

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI De TIZI-OUZOU



Faculté du Génie de la Construction
Département de Génie Mécanique

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en Génie Mécanique

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie Mécanique

Option : Fabrication Mécanique et Productique

Thème

Conception de l'Outil de Forage PDC 10" et Génération du G-Code pour Sa Fabrication

Présenté par :

- SIDI-MAMAR Youcef
- RAMDANE Djilali

Encadré par :

- M. BELAID kamel

Promotion : 2019/2020

Remerciements

En présentant ce travail, nous tenons à remercier Mr Kamel BELAID, notre promoteur pour sa serviabilité et ses remarques constructive qui nous ont été utiles tout au long de notre projet.

Nous tenons à remercier le président et les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger notre travail.

Enfin, tous ceux qui ont, de près ou de loin, contribuer à la concrétisation de ce travail trouveront ici l'expression de notre vive reconnaissance.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents et mes sœurs pour leur assistance et leur soutien indéfectible tout au long de ma formation.

À mes amis et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'achèvement de ce modeste travail.

S. Youcef

Dédicace

Je dédier ce modeste travail :

*Particulièrement à ma mère **S. Malika** pour son amour,
ses encouragements et ses sacrifices*

*A la mémoire de mon père **Arezki***

*A mes sœurs et mon frère pour leur soutien moral durant
ces années d'études*

*A tous mes amis, et mes camarades en témoignage de ma
reconnaissance*

*Ainsi que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à
la réalisation de ce projet*

R. Djilali

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur le forage pétrolier

Figure I.1 : Appareil de forage.....	3
Figure I.2 : Processus de forage Rotary.....	5
Figure I.3 : Garniture de forage.....	6
Figure I.4 : Masse Tiges.....	7
Figure I.5 : Stabilisateurs.....	8
Figure I.6 : Trépans de forage.....	8
Figure I.7 : Exemples d'outils tricônes (Catalogue Baker Hughes).....	9
Figure I.8 : Différents types de picots.....	10
Figure I.9 : – Illustrations d'un insert en carbure de tungstène : a - photographie ; b – mode d'excavation.....	11
Figure I.10 : Outil TSP.....	12
Figure I.11 : Outils PDC.....	13
Figure I.12 : Structure d'un PDC.....	14
Figure I.13 : les types d'outils en PDC.....	15
Figure I.14 : Outil PDC Steel body.....	15
Figure I.15 : Outil PDC Matrix body.....	16
Figure I.16 : Angles caractéristiques d'un PDC.....	18
Figure I.17 : Longueur utile L_d	19
Figure I.18 : Principe de fonctionnement d'un outil PDC.....	20

Chapitre II : Généralités sur les machines à commande numérique

Figure II.1 : Premier MOCN en 1952.....	22
Figure II.2 : Pupitre opérateur d'une CN 32 bits.....	22
Figure II.3 : Structure d'une M.O.C.N.....	25
Figure II.4 : Fonction originale d'une commande numérique.....	26
Figure II.5 : Eléments de la partie opérative.....	27
Figure II.6 : Domaine d'utilisation économique des M.O.C.N.....	28
Figure II.7 : Fonctionnement en boucle ouvert.....	30
Figure II.8 : Commande en boucle fermée.....	30
Figure II.9 : Systèmes d'axes.....	32
Figure II.10 : Fraisage à cinq axes.....	33
Figure II.11 : Commande Numérique Point A Point.....	34

Liste des figures

Figure II.12 : Commande Praxiale.....	34
Figure II.13 : Commande numérique de contournage.....	34
Figure II.14 : Cas du tournage et du fraisage.....	36
Figure II.15 : Syntaxe 11.....	40
Figure II.16 : Cheminement de l'information Concept- MOCN.....	41
Figure II.17 : Rôle du Préprocesseur dans un système FAO.....	42
Figure II.18 : Rôle du processeur dans un système FAO.....	42
Figure II.19 : Rôle du post processeur dans un système FAO.....	43
Figure II.20 : Etapes pour utiliser un système FAO ou CFAO.....	44

Chapitre III : Conception de l'outil PDC

Figure.III.1. Structure de l'outil PDC.....	47
Figure.III.2. Image de référence : a)- vue de face , b)- vue de dessus.....	49
Figure.III.3. Mettre les cotes à l'échelle.....	51
Figure.III.4. vue des esquisses.....	51
Figure.III.5. création du corps de l'outil : a)- Esquisser le corps. b)- Fonction révolution.....	52
Figure.III.6. Réalisation des plats de serrage : a)-Esquisser un rectangle. b)-Enlèvements de matières. c)-Symétrie enlev.matière.....	52
Figure.III.7. création de la tête de l'outil (brute) : a)-Esquisser la brute de la tête b)- Fonction révolution.....	53
Figure.III.8. Réalisation de la garde passive : a)-Esquisse des 6 lames. b)-Fonction enlèvements de matières.....	53
Figure.III.9. Création de la garde active de l'outil.....	54
Figure.III.10. Création des chanfreins.....	54
Figure.III.11. Création des congés.....	54
Figure.III.12. Création des deux rainures de blocage.....	55
Figure.III.13. Création du corps surfacique.....	55
Figure.III.14. Repérage d'emplacement des duses par esquisse.....	56
Figure.III.15. Création des cylindres.....	56
Figure.III.16. Réalisation des canaux d'évacuation et des logements des duses.....	57
Figure.III.17. Création d'une surface volumique.....	58
Figure.III.18. Création des différents volumes des pastilles.....	58
Figure.III.19. Fractionner les volumes pastilles.....	59

Liste des figures

Figure.III.20. Répartition des pastilles sur les 6 lames.....	59
Figure.III.21.Réalisation des logements de pastilles.....	60
Figure.III.22. Création de la conduite principale du fluide.....	60
Figure.III.23. Réalisation du filetage de l'API.....	61
Figure.III.24. Réalisation des studs.....	61
Figure.III.25. Outil de Forage PDC 10''.....	62

Chapitre IV : Génération du G-code

Figure IV.1 : Ebauche horizontale [9].	64
Figure IV.2 : Ebauche de plongeon [9].	65
Figure IV.3 : Usinage radial [9].	65
Figure IV.4 : Usinage en spirale [9].....	66
Figure IV.5 : Fraiseuse 2axes et ½, EMCO Concept MILL55.....	67

Liste des tableaux

Chapitre II : Généralités sur les machines à commande numérique

Tableau II.1 : Classification des machines-outils.....	32
Tableau II.2 : Points utilisées dans des MOCN.....	35
Tableau II.3 : Les fonctions préparatoires, instructions G.....	37
Tableau II.4 : Les fonctions auxiliaires logiques M.....	38

Liste des Abréviations

- WOB** : Weight On Bit (poids appliqué sur l'outil)
- PDC** : Polycristalline Diamond Compact
- BHA** : Bottom Hole Assembly
- ROP** : Rate Of Pénétration (La vitesse d'avancement de l'outil de forage)
- TSP** : Thermally Stable Polycristalline
- CN** : Commande Numérique
- MOCN** : Machine Outil à Commande Numérique
- MIT** : Massachusetts Institute of Technology
- APT** : Automatic Programmed Tools
- DNC** : Direct Numerical Control
- FAO** : Fabrication Assistée par Ordinateur
- CIM** : Computer Integrated Manufacturing
- MO** : Machine Outil
- CNC** : Commande Numérique par Calculateur
- G** : fonctions préparatoires
- M** : fonctions auxiliaire logique
- CFAO** : Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur
- CAO** : Conception Assistée par Ordinateur
- 3D, 2D** : (3,2) dimensions

Sommaire

Introduction général.....	1
---------------------------	---

Chapitre I : Généralités sur le forage pétrolier

I.1. Introduction.....	2
I.2. Le forage pétrolier	2
I.2.1. Définition.....	2
I.2.2. Techniques de forage	3
I.2.2.1. Forage a percussion ou battage	3
I.2.2.2. Forage à roto-percussion.....	4
I.2.2.3. Forage rotary	4
I.3. Les outils de forage	9
I.3.1. Les outils à molettes (tricônes) :	9
I.3.1.1. Principe de fonctionnement des outils tricône	11
I.3.2. Les outils à éléments de coupe fixes (monobloc).....	11
I.3.2.1 Les outils TSP (Thermally Stable Polycristalline)	11
I.3.2.2. Les outils imprégnés	12
I.3.2.3. Les outils PDC	12
I.3.2.3.1. Désignation d'un outil PDC	14
I.3.2.3.2. Le corps de l'outil.....	14
I.3.2.3.3. Le profil :	17
I.3.2.3.4. Densité des cutters	18
I.3.2.4. Mode de travail d'un outil PDC.....	19
I.4. Conclusion.....	20

Chapitre II : Généralités sur les machines à commande numérique

II.1. Introduction	21
II.2. Historique	21
II.3. Caractéristiques de la CN.....	23
II.3.1. Automaticité	23
II.3.2. Flexibilité	23
II.3.3. Sécurité	24
II.4. Définition d'une MOCN	23
II.4.1. Structure d'une machine-outil à commande numérique	24

Sommaire

II.4.1.1 Partie commande.....	25
II.4.1.2. Partie opérative	26
II.4.2. Domaine d'utilisation	27
II.4.2.1. Nécessités économiques et techniques	27
II.5. Les différents types de MOCN [6].....	28
II.5.1. Classification des MOCN	29
II.5.1.1. Classification selon la nature de déplacement	29
II.5.1.2. Classification des MOCN selon le mode de fonctionnement	29
II.5.1.3. Classification des MOCN selon le nombre d'axe	31
II.5.1.4. Classification des MOCN selon le mode d'usinage.....	33
II.6. Les origines des systèmes de coordonnées.....	35
II.7 Langage et Programmation des MOCN	36
II.7.1 Langages de CN	36
II.7.2. Commandes de la programmation CN (SIN, FAN, NUM, FAG, HEI)	37
II.7.3. Les principales fonctions	37
II.7.4. Programmation des MOCN.....	38
II.7.4.1. Nature des instructions programmées	39
II.7.4.2. Modes d'introduction de l'information à la machine	39
II.7.4.3. Principaux modes de la programmation	39
II.7.4.5. Organisation et structure d'un programme CNC	40
II.8. Cheminement de l'information concept- MOCN.....	40
II.8.1. Module de la CAO.....	41
II.8.2. Module de la FAO	41
II.8.2.1 Système FAO	41
II.8.2.2 Etapes pour l'utilisation d'un système FAO.....	43
II.8.3 Intégration entre la CAO et la FAO.....	44
II.10. Conclusion	45

Chapitre III : Conception de l'outil PDC

III.1. Introduction.....	46
III.2. Choix de l'outil informatique de CAO.....	46
III.2.1. Présentation de SolidWorks.....	46
III.3. Les différentes étapes de conception d'un outil de forage.....	46
III.4. Présentation de notre outil de forage PDC 10'' corps en acier.....	47

Sommaire

III.4.1. Structure de l'outil.....	47
a- La tête de l'outil	47
b- Le corps de l'outil	48
III.5. la technique utilisée pour la conception.....	49
III.5.1. Définition de la technique esquisse sur image.....	49
III.6. Conception de notre outil de forage PDC 10''	50
A- Conception du corps de l'outil (shank)	52
B- Conception de la tête de l'outil (brute).....	52
C- Réalisation de la rainure de blocage de l'outil.....	55
D- Création de l'emplacement des duses et des canaux de refroidissement	55
E- Réalisation des logements de pastilles	57
F- Réalisation du passage principal du fluide de refroidissement de l'outil	60
G- Réalisation du filetage conique API.....	60
H- Réalisation des studs (insert de gage).....	61
III.7. Conclusion.....	62

Chapitre IV : Génération du Code-G

IV.1. Introduction	63
IV.2. Fabrication assisté par ordinateur	63
IV.3. Rhinocéros	63
IV.3.1. Création de parcours d'outil de Rhino CAM par différentes stratégies	64
Ebauche horizontale	64
Ebauche en plongeon.....	64
Usinage radial	65
Usinage spirale	65
IV.4. Choix de la machine	66
IV.4.1. Description de la machine.....	66
IV.4.2. Caractéristique techniques du tour numérique	67
IV.5. Génération automatique du Programme G-code	68
Conclusion général	83

Introduction Générale

Introduction Générale

L'objectif principal requis de toute industrie est de produire de la qualité tout en assurant des bénéfices. Pour cela, il est nécessaire de s'assurer de la qualité à toutes les étapes de la chaîne de fabrication.

Durant ces dernières années, la MOCN a subi des progrès significatifs. Ces progrès sont essentiellement dus à la révolution technologique en informatique industrielle, ce qui a permis le développement de solutions numériques efficaces avec une possibilité d'implanter des algorithmes plus complexes. L'expertise et le temps d'usinage nécessaire à l'obtention des outillages en font des produits à très forte valeur ajoutée, les techniques mises à disposition pour usiner des pièces de formes complexes sont en plein développement.

Aujourd'hui, les machines à commande numérique par ordinateur (CNC) permettent une production économique et rentable car le contrôle des coûts reste une préoccupation importante. Avec le développement des logiciels de Conception Assistée par Ordinateur CAO et de Fabrication Assistée par Ordinateur FAO, les fabricants doivent adapter ou définir de nouvelles approches lors de la génération des gammes d'usinage. Le résultat de l'usinage dépend essentiellement de la méthode et des outils utilisés pour choisir la stratégie d'usinage. Le logiciel doit être capable à partir d'un modèle CAO de générer les trajets de l'outil qui permettent d'usiner la pièce, et éventuellement de transformer ces trajets en un programme compréhensible par le DCN.

Face à la rude concurrence dans le domaine de la fabrication, les entreprises doivent protéger leurs produits ainsi ne divulgué qu'un minimum d'information. En effet, les informations nécessaires pour l'étude de l'outil de forage PDC 10'', qui est l'objet de cette étude, ne sont pas disponibles surtout en ce qui concerne les côtes et les dimensions.

L'objectif de ce travail est de déterminer avec le logiciel SolidWorks les côtes de cet outil en utilisant la fonction « Image d'esquisse » de ce logiciel. La deuxième partie consiste à générer automatiquement le programme G-code en utilisant le logiciel Rhino Cam .

Les travaux menés dans ce projet de fin d'études sont divisés en quatre chapitres :

Chapitre 1 : Dans ce chapitre on a présenté les différentes composantes du processus le plus utilisé de nos jours qui est le «forage rotary »et la définition des différents outils de forage utilisés.

Chapitre2 : Ce chapitre est consacré à l'état de l'art sur la programmation des MOCN, les systèmes CAO et FAO, puis on a présenté un aperçu général sur la technologie des MOCN citant leurs classifications. On a donné aussi une vue générale sur la CAO, les composants d'un système FAO et les différentes étapes suivies pour générer le programme CN à partir des systèmes FAO et CFAO.

Chapitre 3 : Ce chapitre est consacré à la conception de l'outil de forage PDC.

Chapitre 4 : Dans ce chapitre nous avons généré automatiquement le programme CN par le logiciel de CFAO « Rhino CAM ».

Nous terminons le travail avec une conclusion générale.

