



Faculté : TECHNOLOGIE

Département : GENIE MECANIQUE

Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Filière : GENIE MECANIQUE

Spécialité : INGENIEURIE DE LA MAINTENANCE

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

**Evaluation de la durée de vie des forets de perçage par une
approche probabiliste.**

Présenté par : *MANSEUR ABDELHAMID*

Encadrant : *DJEDDI LAMINE MCA*

UBMA

Jury de Soutenance :

BOUNAMOUS BOUBAKER	MAA	UBMA	Président
DJEDDI LAMINE	MCA	UBMA	Encadrant
KHELIF RABIA	Professeur	UBMA	Examineur

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant, qui m'a donné la force et la patience pour pouvoir accomplir ce travail.

En second lieu, je tiens à remercier mon encadreur Mr : Djeddi, pour son aide et sa patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail en acceptant de l'évaluer.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à tous les professeurs qui m'ont enseigné et qui par leurs compétences m'ont soutenu dans la poursuite de mes études.

Enfin, je remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Je dédie ce travail ...

A mes très chers parents

*Aucun mot aucune dédicace ne peut exprimer mon respect, ma considération,
l'amour éternel pour les sacrifices que vous avez consentis, pour mon
instruction et mon bien être.*

Votre générosité et votre bonneté ont toujours été exemple pour nous tous.

Mes chers : papa et maman je vous aime beaucoup.

A mes très chers sœurs : Rania et Aida

je vous souhaite une vie pleine de joie et de bonheur.

A toute ma chère famille

A tous mes chers amis

A tous ceux qui m'aime et ceux que j'aime

Manseur Abdelhamid

A vous chers lecteurs

Listes des figures

Chapitre I

Figure I.1 Exemples de trous réalisés dans des pièces issues de plusieurs secteurs de l'industrie mécanique.....	2
Figure I.2 La fréquence de rotation et l'avance.....	3
Figure I.3 Figure I.3 Foret hélicoïdal classique ou conventionnel à queue conique...	3
Figure I.4 Angle au sommet ou de pointe $2p$ et angles d'hélice à différents points de l'arête de coupe.....	4
Figure I.5 Différents types de foret	6
Figure I.6 Différents types de la goujure : de gauche à droite on aperçoit la goujure conventionnelle, la goujure avec une épaisseur d'âme importante puis deux exemples de la goujure parabolique.....	7
Figure I.7 Foret avec une pointe conventionnelle, avec angle réduit et à double angle	8
Figure I.8 Quelques exemples de pointes du foret.....	9
Figure I.9 Différents matériaux et revêtements d'outils.....	11
Figure I.10 Image réalisée d'un outil revêtu avec trois couches de revêtement (A) puis une seule couche (B).....	12
Figure I.11 L'évolution de VB pendant le perçage avec des forets revêtus et sans revêtement.....	14
Figure I.12 Nombre de trous percés avec des forets non revêtus et revêtus avec plusieurs types de revêtements.....	14
Figure I.13 Lubrification interne et externe.....	15
Figure I.14 Différents types de coupeaux.....	17

Figure I.15 Mécanisme d'enlèvement de la matière pendant le perçage avec un foret hélicoïdal conventionnel (a) et un foret de géométrie moderne (b).....	18
Figure I.16 Trois types de bavure de L'AISI 4118, de gauche à droite : bavure uniforme, bavure transitoire et bavure en forme d'une couronne.....	19
Figure I.17 Différents types d'usure des forets : (A) usure de la dépouille , (B) usure de la face de coupe et (C) usure des listels.....	19
Figure I.18 L'usure par adhésion à gauche.....	20
Figure I.19 Exemple de rupture du foret.....	21

Chapitre II

Figure II.1 Perceuse a colonne modèle 2H125T n°6963.....	23
Figure II.2 La manette pour sélectionner les avances et la fréquence de rotation	24
Figure II.3 Les différents composants d'un microscope optique.....	25
Figure II.4 Foret hélicoïdale HSS 18mm.....	25
Figure II.5 Microscope d'atelier.....	28
Figure II.6 Microscope numérique OPTIKA.....	28
Figure II.7 Orientation et positionnement du foret sur le microscope.....	29
Figure II.8 Positionnement du foret sur la perceuse.	
Figure II.9 Lecture et mesure de l'usure sur la surface en dépouille.....	28
Figure II.10 Courbe d'usure en fonction du temps.....	29
Figure II.11 Présentation de la table physique de phemica soft.....	30

Chapitre III

Figure III.1 Evolution de l'usure en fonction du temps à vitesse de coupe constante.....	37
Figure III.2 Visionnage d'usure depuis l'oculaire.....	

Figure III. 3 Courbe d'usure en fonction du temps.....	38
Figure III.4 Dégagement de coupeau lors du perçage.....	
Figure III.5 Photo des coupeaux prise avec le microscope numérique.....	
Figure III.6 Indice de fiabilité \square en fonction de n dans le temps, (incertitude 5%)..	41
Figure III.7 Indice de fiabilité \square en fonction de n dans le temps, (incertitude 10%)	42
Figure III.8 Indice de fiabilité \square en fonction de n dans le temps, (incertitude 15%)	42
Figure III.9 Indice de fiabilité \square en fonction de n dans le temps, (incertitude 20%)	43
Figure III.10 Indice de fiabilité \square en fonction de s dans le temps, (incertitude 5%)	44
Figure III.11 Indice de fiabilité \square en fonction de s dans le temps, (incertitude 10%).....	45
Figure III.12 Indice de fiabilité \square en fonction de s dans le temps, (incertitude 15%).....	45
Figure III.13 Indice de fiabilité \square en fonction de s dans le temps, (incertitude 20%).....	46

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 Familles des matériaux des forêts.....	10
Tableau I.2 Caractéristiques des différents matériaux et revêtements d'outils....	12

Chapitre II

Tableau II.1 Caractéristiques mécaniques et chimiques de l'acier C22.	24
Tableau II.2 Conditions de réalisation des essais lors de l'usinage de l'acier 22...	27

Chapitre II

Tableau III.1 Mesure d'usure en fonction du temps.....	38
Tableau III.2 Indice de fiabilité \square pour différentes fréquences de rotation dans le temps, (incertitudes 5%,10%,15%,20%).....	40 ,41
Tableau III.3 Indice de fiabilité \square pour différentes avance S dans le temps, (incertitudes 5%,10%,15%,20%).....	43,44

Sommaire

Dédicace	
Remerciement	
.....	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
.....	
Problématique	
.....	
Introduction générale	
.....	

Chapitre I : Etude bibliographique sur les forets

1. Introduction	1
2. Généralités sur le perçage	1
3. Le foret	3
4. Différents types des forets monoblocs	5
5. Éléments de la géométrie du foret	7
6. Matériaux et revêtements des forets	9
7. Lubrification et perçage à sec ou à lubrification minimale	14
8. Formation des copeaux	16
9. Mécanismes d'enlèvement de la matière pendant le perçage	17
10 .Bavure	18
11. Usure de foret	19
Conclusions	22

Chapitre II : Matériel et méthodes

1. Introduction	23
------------------------------	-----------

2. Description de la perceuse	23
3. La Matière à usiner	24
4. Description du microscope	25
5. Description du foret 18 millimètres.....	25
5.1. Matériau du foret.....	25
5.2. Tige du foret.....	26
5.3. Pointe du foret.....	26
5.4. Gorges d'évacuation des copeaux.....	26
5.5. Revêtements.....	26
5.6. Longueur totale.....	26
5.7. Utilisation.....	26
6. Positionnement des éprouvettes.....	26
7. Les outils de coupes	27
8. Conditions de coupe	27
9. Appareil de mesure et méthode.....	27
10. Méthode de mesure de l'usure.....	28
10.1. Mesure de l'usure sur la surface en dépouille.....	28
10.2. Méthode graphique.....	29
11. Présentation de logiciel.....	30
11.1. Analyse de la fiabilité.....	30
11.2. Analyse de la sécurité.....	31
11.3. Optimisation de la maintenance.....	31
11.4. Gestion des données.....	31
11.5. Analyse probabiliste	31
11.6. Convivialité et interface intuitive.....	31
11.7. Analyse de la dépendance.....	32
11.8. Intégration avec d'autres outils.....	32
11.9. Support technique et formation.....	32

Conclusion.....	33
-----------------	----

Chapitre III : Résultats et discussion

Introduction.....	34
1. Fiabilité des structures.....	34
1.1. Analyse des charges.....	34
1.2. Caractérisation des matériaux	34
1.3. Modélisation et analyse structurale	34
1.4. Facteur de sécurité	34
1.5. Durée de vie et maintenance.....	35
1.6. Analyses probabilistes.....	35
1.7. Validation expérimentale.....	35
2. Indice de fiabilité Hasofer-Lind	35
2.1. Modélisation des charges.....	35
2.2. Modélisation des matériaux.....	36
2.3. Modélisation des paramètres de conception.....	36
2.4. Estimation de l'indice de fiabilité.....	36
3. Lois expérimentales de l'usure « modèle de Taylor »	36
4. Résultat du travail au niveau du laboratoire.....	37
4.1. Discussion.....	38
5. Résultats et discussion de l'étude probabiliste.....	39
Conclusion.....	46

Références.....	46
-----------------	----

Introduction générale :

Les machines industrielles ne fonctionnent pas toujours avec un rendement de 100%. Des facteurs tels que l'usure des pièces, les pertes d'énergie ou les erreurs de calibration peuvent entraîner des variations de rendement, ce qui peut avoir un impact sur les résultats des études expérimentales. Pour mieux prendre en compte ces variations et les incertitudes associées, il est possible de recourir à des simulations probabilistes.

Les simulations probabilistes, ou calculs fiabilistes, permettent d'aborder les erreurs expérimentales en tenant compte des incertitudes liées au rendement de la machine. Ces simulations intègrent les variations de rendement dans les analyses, ce qui permet d'obtenir des résultats plus précis et plus fiables.

En résumé, l'utilisation des outils de calcul fiabiliste dans l'étude de l'usinabilité des aciers, en particulier dans le contexte du perçage avec des forets HSS, permet de prendre en compte les variations de rendement des machines et d'obtenir des résultats plus précis. Cette approche offre des perspectives intéressantes pour améliorer l'efficacité de l'usinage des aciers et garantir des résultats fiables et reproductibles.

Problématique :

Quand on étudie l'usinabilité des aciers sur des machines éventuelles comme le tour, fraiseuse, perceuse, on procède à des méthodes expérimentales basées sur des plans d'expérience.

L'objectif de ces études est de déterminer la durée de vie des outils de coupe, accompagnée de l'état de surface usinée.

Cependant, les machines éventuelles fonctionnent avec un rendement de 95% à 80%. Ce dernier implique des erreurs dans l'étude expérimentale. Le recours à des simulations probabilistes permet de mieux aborder ces erreurs en considérant ou bien en respectant les incertitudes associées au rendement de la machine.

Dans cette étude nous apportons une contribution sur l'éventuelle utilisation des outils de calcul fiabiliste afin d'apporter plus de précision sur la durée de vie des outils de coupe.

L'application est orientée vers le perçage des aciers avec des forets HSS.

Chapitre I

Etude bibliographique des forets

I . Introduction

Le perçage est une opération fondamentale dans de nombreux domaines industriels tels que l'ingénierie, la construction, la fabrication et la réparation. La qualité et l'efficacité du processus de perçage dépendent en grande partie de l'outil utilisé, en particulier du foret [1].

Les forets sont des outils de coupe essentiels pour réaliser des trous précis dans une variété de matériaux, tels que le métal, le bois, le plastique et la céramique. Cependant, l'amélioration continue des performances et de la durabilité des forets reste un défi pour les chercheurs et les praticiens dans le domaine du perçage mécanique. Les exigences industrielles croissantes en termes de vitesse, de précision et de qualité des trous percés nécessitent des forets capables de résister à des conditions de perçage de plus en plus rigoureuses.

2. Généralités sur le perçage :

Le perçage est une opération d'usinage qui consiste à créer un trou dans une pièce. Ce trou peut soit traverser la pièce de part en part, ce qui est appelé un trou débouchant, soit ne pas la traverser, ce qui est alors un trou borgne. Différentes méthodes peuvent être utilisées pour réaliser ce trou, telles que l'utilisation d'un foret, l'électroérosion, le laser, le brochage...etc. Ce trou peut être utilisé pour faire passer une pièce ou un fluide, et peut être lisse ou taraudé pour recevoir un rivet ou une vis d'assemblage. Dans cette étude, nous nous limitons au perçage de trous cylindriques lisses réalisés à l'aide d'un foret, qui est l'outil rotatif coupant le plus couramment utilisé. Le perçage est l'opération d'usinage la plus fréquemment utilisée dans l'industrie mécanique. La Figure I.1 présente quelques exemples de pièces utilisées dans l'industrie automobile et l'industrie aéronautique. Parmi les méthodes de perçage à l'aide d'un foret, on peut distinguer le perçage de trous courts, qui est traité dans cette étude, et le perçage de trous profonds appelé forage. Les trous courts se caractérisent par un faible rapport entre la profondeur et le diamètre, généralement de l'ordre de 5 à 6 pour les diamètres 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 et peut évoluer avec le développement de nouveaux outils. Les trous courts, d'un diamètre généralement compris entre 10 et 20 mm, sont les plus couramment utilisés.

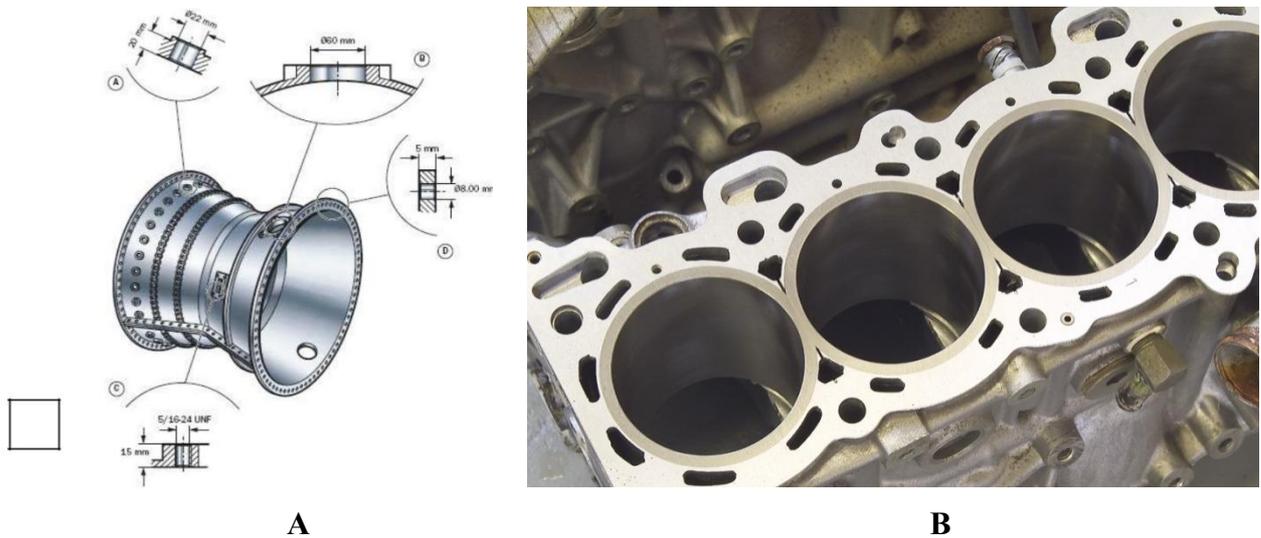


Figure I.1 Exemples de trous réalisés dans des pièces issues de plusieurs secteurs de l'industrie mécanique :
 (A) moteur d'avion (secteur aéronautique) (B) bloc moteur et culasse (secteur automobile) [1]

Le perçage avec un foret combine deux mouvements : une rotation et une translation, ces deux mouvements sont caractérisés par :

La vitesse de rotation du foret, exprimée en tours par minute et notée n , à la périphérie du foret elle correspond à une vitesse :

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

Avec D

L'avance exprimée en mm par tour et notée s (mm/tr), elle correspond à une vitesse d'avance :

$$V_f = s \cdot n \cdot 1000$$

Avec V_f :

Si le foret possède deux arêtes principales de coupe, l'avance par arête est alors $s/2$.

Le choix des conditions de coupe (vitesse de rotation et avance) dépend du foret (de sa géométrie et des matériaux qui constituent), de la matière à usiner et l'utilisation ou non

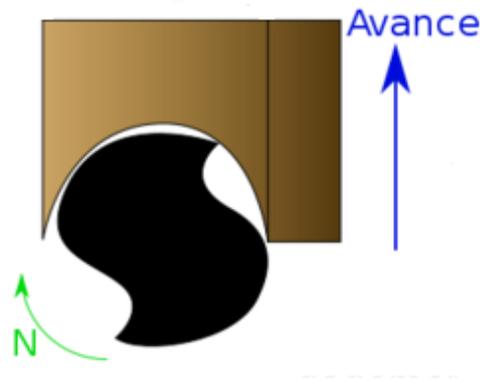


Figure I.2 La fréquence de rotation et l'avance.

Le perçage peut être effectué sur un tour à commande numérique, où le mouvement de rotation est donné à la pièce et le mouvement d'avance correspond au déplacement du chariot porte-outil. Plus couramment, il est réalisé sur des centres d'usinage verticaux ou horizontaux, où les mouvements d'avance et de rotation sont imposés au foret. Grâce aux avancées technologiques dans le domaine des machines et à l'amélioration des forets, l'opération de perçage a considérablement évolué. Il est

désormais possible de réaliser des trous courts de haute qualité dimensionnelle et d'état de surface sans avoir besoin de pré-trou de centrage, d'usinage préliminaire, ni d'usinage supplémentaire pour obtenir la qualité requise.

3. Le foret

Le foret, (Figure I. 3), est un outil qui sert à produire un trou dans une pièce. C'est un outil rotatif muni de deux ou plusieurs arêtes de coupe, de deux ou plusieurs goujures hélicoïdales ou rectilignes.

