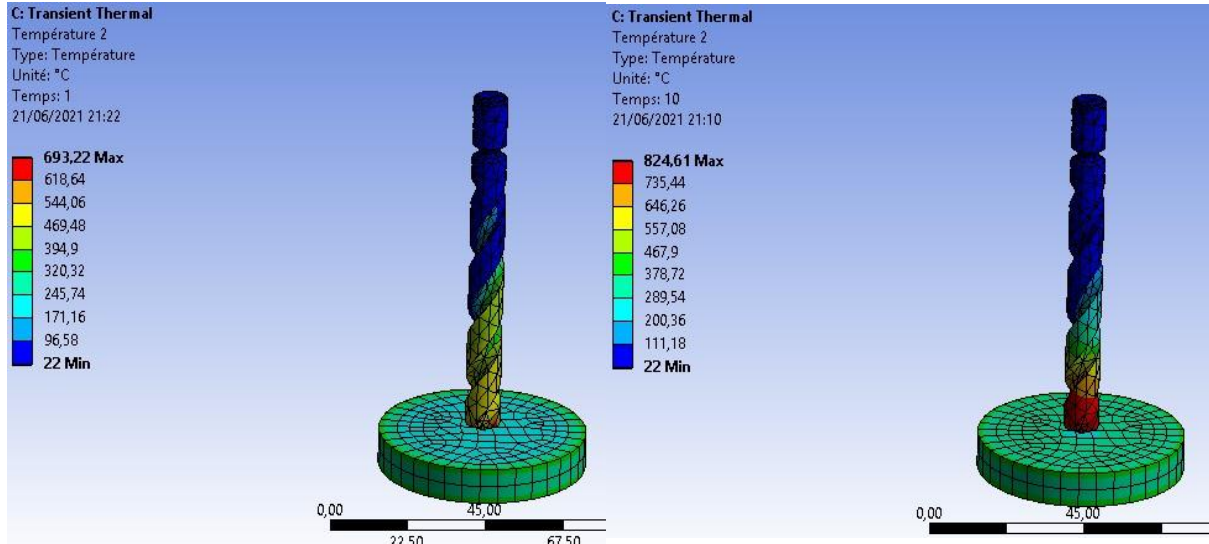


Figure 3.13 :transfert de chaleur avec couplage thermomécanique

a) $V_c=550$ m/min, $f = 0.4$ mm / tr et b) $V_c=860$ m/min, $f =0.4$ mm / tr

De les figures (3.11),(3.12) et(3.13) on constate que :

La température augmente en fonction de la vitesse de coupe au contact pièce/outil.

Une partie de la chaleur générée à l'interface outil-copeau est dissipée dans le corps de l'outil.

Si on maintient une vitesse constante et qu'on augmente l'avance, on remarque également une augmentation de la température à l'interface pièce/outil.

On peut conclure que le contact entre la pièce et l'outil produit une température importante.

La conduction présente une influence sur la répartition des températures dans le copeau. Cette dernière met en évidence l'action entre les phénomènes de transport, qui sont chargés d'évacuer la chaleur dans le copeau, et les phénomènes de conduction qui transmettent la chaleur dans la partie massive de la pièce. Cette rivalité entre les deux phénomènes conduit à l'apparition d'un point de température maximale au niveau de l'interface de contact outil/copeau.

Conclusion générale

Dans le cadre de notre étude, nous nous sommes intéressés aux simulations numériques de la coupe des pièces mécaniques, Celle-ci occupe une place importante dans l'industrie mécanique.

La simulation numérique des efforts de coupe a déjà fait l'objet de plusieurs travaux scientifiques Pour notre cas, on a procédé à la modélisation numérique de l'opération de perçage en 3D en utilisant la méthode des éléments finis.

La recherche bibliographique a montré qu'il est nécessaire de connaître l'évolution de l'usinage.

Nous avons introduit un concept du procédé de perçage et l'importance d'un foret dans l'opération de perçage.

Ce procédé consiste à réaliser une opération d'usinage et à l'utilisation par la suite d'une modélisation et d'une simulation numérique afin de connaître la transformation de la chaleur dans l'opération du perçage et de prévoir la distribution de la température à l'interface outil/pièce.