CHAPITRE I

Généralités sur le forage pétrolier

I.1.Introduction :

Le premier forage pétrolier s'est déroulé en Pennsylvanie dans la vallée de d'Oil Creek le 27 août 1859. L'Américain Edwin Drake découvre du pétrole liquide et construit le premier puits de pétrole de L'Histoire, à une profondeur d'une vingtaine de mètres. Il s'inspire pour cela des techniques de forage des puits de sel. Un lourd trépan creuse le sol en étant suspendu au bout d'un câble qui lui transmet depuis la surface un mouvement alternatif créé par un balancier

C'est au début du 19eme siècle que 'Antony Lucas' démontra au monde entier l'efficacité du forage Rotary par la découverte de champ de 'Spindeltop (Texas)' en utilisant la combinaison d'un outil rotatif et l'injection continue de boue. Depuis ce jour, cette technique est universellement utilisée et a profité des améliorations apportées par le progrès technique.

Depuis les années 1960 sont apparus les forages marins (offshore). Il y a eu un véritable décollage de ce type d'activité sur deux grandes zones : le golfe du Mexique et la mer du Nord. Le pétrole marin fournit aujourd'hui le quart de la production mondiale. Les plates-formes autoélevatrices, prenant appui sur le fond marin, sont limitées à un peu plus de 100 m de l'eau. Au-delà, on utilise les plates-formes semi submersibles, ancrées au fond, ou les navires à positionnement dynamique sans ancrage.

I.2.Le forage pétrolier :

I.2.1.Définition:

Le forage est l'action de creuser un trou, aussi appelé « puits » qui permet de relier la couche contenant du pétrole ou de gaz à la surface pour permettre l'exploitation de ces sources,

L'installation de forage est un complexe d'équipements mécanique comprenant des machines et des mécanismes liés entre eux pour accomplir une fonction bien déterminée. Il consiste à mettre en rotation un outil sur lequel s'applique une force orientée dans la direction d'avancement. Ce procédé permet de creuser un trou de rayon égal à celui de l'outil. Les copeaux (cutting) générés au fond du trou suite à la destruction de la roche par l'outil remontent en continu à la surface grâce à la circulation du fluide de forage qui est généralement une boue à base d'eau ou d'huile. Ce fluide est pompé depuis la surface vers l'intérieur des tiges de forage pour être injecté au travers de l'outil sur le front de coupe.

La boue remonte ensuite dans l'espace annulaire entre les tiges et les parois du puits et entraîne ainsi les copeaux de roche vers la surface. Le poids sur l'outil (Weight On Bit : WOB) est obtenu par gravité grâce à l'introduction de tiges lourdes appelées masses tiges. Le couple de rotation est obtenu soit à partir d'un couple en surface transmis vers l'outil via un train de tiges soit à partir d'un moteur fond de trou au-dessus de l'outil et piloté en surface [1].



Figure.I.1 : appareil de forage [1].

I.2.2. Techniques de forage[2] :

On distingue trois principales méthodes de forage, à savoir :

- ✓ Forage à percussion ou battage.
- ✓ Forage à roto-percussion.
- ✓ Forage à rotation (ou forage Rotary).

Sachant que pour chacune de ces méthodes de forage il y a de très grandes variétés d'outils, de matériels, et de procédés (méthodes) de mise en œuvre, d'application et de savoir-faire.

I.2.2.1. Forage à percussion ou battage:

C'est la méthode de forage la plus anciennement connue et les Chinois, notamment, l'utilisaient depuis des temps très reculés pour la recherche d'eau dans l'appareillage le plus simple, la destruction de la roche et l'avancement du trou qui en résulte sont obtenus à l'aide d'un trépan suspendu à un câble, auquel un balancier ou un treuil à chute libre imprime un mouvement alternatif de haut en bas. C'est le sondage au câble ou pennsylvanien.

Le trou est curé périodiquement au moyen d'une soupape qui remonte les débris de roche, tandis que, dans les terrains non cohérents et ébouleux, un tubage poussé à l'avancement (havage) assure la tenue des parois du forage et évite le coincement de l'outil, tout en permettant de connaître les cotes de prélèvement avec une meilleure précision.

I.2.2.2. Forage à roto-percussion:

Le forage à roto-percussion consiste à appliquer à l'outil de forage, ou taillant, un couple de rotation et une énergie de frappe, cette dernière à cadence élevée (1 200 à 1 500 coups/min, par exemple).

Jusqu'à un passé récent (vers 1970) cette méthode, particulièrement adaptée aux roches dures, était principalement utilisée pour la reconnaissance et l'abattage, en carrières et en tunnels au rocher. Depuis plusieurs années, l'apparition d matériels nouveaux et de plus en plus performants permet l'ouverture du champ d'action de la méthode à la reconnaissance des sols.

Les outils utilisés sont des taillants en croix ou à boutons pour fragmenter la roche et la réduire en cuttings lors des impacts répétés.

I.2.2.3. Forage rotary :

Le procédé essentiel de l'exploration et de l'exploitation des gisements pétroliers reste le forage rotary qui permet d'atteindre de grandes profondeurs dans de bonnes conditions techniques et de sécurité.

Cette méthode consiste à utiliser des trépan à dents type tricônes ou des trépan monoblocs comme les outils diamant ou PDC. Sur lesquels on applique une force procurée par un poids tout en les entraînant en rotation. L'avantage de cette technique est de pouvoir injecter en continu un fluide au niveau de l'outil destructif de la formation pour emporter les débris hors du trou grâce au courant ascensionnel de ce fluide vers la surface.

Puisque la technique universellement connue du forage Rotary est utilisée de nos jours alors on parlera dorénavant seulement de cette méthode (ou technique) de forage.

Le processus de forage rotary est composé de deux parties :

- a) L'installation de Forage.
- b) La garniture de Forage.

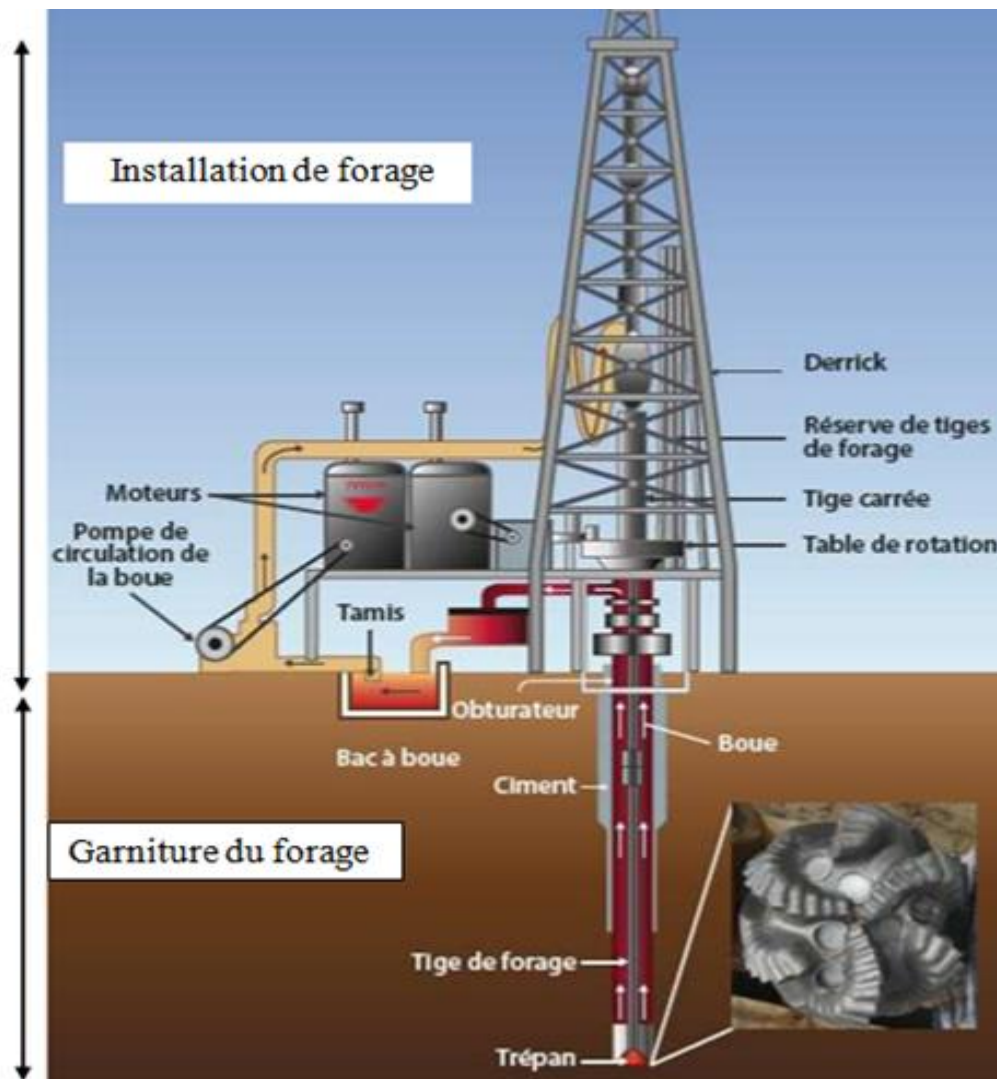


Figure I.2 : Processus de forage Rotary [3].

a) L'Installation de forage :

L'installation de forage est la partie située à la surface du sol, elle comprend plusieurs modules : le système hydraulique (pompe et bac a boue), le système d'alimentation (moteurs), les obturbateurs (blow-out preventers), la table de rotation, les réserves des tiges de forage ainsi que le système de suspension qui renferme le derrick [4].

L'installation doit assurer les trois fonctions suivantes [5] :

- un poids à l'outil ;
- une rotation de l'outil ;
- une injection du fluide de forage.

- **Le poids sur l'outil WOB (Weight on bit) :**

Ce paramètre désigne la force appliquée par la garniture sur l'outil suivant son axe de révolution. Cette force dépend du poids propre de la garniture, de la poussée d'Archimède due au fluide de forage et de la tension du câble de soutien de la garniture en surface.

- **La vitesse de rotation :**

C'est la vitesse de rotation de l'outil par rapport à son axe de révolution. Cette vitesse varie en général de 50 à 250tr/mn pour le forage rotary classique et peut atteindre jusqu'à 1000tr/mn lorsqu'on utilise une turbine de forage [6].

- **Le fluide de forage :**

Le fluide de circulation est habituellement un liquide mais peut également être de l'air ou un autre gaz. Si le fluide de circulation est un liquide, c'est généralement une boue à base d'eau, ou bien à base d'huile (carburant habituellement diesel). Les deux bases (base-eau ou base-huile) du fluide de forage sont appelées boue de forage car elles donnent l'aspect de la boue du fait des additifs solides que l'on y ajoute[7].

b) La garniture de forage:

La garniture est la partie descendante dans le puits, elle est désigné aussi par arbre de forage, en raison de la mécanique de liaison qu'elle établit entre la motorisation rotative en surface (table de forage) et le trépan, elle correspond a la partie opérative dans le puits.

Elle effectue plusieurs tâches dont : la transmission de l'énergie nécessaire à la désagrégation de la roche, le guide et le contrôle de la trajectoire du puits, la transmission de la force de poussé, ainsi que la circulation du fluide de forage [4].

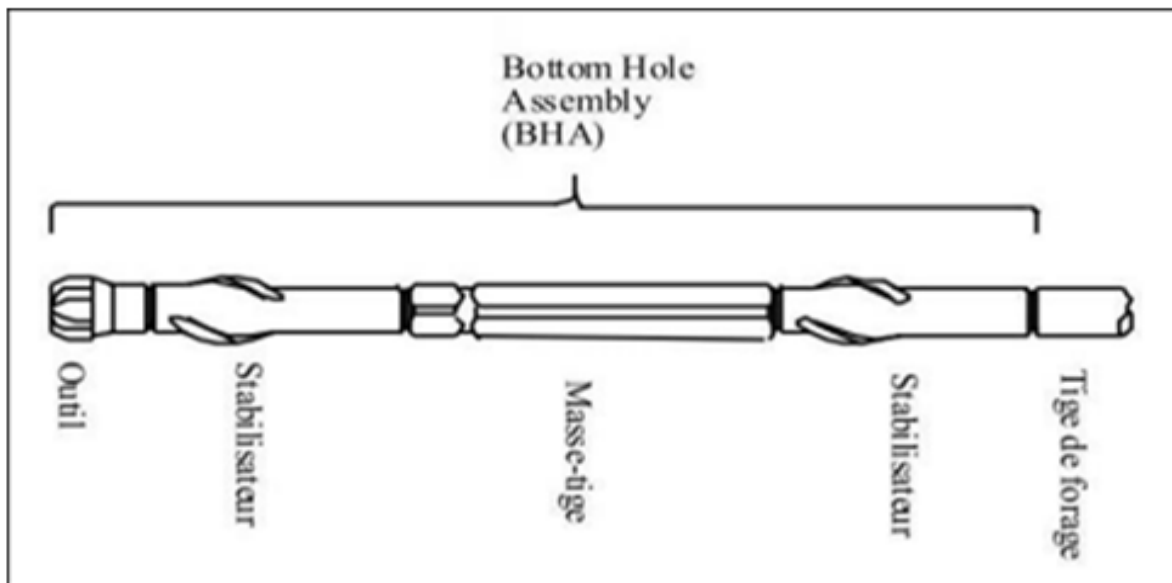


Figure I.3 : Garniture de forage [8].

- **Le train de tiges :**

Cette partie de la garniture est constituée d'une série de tiges d'acier raccordées les unes aux autres par des joints filetés coniques. Le train de tiges permet de contrôler l'outil par la transmission du couple moteur fourni en surface, par l'intermédiaire de la table de rotation. En outre, il fournit la pression nécessaire pour percer dans la formation et abraser les roches avec une force WOB suffisante. Cet ensemble peut atteindre une longueur de plusieurs kilomètres (1 à 8 km) [1].

- **Les tiges de forage :**

C'est un ensemble de tiges d'acier légères d'environ 10 m de longueur, d'un diamètre extérieur pouvant aller de 9 à 15 cm et d'une épaisseur de 1 cm. L'ensemble des tiges de forage, entraîné à partir de la table de rotation est sollicité en traction et en torsion [1].

- **Assemblage de fond BHA (Bottom Hole Assembly)**

C'est la partie inférieure de la structure de garniture, constituée de l'outil, des stabilisateurs et des masses-tiges. La longueur de cet ensemble varie typiquement de 100 à 300 m en fonction de la pression recherchée [1].

- **Les masses-tiges :**

Il s'agit d'une série de tubes massifs en acier dont le rôle est d'assurer une poussée suffisante sur l'outil. Par conséquent, pendant la phase de forage, les masses-tiges sont, en partie ou voire en totalité, en état de compression [3].



Figure I.4 : Masse-Tiges [1]

- **Les stabilisateurs :**

Ce sont des tubes de longueur nettement plus faible que celle des masses-tiges et dont le diamètre extérieur est voisin de celui du trépan. Ils sont placés au niveau des masses tiges et parfois intercalés entre deux masses-tiges pour assurer le centrage et le guidage de l'assemblage de fond. Ils maintiennent le trépan perpendiculaire à la formation, ce qui augmente sa performance [1].