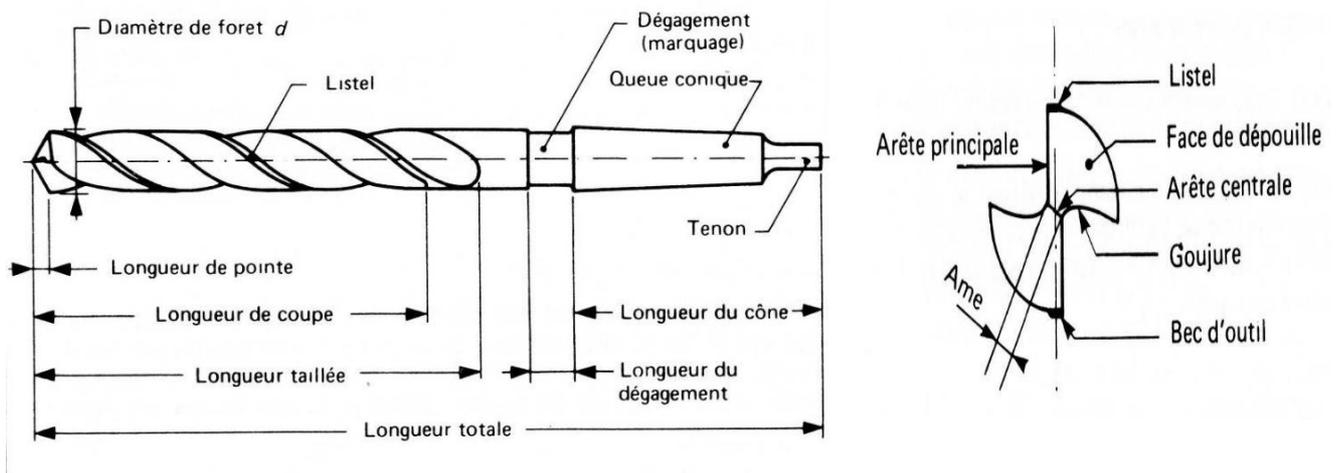


Figure I.3 Foret hélicoïdal classique ou conventionnel à queue conique.[1]

Les parties essentielles d'un foret sont les suivantes :

- ❖ La queue : elle assure le positionnement et l'entraînement du foret.
- ❖ Les parties actives : 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 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.[1]

Les caractéristiques nominales du foret sont :

- ❖ Le diamètre du foret D
- ❖ L'angle au sommet ou de pointe $2p$ (Figure I.4) : c'est l'angle compris entre les projections des arêtes de coupe sur un plan parallèle à celles-ci et contenant l'axe de l'outil,
- ❖ L'épaisseur d'âme $2w$,
- ❖ L'angle d'hélice δ_0 à la périphérie du foret (Figure I.4). Notons que cet angle varie le long de l'arête de coupe.

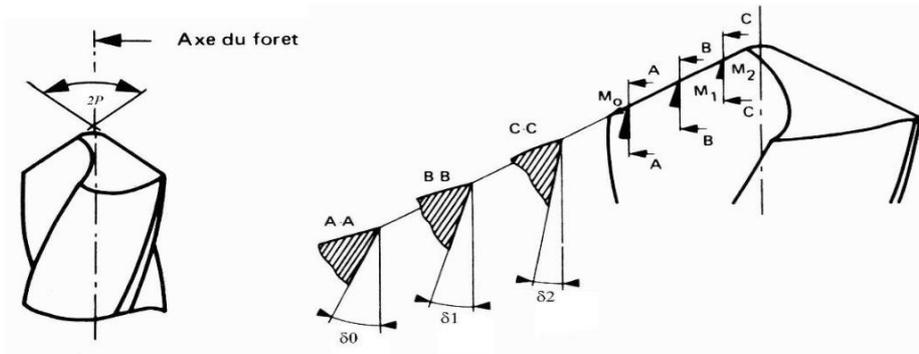


Figure I.4 Angle au sommet ou de pointe $2p$ et angles d'hélice à différents points de l'arête de coupe. [1]

Les forets pour le perçage de trous courts sont caractérisés par leur extrémité (pointe du foret) qui permet d'assurer le centrage du foret, obtenir une parfaite symétrie des arêtes de coupe et équilibrer les efforts de coupe. Les forets pour trous courts peuvent être classés en deux grandes catégories :

- ❖ les forets monoblocs « réalisés en un seul matériau: acier rapide ou carbure de tungstène » ou brasés « inserts en matériau dur au niveau des parties actives brasés dans un corps en acier ou en carbure de tungstène », ils peuvent être revêtus, ils sont réaffûttables, enfin ils sont utilisés pour les trous de petits diamètres « étudiés dans ce mémoire » et les forets à plaquettes indexables pour les trous de grands diamètres.
- ❖ Le corps du foret est en acier et les plaquettes en carbure de tungstène revêtues ou non (Figure I.5)

Avec le faible coût d'utilisation de la machine qu' il permet, le foret à plaquettes indexables est le choix le plus économique au niveau du prix de revient par pièce : les plaquettes indexables peuvent être changées jusqu'à 40 fois au cours de la durée de vie du foret. Les forets à plaquettes indexables ne couvrent toute fois pas la plage la plus courante de diamètres de trous, ce qui explique que les forets conventionnels en acier rapide demeurent prédominants dans le domaine du perçage des trous courts.

Sur les machines modernes d'un coût horaire élevé, ces forets en : acier rapide ne satisfont pas aux critères de performances permettant d'atteindre un niveau de rentabilité satisfaisant. Il est en effet nécessaire, dans la plupart des applications, de perdre un temps précieux en pré-perçage et finition.

C'est pourquoi, l'utilisation de forets réaffûttables à géométries modifiées a augmenté au rythme de l'apparition de machines dont le coût horaire est élevé Figure (I.6).

4. Différents types des forets monoblocs

Pour les petits trous de 2,50 à 12,7 mm de diamètre, les forets monoblocs ou brasés réaffûttables sont principalement utilisés. Il est important de faire une distinction entre les forets en acier rapide (HSS) classiques, les forets en carbure classiques et les forets en carbure avec une géométrie de coupe modifiée. Ces derniers se caractérisent par une pointe qui n'est pas nécessairement conique, des arêtes principales parfois incurvées et un amincissement de l'âme. Cette géométrie modifiée a radicalement transformé les conditions de perçage des trous courts. Elle possède des propriétés d'auto-centrage, ce qui élimine le besoin de pré-trous, et respecte des tolérances étroites. Associée à l'utilisation de matériaux de coupe modernes, cette géométrie permet un usinage rentable en une seule opération, avec une tolérance de classe IT9 et une finition de surface Ra de 1 μm . Les évolutions au niveau de l'arête centrale, résultant de l'amincissement de l'âme du foret, permettent d'éliminer les problèmes liés aux efforts axiaux élevés et à l'inefficacité de la coupe près de la pointe du foret. De plus, grâce à des taux d'enlèvement de matière nettement plus élevés, les temps d'usinage sont réduits de 3 à 4 fois par rapport aux forets hélicoïdaux classiques. Il existe plusieurs familles de forets monoblocs adaptées à différents types de trous (différents diamètres et profondeurs). Le choix du type de foret peut également être influencé par le matériau de la pièce usinée, mais il a une plus grande influence sur la géométrie de la pointe du foret. On peut donc distinguer plusieurs types:

- ❖ Le foret hélicoïdal Figure (I.3) conventionnel ou classique : Ce type du foret était le plus couramment utilisé ;
- ❖ Le foret étagé Figure(I.7) : foret à diamètres étagés utilisé pour réaliser des trous avec deux diamètres différents ou avec un chanfrein ;
- ❖ Le foret avec trous de lubrification (deux trous de lubrification débouchent sur la face en dépouille et amènent au fond du trou le lubrifiant) : le lubrifiant refroidit l'arête de coupe, chasse les copeaux dans les goujures et lubrifie les surfaces. Il est employé pour augmenter la vitesse d'avance et la profondeur du trou percé et avec certain matériau dur ;

- ❖ Le foret à trois ou quatre goujures : caractérisé par une rigidité et une stabilité remarquable, il est employé pour le perçage de précision, de la fonte et de l'aluminium
- ❖ Le foret à goujure rectiligne : utilisé pour le perçage à très grande vitesse, souvent avec une lubrification centrale à haute pression pour évacuer les copeaux.



Figure I.5 Différents types de foret.[2]

Les outils disponibles aujourd'hui incluent une grande diversité de produits permettant de nombreuses combinaisons. En vue de parvenir à de s résultats optimaux dans chaque contexte d'usinage particulier en perçage, il est indispensable de préciser les paramètres suivants avant de passer au choix de l'outil et des conditions d'usinage :

- ❖ Diamètre et profondeur du trou.
- ❖ Tolérances à respecter .
- ❖ Coût machine .
- ❖ Forme de la pièce .
- ❖ Matière à usiner .
- ❖ Puissance et stabilité de la machine.

5 . Éléments de la géométrie du foret

La géométrie du foret est un élément déterminant pour la performance du perçage, la qualité de surface du trou et la durée de vie du foret. C'est un paramètre essentiel pour le calcul des efforts de coupe générés pendant le perçage. La géométrie du foret peut être décomposée en deux parties essentielles : la goujure et la pointe. L'intersection de ces parties forme les parties actives du foret ou les arêtes de coupe.

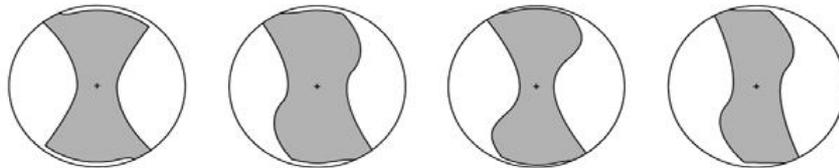


Figure I.6 Différents types de la goujure : de gauche à droite on aperçoit la goujure conventionnelle, la goujure avec une épaisseur d'âme importante puis deux exemples de la goujure parabolique.[2]

Le choix de la goujure (Figure I.8) est important pour l'évacuation des copeaux et la rigidité du foret. On peut distinguer :

- ❖ La goujure conventionnelle ou classique avec une épaisseur d'âme qui varie entre 0,1 et 0,25 fois le diamètre du foret. Elle se rencontre sur les forets dits classiques
- ❖ La goujure avec une épaisseur d'âme plus importante (de 0,2 à 0,35 fois le diamètre), l'âme est alors amincie sur la pointe du foret. Elle garantit une rigidité supérieure, pour le perçage de matériaux durs (alliages de titane, de nickel, aciers à haute résistance...) et l'utilisation de vitesses d'avance élevées
- ❖ La goujure parabolique qui facilite la formation et l'évacuation des copeaux, possède une rigidité élevée due à son épaisseur d'âme (entre 0,30 et 0,45 du diamètre du foret).

La pointe du foret est une partie essentielle qui détermine la forme des arêtes de coupe et influence les performances de perçage. Les paramètres nominaux du foret tels que l'angle au sommet et l'angle de dépouille ne suffisent pas à définir la pointe. Différents types d'affûtage et d'amincissements de l'âme sont utilisés pour améliorer les caractéristiques du foret. Voici quelques-unes des pointes les plus couramment utilisées :

Pointe conventionnelle ou classique (Figure I.9) : Cette pointe a des faces de dépouille qui sont des portions de deux cônes symétriques par rapport à l'axe du foret. L'arête centrale est pratiquement rectiligne. L'angle de coupe sur cette arête est généralement très négatif, ce qui réduit l'auto-centrage du foret et peut affecter la précision du trou obtenu.

Foret avec un angle de pointe réduit : Cette variante de la pointe conventionnelle réduit la surface de coupe à la périphérie du foret. Cela limite les fissures et le broutement lors du perçage de trou débouchant. Ces forets sont souvent utilisés pour les matériaux plastiques ou les matériaux tendres non ferreux.

Foret à double pointe : Ce type de pointe a été spécialement développé pour les fontes et les matériaux abrasifs. L'objectif est de réduire l'usure des périphéries et des listels du foret, ce qui améliore la résistance à l'usure, la qualité et la tolérance du trou, ainsi que la fragmentation des copeaux. Les forets à double pointe peuvent également être utilisés pour percer des matériaux non durs afin d'éviter les bavures. Il est important de choisir le type de pointe approprié en fonction du matériau à percer, de la profondeur du trou et des exigences de précision. Chaque type de pointe a ses avantages et ses applications spécifiques. Les fabricants de forets proposent une large gamme de pointes adaptées à différents besoins d'usinage.

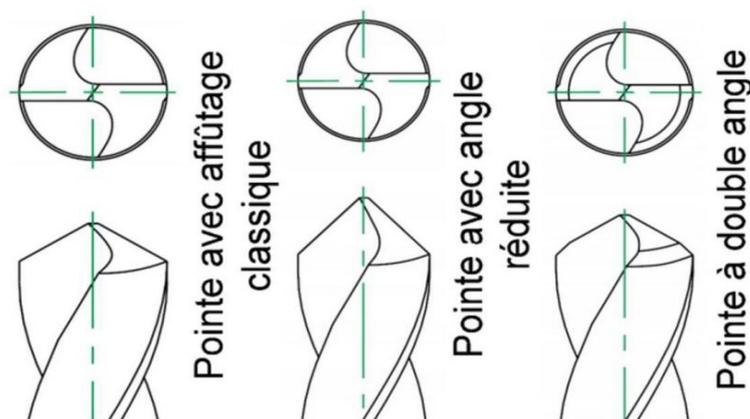


Figure I.7 Foret avec une pointe conventionnelle, avec angle réduit et à double angle.[2]

La pointe hélicoïdale (Figure I.10) modifie l'arête centrale droite du foret conventionnel en utilisant une autre arête centrale en forme de S. Cette forme particulière a pour propriété essentielle d'augmenter significativement l'angle de dépouille vers le centre du foret, ce qui contribue à

améliorer l'auto-centrage du foret. La pointe avec des faces de coupe réduite (Figure I.10) est obtenue en altérant la face de coupe pour obtenir une surface plane dans une zone proche des arêtes de coupe, de la périphérie jusqu'aux arêtes centrales. Cela permet de diminuer les angles de coupe, d'améliorer la rigidité des arêtes et la fragmentation des copeaux. La pointe "crankshaft" (Figure I.10) a été développée pour effectuer des trous profonds de lubrification dans le vilebrequin des voitures, d'où son nom. Elle se caractérise par une contre-dépouille et un amincissement au niveau de l'âme du foret. Par la suite, son utilisation a été étendue à diverses applications. Avec des angles de sommet de 118° et 135° , elle présente de nombreux avantages : réduction des efforts axiaux, formation de copeaux fragmentés et évacuation facilitée grâce aux deux faces de coupe positives. La pointe "Racon" (Figure I.10) présente des arêtes de coupe de forme incurvée, ce qui donne au foret un angle de pointe variable le long de ces arêtes. Cette géométrie particulière des arêtes de coupe, qui sont plus longues que les arêtes conventionnelles, génère des efforts de coupe par unité de longueur moins élevés, ce qui entraîne une génération de chaleur moins importante. Tout comme pour les forets avec double angle de pointe, la périphérie du foret doit être conçue pour réduire l'usure des listels.

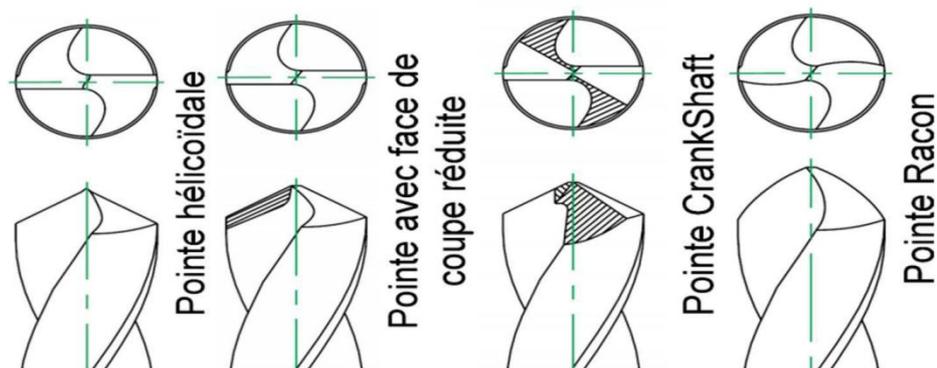


Figure I.8 Quelques exemples de pointes du foret.[2]

6. Matériaux et revêtements des forets

En effet, avec l'avènement de l'Usinage à Grande Vitesse (UGV), des vitesses de coupe et d'avance plus élevées sont utilisées, ce qui nécessite une évolution des matériaux d'outils, des revêtements et des géométries pour améliorer les performances des forets. Lors de l'utilisation de l'UGV, plusieurs critères doivent être pris en compte pour les matériaux des forets :

- ❖ Stabilité mécanique, physique et chimique à des hautes températures : Les forets doivent être capables de résister aux contraintes thermiques élevées générées lors de l'usinage à grande vitesse. Ils doivent conserver leur stabilité structurelle et ne pas se déformer ou se détériorer à des températures élevées.
- ❖ Résistance à l'usure : Les forets doivent avoir une bonne résistance à l'usure pour maintenir leur performance de coupe lorsqu'ils entrent en contact avec le matériau à percer. Ils doivent être capables de maintenir des arêtes de coupe tranchantes et de résister à l'abrasion causée par les copeaux et les forces de coupe élevées.
- ❖ Ténacité à la rupture fragile : Les forets doivent avoir une certaine ténacité pour éviter la rupture fragile lorsqu'ils sont soumis à des charges élevées. La ténacité est la capacité du matériau à absorber l'énergie sans se fracturer. Un foret doit être capable de résister aux chocs et aux contraintes mécaniques sans se casser ou se fissurer.

Cependant, il est difficile de satisfaire simultanément ces trois critères. Par exemple, les matériaux réfractaires qui ont une excellente stabilité à haute température peuvent être plus fragiles et moins ténaces. Il y a souvent un compromis à trouver entre ces différentes propriétés en fonction des exigences spécifiques de l'application.

Le Tableau I.1 mentionne les propriétés des matériaux en relation avec leur réfractarité et leur fragilité. Il est important de choisir le matériau approprié en fonction des conditions d'usinage, du matériau de la pièce à percer et des performances souhaitées du foret.

<i>Familles</i>	<i>Stabilité thermique</i>	<i>Résistance au choc</i>	<i>Résistance à l'usure</i>
Acier rapide (HSS)	Augmente ↓	Augmente ↑	Augmente ↓
Carbure			
Cermet			
Diamant			

Tableau I.1 Familles des matériaux des forets

Effectivement, différents matériaux sont utilisés pour la fabrication des forets, en fonction des exigences spécifiques de l'application. Voici quelques-uns des principaux matériaux utilisés :

- ❖ Aciers rapides (High Speed Steel, HSS) : Les aciers rapides sont des aciers spéciaux qui offrent une combinaison de haute ténacité et de dureté élevée grâce à des teneurs élevées en éléments carburigènes tels que le tungstène, le molybdène, le vanadium et le chrome. Ils sont largement utilisés

dans la fabrication des forets conventionnels en raison de leur stabilité thermique et de leur ténacité. Certains aciers rapides peuvent également contenir du cobalt pour améliorer leur dureté à chaud.