De ce travail, on peut conclure que :

- L'augmentation de la vitesse de coupe fait augmenter la température.
- La méthode par élément fini permet de diminuer le besoin d'expérimentation.

Références

- [1] **Sandvik Coroman**. Technologie de l'usinage. Manuel de formation.
- [2] **A. Fleurentin** « Usinabilité et couple outil-matière », Newsletter, Métallo Corner, no 16, septembre 2015.
- [3] **N.S.atcherkane**. machines travaillant par enlèvement de métal , société des publications mécanique paris , France 1959.
- [4] **Huysmans** (De forme) *La barbe frisottée en de petits copeaux* (Huysmans, *Là-bas*, t. 1, 1891, p. 16).
- [5] **Ezugwu_1997**. Ezugwu E. O., Z. M. Wang, "Titanium alloys and their machinability—a review", Superplasticity and Superplastic Technology in Japan, J.Mater.Process.Technol. 68 (1997) 262-274.
- [6] **Kloke F -Kloke2007**., "Approaches to high speed cutting of titanium-based materials", Proceeding of the 6th International Conférence on High speed Machining, San Sebastian, Spain, (2007).
- [7] **Dearnley_1986** - Dearnley P. A., A. N. Grearson, "Evaluation of principal wear.
- [8] **Nabhani F_2001** ., "Machining of aerospace titanium alloys", Robot.Comput.Integrated Manuf. 17 (2001) 99-106.
- [9] **Ezugwu E.O** 2005 ., "Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys", Int.J.Mach.Tools Manuf. 45 (2005) 1353-1367.
- [10] **Hartung_1982 Hartung P. D., B. M. Kramer and B. F. von Turkovich**, "Tool Wear in Titanium Machining", CIRP Ann.Manuf.Technol. 31 (1982) 75-80.
- [11] **Schultz_1997 Schultz H.**, "Fraisage Grande Vitesse des matériaux métalliques et non métalliques", Société Française d'Éditions techniques SOFITEC (1997) 175-201.
- [12] **K. Ueda, K. Manabe, J. Okida**; A survey and recent investigations on computational mechanics in cutting; IInd Cirp International Workshop on Modeling of Machining Operations; 1999; pp. 39-55.

- [13] **Strenkowski, J. S. and Carroll, J. T.**; A finite element model of orthogonal metal cutting; Trans ASME J. Eng. Ind., 1985; pp. 349–354.
- [14] **A.J. Shih**; Finite element analysis of orthogonal metal cutting mechanics; International Journal of Machine Tools Manufacturing; 1996; pp. 255–273.
- [15] **M. Ortiz T.D. Marusich**, Modelling and simulation of high speed machining; International Journal for Numerical Methods in Engineering; 199; pp.3675-3694.
- [16] **Orowan, E.**; Fracture and Strength of Solids; Rep. Prog. Phys.;1948; pp.185-232.
- [17] **Jérémy Jallageas** , Optimisation du perçage de multi-matériaux sur Unité de Perçage Automatique (UPA). thèse doctorat .Bordeaux. le 22 janvier 2013.
- [18] **J.L. Cantero, M.M. Tardíob, J.A. Canteli, M. Marcos, M.H. Migue'lez** , Dry drilling of alloy Ti–6Al–4V; thèse doctorat. Tools; 2005.
- [19] **F.Benabid**, Etude des Transferts Thermiques au Cours D'une Opération D'usinage, Influence sur l'Usinage a Grande Vitesse, Thèse de Doctorat, Université de Banta, 2015.
- [20] **JOHNSON, Gordon R.**A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain rates and high temperatures. In : Proceedings of the 7th International Symposium on Ballistics, The Hague, Netherlands, 1983.
- [21] **BENBEKHTI Ahmed**, Etude de réalisation d'un support pour affutage des forets sur une machine à commande numérique. Thèse de master, octobre 2013
- [22] **Mabrouki, J.-F. Rigal**, A contribution to a qualitative understanding of thermo-mechanical effects during chip formation in hard turning, Journal of Materials Processing Technology 176 (2006)] .