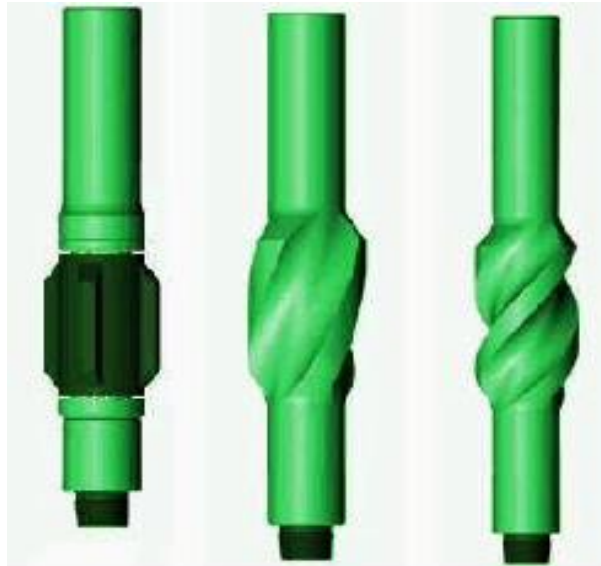


Figure I.5 : Stabilisateurs [1].

- **Les trépan :**

Le trépan est monté à l'extrémité d'un train de tiges. C'est un outil qui sert à tailler et détruire la roche. Il existe différents types de trépan, chaque type étant choisi pour une opération de forage spécifique, en fonction de la nature de la formation (plus ou moins dure) et de la résistance mécanique des terrains (forabilité, stabilité des parois, comportement des argiles.)[1].

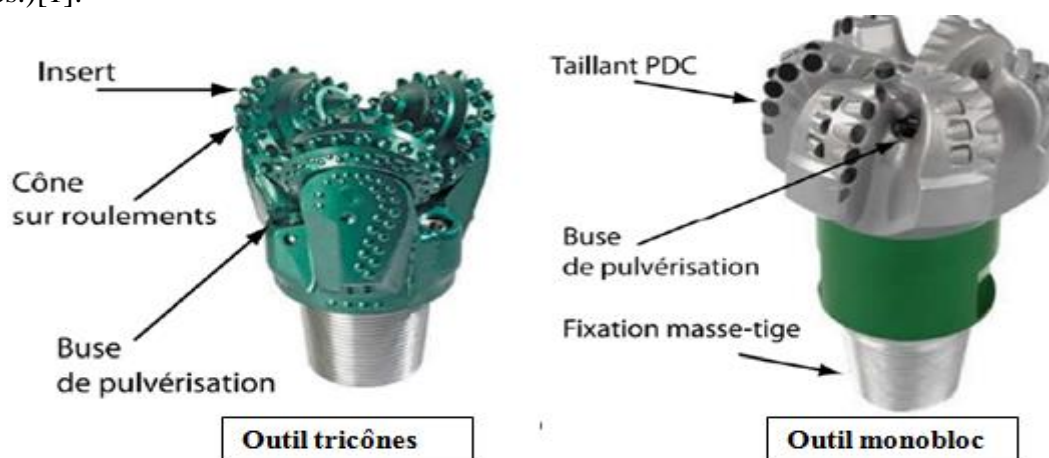


Figure I.6 : trépan de forage [1].

I.3. Les outils de forage:

Parmi tous les organes d'un appareil de forage, le trépan reste l'élément indispensable pour réaliser un puits de forage pétrolier. C'est la première pièce à s'attaquer aux terrains. Quelle que soit sa forme, sa dimension, son type, sa configuration, l'outil de forage est indiscutablement obligatoire au creusement d'un puits de forage.

La destruction de la roche et la vitesse d'avancement dépendent essentiellement du type d'outils et des paramètres de forage qui lui sont appliqués. La rentabilité d'un outil dépend de tous les facteurs qui contribuent à l'augmentation de la ROP. Elle s'exprime par un aspect économique défini par le Prix de revient du mètre foré.

L'une des tâches du superviseur de forage est de choisir l'outil le mieux adapté aux formations à forer. Il lui faudra choisir l'outil qui permet de forer pour un prix de revient minimum. L'outil le plus économique n'est pas nécessairement celui qui permet l'avancement le plus rapide. Il faut prendre en considération sa durée de vie, les temps de manœuvre ainsi que la qualité du puits réalisé (calibrage du trou, trajectoire réalisée, etc.)

On peut distinguer deux types principaux d'outils de forage, les outils à molette et monobloc, dans chaque type on trouve une grande variété d'outil selon la conception l'outil, son profil, la nature des dents et leurs formes.

I.3.1. Les outils à molettes (tricônes):

Les outils tricônes sont constitués de 3 molettes disposées à 120° l'une de l'autre (Figure I.7) et tournant chacune au tour de son propre axe. Les molettes sont montées sur des arbres de roulement qui font partie intégrante du corps de l'outil. Sous l'effet du poids et de la rotation appliqués à l'outil, les molettes roulent sur la roche et la détruisent essentiellement par poinçonnement. Ce type d'outil est souvent utilisé dans les roches dures [3].

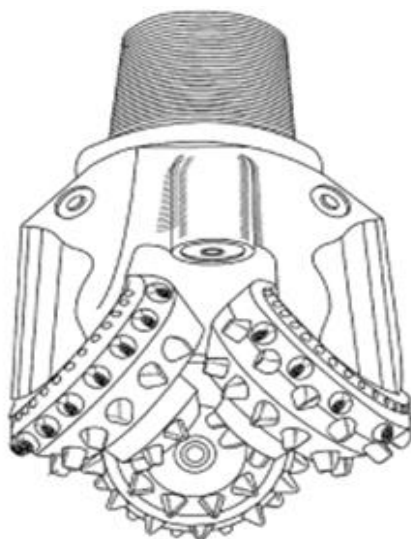


Figure I.7 : Exemples d'outils tricônes (Catalogue Baker Hughes)

Les éléments de coupe font partie de la molette sont :

- Des dents usinées dans le cône.
- Des picots de carbure de tungstène emmanchés en force dans des perçages à la surface du cône.

↳ Les dents :

Les outils à dents acier sont utilisés en début de trou, dans les formations tendres, avec de grandes vitesses de rotation, ainsi que dans les zones où l'épaisseur des couches rend les outils à picots non économiques. Les dents de la rangée de talon ont des profils de crête adaptés aux formations à forer ; le but étant de limiter leur usure et ainsi de réduire la perte de diamètre de l'outil.

↳ Les picots de carbure :

L'outil à picots (insert bit) de carbure de tungstène fut initialement conçu pour forer les formations très dures et abrasives composées de silice ou de quartzite qui, du fait de la durée de vie relativement courte des outils à dents, se révélaient très onéreuses à forer.

Les picots cylindriques en carbure de tungstène fritté sont sertis dans des trous usinés dans les cônes. Cet assemblage donne une structure de coupe présentant une grande résistance à l'usure par abrasion ainsi qu'aux efforts de compression.

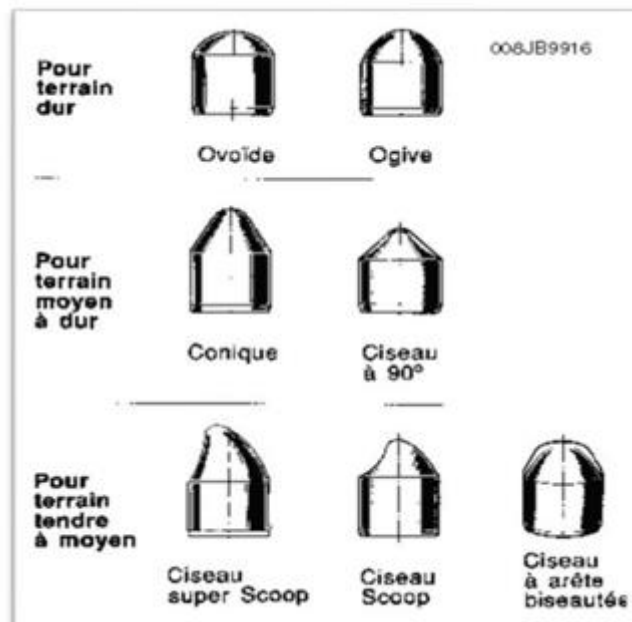


Figure I.8 : Différents types de picots [3]

I.3.1.1.Principe de fonctionnement des outils tricône :

Un tricône travaille par :

- Percussion et pénétration de la dent dans la formation, pour avoir un meilleur avancement il est donc logique plus le terrain est tendre, plus la dent devra être grande.
- Arrachage des "copeaux" de terrain par glissement de la molette sur elle-même. Il faut un décalage des rangées de dents sur chaque molette.

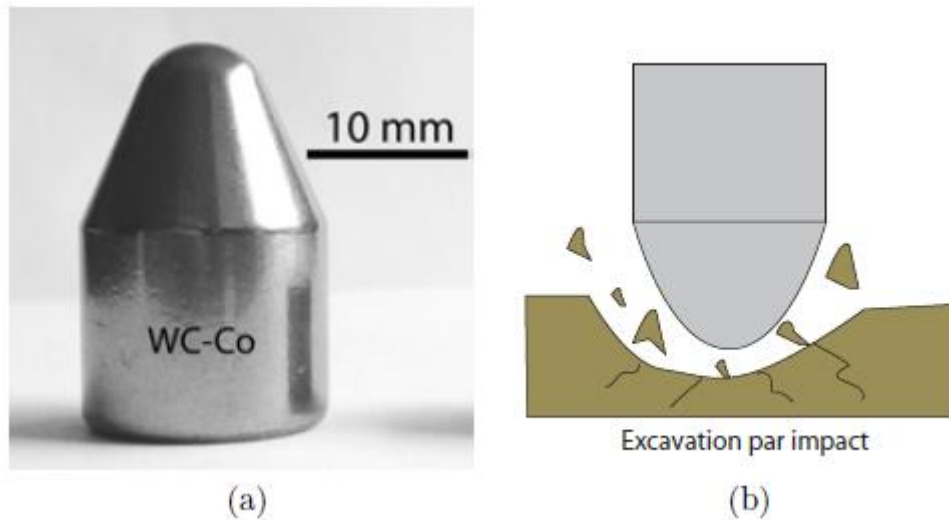


Figure I.9 : – Illustrations d'un insert en carbure de tungstène :
a- photographie ; b- mode d'excavation.

I.3.2. Les outils à éléments de coupe fixes (monobloc) :

Ils ne possèdent pas de pièces tournantes, ce sont les outils monobloc. Des diamants naturels et de synthèse sont utilisés pour leur fabrication. Les outils à diamants naturels travaillent à la façon d'une lime tandis que les outils à diamants synthétiques travaillent à la façon d'un rabot [9].

I.3.2.1. Les outils TSP (Thermally Stable Polycrystalline):

Les TSP sont disponibles sous plusieurs formes :

Triangulaire dont la taille est de l'ordre de 3 pierres par carat. Il est utilisé pour forer des formations moyennement dures.

Disque dont la taille est de l'ordre d'une pierre par carat. Il est utilisé pour forer le même type de formation mais est plus performant dans les situations où une plus grande résistance à l'usure et au choc est demandée. Cette forme permet d'avoir une vitesse d'avancement et une durée de vie plus élevées dans des formations dures et abrasives ou fracturées.

Les TSP peuvent être regroupés pour former des structures en mosaïque de la dimension des PDC. Cette structure a permis d'augmenter la vitesse d'avancement et d'allonger la durée de

vie de l'outil dans des formations tendres, abrasives et dans les intercalations d'argiles et de roche plus dures, là où les PDC n'étaient pas rentables [11].



Figure I.10 : outil TSP [11]

I.3.2.2. Les outils imprégnés:

Le corps est composé d'une matrice en carbure de tungstène imprégné de diamants synthétiques à l'intérieur. La structure abrasive est résistante aux hautes pressions et températures, et par conséquent ces outils sont utilisés dans les formations très dures à faible forabilité et haute abrasivité, Au fur et à mesure de l'usure de la matrice, les diamants exposés se déchaussent et de nouveaux taillants apparaissent.

En raison de la petite taille des diamants synthétiques imprégnés, la vitesse d'avancement obtenu par cet outil est très faible. [12]

I.3.2.3. Les outils PDC :[9]

En 1971, General Electric a réussi à faire la synthèse du diamant en laboratoire à partir d'un mélange de graphite, de nickel et de cobalt soumis à des conditions de pression et de température très élevées (100 000 bar et 1 500 °C). La fine couche de diamant, grâce à la présence de cobalt, peut être fixée sur un support en carbure de tungstène. Le produit obtenu est appelé stratapax ou compact

Les diamants obtenus par synthèse sont Polycristallines (d'où le nom de **PDC** : Polycristalline Diamond Compact) : la couche de diamant ainsi formée est constituée de petits cristaux qui se sont développés dans des directions aléatoires (structure comparable à celle du

carbonado). Le cobalt, utilisé pour catalyser la synthèse, sert également de liant entre les cristaux. Cette structure polycristalline confère au diamant synthétique une résistance à la compression et à l'usure plus élevée que celle du diamant naturel.

La couche de diamant s'use par micro-écaillage, ce qui entraîne une auto-affûtage du PDC qui maintient l'efficacité de l'arête de coupe. Les performances du taillant seront donc peu ou pas diminuées au cours de la vie de l'outil.

Cependant, les coefficients de dilatation thermique du liant et du diamant sont très différents (coefficient du liant beaucoup plus élevé). A partir de 400 °C, la dilatation différentielle des différents constituants produit la rupture des liaisons entre cristaux et le PDC perd progressivement sa résistance, la structure n'est plus stable aux environs de 750 °C. Il est donc essentiel de maintenir le PDC à une température la plus faible possible.



Figure I.11 : Outils PDC

Les premiers compacts à être synthétisés avaient un diamètre de 8 mm, actuellement on sait fabriquer des compacts de 2 pouces. Les diamètres les plus couramment utilisés sont 0.5", 0.75" et 1 pouce. Les compacts peuvent être brasés sur le corps de l'outil ou peuvent être fixés sur des supports cylindriques de carbure de tungstène (figure 15) emmanchés en force à chaud dans le corps de l'outil.

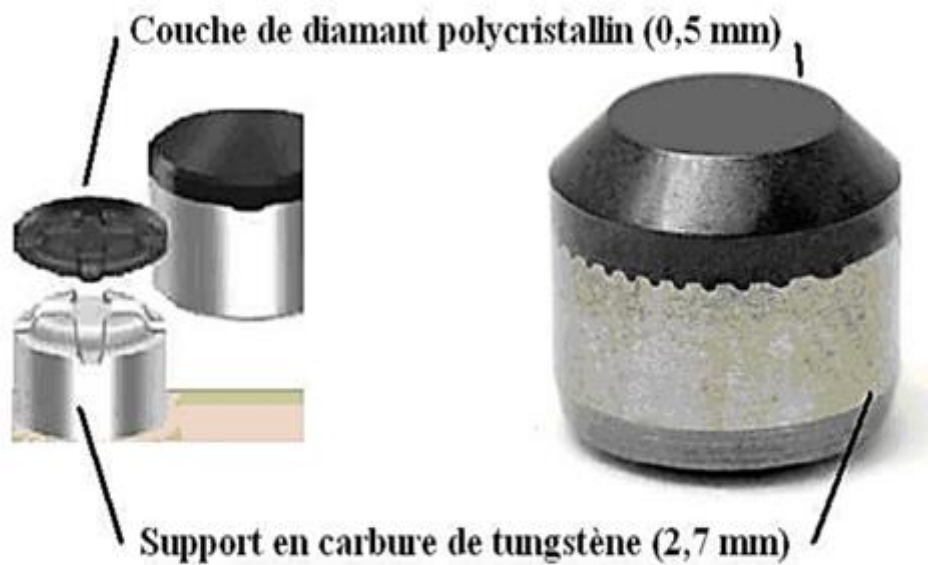


Figure I.12 : Structure d'un PDC

I.3.2.3.1. Désignation d'un outil PDC:

On désigne un outil par :

- 1- Le corps de l'outil,
- 2- Le profil,
- 3- Densité des cutters,
- 4- Angles caractéristiques de parties,
- 5- Longueur utile (Ledge).