- ❖ Carbure de tungstène : Le carbure de tungstène est un matériau composé de particules très dures de carbure de tungstène (WC) dans une matrice de cobalt (Co) servant de liant. Il offre une excellente résistance à l'usure et est utilisé dans certains forets. La teneur en cobalt peut varier, influençant ainsi la ténacité et la résistance à l'usure du carbure de tungstène.
- ❖ Cermet : Le cermet est un matériau composite composé de céramique et d'un composant métallique, tel que le cobalt, le molybdène ou le nickel. Il offre une excellente résistance à l'usure et une stabilité thermique et chimique élevée. Cependant, sa ténacité est relativement limitée, ce qui le restreint à certaines applications spécifiques.
- ❖ Céramique : Les forets en céramique sont utilisés pour leur excellente résistance à la chaleur et leur stabilité chimique. Cependant, leur ténacité est généralement limitée, ce qui peut limiter leur utilisation à des applications spéciales.
- ❖ Diamant polycristallin (PolyCristallinDiamond, PCD) : Le diamant polycristallin est un matériau synthétique composé de particules de diamant agglomérées dans une matrice métallique. Il présente une dureté extrêmement élevée, une résistance à l'abrasion et une conductivité thermique élevée. Les forets en PCD sont utilisés pour des vitesses de coupe élevées, offrant une résistance à l'usure supérieure et une durée de vie prolongée.

Notons que les forets réaffûtables pour les trous de petits diamètres peuvent être conçus d'une seule matière (foret monobloc), ou de deux matières (par exemple foret plaquette carbure : le corps est formé d'une première matière HSS sur laquelle une plaquette carbure est brasée pour former les arêtes de coupe.

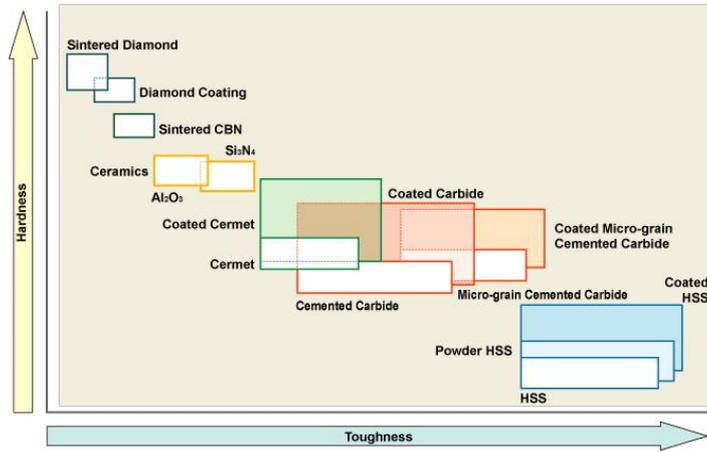


Figure I.9 Différents matériaux et revêtements d'outils.[3]

Le revêtement est une technologie qui améliore la capacité et la performance des outils coupants. L'outil n'est pas modifié chimiquement, mais revêtu d'une fine couche de quelques μm . Parmi les procédés d'exécution de revêtement, on peut citer le Physical Vapor Déposition. Il est réalisé sous vide à une température inférieure à 600°C . C'est une méthode très répandue pour la déposition d'un revêtement en métal dur. Un revêtement correctement appliqué et adapté à la matière usinée permet d'augmenter la durée de vie et la performance de l'outil ainsi que les caractéristiques des pièces usinées. Il permet de :

- ❖ Réduire le coefficient de frottement,
- ❖ Créer une barrière thermique en diminuant le coefficient de conduction entre l'outil et la pièce à usiner
- ❖ Constituer une surface inerte chimiquement

Hard Materials	Hardness (HV)	Energy Formation (kcal/g · atom)	Solubility in Iron (%.1250°C)	Thermal Conductivity (W/m·k)	Thermal * Expansion ($\times 10^{-6}/\text{k}$)	Tool Material
Diamond	>9,000	–	Highly Soluble	2,100	3.1	Sintered Diamond
CBN	>4,500	–	–	1,300	4.7	Sintered CBN
Si ₃ N ₄	1,600	–	–	100	3.4	Ceramics
Al ₂ O ₃	2,100	-100	≈ 0	29	7.8	Ceramics Cemented Carbide
TiC	3,200	-35	< 0.5	21	7.4	Cermet Coated Carbide
TiN	2,500	-50	–	29	9.4	Cermet Coated Carbide
TaC	1,800	-40	0.5	21	6.3	Cemented Carbide
WC	2,100	-10	7	121	5.2	Cemented Carbide

* $1\text{W/m} \cdot \text{K} = 2.39 \times 10^{-3} \text{cal/cm} \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C}$

Tableau I.2 Caractéristiques des différents matériaux et revêtements d'outils.[3]

Plusieurs types de revêtements sont employés avec les forets. Par exemple :

- ❖ Nitrure de titane (TiN) employé pour de nombreuses applications conventionnelles, contribue à l'amélioration de la dureté et de la résistance à l'usure. Cependant ses performances thermiques et son coefficient de frottement sont moyens par rapport aux autres revêtements.
- ❖ TiAlN est caractérisé par une dureté légèrement supérieure au TiN, une ténacité et une stabilité chimique et thermique élevées. Son coefficient de frottement est moyen.
- ❖ Sulfure de molybdène (MoS₂) est un revêtement non dur employé comme lubrifiant solide du fait de son faible coefficient de frottement, dans les opérations où l'utilisation des lubrifiants liquides est impossible. Il possède une bonne résistance thermique et une ténacité faible. Il est employé généralement comme une couche complémentaire avec un revêtement multicouche dur.

Il existe également d'autres procédés (CVD : chemical vapour deposition) et types (PCBN : polycrystalline cubic boron nitride) de revêtement, ainsi que des revêtements multicouches Figure (I.12) dont les couches peuvent être ou non de même matière. La performance d'un revêtement dépend de la matière usinée et de la technologie utilisée pour sa déposition. Le choix des matériaux d'outils et de leurs revêtements est important. Il dépend des différents critères caractérisant le comportement du couple outil-matière.

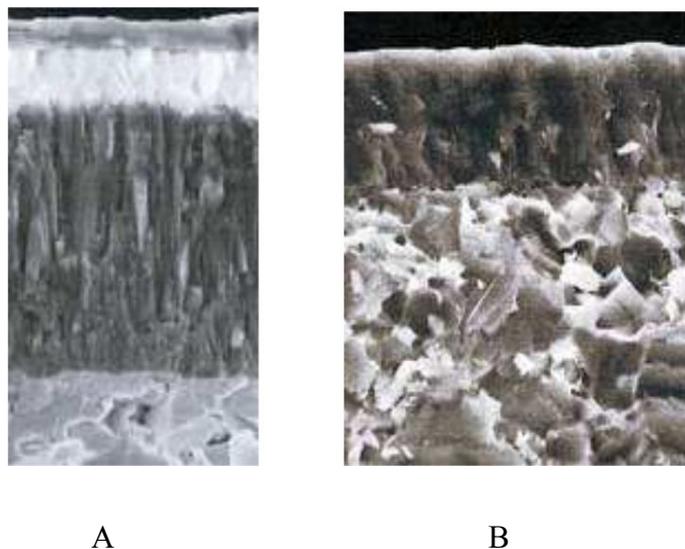


Figure I.10. Image réalisée d'un outil revêtu avec trois couches de revêtement (A) puis une seule couche (B).[3]

L'importance et l'efficacité des revêtements dans le domaine de l'usinage ont été étudiées par plusieurs chercheurs. Les revêtements sont utilisés pour améliorer les performances des outils de coupe, tels que les forets, en leur conférant des propriétés spécifiques telles que la résistance à l'usure, la résistance à la chaleur, la lubrification et la réduction des frictions. L'étude menée par Tönshoff et al., comme illustrée dans la Figure (I.13), comparait les performances de forets revêtus (TiN et TiAlN) par rapport à un foret non revêtu. Les courbes représentant l'évolution de la largeur moyenne de la bande d'usure en dépouille (VBc) pendant le perçage démontrent l'efficacité des revêtements. Les forets revêtus ont montré une meilleure résistance à l'usure, ce qui se traduit par une durée de vie plus longue de l'outil. Une autre étude menée par Harris et al., comme présentée dans la Figure (I.14), s'est concentrée sur la performance de différents types de revêtements (monocouche et multicouches) lors du perçage à sec de l'acier. Les résultats ont montré que de bons revêtements pouvaient augmenter de manière significative la durée de vie du foret, passant de 750 à 2250 trous [7].

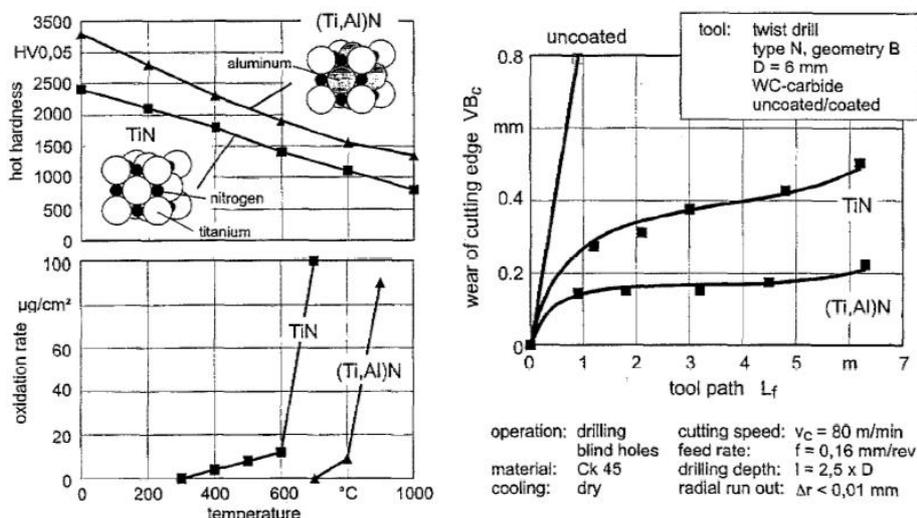


Figure I.11 L'évolution VB pendant le perçage avec des forets revêtus et sans revêtement.[4]

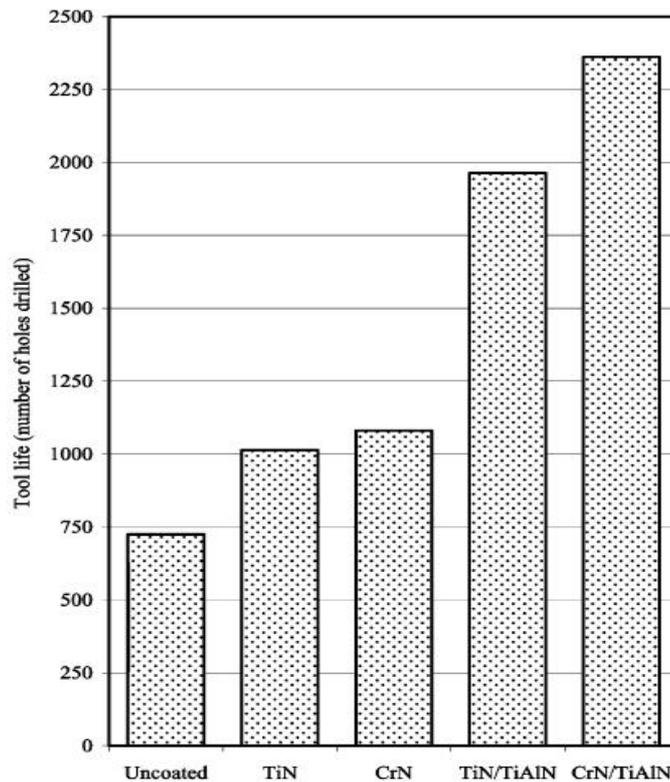


Figure I.12 Nombre de trous percés avec des forets non revêtus et revêtus avec plusieurs types de revêtements.[5]

7. Lubrification et perçage à sec ou à lubrification minimale

Lors du perçage de trous courts avec des forets en carbure, il se produit une importante génération de chaleur en raison des taux élevés d'enlèvement de matière. Cette chaleur doit être évacuée efficacement pour éviter des problèmes tels que l'usure prématurée de l'outil et des déformations de la pièce. Le liquide de coupe joue un rôle crucial dans l'évacuation de la chaleur et des copeaux. Il est généralement fourni sous haute pression, soit par une buse interne du foret, soit par une buse externe. Le liquide de coupe permet de refroidir l'outil et la pièce en absorbant la chaleur générée pendant l'usinage. Il facilite également l'évacuation des copeaux de la zone de coupe. Pour assurer un usinage fiable et des résultats de bonne qualité, il est important de régler la pression et le débit du liquide de coupe de manière appropriée. Il existe des diagrammes et des recommandations fournissant des valeurs guides pour la pression et le débit en fonction de divers paramètres, tels que le diamètre du foret, la vitesse de rotation, l'avance et la nature de la matière usinée [8][9]. Cependant, il peut être nécessaire d'ajuster ces valeurs en fonction des conditions d'usinage réelles. La nature de

la matière usinée joue un rôle important dans le choix des paramètres de liquide de coupe. Différentes matières présentent des caractéristiques de coupe spécifiques, telles que la conductivité thermique, la facilité de formation de copeaux et la tendance à l'adhérence des copeaux. Ces facteurs influencent les besoins en termes de pression et de débit du liquide de coupe pour garantir un usinage optimal. Il est donc essentiel de prendre en compte les conditions d'usinage spécifiques et la nature de la matière usinée lors de la détermination des paramètres de liquide de coupe. Des ajustements peuvent être nécessaires pour obtenir des performances optimales et assurer la fiabilité et la qualité de l'usinage.

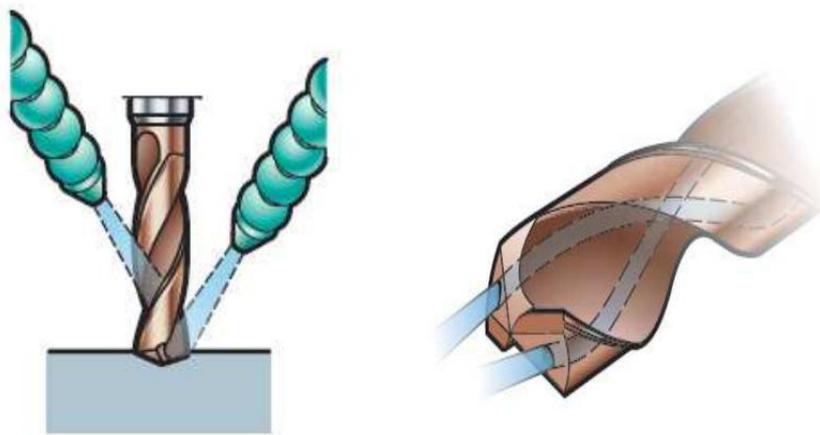


Figure I.13 Lubrification interne et externe.[2]

l'usinage lubrifié a été largement utilisé dans l'industrie mécanique, mais des recherches ont été menées pour réduire voire éliminer l'utilisation des fluides de coupe. C'est ainsi qu'est apparu le concept de lubrification minimale, également connue sous le nom de quantité minimale de lubrifiant (MQL), et l'usinage à sec. L'utilisation de lubrifiants dans l'usinage présente des inconvénients tels que des impacts sur l'environnement et la santé humaine, ainsi que des coûts élevés liés à la production et à l'élimination des déchets. L'usinage à sec permet d'économiser jusqu'à 17% du coût total de la pièce fabriquée, principalement en supprimant les coûts liés à l'approvisionnement en lubrifiant, au traitement des fluides usagés et à la nécessité de nettoyer les pièces après l'usinage. Cette réduction des coûts associée à la minimisation de la pollution est essentielle pour maintenir la compétitivité et la rentabilité de l'industrie à long terme. La lubrification minimale se distingue par l'utilisation d'un jet d'air comprimé pour obtenir l'effet de refroidissement du lubrifiant. Une petite quantité de lubrifiant est nécessaire, à condition qu'il soit injecté efficacement dans la zone de coupe

[10][11]. Ce lubrifiant est entièrement utilisé et les copeaux formés sont pratiquement secs. Cependant, tous les effets obtenus avec la lubrification classique (utilisation d'un débit élevé de fluide de coupe) ne sont pas reproduits avec la lubrification minimale. Malgré cela, les résultats obtenus avec la lubrification minimale lors du perçage sont excellents par rapport à ceux obtenus avec la lubrification classique. La lubrification minimale offre une alternative intéressante d'un point de vue économique, ainsi qu'en termes de respect de l'environnement. Elle combine les fonctions de refroidissement et de lubrification avec une quantité extrêmement faible de lubrifiant, ce qui en fait une solution prometteuse pour combler le fossé entre la lubrification classique et l'usinage à sec.

8. Formation des copeaux

Plusieurs facteurs influent sur la formation des copeaux lors de l'usinage avec un foret. Voici quelques points importants à prendre en compte :

- ❖ Matière à usiner : La nature de la matière à usiner joue un rôle crucial dans la formation des copeaux. Différentes matières peuvent produire des copeaux de différentes formes et propriétés. Certains matériaux peuvent générer des copeaux courts et cassants, tandis que d'autres peuvent produire des copeaux longs et continus.
- ❖ Géométrie de l'outil : La géométrie de l'outil, y compris les angles de coupe, les angles de dépouille et les rayons de bord, peut influencer la formation des copeaux. Une bonne géométrie de l'outil permet une coupe efficace et facilite l'évacuation des copeaux.
- ❖ Vitesse de coupe : La vitesse de coupe est la vitesse à laquelle l'outil tourne par rapport à la pièce à usiner. Une vitesse de coupe élevée peut produire des copeaux plus longs, tandis qu'une vitesse plus faible peut générer des copeaux plus courts.
- ❖ Avance : L'avance correspond à la vitesse à laquelle l'outil progresse dans la pièce à usiner. Une avance plus élevée peut conduire à des copeaux plus courts, tandis qu'une avance plus faible peut produire des copeaux plus longs.
- ❖ Liquide de coupe : Le choix et l'utilisation d'un liquide de coupe approprié peuvent aider à améliorer la formation des copeaux. Un liquide de coupe adéquat peut réduire le

frottement et la chaleur générés pendant l'usinage, ce qui peut influencer la formation des copeaux.

Il est effectivement recommandé de réaliser des essais avec différentes combinaisons de vitesses de coupe et d'avance pour trouver les conditions de fonctionnement optimales de l'outil et obtenir une formation de copeaux souhaitable. L'objectif est de s'assurer que les arêtes de coupe créent un copeau continu sans s'enfoncer transitoirement dans le vide, ce qui peut entraîner des problèmes d'évacuation des copeaux. En ajustant ces paramètres et en effectuant des essais, il est possible de trouver les bonnes conditions pour une formation de copeaux efficace et une évacuation adéquate..