I.3.2.3.2. Le corps de l'outil:

Il existe deux types de corps d'outils :

- a- Corps en acier (steel body).
- b- Corps en carbure de tungstène (Matrix body).

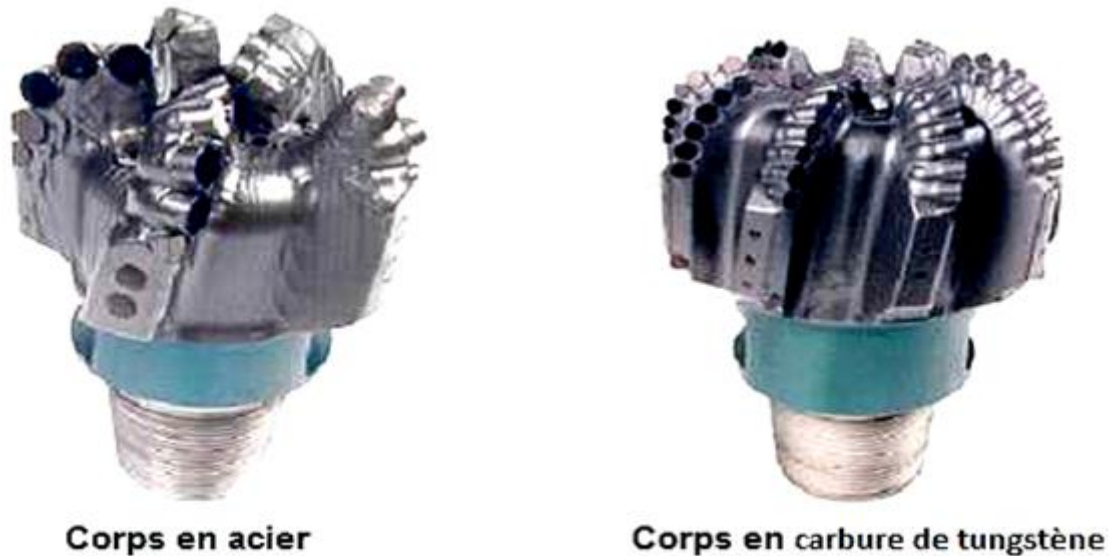


Figure I.13 : les types d'outils en PDC

a- CORPS EN ACIER (Steel body):

Les outils avec corps en acier sont usinés dans des barres d'acier, alors que les outils avec corps en matrice sont coulés à partir de poudre de carbure de tungstène dans des moules correctement usinés.

Pour produire le profil de l'outil, la barre d'acier est usinée à l'aide d'un tour contrôlé par ordinateur, ainsi le filetage mâle API et le diamètre intérieur du passage principal du fluide sont usinés.

Les canaux d'irrigation, les lames, les logements des dents, les trous des duses et filetages sont usinés par la machine à commande numérique.

Après que l'usinage du corps ait été effectué, les picots de diamètre sont sertis sous presse dans leur logement ainsi que les dents du PDC [10].

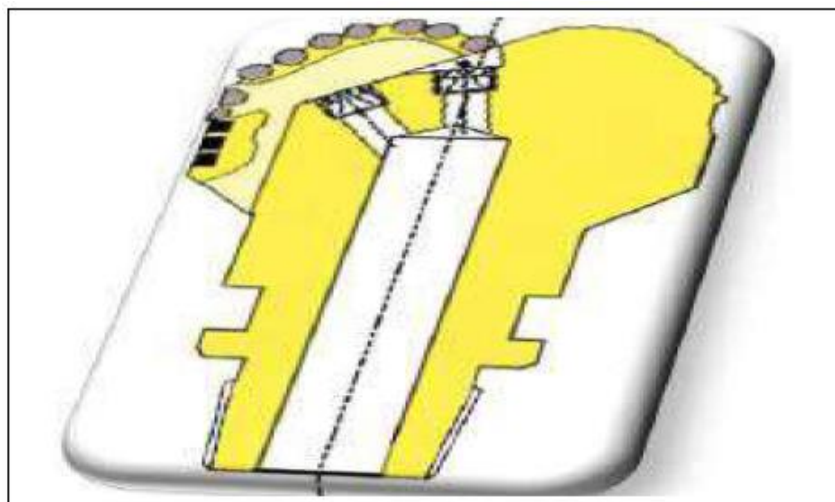


Figure I.14 :Outil PDC Steel body

- **Les avantages du Steel body:**

- possibilité de remplacer les cutters périscope après utilisation de l'outil si toute fois il n'y a pas eu érosion du corps.
- possibilité de pouvoir utiliser toute la surface du cutter étant donné que ce type de cutter est entièrement exposé.

- **Les inconvénients du Steel body :**

Une usure par "Wash out" très rapide du corps acier ce qui limite considérablement sa durée de vie. Cette durée de vie est directement proportionnelle à la quantité de solides de contenus dans la boue, toutefois cette usure par "Wash out" peut être réduite en apportant une métallisation dure sur la surface d'attaque de l'outil.

- b- CORPS EN CARBURE DE TUNGSTENE (Matrix body) :**

Le corps, en deux parties soudées, a une âme en acier et une matrice en carbure de tungstène. Ces outils ont des taillants cylindriques brasés directement dans un évidage dans le corps, qui, en plus, les protège contre les chocs. Ainsi, ils peuvent travailler avec des torques très importants.

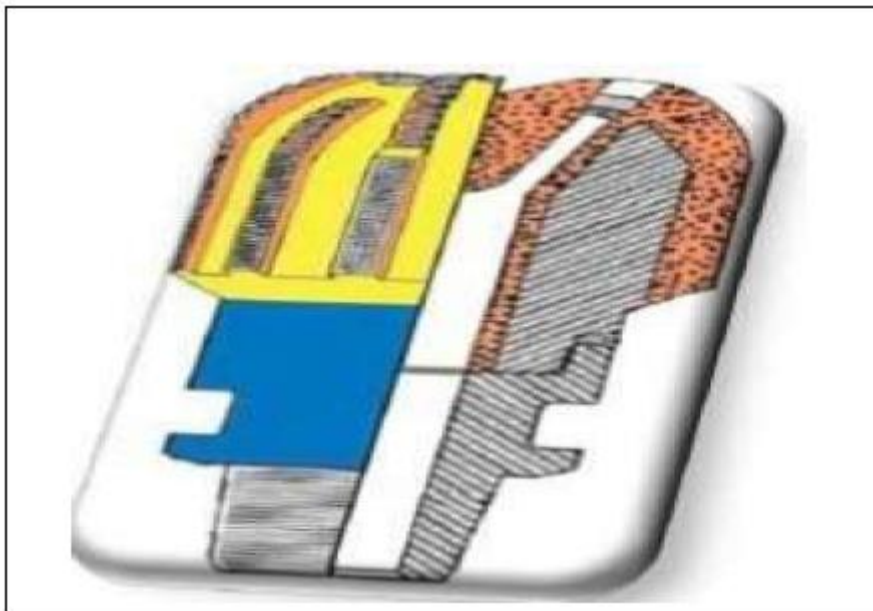


Figure I.15 : outil PDC Matrix body

- **Les avantages du Matrix body :**

- La très haute résistance à l'abrasion du corps qui est en carbure de tungstène, ce qui donne une durée de vie toujours supérieure à la durée de vie cutter lui-même.
- L'évidage aménagé dans le corps de l'outil pour recevoir le cutter donné.

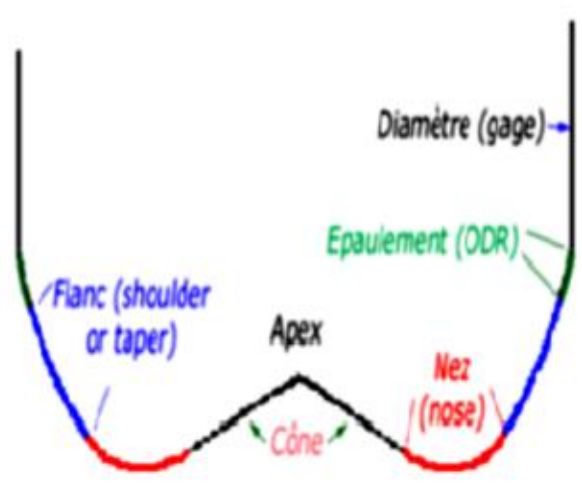
- **Les inconvénients de Matrix body :**

- son prix qui est sensiblement plus élevé que le steel body.
- une fois utilisé, cet outil ne peut pas être réparé.
- toute la surface de cutter ne peut pas être utilisée du fait de sa position dans la matrice.

I.3.2.3.3. Le profil :

Une grande variété de profils d'outil existe.

Pour chacun de ces groupes, les variations de profil permettent d'associer le volume des taillants en rapport avec la dureté de la formation et la conception de l'hydraulique pour l'évacuation des déblais.



Caractéristiques des Profils :

Le profil de l'outil consiste en :

- Apex (centre géométrique de l'outil)
- Cône
- Nez
- Le flanc (shoulder ou taper)
- L'épaulement (ODR)
- Le diamètre (gage ou gauge)

Le profil d'un outil a une influence directe sur :

- La stabilité de l'outil
- La manœuvrabilité de l'outil (steerability)

- Le nombre de taillants
- La durabilité de l'outil
- La vitesse d'avancement
- Le nettoyage et le refroidissement de l'outil

I.3.2.3.4. Densité des cutters :

Il est possible d'effectuer des mesures qualitatives de la performance d'un outil sur les différentes densités de distribution des cutters.

En général, lorsque la densité des cutters augmente, la vitesse de pénétration diminue. Si on augmente la densité des cutters d'un outil PDC, on réduit la charge effective par cutter.

$$\text{contraint par cutter} = \frac{\frac{WOB \text{ total}}{\text{nombre de cutter}}}{\text{la surface de la coupe}}$$

Source : cours forage choix Des outils (SONATRACH)

- **Angles caractéristiques des pastilles PDC :**

On définit trois angles caractéristiques sur les pastilles PDC :

- 1- L'angle de coupe W_c (back rake angle).
- 2- L'angle de dépouille W_d (clearance angle).
- 3- L'angle lateral W_s (Side rake angle).

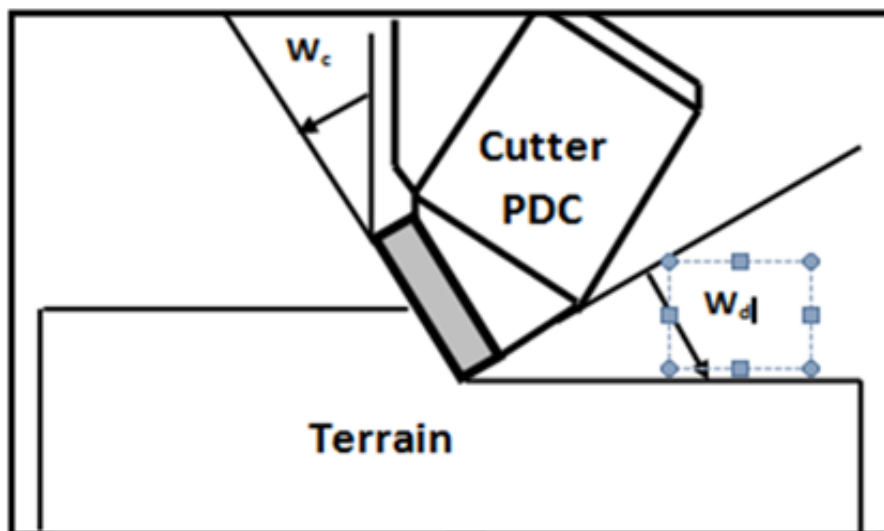


Figure I.16 : Angles caractéristiques d'un PDC

Longueur utile L_d :

La distance entre la matrice du trépan et le fond de la saignée creusée par le PDC est appelé "Longueur utile" (exposure).

Si L_d est la distance mesurée suivant la verticale entre la matrice du trépan et le centre de la pastille de diamètre D . Alors le rapport L_d/D est appelé **Ledge**.

Ces deux paramètres sont d'une importance capitale dans le système d'évacuation des copeaux et du nettoyage du puits et sur les efforts latéraux.

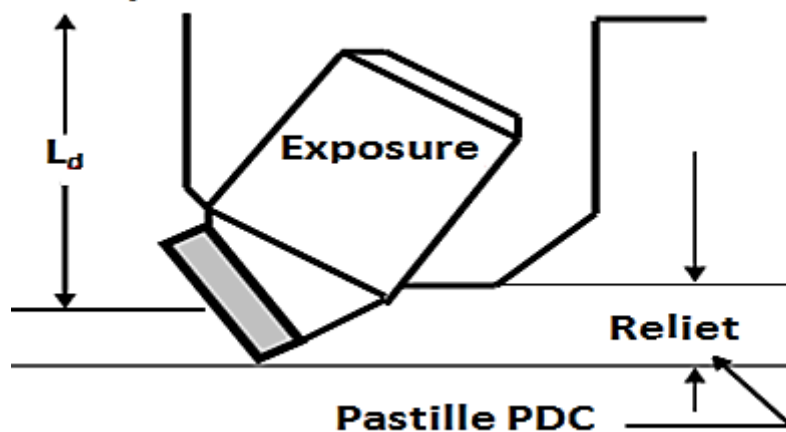


Figure I.17: Longueur utile L_d

I.3.2.4. Mode de travail d'un outil PDC:

Les efforts appliqués sur le cutter sont :

- La force de coupe F_c (horizontal force),
- La force normale F_n (poids sur l'outil),
- La force latérale F_L .

Lorsque un cutter PDC coupe une roche à une profondeur de passe h , elle est soumise à un effort résultant R , dont la composante normale à la face de la pastille appelée effort de coupe F_c est responsable de la rupture de la roche par cisaillement. Cet effort résultant présente également une composante latérale F_L .

Les efforts latéraux de chaque pastille sont équilibrés entre eux de sorte que l'effort latéral est nul.

Le balayage du fond du trou est obtenu par le mouvement de rotation de l'outil autour de l'axe de forage.

Tous les points de l'outil PDC décrivent dans son mouvement des cercles concentriques, en particulier chacun des éléments de l'outil, qui est maintenu enfoncé dans la roche sous l'effet de la charge verticale, repousse dans ce mouvement de rotation un élément

de roche, dont l'épaisseur est égale à la profondeur dont il s'est enfoncé, et à chaque instant il écrase un élément nouveau de roche vierge.

Si la vitesse de rotation de l'outil et la résistance de la roche sont uniformes, chaque élément d'outil, en contact avec le fond du trou, aura une trajectoire hélicoïdale dont le pas sera égal à l'avancement de l'outil par tour.

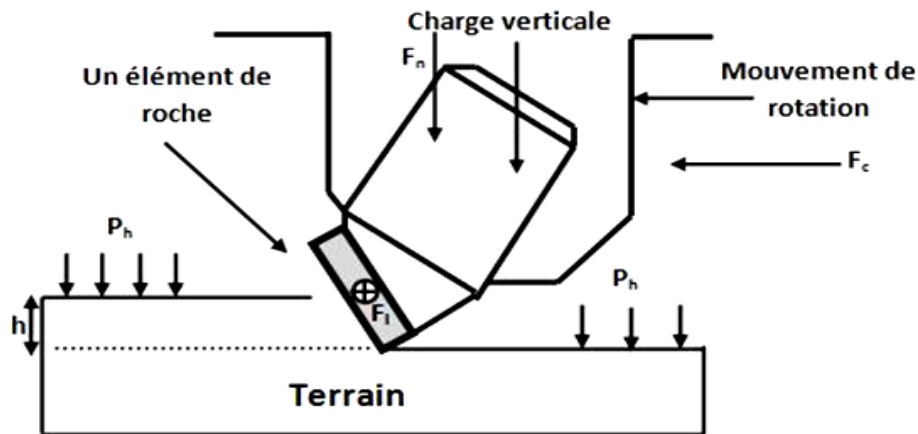


Figure I.18 : Principe de fonctionnement d'un outil PDC

I.4. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté une recherche bibliographique et des généralités sur le forage pétrolier, notamment le forage Rotary. Puis on a défini les différents outils utilisés dans ce processus et leur mode de travail.

Chapitre II

**Généralités sur les machines
à commande numérique**

Chapitre II Généralités sur les machines à commande numérique

II.1. Introduction

Apparue il y a seulement quelques dizaines d'années, la commande numérique CN impose actuellement sa technologie dans le monde de l'usinage. Conçue Pour piloter le fonctionnement d'une machine à partir des instructions d'un programme sans intervention directe de l'opérateur pendant son exécution, elle a dans un premier temps, permis de franchir un pas important dans l'automatisation des machines-outils traditionnelles. Tours, fraiseuses, perceuses et aléseuses sont ainsi devenues capables d'assurer, en quantité comme en qualité, une production à peine imaginable quelques années auparavant. La CN est également à l'origine de nouvelles conceptions des machines polyvalentes comme le centre d'usinage. [13]

Dans ce chapitre on présente un aperçu général sur la technologie des MOCN, citant la Classification et l'architecture des MOCN.

II.2. Historique

Les travaux menés par Falcon et jacquard à la fin du XVII siècle ont montré qu'il était possible de commander les mouvements d'une machine à partir d'informations transmises par un carton perforé. Leur métier à tisser de 1805 fut le premier équipement à être doté de cette technique et, de ce point de vue, il peut être considéré comme l'ancêtre. Il faut cependant rattacher l'exploitation industrielle de la CN au développement de l'électronique.

En 1947, à Traverse City dans l'Etat du Michigan, John Parsons fabrique pour le compte de l'US air force dans pales d'hélicoptère par reproduction. Pour façonner ses gabarits, il utilise une méthode consistant à percer plusieurs centaines de trous faiblement espacés de manière à approcher le profil théorique. L'emplacement et la profondeur de chaque trou sont calculés avec précision par un ordinateur IBM à cartes perforées. La finition de la surface est obtenue par des opérations manuelles de polissage.

Mais, lorsque l'US Air Force confie à ce même Parsons la réalisation de pièces de formes encore plus complexes pour ses futurs avions supersoniques, celui-ci réalise que sa méthode est trop approximative et que seul un usinage continu en 3 dimension sera en mesure de donner satisfaction Au printemps 1949, il confie alors au Massachusetts Institute of Technologie (MIT) le soin de développer des asservissements capables de piloter une machine qui recevra des instructions intermittentes à partir d'un lecteur de cartes.

Cette machine, est une fraiseuse prototype Cincinnati à broche verticale (**Fig. II.1**). Conçue pour exécuter des déplacements simultanés suivant 3 axes, est officiellement présentée en septembre 1952 dans le Servo-mechanisms laboratory du MIT. L'information mathématique étant la base du concept, on lui donne de numerical control. Il aurait tout aussi bien s'appeler commande symbolique.



Figure II.1 : Premier MOCN en 1952 [13]

Il faut encore attendre quelques années de vastes fonds l'US Air Force et l'appui des chercheurs du MIT pour rendre la première Machine-outil à commande numérique (MOCN) réellement opérationnelle (Fig. II.2).



Figure II.2 : Pupitre opérateur d'une CN 32 bits [13]

Chapitre II Généralités sur les machines à commande numérique

II.3. Caractéristiques de la CN

II.3.1. Automaticité

Le premier avantage d'une CN est d'offrir aux machines qui en sont équipées un très haut niveau d'automaticité. Sur de telles machines, l'intervention de l'opérateur nécessaire pour assurer la production de pièces peut être considérablement réduite voire supprimée.

De nombreuses MOCN peuvent ainsi fonctionner sans aucune assistance pendant toute la durée de leur cycle d'usinage, laissant l'opérateur libre d'accomplir d'autres tâches en dehors du poste de travail. Cette caractéristique présente par ailleurs un certain nombre d'avantages moins palpables mais tout aussi importants, tels qu'une diminution notable de la fatigue de l'opérateur, moins d'erreurs d'origine humaine et un temps d'usinage constant et prévisible pour chaque pièce d'une même série.

II.3.2. Flexibilité

Puisqu'elles sont pilotées à partir d'un programme, les MOCN peuvent usiner des pièces différentes aussi facilement que l'on charge un nouveau programme. Une fois vérifié puis exécuté pour la première série, ce programme peut être facilement rappelé lorsque la même série se représente.

Une MOCN se caractérise en outre par des temps de réglage très courts qui répondent parfaitement aux impératifs de la production en flux tendus.

II.3.3. Sécurité

La CN a beaucoup contribué à améliorer la sécurité des machines :

- en premier lieu, parce qu'elle connaît très précisément l'enveloppe de travail dans laquelle doivent évoluer les outils (possibilité de mémorisation des courses maximales des organes mobiles).
- ensuite, parce qu'elle permet une simulation graphique hors usinage des programmes nouvellement créés pour vérification et détection des risques éventuels de collision.
- enfin, parce qu'en exerçant une surveillance permanente de l'usinage en cours, elle peut décider d'en interrompre le déroulement et d'alerter l'opérateur en cas d'incident.

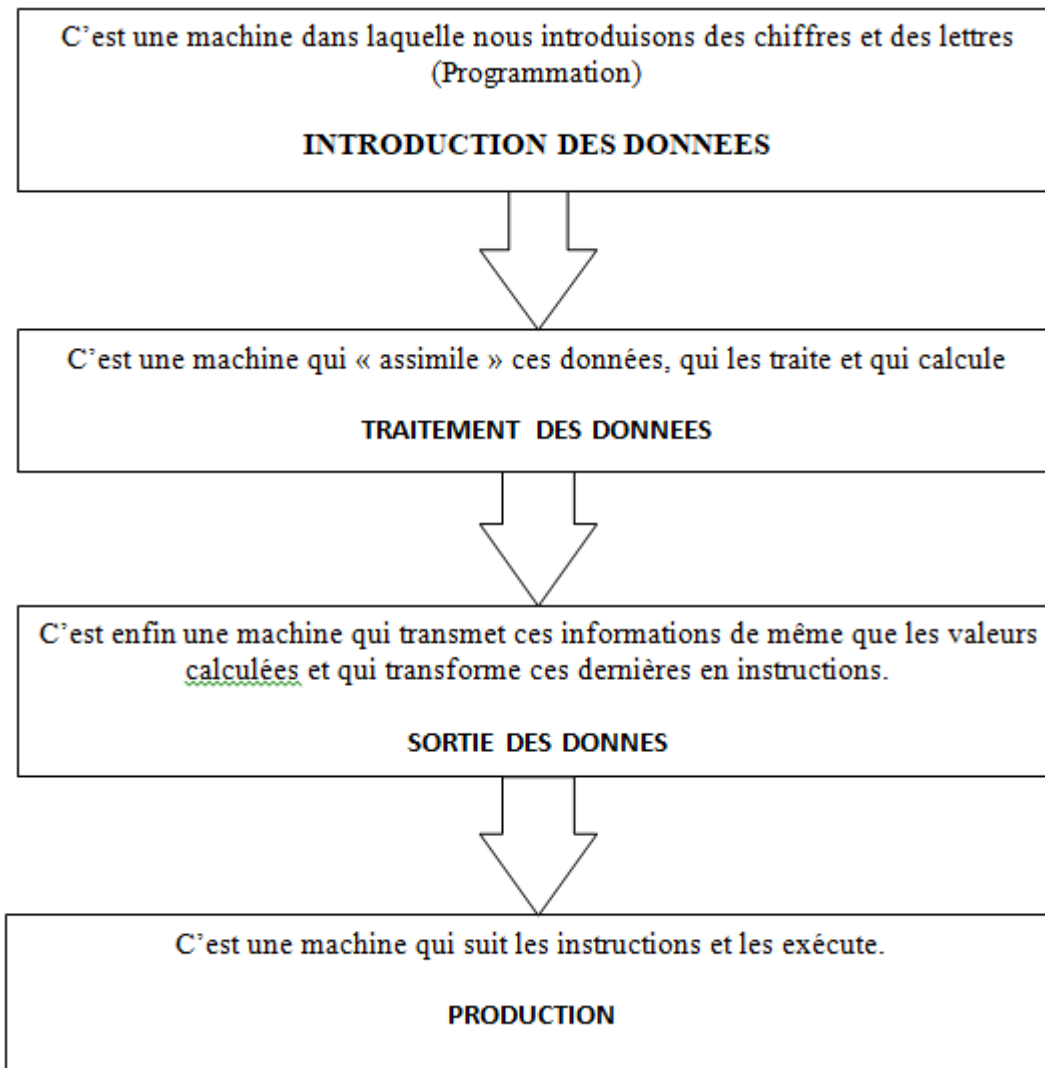
Il est par ailleurs admis que le niveau de performances très élevé atteint par les MOCN conduit les constructeurs à prévoir des dispositifs de protection très élaborés (contre les projections de copeaux ou de liquide d'arrosage) qui ne s'imposent pas nécessairement sur une MO conventionnelle [13].

II.4. Définition d'une MOCN

La MOCN est une machine totalement ou partiellement automatique à laquelle les ordres sont communiqués grâce à des codes dans un programme CN. Lorsque la machine-

Chapitre II Généralités sur les machines à commande numérique

outil est équipée d'une commande numérique capable de réaliser les calculs des coordonnées des points définissant une trajectoire (interpolation), on dit qu'elle est à calculateur. Elle est appelée Commande Numérique par Calculateur (CNC). La plupart des MOCN sont des CNC. [14]



II.4.1. Structure d'une machine-outil à commande numérique

Une machine-outil à commande numérique est composée de deux principales parties :

- ❖ Partie commande
- ❖ Partie opérative

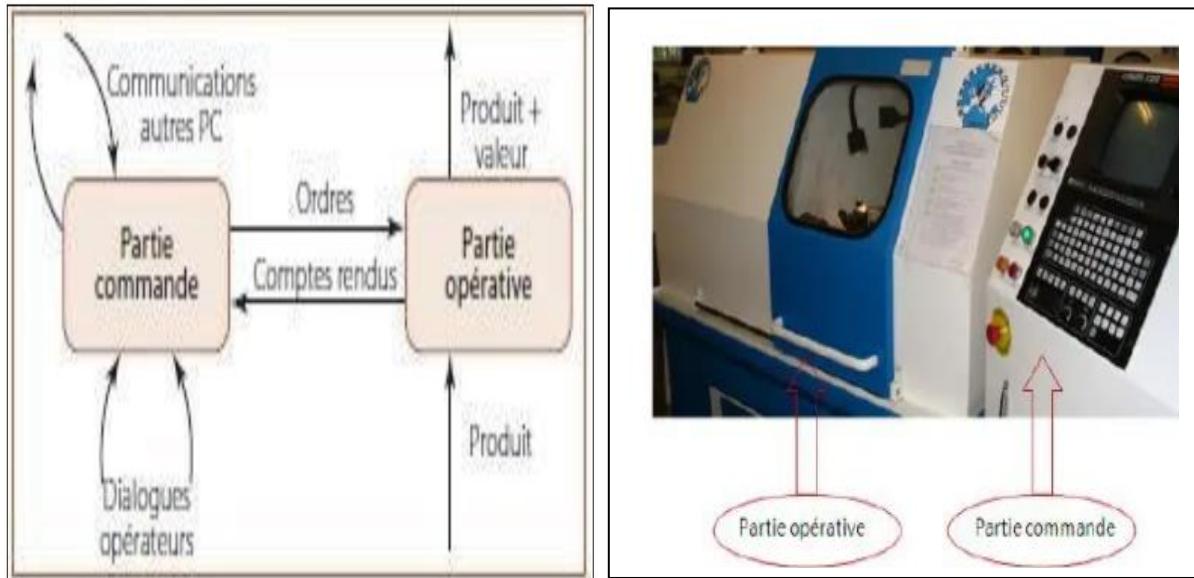


Figure II.3 : Structure d'une M.O.C.N [14]

II.4.1.1 Partie commande

Différente d'une machine conventionnelle, elle est constituée d'une armoire dans laquelle on trouve :

- ❖ Le pupitre permettant de rentrer les commandes à l'aide d'un clavier,
- ❖ Le lecteur de données (ce lecteur peut être une option lors de l'achat de la machine),
- ❖ La sortie RS 232 pour les liaisons avec les Périphériques externes,
- ❖ L'écran de visualisation de toutes les données enregistrées,
- ❖ Le calculateur,
- ❖ Les cartes électroniques (commandes d'axes, mémoire ...).

La partie commande est alimentée par un courant faible et ne peut donc pas alimenter en direct les moteurs de la machine (**Fig. II.4**).

L'ordinateur qui équipe une CNC permet:

- a. Le pilotage des déplacements programmés ou manuels, en partant du tableau de commande
- b. La commande intégrée et simultanée de plusieurs axes et plusieurs fonctions auxiliaires
- c. Le calcul des trajectoires, des interpolations et des compensations automatiques
- d. La connectivité de la machine en vue du transfert du programme
- e. Différentes fonctions d'assistance à la programmation
- f. L'autodiagnostic, la calibration et la manutention.