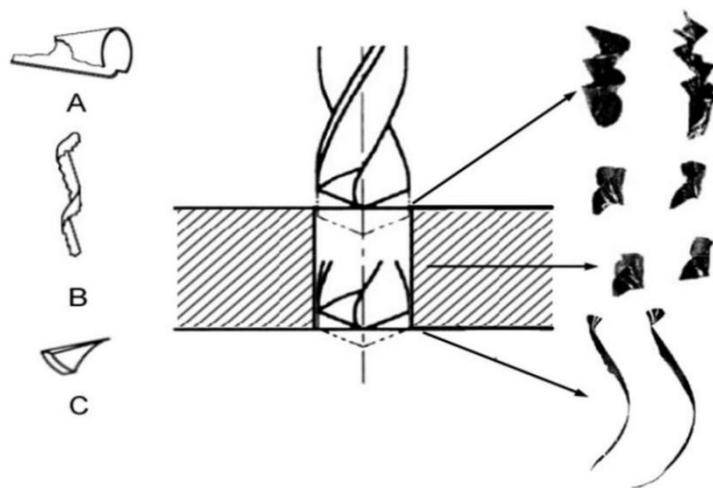


Figure I.14 Différents types de copeaux.[6]

9. Mécanismes d'enlèvement de la matière pendant le perçage

Les mécanismes d'enlèvement de la matière pendant le perçage avec un foret hélicoïdal conventionnel sont classés en deux catégories :

- ❖ La formation des copeaux le long des arêtes principales qui est très semblable à une opération de coupe.
- ❖ La formation des copeaux le long de l'arête centrale est plus complexe. En effet, au centre du foret, où la vitesse d'avance est plus importante que la vitesse de rotation, l'enlèvement de la matière est plus proche d'une indentation que de la coupe. Enfin, sur l'autre partie de l'arête centrale, la vitesse de rotation n'est pas nulle : l'enlèvement de la matière est semblable à un mécanisme de coupe avec des conditions très sévères (angle de coupe négatif).

Dans les forets avec des géométries modernes, l'amincissement au niveau de l'arête centrale contribue à l'amélioration des conditions de coupe dans cette région en modifiant l'angle de

coupe I.17. L'indentation est réduite à une zone très petite de quelque dizaine de micromètres juste au centre du foret.

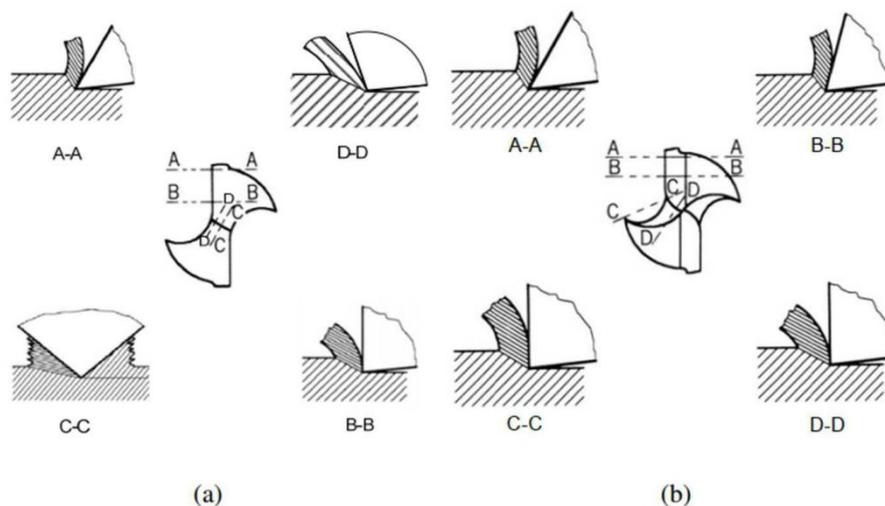


Figure I.15 : Mécanisme d'enlèvement de la matière pendant le perçage avec un foret hélicoïdal conventionnel (a) et un foret de géométrie moderne (b).[6]

10. Bavure

Lors du perçage d'un trou débouchant, il est courant que des bavures se forment sur la face inférieure et parfois supérieure de la pièce. Une bavure est un surplus involontaire de matière, généralement très mince, qui se forme autour du trou percé. Elle est souvent constituée d'une fine lamelle de métal déformée qui reste attachée au bord du trou. Les bavures peuvent causer divers problèmes, en particulier la bavure inférieure. Ces problèmes peuvent inclure un mauvais alignement lors des assemblages, une réduction de la durée de vie en fatigue (en raison de la bavure pouvant servir de point d'initiation de fissure) et des dommages importants dans les pièces en mouvement. Par conséquent, il est préférable d'éviter ou de minimiser les bavures. Dans certains cas, une opération supplémentaire d'ébavurage est nécessaire. La forme et la taille des bavures dépendent de plusieurs paramètres, tels que la matière à percer et les conditions de coupe utilisées[12].

Plusieurs chercheurs ont étudié ce phénomène dans le but de comprendre et de contrôler la formation des bavures. Cependant, en raison de la complexité de l'opération de perçage et du grand nombre de paramètres qui influent sur la formation des bavures, il n'existe pas de modèle analytique ou empirique capable de résoudre efficacement ce problème. La modélisation de la formation des bavures est en effet difficile en raison de ces facteurs complexes et variables. La réduction des

bavures peut être obtenue en optimisant les paramètres de coupe, tels que la vitesse de coupe, l'avance et la géométrie de l'outil, ainsi qu'en utilisant des techniques spécifiques pour contrôler la formation des bavures, comme l'utilisation d'outils à pointe spéciale ou l'application de liquides de coupe adaptés. Cela dit, il convient de noter que malgré les efforts pour minimiser les bavures, leur élimination complète peut parfois être difficile à réaliser, ce qui peut nécessiter une étape d'ébavurage supplémentaire pour garantir la qualité finale de la pièce.[12]

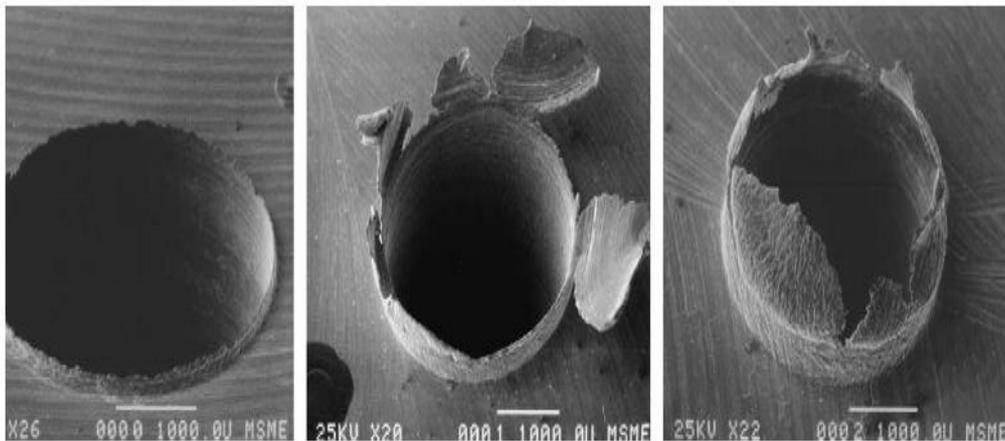


Figure I.16 Trois types de bavure de L'AISI 4118, de gauche à droite : bavure uniforme, bavure transitoire et bavure en forme d'une couronne.[12]

11. Usure de foret :

Les parties du foret, en contact avec la pièce ou le copeau s'usent. On peut distinguer trois types d'usure :

- ❖ L'usure de la dépouille Figure 19-a, est caractérisée par un marquage le long des arêtes principales et centrales dans la direction de l'écoulement du métal. Elle est maximum au niveau du bec à cause de la vitesse de coupe élevée en cette partie du foret
- ❖ L'usure des listels Figure 19-c, est parfois accompagnée par une entaille ; cette usure est gênante car elle oblige à enlever lors de réaffûtage une partie importante de matière. Ce type d'usure est important lorsque le matériau usiné est abrasif, ou bien si l'affûtage n'est pas symétrique.
- ❖ L'usure de la face de coupe Figure 19-b, est constatée parfois sous forme d'une usure en cratère. Elle ne perturbe pas le fonctionnement du foret. il est rare de le faire disparaître par affûtage.

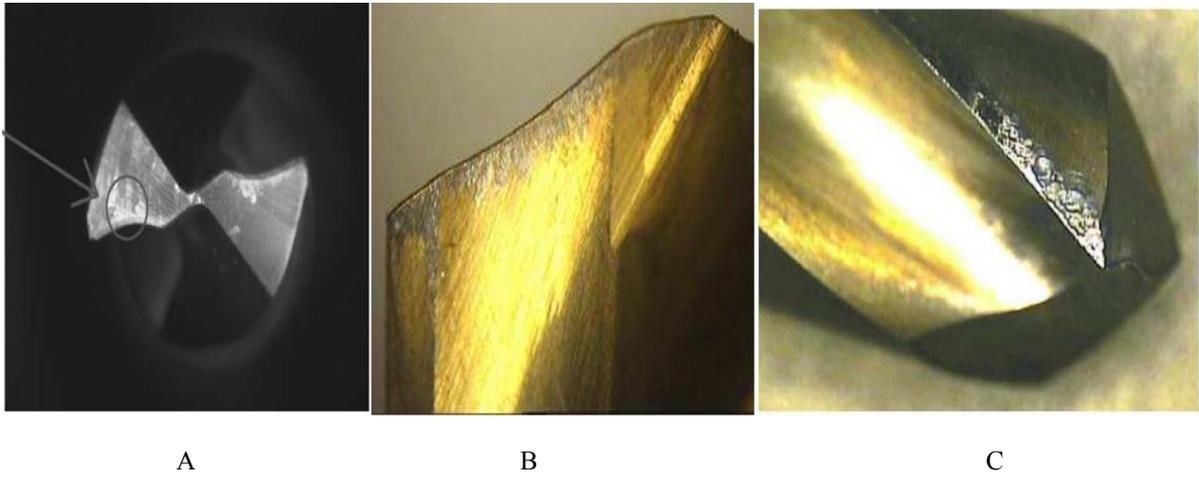


Figure I.17 Différents types d'usure des forets : (A) usure de la dépouille , (B) usure de la face de coupe et (C) usure des listels.[12][13]

L'usure est causée par plusieurs phénomènes ou mécanismes:

- ❖ L'abrasion Figure (I.19) a-b, est due au frottement de la matière de la pièce le long de la partie avant de la face de dépouille, ou de copeau le long de la face de coupe.
- ❖ L'adhésion Figure (I.20) est un phénomène dû à l'action conjuguée de la température et de la pression exercée par le copeau sur la face de coupe. Lorsque ces conditions sont réunies des micro soudures se développent dans la zone de contact. Ces micro soudures peuvent former ensuite ce qu'on appelle une arête rapportée qui peut s'arracher de l'outil et causer un cratère.
- ❖ La diffusion Figure (II.20) est un micro-transfert à l'échelle d'atome entre le copeau et l'outil.

Il nécessite comme l'adhésion une température et une pression au niveau du contact outil-copeau élevées. Le taux d'adhésion croit généralement avec la température.

- ❖ L'oxydation peut avoir lieu à des hautes températures. Les oxydes formés sont facilement enlevés ce qui aboutit à une usure importante de l'outil.

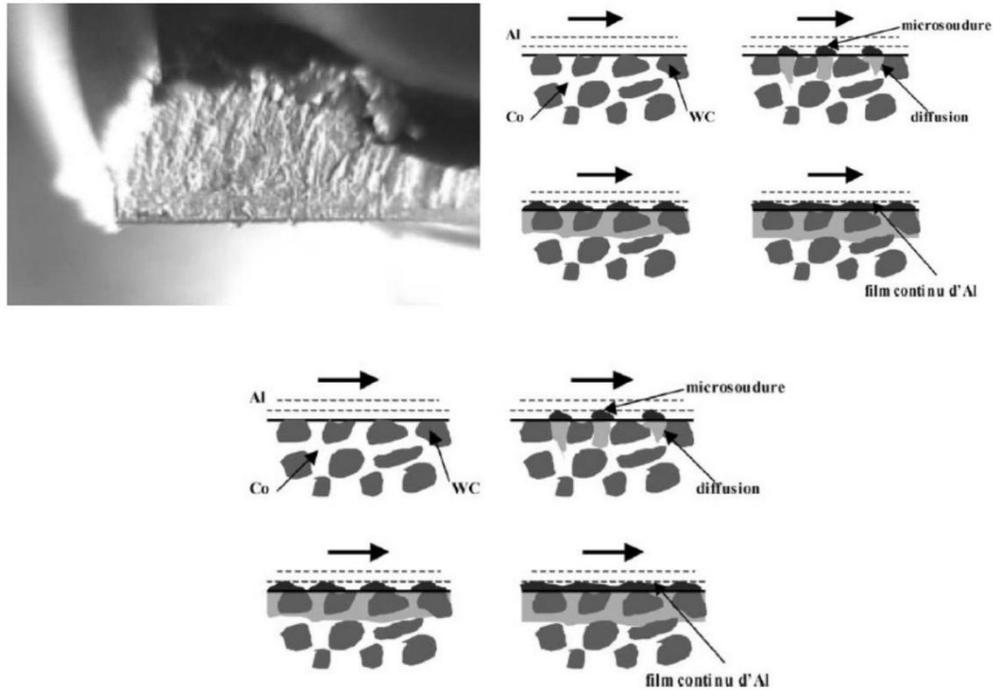


Figure I.18 L'usure par adhésion à gauche.[13][14]

Chacun de ces mécanismes d'usure est influencé par de nombreux paramètres, tels que les matériaux de l'outil et de la pièce, les conditions de coupe et l'utilisation de lubrifiants. Ils peuvent se produire simultanément, successivement ou de manière individuelle. Il est important de noter que l'usure excessive peut entraîner une rupture catastrophique du foret (voir Figure I.21). Pour déterminer le moment où il est nécessaire d'affûter ou de remplacer le foret, plusieurs critères peuvent être pris en compte. Les critères couramment utilisés comprennent l'état de surface obtenu et les dimensions du trou réalisé. Il est également courant de se baser sur environ 80 % de la durée de vie estimée de l'outil avant d'envisager son remplacement. Il est essentiel de surveiller régulièrement l'usure de l'outil et de prendre des mesures appropriées dès que les performances commencent à diminuer ou que les critères d'usure atteignent des seuils préétablis. Cela permet de garantir des résultats de coupe optimaux, d'éviter les défauts de pièces et de prolonger la durée de vie des outils, ce qui est économiquement avantageux. [14]

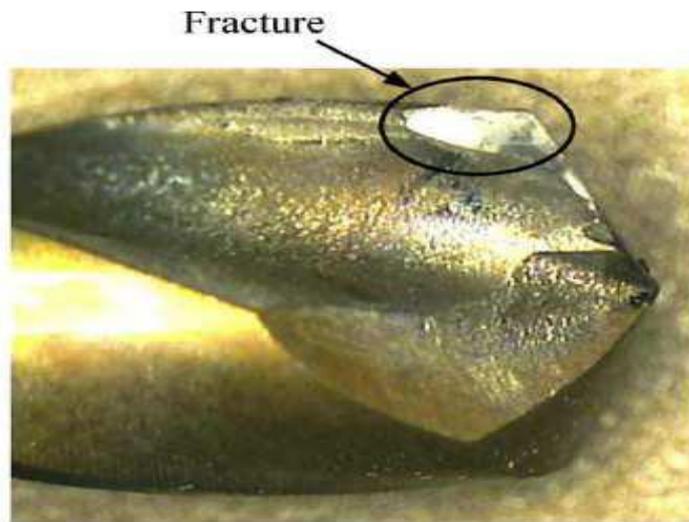


Figure I.19 Exemple de rupture du foret.[14]

Conclusions :

En conclusion de ce chapitre dédié au foret, nous pouvons affirmer avec certitude que cet outil de perçage revêt une importance capitale dans de nombreux domaines. Que ce soit dans la construction, la menuiserie, la mécanique ou d'autres secteurs, le foret est indispensable pour réaliser des trous précis et efficaces. Nous avons exploré les différentes caractéristiques des forets, notamment leur forme, leur matériau et leur géométrie, qui sont toutes essentielles pour déterminer leur performance et leur adaptabilité à différents matériaux. Du foret hélicoïdal classique au foret conique en passant par les forets spécifiques tels que les forets à bois, à métal ou à béton, chaque type de foret est conçu pour répondre à des besoins spécifiques. Enfin, le foret est un outil incontournable pour réaliser des travaux de perçage avec précision et efficacité. En comprenant ses caractéristiques, en choisissant le bon type de foret pour chaque matériau et en respectant les bonnes pratiques de sécurité, nous sommes en mesure d'accomplir nos tâches de perçage de manière optimale, en obtenant des résultats de qualité et en garantissant notre propre sécurité.

Chapitre II

Matériel et méthodes

1. Introduction :

Les expériences ont été réalisées au niveau du laboratoire de fabrication mécanique du département de Génie Mécanique de l'université Badji Mokhtar d'Annaba.

L'étude du phénomène de l'usure des forets hélicoïdaux suppose la connaissance des différents facteurs qui s'imposent pour provoquer leur endommagement. Parmi ces facteurs nous citons ceux du régime de coupe comme la vitesse de coupe, l'avance.

Pour notre cas c'est le diamètre du foret, la géométrie de l'outil et les caractéristiques du matériau mis en œuvre, ainsi que les conditions de travail (machine, lubrification ...), Tous ces facteurs constituent les paramètres d'entrée du système d'usinage. La tenue, la précision, les efforts etc....

2. Description de la perceuse :

Ces machines ont pris leur nom de la colonne qui est montée sur la table, à son extrémité supérieure se trouve l'unité de perçage. La table porte pièce peut être déplacée en hauteur et pivote le plus souvent pour permettre des parcages inclinés.



Figure II.1 : Perceuse a colonne modèle 2H125T n°69663

Les essais ont été réalisés sur une perceuse à colonne modèle 2H125T n°6963, fabriquée en 1971 en URSS, destinée à la fabrication unitaire et petite série. la puissance du moteur électrique est de $2.2K_w$ et sa fréquence de rotation est de 1430 tr/min.

La machine ainsi décrite est munie d'un étau jouant le rôle de dispositif de serrage et de positionnement de la pièce. Les essais ont été réalisés en absence de lubrification.

La perceuse dispose d'une manette pour sélectionner les avances et une autre pour la sélection de la fréquence de rotation selon le régime de coupe adopté.



Figure II.2: Manette de sélection des avances et des fréquences de rotation

3. La Matière à usiner :

Nous nous sommes servis d'un cube d'acier C22 ayant les caractéristiques mécaniques et chimiques présentées dans le tableau (2.1).