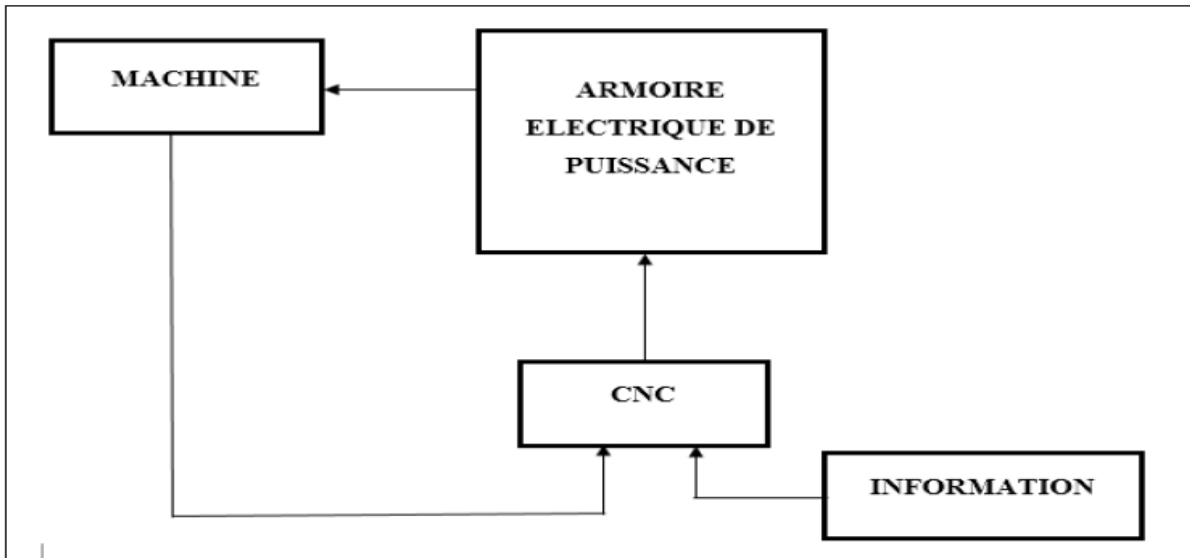


Figure II.4 : Fonction originale d'une commande numérique [14]

II.4.1.2. Partie opérative

Les mouvements sont commandés par des moteurs ; presque comparable à une machine-outil classique, et elle comprend :

- Un socle, très souvent en béton hydraulique vibré, assurant l'indépendance de la machine au sol,
- Un bâti, un banc, dont les larges glissières sont en acier traité,
- un support outil (broche, torche, laser, jet d'eau ...),
- Une table support pièce, mobile selon 2 ou 3 axes, équipée de système de commande à vis et écrou à bille. Le granit, ou le granit reconstitué, est utilisé pour la fabrication des tables et des bâtis des machines à mesurer tridimensionnelles des rectifieuses et de certains tours,
- des moteurs chargés de l'entraînement de la table,
- Un élément de mesure ou capteur de position renseignant à tout moment sur la position du mobile sur chaque axe,
- Une dynamo tachymétrique assurant la mesure de la vitesse de rotation.

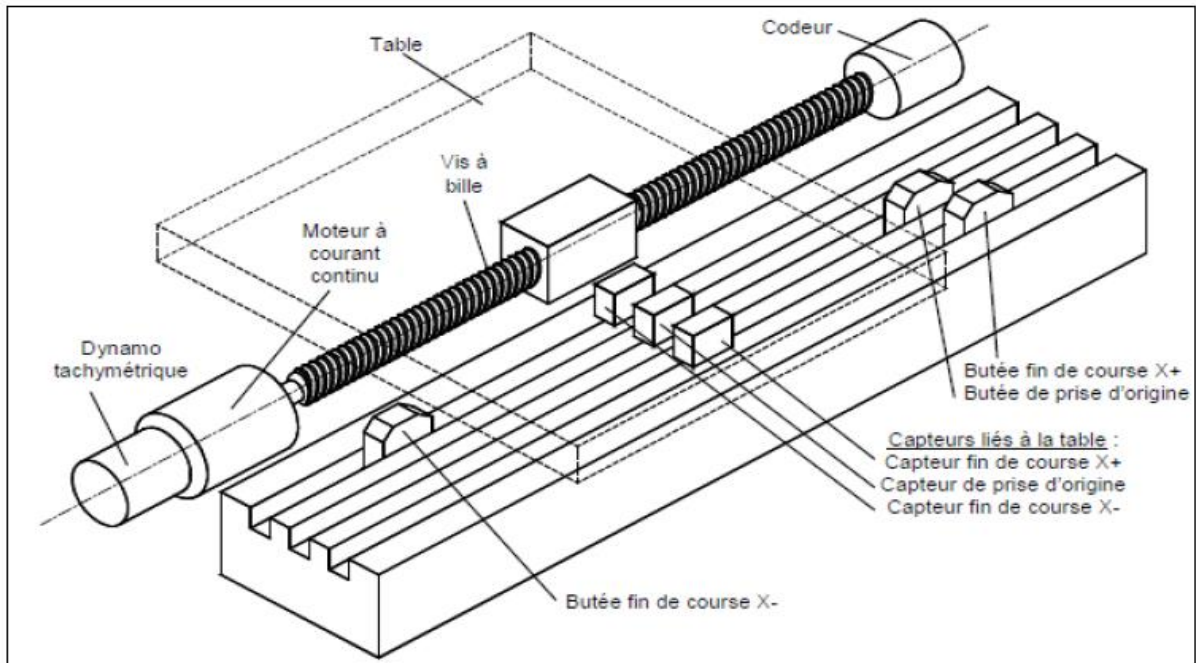


Figure II.5 : Eléments de la partie opérative [14]

Tâches effectuées [15]

Les tâches effectuées sur le site de la partie opérative sont :

- Chargement et déchargement (pièce port pièce).
- Chargement et déchargement (outils port outils).
- Intervention manuelles nécessitées par l'usinage et l'entretien.
- Surveillance de commande.

II.4.2. Domaine d'utilisation

Les M.O.C.N. conviennent à la fabrication en petites et moyennes séries renouvelables. Elles permettent la réalisation, sans démontage, de pièces complexes comportant beaucoup d'opérations d'usinage.

Elles se situent entre les machines conventionnelles très "flexibles" réservées aux travaux unitaires (prototypes, maintenance) et les machines transferts, très productives, réservées aux grandes séries. [16]

II.4.2.1. Nécessités économiques et techniques

Symbole de précision, de reproductivité, de fiabilité et de flexibilité, qualités primordiales dans une économie de marché où les produits se caractérisent en termes de prix, de qualité et de délai de mise à disposition, la CN se montre économiquement intéressante pour produire à l'unité ou en série toutes les sortes de pièces, même les plus simples (Fig. II.6).

Chapitre II Généralités sur les machines à commande numérique

Une fois vérifié et validé, un programme assure la réalisation de 2, 10 ou 1 000 pièces identiques avec la même régularité de précision et la même qualité d'usinage, sans que l'habileté de l'opérateur n'intervienne.

Il convient, en outre, de souligner que la CN ouvre de nouvelles perspectives en permettant la définition de pièces complexes qu'il est pratiquement impossible de concevoir et de fabriquer sur des MO conventionnelles.

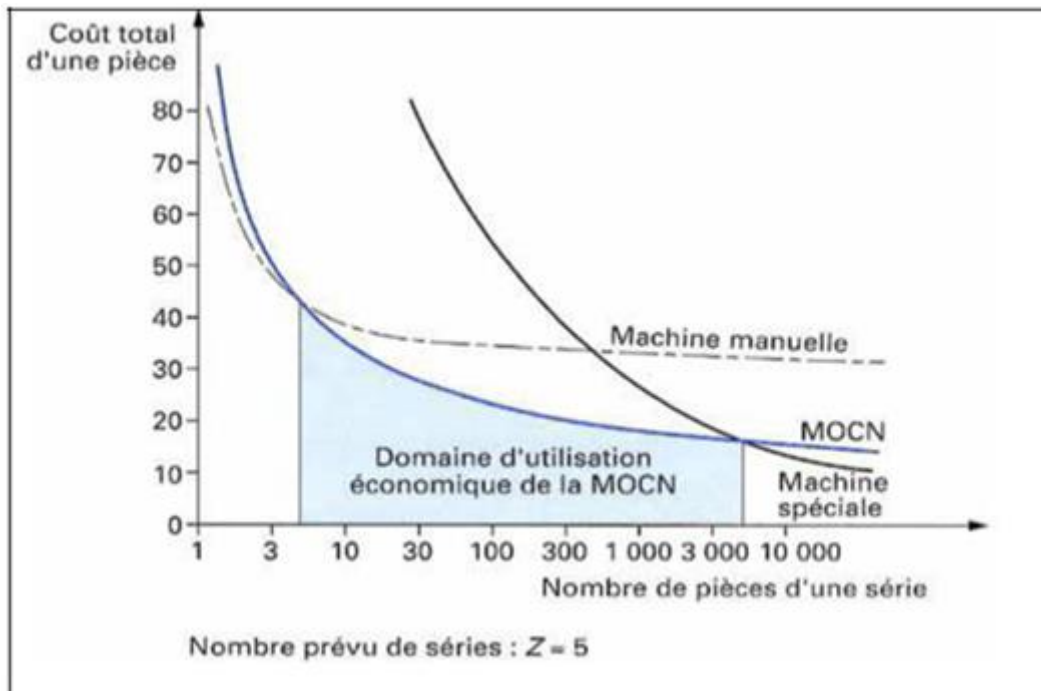


Figure II.6 : Domaine d'utilisation économique des M.O.C.N. [15]

On constate que le coût total de fabrication par pièce varie en fonction de la quantité ($Z.L$) d'une manière hyperbolique. Si l'on considère le nombre de pièces usinées, le domaine d'utilisation économique de la MOCN se situe dans la petite et la moyenne séries.

Les MO conventionnelles restent rentables pour des opérations simples où elles ont malgré tout tendance à être remplacées par des MOCN d'entrée de gamme.

Pour les grandes séries, le recours à des machines spéciales à automatisation rigide (machines transfert, tours à cames, fraiseuses de copiage) se montre encore très avantageux [17].

II.5. Les différents types de MOCN [18]

On distingue plusieurs types de machines :

Chapitre II Généralités sur les machines à commande numérique

- les machines à enlèvement de copeaux : les perceuses, les tours 2 et 4 axes, les centres de tournages 5 axes, les fraiseuses 2 axes 1/2, 3 axes, les centres d'usinage, 3 à 5 axes, les rectifieuses, les affûteuses, les machines d'usinage à très grande vitesse...
- les électroérosions : les machines à enfonçages, les machines à fil.
- les machines de découpes : oxycoupage, laser, jet d'eau...
- les presses : métal, injection plastique.
- les machines à bois : à portique ou col de cygne.
- les machines spéciales : à panneaux, à têtes multiples, de conditionnement (pour l'agroalimentaire)...

II.5.1. Classification des MOCN [19]

Les machines-outils à commande numérique (MOCN) sont classées suivant :

- Classification selon la nature de déplacement
- le mode de fonctionnement de la machine
- le nombre d'axes de la machine
- le mode d'usinage

II.5.1.1. Classification selon la nature de déplacement

Le classement des machines est nécessaire car il aide au choix de machines, lors d'étude de gammes de fabrication. Traditionnellement, on a classé les machines en fonction des formes de surfaces à réaliser : cylindriques / parallélépipédiques, tournage / fraisage. Cette classification est remise en cause, car la commande numérique et l'adaptation des structures de machine cassent le lien entre les deux couples. [19]

II.5.1.2. Classification des MOCN selon le mode de fonctionnement

a. Fonctionnement en boucle ouvert

En boucle ouverte, comme l'illustre la figure **II.7**, le système assure le déplacement du chariot mais ne le contrôle pas.

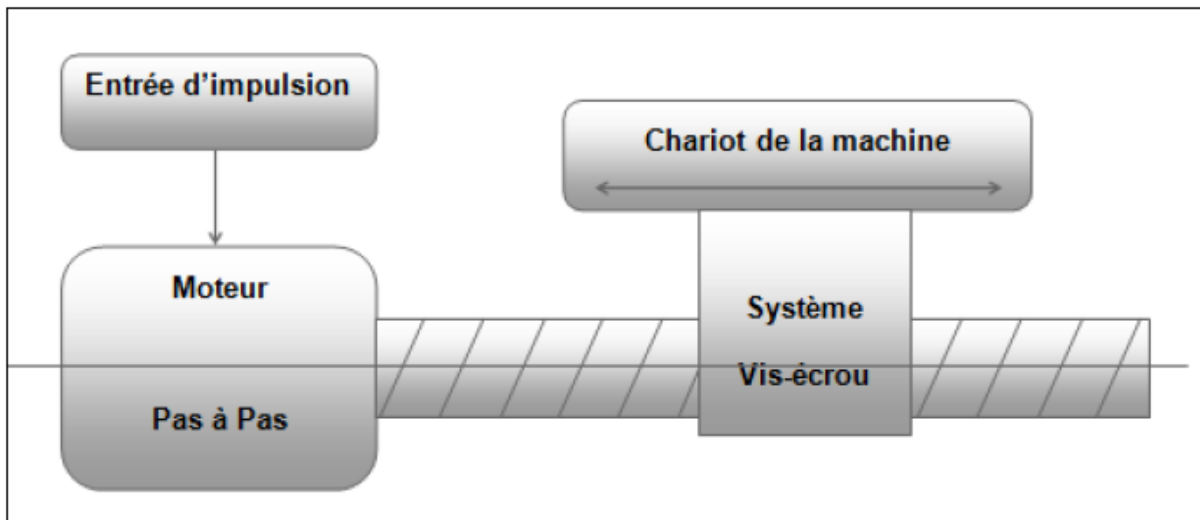


Figure. II.7 : Fonctionnement en boucle ouvert. [18]

b. Fonctionnement avec commande adaptative

La commande adaptative réalise d'une façon continue et automatique l'adaptation des conditions de coupe. Des capteurs relèvent les valeurs de couple de la broche, l'amplitude de vibration de la broche, la température au point de coupe. Ces informations sont transmises à une unité spéciale qui les envoie vers le directeur de commande numérique qui agit selon l'analyse des informations sur les conditions de coupe pour permettre une meilleure qualité de travail, une meilleure productivité et une plus grande sécurité.

c. Fonctionnement en boucle fermée

En boucle fermée le système contrôle le déplacement ou la position jusqu'à égalité des grandeurs entrée (E) dans le programme et celui mesuré (Gm). Comme illustre la figure. II.8.

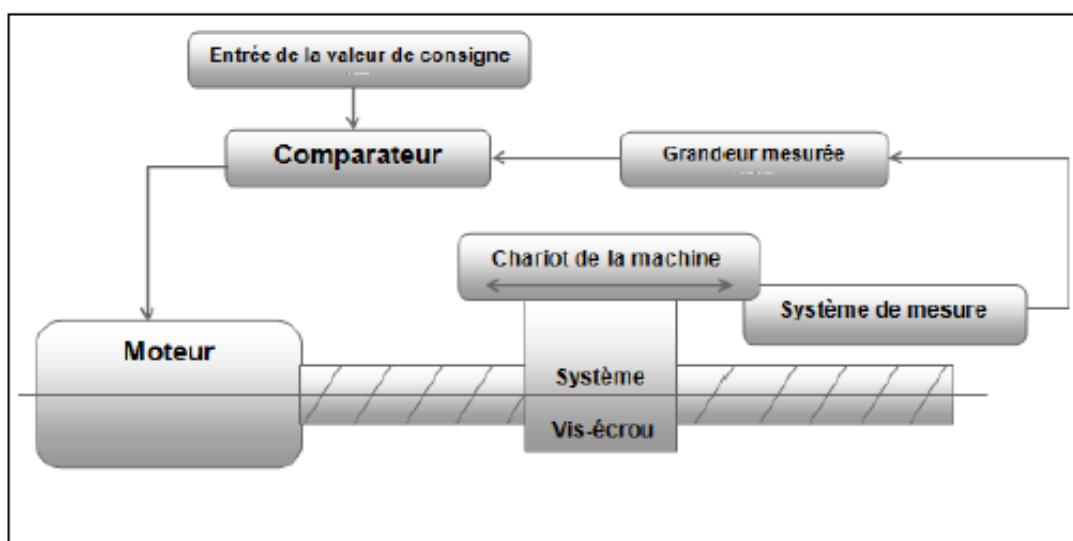


Figure II.8: Commande en boucle fermée. [18]

Chapitre II Généralités sur les machines à commande numérique

II.5.1.3. Classification des MOCN selon le nombre d'axe

On classe maintenant les machines-outils par le nombre de mouvements élémentaires qu'elles peuvent mettre en œuvre lors du déplacement de l'outil par rapport à la pièce tableau. **II.1.** Seuls les axes sont décomptés. La mise en œuvre simultanée de plusieurs outils entraîne l'augmentation du nombre d'axes. Cette classification ne permet pas d'associer directement un type de forme usinable à une classe de machine, car elle ne reflète pas la cinématique de l'outil. Par exemple un tour à cinq axes ne permet pas de faire des pièces différentes par rapport à un tour à trois axes. [19]

II.5.1.3.1 Systèmes d'axes

Les déplacements de l'outil ou du porte-pièce s'effectuent par combinaisons de translations et/ou de rotations.