Tableau II.1 : Caractéristiques mécaniques et chimiques de l'acier C22. [3]

Composition chimique	Caractéristiques mécaniques
C : 0,180 %	-Dureté : 67.8 HRB
Mn : 0,492 %	-Résistance max : 59 daN/mm ²
Si : 0,307 %	-Allongement : 10 %
P : 0,09 %	
S : 0,033 %	
Cr : 0.032 %	
Mo : 0,021 %	
Ni : 0,078 %	
V : traces	
Cu : 0,195	

4. Description du microscope :

Le microscope optique utilisé, aussi connu sous le nom de microscope à lumière, c'est le type de microscope le plus couramment utilisé. Il utilise la lumière visible pour illuminer l'échantillon et des lentilles pour agrandir l'image. Il peut être utilisé pour observer des échantillons biologiques, tels que des cellules et des tissus, ainsi que des échantillons non biologiques.

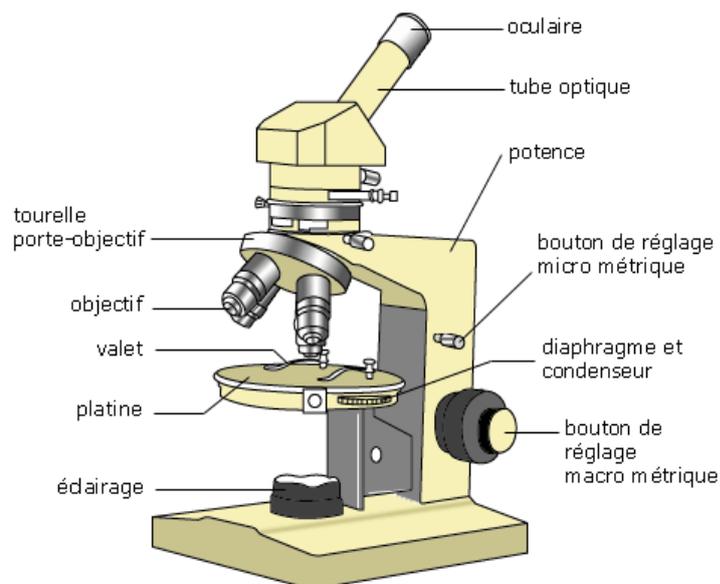


Figure II.3: Les différents composants d'un microscope optique.[15]

5. Description du foret 18 millimètres :

Un foret de 18 millimètres est un type de foret utilisé pour percer des trous de 18 millimètres de diamètre dans différents matériaux. Voici une description détaillée des caractéristiques d'un foret de 18 millimètres :



Figure II.4 : Foret hélicoïdale HSS 18mm

5.1. Matériau du foret :

- Les forets de 18 millimètres sont généralement fabriqués en acier rapide (HSS) ou en carbure de tungstène. L'acier rapide offre une bonne durabilité et polyvalence, tandis que le carbure de tungstène est plus résistant et adapté aux matériaux plus durs.

5.2. Tige du foret :

- La tige du foret de 18 millimètres est généralement cylindrique avec une section lisse. La taille de la tige peut varier en fonction de la perceuse utilisée et de son mandrin.

5.3. Pointe du foret :

- La pointe du foret de 18 millimètres peut avoir différentes configurations, telles qu'une pointe en croix, une pointe en carbure ou une pointe en pilote. La pointe est conçue pour faciliter le centrage et le démarrage précis du perçage.

5.4. Gorges d'évacuation des copeaux :

Les forets de 18 millimètres sont généralement dotés de gorges en spirale ou droites le long de leur surface. Ces gorges permettent l'évacuation efficace des copeaux pendant le perçage, réduisant ainsi le risque de surchauffe et de blocage.

5.5. Revêtements :

Certains forets de 18 millimètres peuvent être dotés de revêtements spéciaux pour améliorer leur performance. Des revêtements tels que le TiN (nitrure de titane) ou le TiAlN (nitrure de titane et aluminium) offrent une meilleure résistance à l'usure, une réduction du frottement et une durée de vie prolongée.

5.6. Longueur totale :

La longueur totale d'un foret de 18 millimètres peut varier en fonction de la conception spécifique du foret. Cela détermine la profondeur maximale du trou que le foret peut percer.

5.7. Utilisation :

Les forets de 18 millimètres sont utilisés dans une variété d'applications, notamment le perçage de bois, de métal, de plastique et d'autres matériaux. Ils conviennent généralement aux travaux de construction, de menuiserie, de plomberie, de réparation automobile, etc.

Il est important de noter que les caractéristiques précises d'un foret de 18 millimètres peuvent varier en fonction du fabricant et du modèle spécifique. Lors de l'utilisation d'un foret, il est essentiel de suivre les recommandations du fabricant en termes de vitesse de rotation, de lubrification et de sécurité.

6. Positionnement des éprouvettes

On positionne l'éprouvette sur l'étau de la perceuse toute en lui assurant une bonne fixation en respectant la perpendicularité de la surface de travail à l'axe du foret.

7. Les outils de coupes :

Pour nos expériences, nous avons utilisé un foret hélicoïdal à queue conique d'un diamètre de 18 mm et d'une longueur totale d'environ 240 mm. La partie active du foret, comprenant la partie de guidage, mesure environ 1000 mm de longueur, avec un angle au sommet de $2\chi_r = 120^\circ$. Le modèle de foret que nous avons utilisé est en acier rapide, également connu sous le nom de HSS (High Speed Steel). Il s'agit d'un acier fortement allié, caractérisé par une dureté élevée (> 60 HRC) garantie jusqu'à une température de 600°C . Sa résistance à l'usure et sa grande ténacité à haute température lui confèrent d'excellentes performances de coupe. De plus, il peut être affûté à la main, ce qui facilite son entretien.

8. Conditions de coupe :

Les expériences ont été réalisées suivant les conditions de coupe illustrées sur le tableau suivant :

Tableau II.2: Conditions de réalisation des essais lors de l'usinage de l'acier C22.

La condition de coupe	Foret hélicoïdale à queue conique
Avance (s)	0.2 (mm /tr)
Diamètre (D)	18(mm)
Fréquence de rotation (n)	90(tr/min)

9. Appareil de mesure d'usure

Les mesures d'usure ont été réalisées sur un microscope d'atelier conçu initialement pour contrôler les différents paramètres d'un filetage, on l'a adapté pour mesurer l'usure sur la surface en dépouille moyenne (à-peu-près au milieu) d'un foret hélicoïdal (Figure II.5)



Figure II.5: Microscope d'atelier

On a aussi utilisé le microscope numérique OPTIKA (Figure II.6) pour visualiser l'état de surface des coupeaux.



Figure II.6 : Microscope numérique OPTIKA.



Figure II.7: Orientation et positionnement des forets sur le microscope.



Figure II.8 : Positionnement du foret sur la perceuse.

10. Méthode de mesure de l'usure

10.1. Mesure de l'usure sur la surface en dépouille :

La mesure de l'usure sur la surface en dépouille d'un foret de perçage est cruciale pour évaluer sa durée de vie et sa performance. La surface en dépouille fait référence à la partie avant du foret qui entre en contact avec le matériau lors du perçage. L'usure de cette surface peut avoir un impact significatif sur l'efficacité de coupe, la précision du trou percé et la longévité globale du foret. À l'aide de l'oculaire du microscope, nous pouvons observer la forme de l'usure en

dépouille à partir de l'arête tranchante principale. Cette usure présente trois niveaux : minimal, moyen et maximal (VB1, VB2, VB max). Les mesures ont été prises à l'aide des chariots gradués du microscope en se basant sur VB2 phase de dépouille moyenne. (Figure II.8)

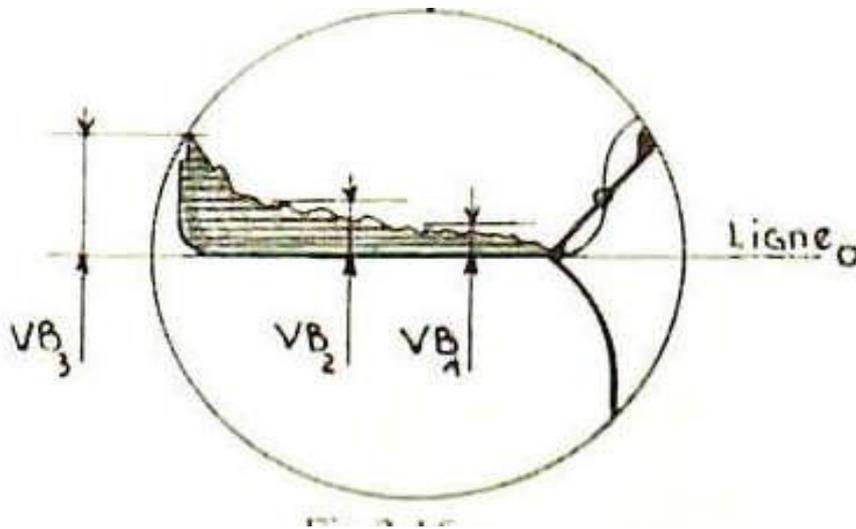


Figure II.9: Lecture et mesure de l'usure sur la surface en dépouille

10.2. Méthode graphique :

La tenue de l'outil fait référence à la durée de coupe correspondant à une valeur acceptable de l'enlèvement de matière lors de l'usinage en ébauche ou en finition. Une fois que nous avons établi le critère d'usure de l'outil (c'est-à-dire la largeur maximale d'usure en dépouille, VB), les résultats d'une série de tests peuvent être traités graphiquement en traçant la courbe d'usure en fonction du temps de coupe.

$$VB = F(t)$$

Une fois que la valeur du critère d'usure préalablement choisi (VB) est atteinte, il suffit de déduire cette valeur à partir de la courbe tracée pour déterminer la durée de coupe correspondante.

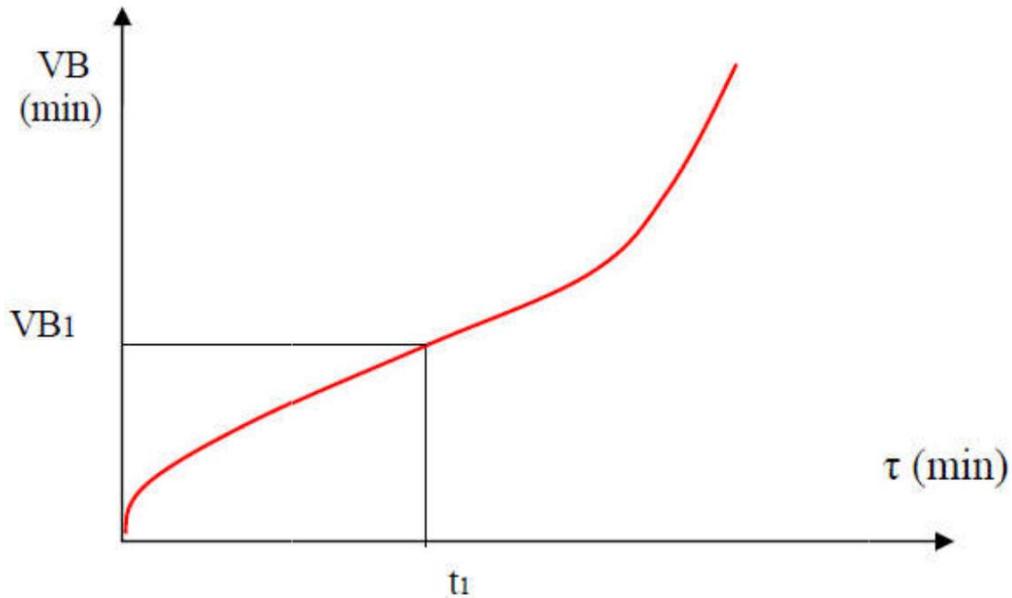


Figure II.10: Courbe d'usure de l'outil en fonction du temps.

Pour déterminer l'usure d'un outil (VB_1) en temps (t_1) il suffit de projeter la valeur de l'usure admissible sur la courbe $VB=F(t)$ et la ré-projeter sur l'axe des temps (τ).

11. Présentation du logiciel de calcul de fiabilité :

Phimeca Soft est un logiciel spécialisé dans l'analyse de la fiabilité et la sécurité des systèmes complexes.

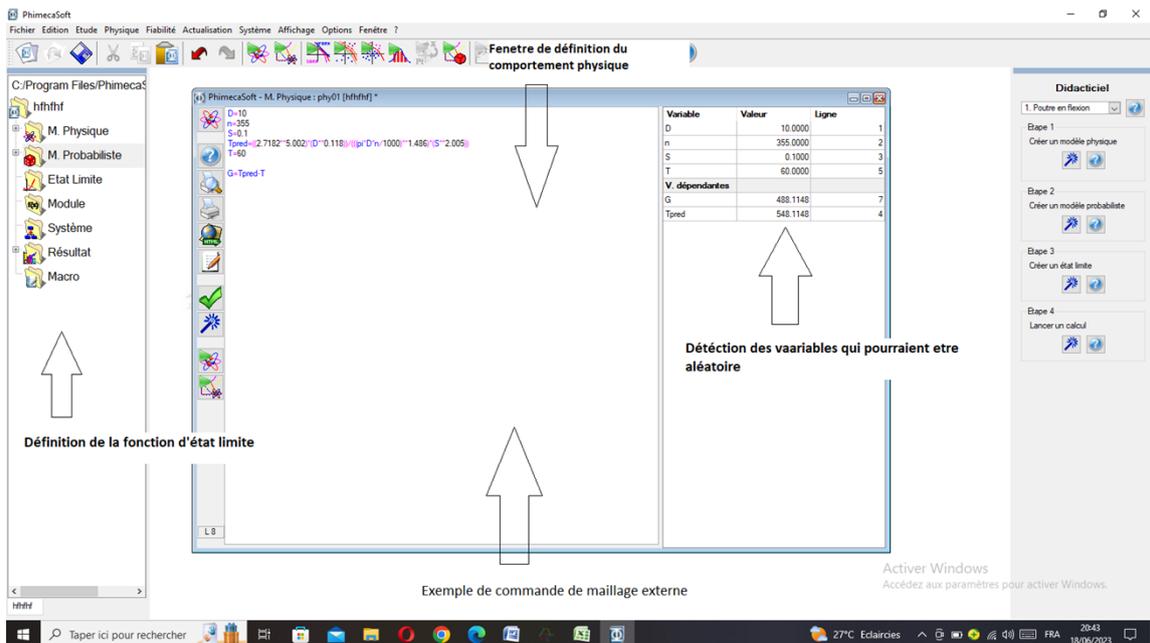


Figure II.11: Présentation de la table physique de phimeca soft

Il offre des fonctionnalités avancées pour l'évaluation des risques, l'optimisation de la maintenance et l'amélioration de la fiabilité des systèmes. Voici une présentation détaillée des principales caractéristiques et fonctionnalités de Phimeca Soft :

11.1. Analyse de la fiabilité :

- Phimeca Soft permet d'effectuer des analyses de fiabilité détaillées en utilisant des méthodes telles que l'analyse de défaillance du système, l'analyse de l'arbre de défaillance, l'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE).

- Le logiciel permet de modéliser les composants du système, d'estimer leurs taux de défaillance, et d'évaluer la fiabilité globale du système.

11.2. Analyse de la sécurité :

- Phimeca Soft propose des outils pour l'analyse de la sécurité des systèmes en identifiant les risques potentiels et en évaluant leur gravité.

- Il permet d'effectuer des analyses de sécurité fonctionnelle conformément aux normes et réglementations en vigueur, telles que la norme ISO 26262 pour l'industrie automobile.

11.3. Optimisation de la maintenance :

- Le logiciel offre des fonctionnalités d'optimisation de la maintenance pour déterminer les intervalles de maintenance optimaux, les politiques de remplacement des composants et les stratégies de maintenance préventive.

- Il utilise des algorithmes avancés pour minimiser les coûts de maintenance tout en garantissant la disponibilité et la fiabilité du système.

11.4. Gestion des données :

- Phimeca Soft permet de gérer et d'organiser efficacement les données liées à la fiabilité, à la sécurité et à la maintenance des systèmes.

- Il facilite l'importation et l'exportation des données à partir de différentes sources, ainsi que la création de rapports détaillés sur les analyses effectuées.

11.5. Analyse probabiliste :

- Le logiciel intègre des outils d'analyse probabiliste pour prendre en compte les incertitudes dans les données d'entrée, tels que les taux de défaillance, les temps de réparation, etc.

- Il permet de réaliser des simulations Monte Carlo pour estimer les probabilités de défaillance, les coûts de maintenance et d'autres indicateurs de performance.

11.6. Convivialité et interface intuitive :

- Phimeca Soft est doté d'une interface conviviale et intuitive qui facilite l'utilisation et la navigation dans le logiciel.

- Il offre des fonctionnalités de visualisation graphique pour représenter les résultats des analyses, tels que des graphiques de fiabilité, des arbres de défaillance, etc.

11.7. Analyse de la dépendance :

- Phimeca Soft prend en compte les dépendances entre les composants du système, en évaluant l'impact des défaillances individuelles sur les performances globales.

- Il permet de modéliser les relations de dépendance pour une meilleure compréhension des risques et une prise de décision plus précise.

11.8. Intégration avec d'autres outils :

- Phimeca Soft offre des fonctionnalités d'intégration avec d'autres logiciels et outils d'ingénierie, tels que les logiciels de simulation,

- Cette intégration facilite le partage des données et la collaboration entre les différentes disciplines de l'ingénierie.

11.9. Support technique et formation :

- Les développeurs de Phimeca Soft fournissent un support technique complet pour aider les utilisateurs à tirer le meilleur parti du logiciel et à résoudre les problèmes éventuels.

- Des formations sont également disponibles pour les utilisateurs afin d'approfondir leur compréhension des fonctionnalités avancées de Phimeca Soft et d'améliorer leurs compétences en analyse de la fiabilité.

Conclusion :

Les expériences ont été réalisées à l'atelier de mécanique ou bloc E à l'université Badji Mokhtar Annaba avec les moyens matériels existant à savoir machine-outil outillage et accessoire.

Vue le type d'expérience de moyenne durée qu'on a adoptée nous avons débité un grand volume de copeaux sur temps réel d'une semaine qui nous a permis a aboutir a des résultats satisfaisant et exploitable pour l'industrie.

En résumé, l'expérience et la réalisation du perçage mécanique ont permis de mettre en évidence l'importance de la sélection adéquate des forets, de l'ajustement des paramètres de perçage, de l'entretien régulier et de la formation des opérateurs. En appliquant ces principes, il est possible d'améliorer significativement la performance, la durabilité et la fiabilité des forets de perçage, ce qui se traduit par une productivité accrue et des opérations de perçage plus efficaces dans diverses applications industrielles.

Chapitre III

Résultats et discussion

Introduction

Dans ce chapitre on va exposer les différents résultats obtenus durant le perçage et la modélisation numérique

1. Présentation de la fiabilité des structures :

L'étude de fiabilité des structures vise à évaluer la capacité d'une structure à maintenir ses performances et sa fonctionnalité pendant sa durée de vie, en prenant en compte les différentes charges, les matériaux utilisés, les conditions environnementales et d'autres facteurs. Voici les éléments clés à explorer et à détailler dans une étude de fiabilité des structures :

1.1. Analyse des charges :

- Évaluer les différentes charges auxquelles la structure est soumise, telles que les charges gravitationnelles, les charges sismiques, les charges climatiques (vent, neige, etc.), les charges dues aux utilisateurs, etc.
- Déterminer les modèles de charge les plus appropriés à utiliser lors de l'analyse de la structure.

1.2. Caractérisation des matériaux :

- Étudier les propriétés mécaniques des matériaux utilisés dans la construction de la structure, tels que la résistance à la traction, la résistance à la flexion, la ductilité, etc.
- Prendre en compte les variations possibles des propriétés des matériaux, notamment en fonction de l'environnement, de l'âge, de la fatigue, etc.

1.3. Modélisation et analyse structurale :

- _ Utiliser des outils de modélisation et d'analyse structurale, tels que la méthode des éléments finis, pour évaluer le comportement de la structure sous les charges appliquées.
- Effectuer des analyses statiques, dynamiques, linéaires ou non linéaires pour étudier la réponse de la structure et identifier les zones critiques ou les points faibles.

1.4. Facteurs de sécurité :

- Évaluer les facteurs de sécurité utilisés dans la conception de la structure, tels que les coefficients de sécurité, les marges de sécurité, les normes de conception applicables, etc.

- Vérifier si les facteurs de sécurité sont adéquats pour garantir la fiabilité de la structure

1.5. Durée de vie et maintenance :

- Étudier la durée de vie attendue de la structure et évaluer l'impact de la maintenance régulière sur sa fiabilité.

- Examiner les modes de défaillance potentiels et proposer des stratégies de maintenance préventive pour minimiser les risques de défaillance

1.6. Analyses probabilistes :

- Utiliser des méthodes probabilistes, telles que l'analyse de fiabilité structurale, pour évaluer la probabilité de défaillance de la structure.

- Prendre en compte les incertitudes dans les données d'entrée et les modèles de comportement pour obtenir des estimations plus précises de la fiabilité

1.7. Validation expérimentale :

- Effectuer des tests et des essais sur des échantillons ou des prototypes de la structure pour valider les résultats des analyses et évaluer la conformité aux normes de performance.

2. Indice de fiabilité Hasofer-Lind :

L'indice de fiabilité Hasofer-Lind est un concept clé utilisé dans l'analyse de la fiabilité des structures. Il est basé sur l'analyse de la réponse en termes de contrainte (response stress analysis) et permet d'estimer la probabilité de défaillance d'une structure en prenant en compte les incertitudes associées aux charges, aux matériaux et aux paramètres de conception.

Le calcul de l'indice de fiabilité Hasofer-Lind repose sur les étapes suivantes :

2.1. Modélisation des charges :

- Les charges auxquelles la structure est soumise sont modélisées en utilisant des méthodes telles que l'analyse des contraintes, l'analyse des éléments finis ou d'autres techniques appropriées.

- Les incertitudes associées aux charges, telles que les variations dans les charges appliquées, les charges dynamiques ou les charges environnementales, sont prises en compte.

2.2. Modélisation des matériaux :

- Les propriétés des matériaux utilisés dans la structure sont prises en compte, y compris les incertitudes associées à ces propriétés.

- Les paramètres de distribution statistique, tels que la résistance à la traction, la ductilité, la résistance à la fatigue, sont pris en compte pour capturer les variations possibles des matériaux.

2.3. Modélisation des paramètres de conception :

- Les paramètres de conception, tels que les dimensions, les formes, les tolérances, sont pris en compte avec leurs incertitudes associées.

- Les variations possibles dans les paramètres de conception sont considérées pour évaluer l'impact sur la fiabilité de la structure.

2.4. Estimation de l'indice de fiabilité :

- L'indice de fiabilité Hasofer-Lind est calculé en évaluant la distance entre le point de conception (qui représente les valeurs moyennes des charges, des matériaux et des paramètres de conception) et la courbe de limite de défaillance (qui représente les valeurs de seuil de défaillance).

- Cette distance est mesurée en termes d'écart standard et permet d'estimer la probabilité de défaillance de la structure.

L'indice de fiabilité Hasofer-Lind fournit une mesure quantitative de la marge de sécurité de la structure. Plus l'indice est élevé, plus la structure est fiable et résistante aux incertitudes. Il est

utilisé pour optimiser les paramètres de conception, prendre des décisions de maintenance préventive et évaluer le niveau de fiabilité d'une structure donnée.

Il est important de noter que le calcul de l'indice de fiabilité Hasofer-Lind requiert une expertise avancée en analyse de la fiabilité des structures, ainsi que des données précises sur les charges, les matériaux et les paramètres de conception. Il est généralement utilisé par des experts en ingénierie de la fiabilité pour garantir des conceptions robustes et fiables des structures.

3. Lois expérimentales de l'usure « modèle de Taylor » :

Le besoin de lier l'usure des outils aux conditions de coupe a permis de traduire les résultats expérimentaux sous forme de lois empiriques établies :

- pour un outil de géométrie donnée.
- pour un matériau à usiner donné.
- pour des conditions de lubrification.

Les lois d'usure d'un outil de coupe représentent la variation du temps effectif de coupe T en fonction des conditions géométriques et cinématiques de l'usinage. Les lois sont de la forme :

$$T = \frac{e^{5.002} \cdot D^{0.118}}{V_c^{1.486} \cdot S^{2.005}} \dots\dots\dots(1)$$

$$T = \frac{e^{5.002} \cdot D^{0.118}}{\frac{(v_c D n)^{1.486}}{1000} \cdot S^{2.005}} \dots\dots\dots(2)$$

Ou plus simplement : T = f(V) Cette dernière loi est la plus facile d'emploi, et elle a été développée par Taylor. L'allure de l'usure en fonction du temps à vitesse constante est comme suit

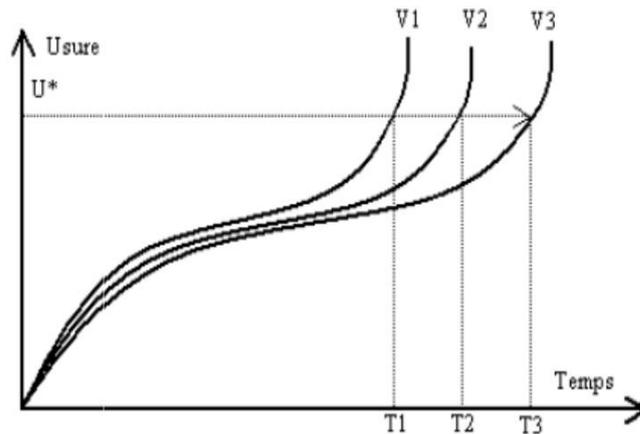


Figure III.1: Evolution de l'usure en fonction du temps à vitesse de coupe constante.[15]

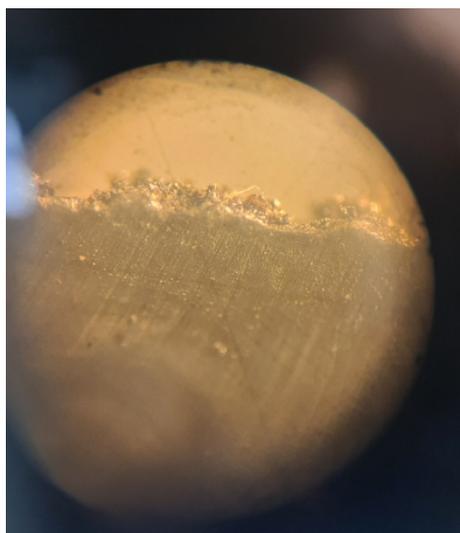
4. Résultats du travail réalisé au niveau du laboratoire.

Ma tâche au niveau du laboratoire consistait à percer une pièce métallique en carbure et d'évaluer au fur et à mesure l'usure du foret avec des observations microscopiques,

Les valeurs obtenues sont rapportées dans le tableau II.4

- Visualisation d'usure dans le microscope optique (Figure III.2)

Photo prise à travers l'oculaire du microscope.



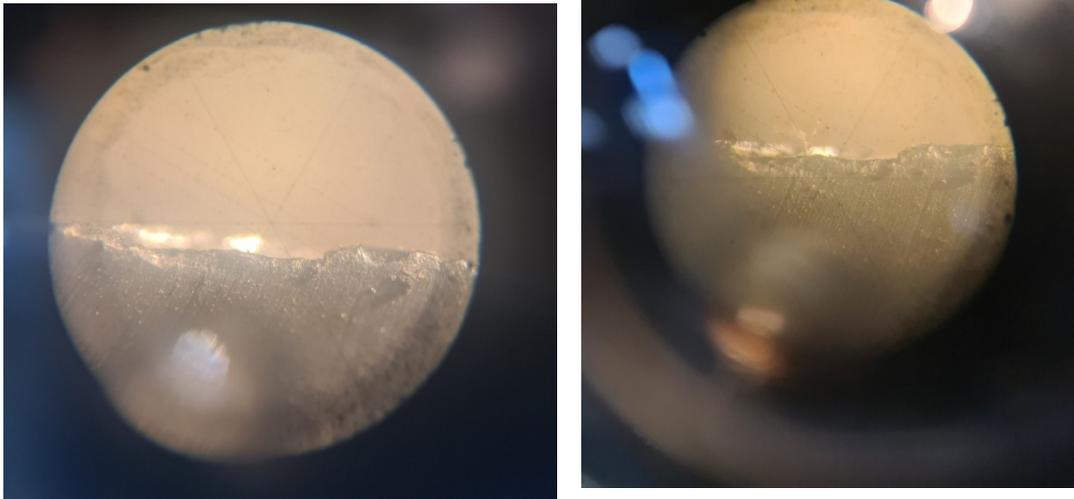


Figure III.2 : Visionnage d usure depuis l’oculaire

- **On remarque que l’usure suit un rythme accéléré lors du perçage dès les 3 premier trous**

Tableau II.4 : Mesure d’usure en fonction du temps

Trou	Tperçage	Usure	Longueur du coupeau
1	6.18	0.0675	441
2	6.21	0.199	437
3	6.29	0.253	415
4	6.33	0.358	352
5	6.38	0.49	317
6	6.45	0.63	304
7	6.58	0.72	286

Pour obtenir la courbe d’usure on a tracé les valeurs obtenues dans le tableau précédent (voir figure III.1)

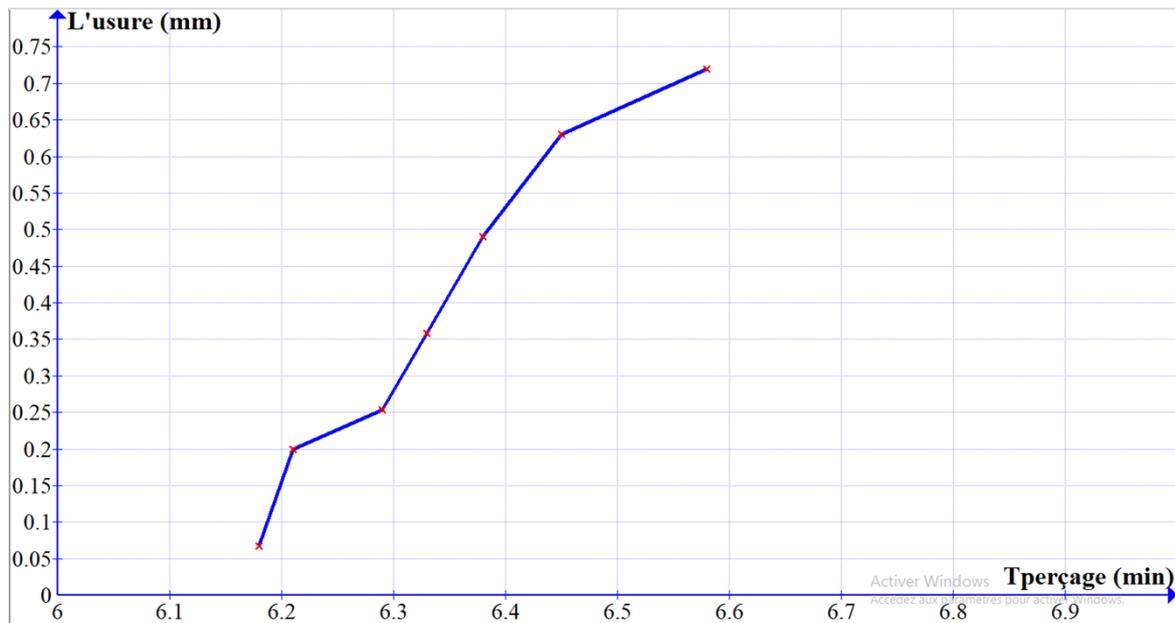


Figure III.3 : Courbe d'usure en fonction du temps

Après avoir percer la pièce j'ai pris les copeaux dégagés (Figure III.2) de chaque trou pour les observer grâce au microscope numérique et visionner leur état de surface (Figure III.3)



Figure III.4 : Dégagement de copeau lors du perçage

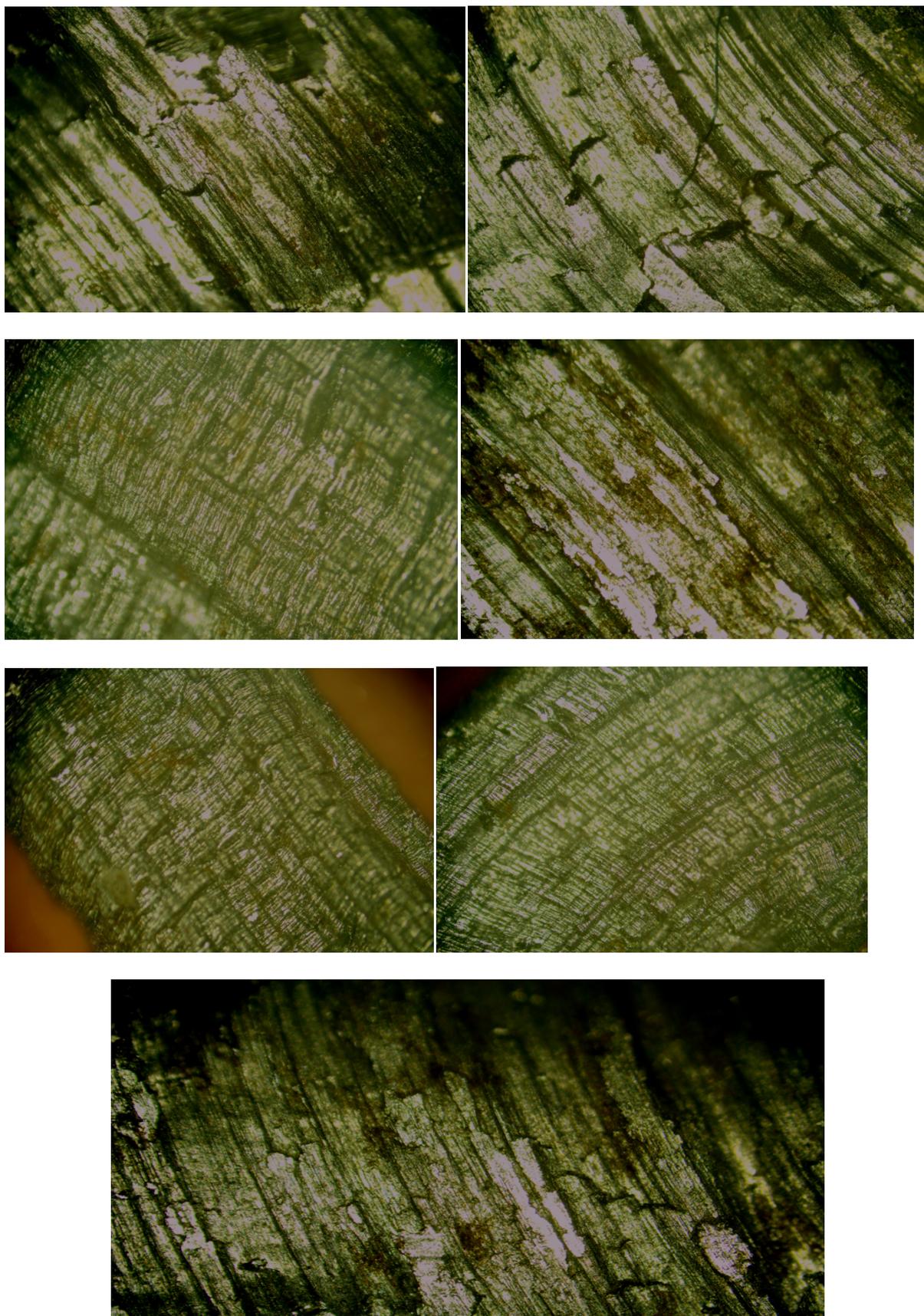


Figure III.5 : Photo des coupeau prise avec le microscope numérique
(coupeaux 1,2,3,4,5,6,7 Par ordre de gauche a droite)

4.1 Discussion :

Tout d'abord il faut souligner que notre travail a été fait sans lubrification, pour avoir des résultats plus rapides, et en même temps pour souligner l'importance primordiale de la lubrification dans le domaine mécanique

Notre travail a abouti à des résultats qu'on rapporte dans le tableau (III.4) et son graphe (Figure II.1)

D'après ces résultats on peut dire que percer sans lubrification peut avoir plusieurs conséquences sur l'usure des outils de perçage et des matériaux travaillés. Voici quelques points à considérer :

- ❖ Augmentation de la friction : Sans lubrification, la friction entre l'outil de perçage et le matériau augmente considérablement. Cela peut entraîner une augmentation de la chaleur générée pendant le processus de perçage, ce qui peut endommager l'outil et le matériau.
- ❖ Usure accrue de l'outil : La friction accrue peut provoquer une usure rapide de l'outil de perçage. Les températures élevées et les forces de frottement importantes peuvent entraîner l'usure prématurée des arêtes de coupe de l'outil, ce qui réduit son efficacité et sa durée de vie.
- ❖ Surchauffe du matériau : La friction intense résultant du perçage sans lubrification peut surchauffer le matériau travaillé. Cela peut entraîner des changements structurels indésirables dans le matériau, tels que la modification de sa dureté ou de ses propriétés mécaniques. De plus, la chaleur excessive peut également causer des déformations ou des fissures dans le matériau.
- ❖ Risque d'adhérence et de grippage : En l'absence de lubrification, il existe un risque plus élevé d'adhérence et de grippage entre l'outil et le matériau. Cela peut entraîner des

problèmes tels que la rupture de l'outil, la détérioration de la surface du matériau ou des défauts de perçage.