Chaque mouvement élémentaire (axe) est repéré par une lettre affectée du signe + ou - indiquant le sens du déplacement.

- **Les translations primaires** s'effectuent suivant les axes **X, Y, Z** formant ainsi le trièdre de référence.
- **Les rotations primaires** sont les trois rotations **A, B, C** autour de ces trois axes. L'axe **Z** : est celui de la broche.
- **Les translations primaires (U, V, W)** sont parallèles à X, Y et Z.

Chapitre II Généralités sur les machines à commande numérique

Nb d'axes	Mouvements	type d'usinage et des opérations possibles
1	Z	brochage, presse
2	X, Z	tournage : toutes les formes obtenues ont le même axe de symétrie
3	X, Y, Z	Fraisage : surfacage, perçage, fraisage de poches, de rainures et de surfaces gauches. L'axe outil reste parallèle à une direction fixe par rapport à la pièce.
3	X, Z, C	Tournage, avec asservissement de la broche, permet le fraisage sur tour : tournage général, fraisage à l'outil tournant, perçage hors axe. La broche est asservie en position.
4	X, Y, Z, B	Fraisage : surfacage, perçage, fraisage de poches, de rainures et de surfaces gauches. L'axe outil reste contenu dans un plan fixe par rapport à la pièce.
4 fraisage	X, Y, Z, C	(cf. X, Y, Z, B)
4	X, Y, Z, C	tournage
4 tournage	2x(X,Z)	deux tourelles
5	2x(X,Z),C	deux tourelles et asservissement de la broche, (cf. X, Z, C)
5	X, Y, Z, A, C	fraisage de formes gauches : fraisage avec le flanc de l'outil, fraisage avec dépinçage, perçage en toutes directions.
5	X, Y, Z, B, C	fraisage de formes gauches (cf. X, Y, Z, A, C)
5	X, Y, Z, A, B,	fraisage de formes gauches (cf. X, Y, Z, A, C)

Tableau II.1 : Classification des machines-outils [19]

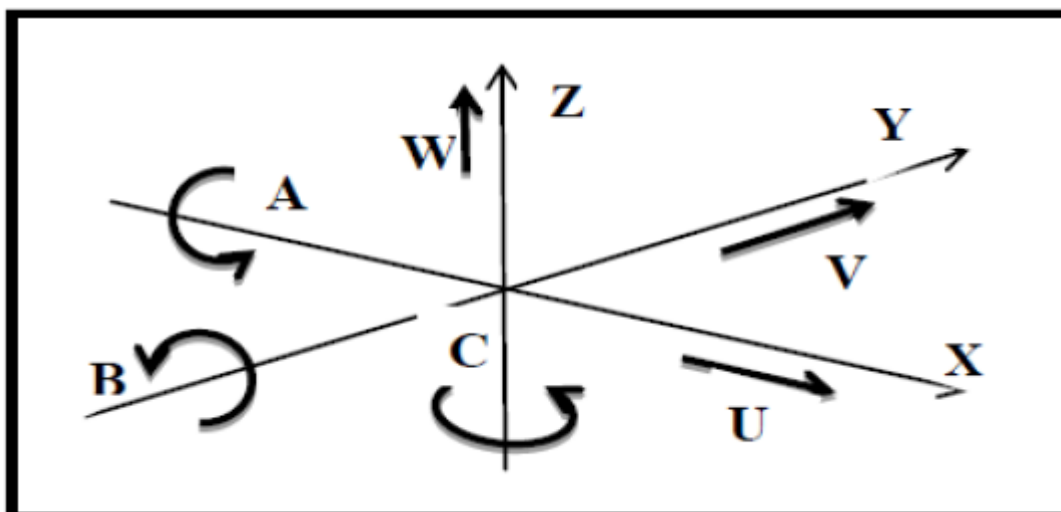


Figure II.9 : Systèmes d'axes.

Chapitre II Généralités sur les machines à commande numérique

La figure (Figure II.10) ci-dessous montre un exemple d'un centre d'usinage à cinq axes.

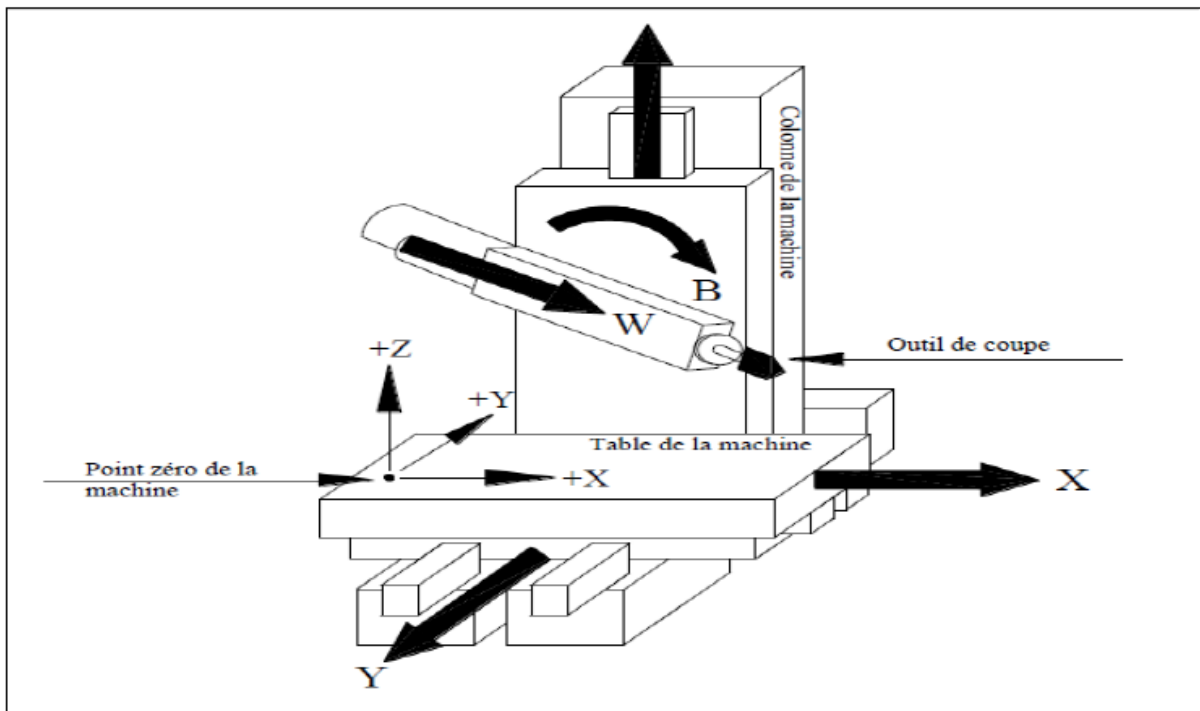


Figure II.10 : Fraisage à cinq axes [14]

On peut classer les machines à plus de cinq axes en trois catégories :

- Les mouvements génèrent une forme particulière, ce sont les affuteuses (jusqu'à neuf axes), ou des machines spéciales.
- Les mouvements sont dédoublés, ce sont les machines transferts.
- Les mouvements ne sont pas dédoublés, ce sont les robots. La dissociation entre le robot et la machine-outil vient de la comparaison des performances respectives sur la rigidité, la vitesse de déplacement et la précision.

II.5.1.4. Classification des MOCN selon le mode d'usinage [20]

Selon le mode d'usinage on peut classer les MOCN en trois catégories :

- ❖ Commande numérique point à point
- ❖ Commande numérique paraxiale
- ❖ Commande numérique de contournage

• **Commande numérique point à point** : c'est la mise position de l'outil ou de la pièce Par déplacements non synchronisés. Le mouvement de coupe (usinage) n'est possible que lorsque le mouvement de positionnement.

- Exemples d'opération d'usinage : perçage, alésage, lamage taraudage, petit fraisage.

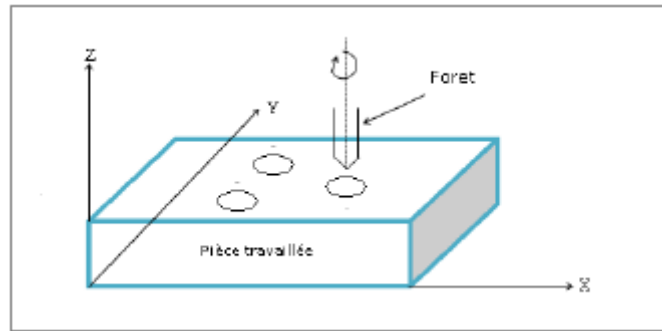


Figure II.11 : Commande Numérique Point A Point. [21]

• **Commande numérique par axiale** : ce sont des déplacements parallèles aux axes avec les vitesses d'avance programmée. Le mouvement de coupe et de positionnement sont synchronisés de façon à avoir un usinage selon des trajectoires parallèles aux axes de déplacement.

- Exemples d'opération d'usinage : tournage, fraisage, alésage.

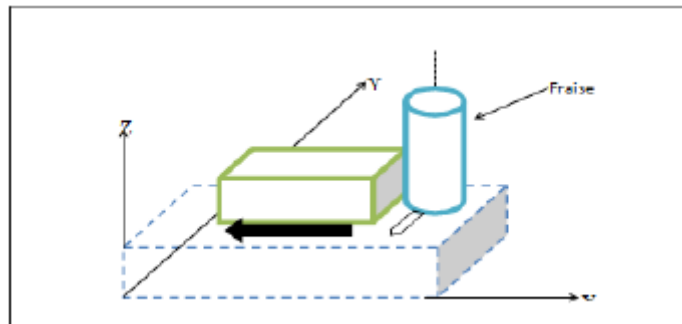


Figure II.12 : Commande Paraxiale. [21]

• **Commande numérique de contournage** :

Ce sont des déplacements synchronisés des divers axes avec la vitesse d'avance programmée. Les trajectoires sont décomposées en éléments de droites ou de cercles dans un ou plusieurs plans.

- Exemples d'opération d'usinage : toute opération possible sur un centre de tournage ou centre d'usinage.

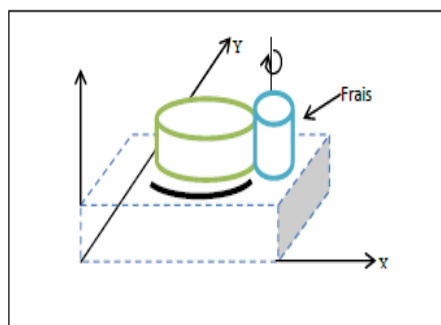


Figure II.13 : Commande numérique de contournage. [21]






Chapitre II Généralités sur les machines à commande numérique

II.6. Les origines des systèmes de coordonnées [22]

Le processeur CN calcule tous les déplacements par rapport au point d'origine mesure de la machine.

A la mise sous tension le système ne connaît pas l'origine mesure, les courses mécaniques accessibles sur chacun des axes de la machine sont limitées par des butées fin de course mini et maxi.

Tableau II.2 : Points utilisées dans des MOCN. [22]

Points utilisées	Symbole	Définition
Origine machine M (OM)		C'est la référence des déplacements de la machine. C'est un point défini (sur chaque axe) par le constructeur qui permet de définir l'origine absolue de la machine. OM et om peuvent être confondues.
Origine mesure R (Om)		C'est l'origine physique des axes de la machine représentée par une butée détectée par un capteur électrique lors de l'initialisation ou prise d'origine machine (POM).
Origine Programme OP		Indépendante du système de mesure, l'OP est l'origine de trièdre de référence qui sert à établir le programme. C'est généralement un point de départ de cotation de dessin de la pièce.
Origine Pièce W (Op)		Indépendante du système de mesure, l'Op est défini par un point de la pièce sur laquelle il est possible de se positionner. OP et Op peuvent être confondues.
Point de référence du logement d'outil N (T)		Ce point N ou T est un point défini de manière fixe. Il sert de point de référence pour mesurer les outils. Ce point se trouve sur le plateau du changeur d'outil.

La figure suivante représente la répartition des origines en tournage et en fraisage (**Fig II.14**)

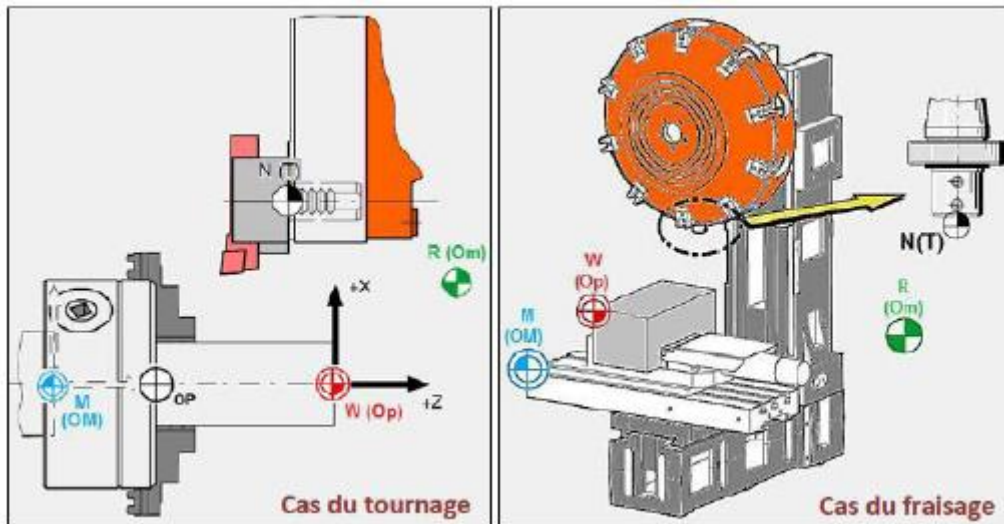


Figure II.14 : Cas du tournage et du fraissage [14]

II.7 Langage et Programmation des MOCN

II.7.1 Langages de CN

En ce qui concerne les langages de programmations CN on trouve essentiellement le code G et le langage APT.

a. Code G

A l'origine, le code G a été développé par l'EIA (Electronics Industry Association) [2] et a été normalisé sous la référence RS274D ou ISO 6983 en février 1980. Cette programmation s'appuie sur des fonctions préparatoires de type G. Elle est complétée par des fonctions auxiliaires (de type M) et technologiques (F, S, etc...). Dans la programmation manuelle le programmeur écrit le programme caractère par caractère, mot par mot et bloc (ligne) par bloc.

b. Langage APT

APT est le premier langage d'aide à la programmation CN. Il est développé au MIT en 1955 [3]. C'est l'un des langages les plus utilisés dans l'industrie. Plusieurs autres langages dérivés d'APT ont été développés comme NELAPT, EXAPT, UNIAPT, ADAPT et IFAPT. Des langages non dérivés d'APT ont été aussi développés. Ils sont pourvus de fonctionnalités similaires à celle d'APT.