- ❖ Qualité du trou de perçage : Le perçage sans lubrification peut entraîner une qualité de trou de perçage inférieure. Les copeaux peuvent s'accumuler plus facilement autour de l'outil, obstruant le passage du matériau et affectant la précision et la finition du trou de perçage.

5. Résultat et discussion de l'étude probabiliste

Pour aboutir à des résultats probabilistes on a travaillé avec le logiciel Phimeca Soft et on a obtenu les tableaux et courbes suivantes que l'on va discuter

- On posant D et S comme constants et N et T (pas de 20) comme variable :

Tableau III.2 : Indice de fiabilité β pour différentes fréquences de rotation N dans le temps, (incertitudes 5%,10%,15%,20%)

D (mm)	N (tr/min)	S (mm/tr)	Tp (min)	Tpred (min)	Beta(5%)	Beta(10%)	Beta(15%)	Beta(20%)
10	315	0.1	300	654.6684	6.3674	3.1837	2.1225	1.5919
10	315	0.1	320	654.6684	5.7961	2.8980	1.9320	1.4490
10	315	0.1	340	654.6684	5.2671	2.6335	1.7557	1.3168
10	315	0.1	360	654.6684	4.7750	2.3875	1.5917	1.1938
10	315	0.1	380	654.6684	4.3155	2.1578	1.4385	1.0789
10	315	0.1	400	654.6684	3.8849	1.9424	1.2950	0.9712
10	315	0.1	420	654.6684	3.4550	1.7400	1.1600	0.8700
10	315	0.1	440	654.6684	3.0981	1.5491	1.0327	0.7745
10	315	0.1	460	654.6684	2.7371	1.3685	0.9124	0.6843
10	315	0.1	480	654.6684	2.3949	1.1975	0.7983	0.5987
10	315	0.1	500	654.6684	2.0699	1.0349	0.6900	0.5175
10	315	0.1	520	654.6684	1.7605	0.8802	0.5868	0.4401
10	315	0.1	540	654.6684	1.4654	0.7327	0.5868	0.3664
D	N	S	Tperçage	Tpredectif	Beta(5%)	Beta(10%)	Beta(15%)	Beta(20%)
10	335	0.1	300	597.44	5.5601	2.7801	1.8534	1.3900
10	335	0.1	320	597.44	5.0007	2.5004	1.6669	1.2502
10	335	0.1	340	597.44	4.4827	2.2414	1.4942	1.1207
10	335	0.1	360	597.44	4.0010	2.0005	1.3337	1.0002
10	335	0.1	380	597.44	3.5511	1.7755	1.1837	0.8878
10	335	0.1	400	597.44	3.1294	1.5647	1.0431	0.7824
10	335	0.1	420	597.44	2.7330	1.3665	0.9110	0.6833
10	335	0.1	440	597.44	2.3592	1.1796	0.7864	0.5898
10	335	0.1	460	597.44	2.0058	1.0029	0.6686	0.5014
10	335	0.1	480	597.44	1.6708	0.8354	0.5569	0.4177
10	335	0.1	500	597.44	1.3526	0.6763	0.4509	0.3382
10	335	0.1	520	597.44	1.0498	0.5249	0.3499	0.2624
10	335	0.1	540	597.44	0.7610	0.3805	0.2537	0.1902

D (mm)	N (tr/min)	S (mm/tr)	Tp (min)	Tpred (min)	Beta(5%)	Beta(10%)	Beta(15%)	Beta(20%)
10	355	0.1	300	548.3912	4,81	2.4075	1.6050	1.2038
10	355	0.1	320	548.3913	4,26	2.1333	1.4222	1.0667
10	355	0.1	340	548.3914	3,75	1.8794	1.2530	0.9397
10	355	0.1	360	548.3915	3,28	1.6433	1.0955	0.8217
10	355	0.1	380	548.3916	2,84	1.4228	0.9485	0.7114
10	355	0.1	400	548.3917	2,43	1.2162	0.8108	0.6081
10	355	0.1	420	548.3918	2,04	1.0219	0.6813	0.5109
10	355	0.1	440	548.3919	1,67	0.8387	0.5591	0.4194
10	355	0.1	460	548.3920	1,33	0.6655	0.4437	0.3328
10	355	0.1	480	548.3921	1	0.5014	0.3342	0.2507
10	355	0.1	500	548.3922	0,69	0.3455	0.2303	0.1727
10	355	0.1	520	548.3923	0,39	0.1971	0.1314	0.0985
10	355	0.1	540	548.3924	0,11	0.0556	0.0371	0.0278
D	N	S	Tpercage	Tpredectif	Beta(5%)	Beta(10%)	Beta(15%)	Beta(20%)
10	375	0.1	300	505.2431	4.1243	2.0622	1.3748	1.0311
10	375	0.1	320	505.2431	3.5861	1.7931	1.1954	0.8965
10	375	0.1	340	505.2431	3.0878	1.5439	1.0293	0.7720
10	375	0.1	360	505.2431	2.6244	1.3122	0.8748	0.6561
10	375	0.1	380	505.2431	2.1917	1.0959	0.7306	0.5479
10	375	0.1	400	505.2431	1.7862	0.8931	0.5954	0.4465
10	375	0.1	420	505.2431	1.4050	0.7025	0.4683	0.3512
10	375	0.1	440	505.2431	1.0455	0.5227	0.3485	0.2614
10	375	0.1	460	505.2431	0.7057	0.3528	0.2352	0.1764
10	375	0.1	480	505.2431	0.3836	0.1918	0.1279	0.0959
10	375	0.1	500	505.2431	0.0777	0.0388	0.0259	0.0194
10	375	0.1	520	505.2431	0	0	0	0
10	375	0.1	540	505.2431	0	0	0	0
D	N	S	Tpercage	Tpredectif	Beta(5%)	Beta(10%)	Beta(15%)	Beta(20%)
10	395	0.1	300	467.7003	3.4814	1.7407	1.1605	0.8703
10	395	0.1	320	467.7003	2.9527	1.4764	0.9842	0.7382
10	395	0.1	340	467.7003	2.4633	1.2316	0.8211	0.6158
10	395	0.1	360	467.7003	2.0081	1.0041	0.6694	0.5020
10	395	0.1	380	467.7003	1.5831	0.7916	0.5277	0.3958
10	395	0.1	400	467.7003	1.1849	0.5924	0.3950	0.2962
10	395	0.1	420	467.7003	0.8105	0.4052	0.2701	0.2026
10	395	0.1	440	467.7003	0.4575	0.2287	0.1525	0.1144
10	395	0.1	460	467.7003	0.1237	0.0619	0	0.0309
10	395	0.1	480	467.7003	0	0	0	0
10	395	0.1	500	467.7003	0	0	0	0
10	395	0.1	520	467.7003	0	0	0	0
10	395	0.1	540	467.7003	0	0	0	0

- Le T prédictif calculer pour chaque valeur de 'n' est loin de la mesure de durée de vie définie par l'approche probabiliste pour les différentes incertitudes .

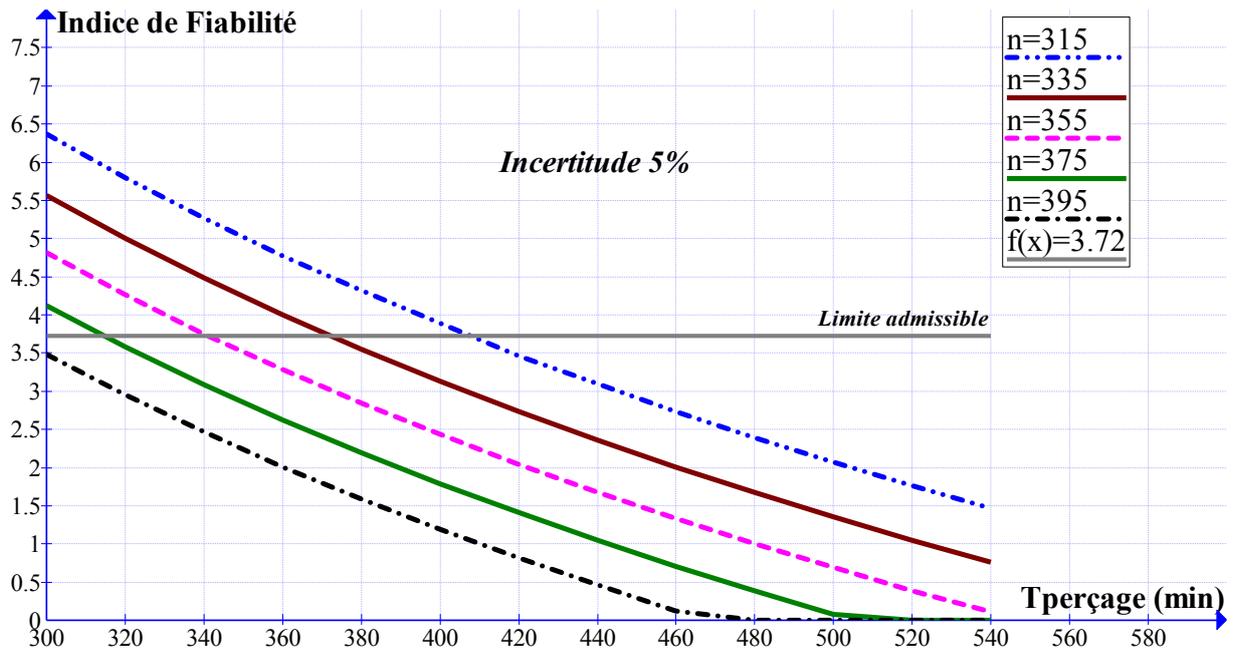


Figure III.6 : Indice de fiabilité β en fonction de n dans le temps, (incertitude 5%)

- On remarque que pour la plus basse fréquence de rotation $n=315$ la durée de vie est de 410min obtenue par le croisement de la courbe d'usure et sa limite admissible (3,73) comparant a son T prédictif 655min on trouve un écart de 245min, au delà de cette durée de vie le foret

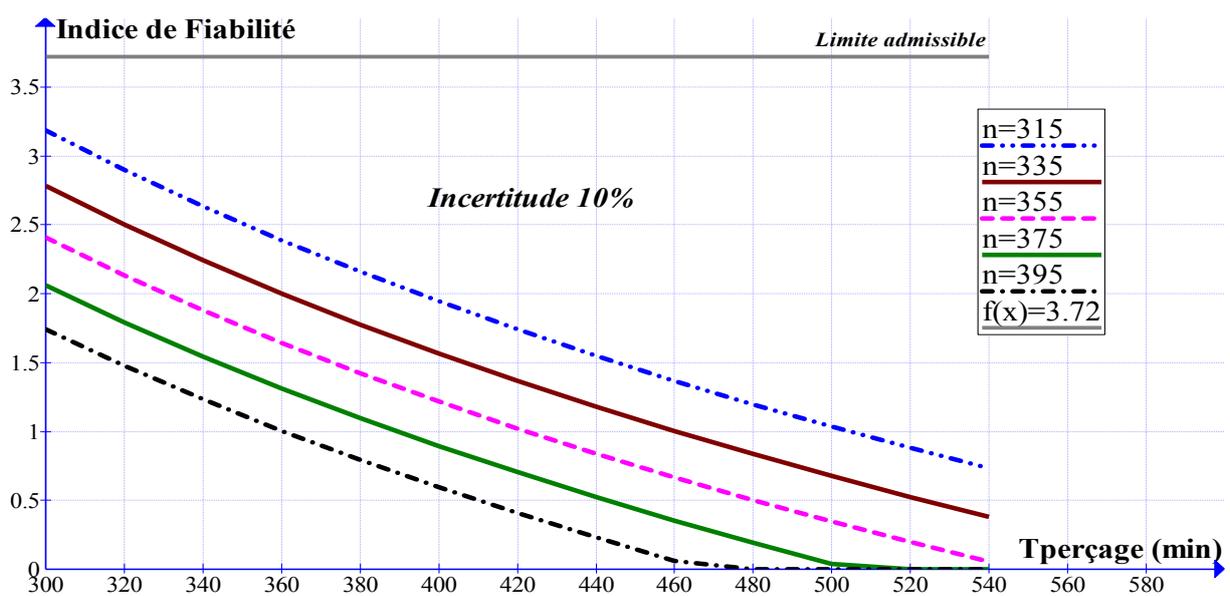


Figure III.7 : Indice de fiabilité β en fonction de n dans le temps, (incertitude 10%)

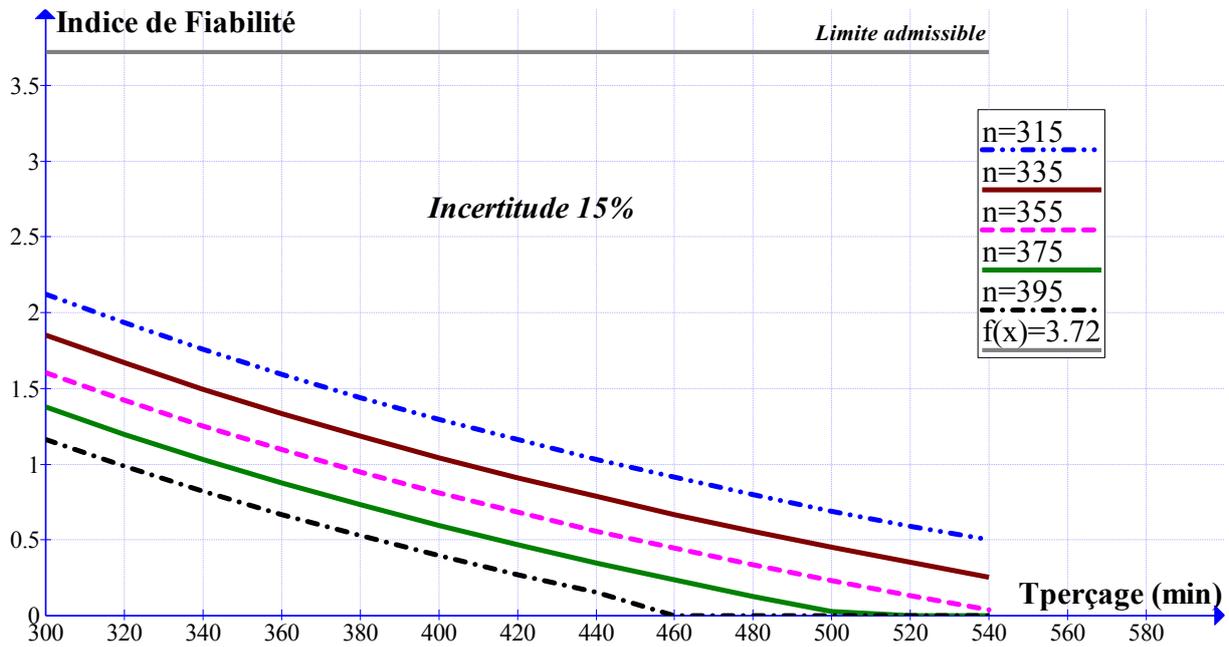


Figure III.8 : Indice de fiabilité β en fonction de n dans le temps, (incertitude 15%)

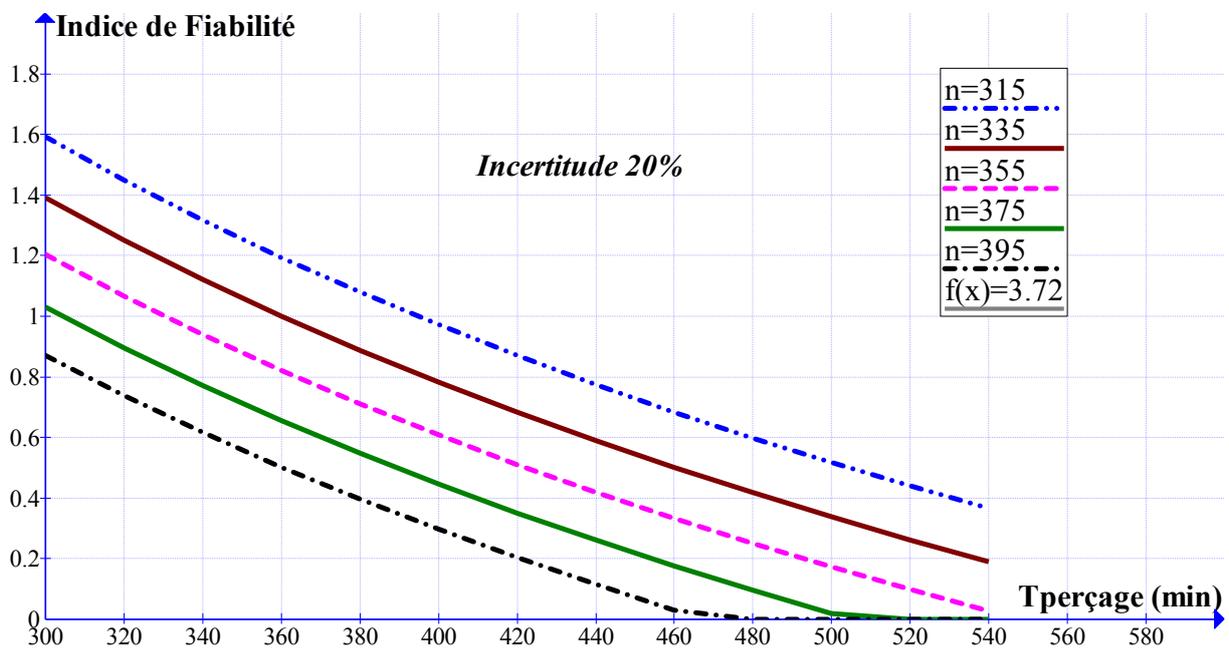


Figure III.9 : Indice de fiabilité β en fonction de n dans le temps, (incertitude 20%)

- Dans ces conditions et avec une incertitude de 10,15 et 20% l'usure dépasse sa limite admissible donc le foret

- On posant D et N comme constants et S et T (pas de 20) comme variable :

Tableau III.3 :Indice de fiabilité β pour différentes avance S dans le temps, (incertitudes 5%,10%,15%,20%)

D (mm)	N (tr/min)	S (mm/tr)	Tp (min)	Tpred (min)	Beta(5%)	Beta(10%)	Beta(15%)	Beta(20%)
10	355	0.1	60	548.1148	21.4606	10.7303	7.1535	5.3652
10	355	0.1	80	548.1149	18.0235	9.0117	6.0078	4.5059
10	355	0.1	100	548.1150	15.5068	7.7534	5.1689	3.8767
10	355	0.1	120	548.1151	13.5425	6.7713	4.5142	3.3856
10	355	0.1	140	548.1152	11.9441	5.9720	3.9814	2.9860
10	355	0.1	160	548.1153	10.6038	5.3019	3.5346	2.6510
10	355	0.1	180	548.1154	9.4550	4.7275	3.1517	2.3637
10	355	0.1	200	548.1155	8.4530	4.2265	2.8177	2.1133
10	355	0.1	220	548.1156	7.5673	3.7836	2.5224	1.8918
10	355	0.1	240	548.1157	6.7753	3.3876	2.2584	1.6938
10	355	0.1	260	548.1158	6.0606	3.0303	2.0202	1.5151
10	355	0.1	280	548.1159	5.4104	2.7052	1.8035	1.3526
D (mm)	N (tr/min)	S (mm/tr)	Tp (min)	Tpred (min)	Beta(5%)	Beta(10%)	Beta(15%)	Beta(20%)
10	355	0.14	60	279.1804	13.7384	6.8692	4.5795	3.4346
10	355	0.14	80	279.1805	10.7873	5.3937	3.5958	2.6968
10	355	0.14	100	279.1806	8.6274	4.3137	2.8758	2.1569
10	355	0.14	120	279.1807	6.9425	3.4713	2.3142	1.7356
10	355	0.14	140	279.1808	5.5719	2.7859	1.8573	1.3930
10	355	0.14	160	279.1809	4.4232	2.2116	1.4744	1.1058
10	355	0.14	180	279.1810	3.4389	1.7195	1.1463	0.8597
10	355	0.14	200	279.1811	2.5810	1.2905	0.8603	0.6452
10	355	0.14	220	279.1812	1.8228	0.9114	0.6076	0.4557
10	355	0.14	240	279.1813	1.1452	0.5726	0.3817	0.2863
10	355	0.14	260	279.1814	0.5340	0.2670	0.1780	0.1335
10	355	0.14	280	279.1815	0	0	0	0
D (mm)	N (tr/min)	S (mm/tr)	Tp (min)	Tpred (min)	Beta(5%)	Beta(10%)	Beta(15%)	Beta(20%)
10	355	0.2	60	136.5546	6.7441	3.3720	2.2480	1.6860
10	355	0.2	80	136.5547	4.2374	2.1187	1.4125	1.0594
10	355	0.2	100	136.5548	2.4046	1.2023	0.8015	0.6011
10	355	0.2	120	136.5549	0.9762	0.4881	0.3254	0.2440
10	355	0.2	140	136.5550	0	0	0	0
10	355	0.2	160	136.5551	0	0	0	0
10	355	0.2	180	136.5552	0	0	0	0
10	355	0.2	200	136.5553	0	0	0	0
10	355	0.2	220	136.5554	0	0	0	0
10	355	0.2	240	136.5555	0	0	0	0
10	355	0.2	260	136.5556	0	0	0	0
10	355	0.2	280	136.5557	0	0	0	0

- Le T prédictif calculer pour chaque valeur de 's' est loin de la mesure de durée de vie définie par l'approche probabiliste pour les différentes incertitudes .

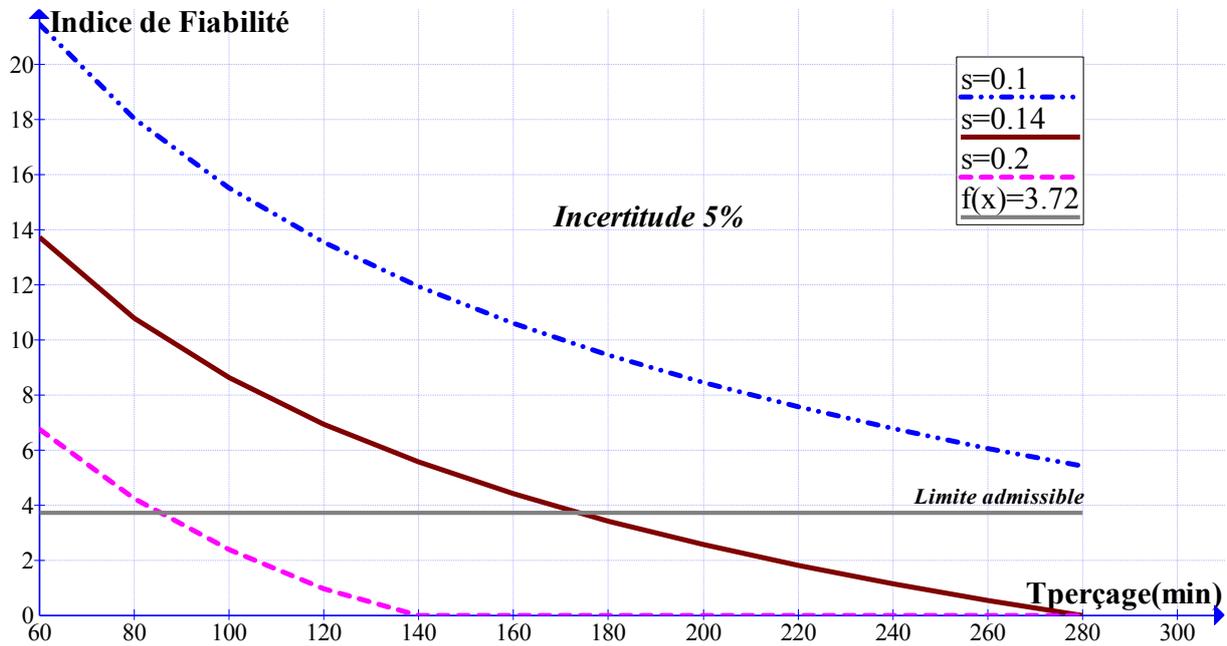


Figure III.10 : Indice de fiabilité β en fonction de s dans le temps, (incertitude 5%)

- On remarque que pour la plus basse avance $s=0.1$ la durée de vie est de 300min obtenue par le croisement de la courbe d'usure et sa limite admissible (3,73) comparant a son T prédictif 559min on trouve un écart de 259min, au delà de cette durée de vie le foret

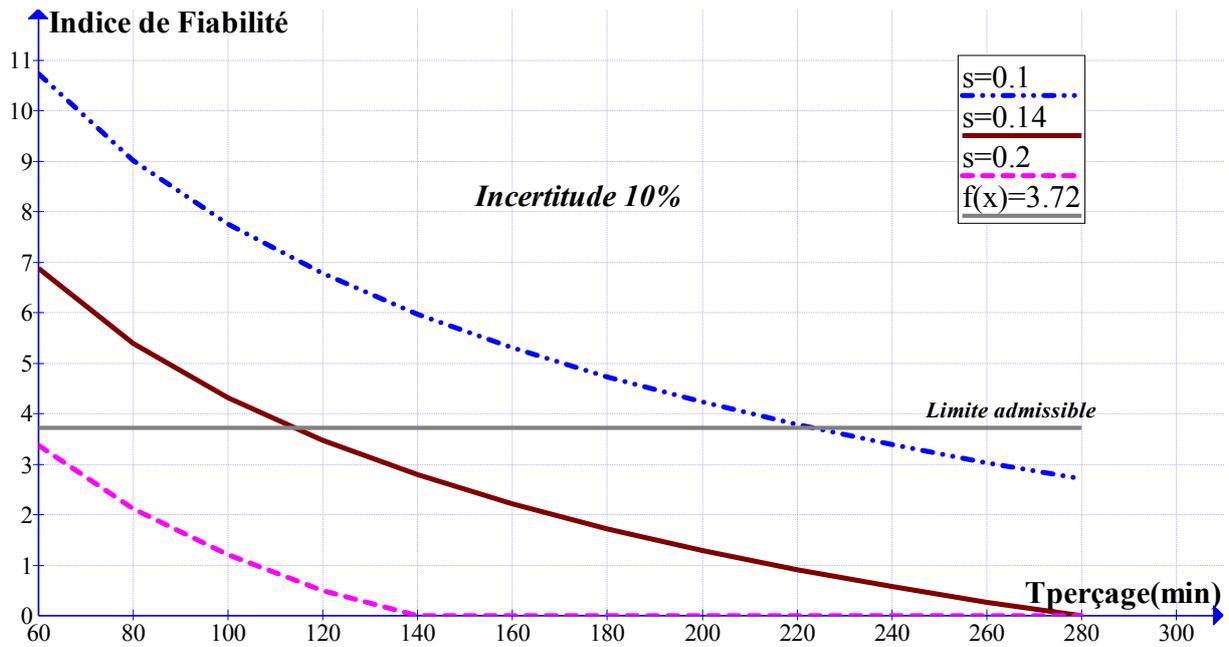


Figure III.11 : Indice de fiabilité β en fonction de s dans le temps, (incertitude 10%)

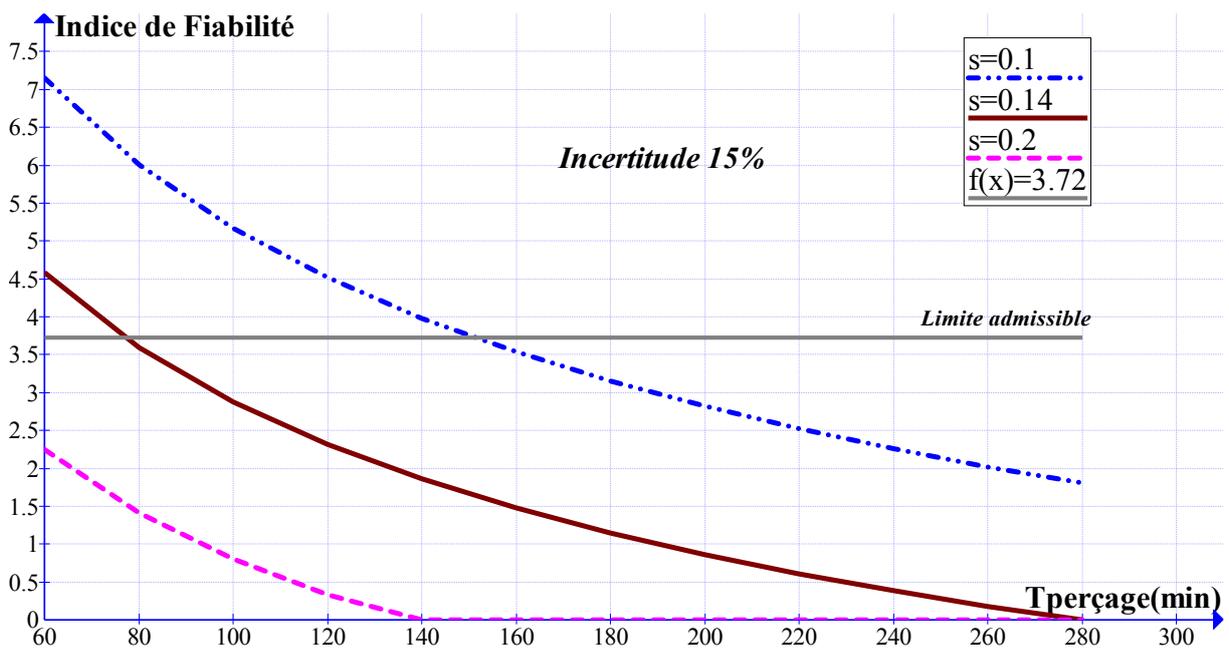


Figure III .12 : Indice de fiabilité β en fonction de s dans le temps, (incertitude 15%)

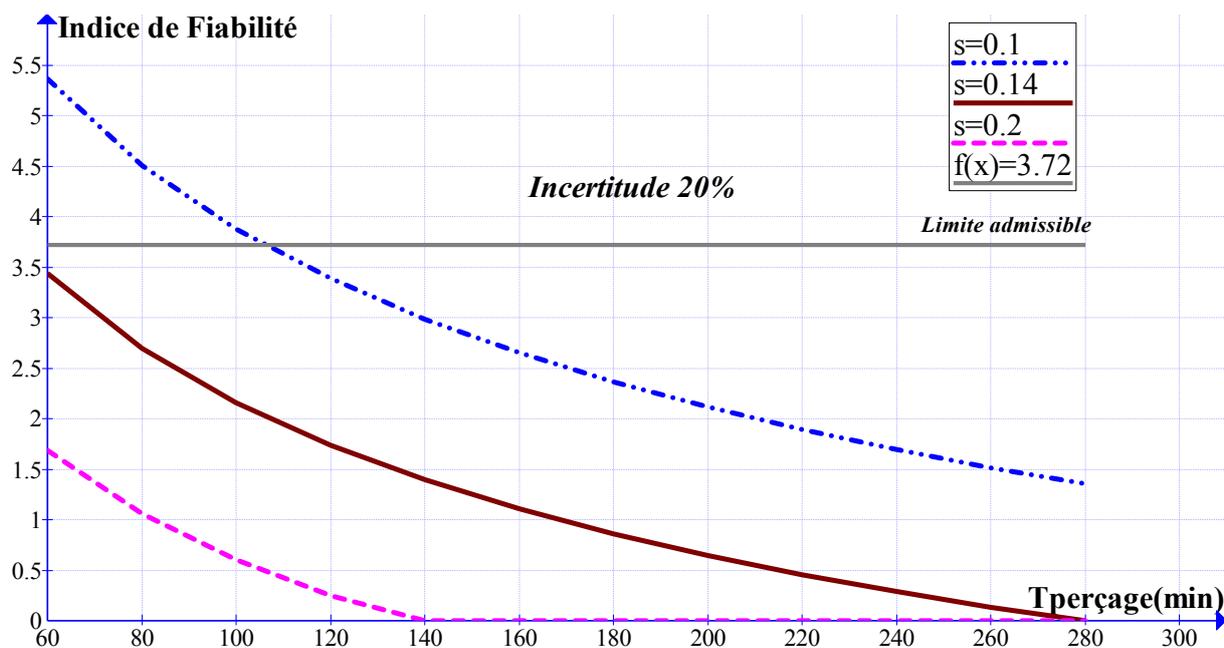


Figure III.13 : Indice de fiabilité β en fonction de s dans le temps, (incertitude 20%)

- On remarque que la durée de vie diminue d'une incertitude à l'autre.

Conclusion :

La fiabilité mécanique est un élément essentiel dans de nombreux domaines, tels que l'ingénierie, l'industrie manufacturière, l'aviation, l'automobile, et bien d'autres. Elle désigne la capacité d'un système mécanique à fonctionner de manière fiable et sans défaillance pendant une période donnée.

La fiabilité mécanique repose sur plusieurs facteurs clés, notamment la conception, la fabrication, l'entretien et l'utilisation appropriée des composants mécaniques. Une conception solide et robuste, utilisant des matériaux de qualité, est fondamentale pour assurer la fiabilité à long terme d'un système. De plus, des procédures de fabrication rigoureuses, des contrôles de qualité et des tests approfondis sont nécessaires pour minimiser les défauts et les erreurs de production.

La fiabilité des structures a démontré dans notre cas, un écart important entre le temps prédictif prévus par les concepteurs de forets et la durée de vie estimée par l'approche probabiliste, durant l'intervalle de temps compris entre le temps prédictif et la vraie durée de vie des pièces mécaniques et des organes nobles continuent à être fabriquées par ces forets, ce qui diminue

gravement leur qualité et parfois la sécurité de l'ensemble. Ce phénomène se traduit par des pannes de jeunesse et des usures précoces.

Dans l'ensemble, la fiabilité mécanique est un objectif recherché dans de nombreux secteurs industriels, car elle permet de minimiser les temps d'arrêt coûteux, d'améliorer la sécurité des opérations et de garantir une performance optimale des équipements. Cependant, il est important de noter que même avec des efforts considérables pour assurer la fiabilité, il existe toujours un certain risque de défaillance mécanique, car aucun système n'est absolument infaillible. Par conséquent, la vigilance continue, la surveillance et la maintenance préventive restent essentielles pour garantir la fiabilité à long terme.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Mohamad JRAD, Modélisation du perçage à grande vitesse : Approches analytique, numérique et expérimentale 9 Novembre 2007
- [2] K.Ueda,K. Manabe,J. Okida ;A survey and recent investigations on computational mechanice in cutting ;IInd Cirp International Workshop on Modeling of Machining oprations ;1999 ;pp.39-55.
- [3] robert.cireddu.free.fr/prod/les modes de generation .htm.
- [4] K. Tönshoff, A. Mohlfeld, T. Leyendecker, H.G. Fuß, G. Erkens, R. Wenke, T. Cselle, M. SchwenckC ; Wear mechanisms of (Ti -Al)N coatings in dry drilling ; Surface and Coatings Technology ; 1997 ; pp . 603-609.
- [5] S.G. Harris, E.D. Doyle, A.C. Vlasveld, P.J. Dolder ; Dry cutting performance of partially filtered arc deposited titanium aluminium nitride coatings with various metal nitride base coatings; Surface and Coatings Technology; 2001; pp. 305-311.
- [6] R. Heinemanna; S. Hindujaa; G. Barrowa; G. Petuellib Effect of MQL on the tool Tools & Manufacture; 46 (2006); pp. 1–6.
- [7] Jean-Pierre cordebois et coll, « Fabrication Par Usinage », DUNOD, Paris 2003
- [8] K. Tönshoff, A. Mohlfeld, T. Leyendecker, H.G. Fuß, G. Erkens, R. Wenke, T. Cselle, M. SchwenckC ; Wear mechanisms of (Ti -Al)N coatings in dry drilling ; Surface and Coatings Technology ; 1997 ; pp . 603-609.
- [9] A. S. Varadarajan, P. K. Philip and B. Ramamoorthy; Investigations on hard turning with minimal cutting fluid application (HTMF) and its comparison with dry and wet turning; International Journal of Machine Tools and Manufacture; Volume 42; Issue 2; January 2002; Pages 193-200.
- [10] F. Klocke and G. Eisenblätter; Dry Cutting; CIRP Annals - Manufacturing Technolog; Volume 46; Issue 2; 1997; Pages 519-526.
- [11] M. Lahres and G. Jörgensen; Properties and dry cutting performance of diamond coated tools; Surface and Coatings Technology; Volume 96; Issues 2-3; 25 November 1997; Pages 198-204

[12] Jinsoo Kim, Sangkee Min , David A. Dornfeld; Optimisation and control of drilling burr formation of AISI 304L and AISI 4118 based on drilling burr control charts; International Journal of Machine Tools & Manufacture; 2001; pp. 923–936.

[13] Y.C. Chen, Y.S. Liao; Study on wear mechanisms in drilling of Inconel 718 superalloy; Journal of Materials Processing Technology; 2003; pp. 269–273.

[14] J.L. Cantero,, M.M. Tardi'ob, J.A. Canteli, M. Marcos, M.H. Migue'lez ; Dry drilling of alloy Ti–6Al–4V; International Journal of Machine Tools & Manufacture; 2005; pp.1246–1255.

[15] Wikipedia