* Éléments de langage APT

Un programme d'une pièce en APT est constitué d'instructions permettant de définir la géométrie à usiner, l'outil à utiliser et les conditions technologiques (vitesse de coupe et d'avance) ainsi les déplacements ou mouvements de l'outil dans chaque opération à exécuter. Chaque instruction est composée d'éléments respectant un certain nombre de règles de syntaxe [3].

Chapitre II Généralités sur les machines à commande numérique

Ces éléments sont :

- la ponctuation,
- les mots réservés du vocabulaire APT (mots clefs : POINT, IF, GO, ...),
- les nombres,
- les symboles (RAYON = 25.325 +X1 = 123 Y1=....).

II.7.2. Commandes de la programmation CN (SIN, FAN, NUM, FAG, HEI)

Il existe plusieurs commandes de la programmation CN. Les commandes les plus utilisés sont SINUMERIK, FANUC, NUM, FAGOR et HEIDENHAIN.

II.7.3. Les principales fonctions

Le tableau II.3 montre les fonctions préparatoires G. [24]

Tableau II.3 : Les fonctions préparatoires, instructions G

Commande	Description
G00	Avance rapide en coordonnées cartésiennes (la vitesse rapide est programmée par le constructeur).
G01	Interpolation linéaire en coordonnées cartésiennes.
G02	Interpolation circulaire dans le sens horaire en coordonnées cartésiennes.
G03	Interpolation circulaire dans le sens antihoraire (trigonométrique) en coordonnées cartésiennes.
G04	Temporisation.
G09	Arrêt précis.
G10	Avance rapide en coordonnées polaires.
G11	Interpolation linéaire en coordonnées polaires
G12	Interpolation circulaire dans le sens horaire en coordonnées polaires.
G13	Interpolation circulaire dans le sens antihoraire en coordonnées polaires.
G16	Sélection du plan.
G17	Sélection du plan.
G18	Sélection du plan.
G33	Filetage.
G40	Suppression
G41	Compensation du rayon d'outil à gauche
G42	Compensation du rayon d'outil à droite.
G48	Retrait du contour de la manière dont s'est opérée l'approche.
G50	Suppression modification de l'échelle.
G51	Sélection modification de l'échelle.
G53	Suppression du décalage d'origine.
G54 à G57	Décalage d'origine.
G58 et G59	Décalage d'origines additives, programmables.
G60	Mode d'arrêt précis.
G62 et G63	Suppression du mode d'arrêt précis.
G71	Indication de cotes en millimètre.

Chapitre II Généralités sur les machines à commande numérique

G90	Programmation en cotes absolues.
G91	Programmation en cotes relatives.
G92	Limitation de vitesse pour G96.
G94	Avance par minute, vitesse d'avance A en mm/mn.
G95	Avance par tour (f) en mm/tr.
G96	Vitesse de coupe (m/mn).
G97	Vitesse constante

Le tableau II.4 montre les fonctions auxiliaires logiques M. [24]

Tableau II.4 : Les fonctions auxiliaires logiques M.

Commande	Description
M00	Arrêt programmé
M01	Arrêt optionnel.
M02	Fin de programme pièce.
M03	Rotation de broche sens anti-trigonométrique
M04	Rotation de broche sens trigonométrique
M05*	Arrêt de broche.
M06	Changement d'outil.
M07	Arrosage n°2.
M08	Arrosage n° 1.
M09*	Arrêt des arrosages.
M10	Blocage d'axe.
M11	Déblocage d'axe.
M19	Indexation broche.
M40 à M45	6 gammes de broche.
M48*	Validation des potentiomètres de broche et d'avance.
M49	Inhibition des potentiomètres de broche et d'avance
M64*	Commande broche 1.
M65	Commande broche 2.
M66*	Utilisation mesure broche 1.
M67	Utilisation mesure broche 2.
M998*	Mode MODIF, IMD et appel de sous-programme par l'automate autorisé.
M999	Masquage par programmation des modes MODIF, IMD et appel de sous-programme par l'automate

II.7.4. Programmation des MOCN

La programmation est le travail de préparation qui consiste à transposer, sous forme de texte alphanumérique, la gamme d'usinage de la pièce en un ensemble ordonné d'instructions comprises et exécutées par la CN en vue de réaliser son usinage. Ce travail peut être effectué manuellement ou avec l'assistance d'un ordinateur utilisant un langage de programmation évolué ou avec un système CFAO.

Chapitre II Généralités sur les machines à commande numérique

II.7.4.1. Nature des instructions programmées

Les instructions programmées doivent contenir toutes les données nécessaires à la commande et au séquençage des opérations à réaliser pour assurer l'usinage de la pièce sur la machine. Elles regroupent :

- **Les données géométriques**, elles indiquent la forme et les dimensions de la pièce à usiner et permettent à la CN de calculer les positions successives de l'outil par rapport à la pièce pendant les diverses phases de l'usinage. Les positions sont définies par rapport à une origine connue. Certaines instructions viennent compléter les données géométriques en indiquant la nature du traitement numérique qu'elles doivent subir: le mode d'interpolation, le choix du mode de cotation, absolue ou relative, le choix du cycle d'usinage le choix de l'outil, etc.
- **Les Données technologiques**, elles précisent compte tenu des caractéristiques et des performances de la machine (puissance des moteurs d'entraînement, performances de la broche et des organes mobiles), les conditions de coupe optimales dans lesquelles pourra s'effectuer l'usinage. Elles concernent principalement la vitesse de rotation de la broche, les vitesses d'avance et la commande de l'arrosage [1].

II.7.4.2. Modes d'introduction de l'information à la machine

Les informations codées de programme doivent être transcrites sous forme de données binaires sur un support physique qui servira à leur introduction dans la CN. Au départ les programmeurs utilisaient les bandes perforées pour introduire leurs programmes à la machine mais la mauvaise tenue à l'usure et au déchirement ont longtemps été à l'origine de défaillance de ces outils, puis ils ont utilisé les disquettes, le CD et la clé USB de plus en plus répandue qui possèdent une grande capacité de stockage [1]. En plus des supports physiques l'information peut aussi être introduite manuellement à travers le pupitre de la MOCN caractère par caractère ou par l'intermédiaire d'un micro-ordinateur de type PC par la liaison RS232.

II.7.4.3. Principaux modes de la programmation

Il existe plusieurs modes de programmation mais les modes les plus utilisés sont la programmation manuelle et la programmation automatique [1].

La programmation manuelle consiste à écrire, ligne par ligne, les étapes successives nécessaires à l'élaboration d'une pièce donnée. Ce mode de programmation requiert une profonde connaissance du langage de programmation, des mathématiques (en particulier la géométrie et la trigonométrie) et des techniques d'usinage (limitations machine, outils, matières, etc.).

La programmation automatique fait appel à un langage de programmation spécialisé généré à partir d'un système informatique extérieur à la machine. Ce langage comporte généralement deux phases de traitement des programmes. La première phase, appelée programme processeur, permet de générer un fichier appelé CL File (Cutter Location File), indépendant

Chapitre II Généralités sur les machines à commande numérique

de la machine et de la CN. Une seconde phase, dite programme post-processeur, qui permet de traduire le CL File en langage machine.

II.7.4.5. Organisation et structure d'un programme CNC

Un programme est constitué de lignes appelées blocs. Un bloc correspond aux instructions relatives à une séquence d'usinage. Chaque bloc est composé d'une suite de mots. Un mot est un ensemble de caractères alphanumériques. **Fig. II.15.**

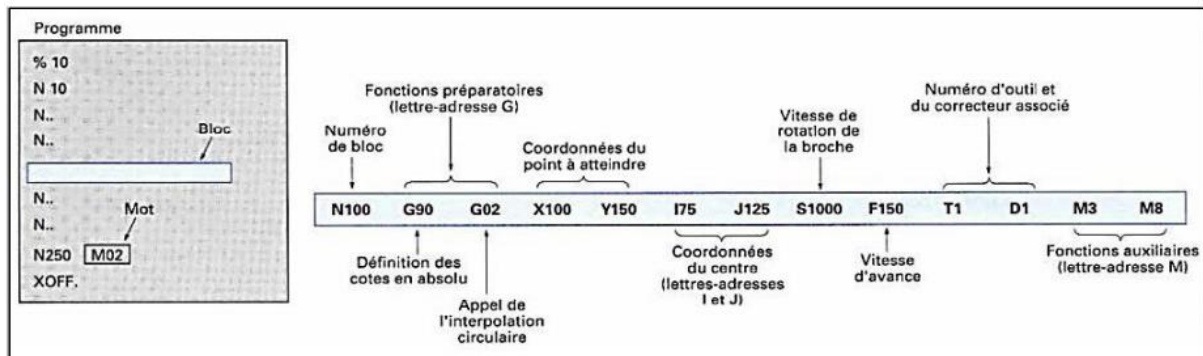


Figure II.15: Syntaxe 11

Pour donner un ordre de déplacement, il faut spécifier un mode d'interpolation, un but et une vitesse de déplacement. Les types d'interpolation utilisés sont :

- Interpolation linéaire, trajectoire décrite par un segment,
- Interpolation circulaire, trajectoire décrite par un arc de cercle, souvent dégradée en interpolation linéaire au niveau de l'asservissement.
- Interpolation hélicoïdale, trajectoire décrite par une hélice.

II.8. Cheminement de l'information concept- MOCN

Afin de permettre une compréhension des problèmes d'intégration des différents modules d'un système complet de fabrication, il convient tout d'abord de présenter le cheminement de l'information entre l'étape initiale du concept de la pièce à fabriquer jusqu'à l'obtention de la pièce physique. L'origine des problèmes d'intégration peut ainsi être mise à jour, ce qui permet d'adopter une meilleure approche à leur résolution.

Un système intégré de fabrication est un système qui comporte tous les modules nécessaires pour passer du concept d'une pièce à l'obtention de son modèle physique usiné. Ce système comporte différents modules logiciels et physiques, représentés par des rectangles à la figure II.18, tel le module de conception assistée par ordinateur (CAO) ou encore la machine-outil à commande numérique (MOC~). Une flèche reliant deux modules à la figure 1 indique un transfert d'information entre les modules. Une flèche pleine indique la direction

Chapitre II Généralités sur les machines à commande numérique

conventionnelle de transfert d'information alors qu'une flèche vide représente une direction possible que peut emprunter l'information selon les capacités des modules liés par les flèches.

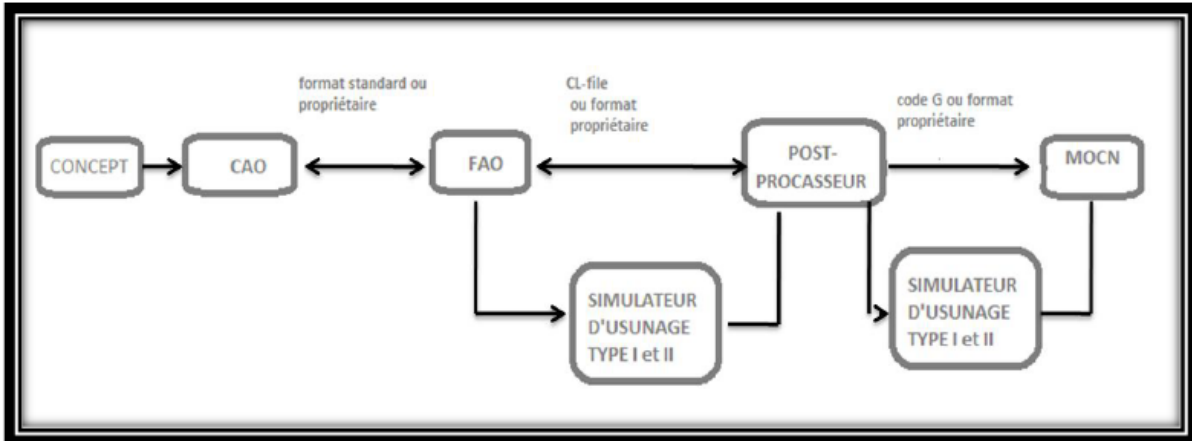


Figure II.16 : Cheminement de l'information Concept- MOCN

On remarque qu'un format propriétaire ou standardisé est utilisé entre chacun des modules utilisés pour traiter l'information. Dans le cas du format propriétaire, une diminution de la flexibilité du système en entier en résulte.

L'information décrivant la pièce passe au format électronique dans le logiciel de CAO. Pour ensuite être transférée au module de fabrication assistée par ordinateur (FAO). L'information qui en résulte est ensuite traduite par le module de post-procasseur

II.8.1. Module de la CAO

La conception assistée par ordinateur (CAO) comprend l'ensemble des logiciels (SolidWorks, SolidEdge, Codekey,...) et techniques de modélisation géométrique qui permettent de concevoir et de tester à l'aide d'un ordinateur et des techniques de simulation numérique un produit et de faire des modifications éventuelles [8].

II.8.2. Module de la FAO

La fabrication assistée par ordinateur est la station de travail qui aide à la fabrication d'un produit, son but est d'écrire le fichier contenant le programme de pilotage d'une machine-outil à commande numérique. Ce fichier va décrire précisément les mouvements que doit exécuter la machine-outil pour réaliser la pièce demandée.

II.8.2.1 Système FAO

Généralement un système FAO se compose de trois modules le préprocesseur, le processeur et le post processeur [25].

Le préprocesseur joue le rôle d'un système CAO pour la création de la géométrie au sein du système FAO. Seulement, du point de vue fonctionnalité, le préprocesseur est loin d'avoir les mêmes performances qu'un Système CAO, puisqu'il est destiné à ne réaliser que la géométrie

Chapitre II Généralités sur les machines à commande numérique

qui va être traitée par la suite par le processeur. Donc, dans le cas où la géométrie est complexe l'utilisateur doit passer par un système CAO. Le transfert de données se fait au moyen des standards existants tels qu'IGES, SET, STEP, ...etc.

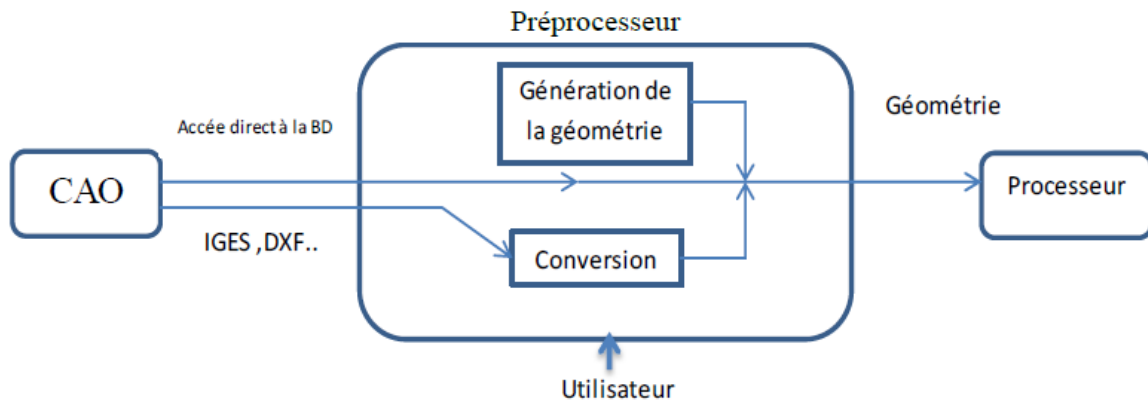


Figure II.17 : Rôle du Préprocesseur dans un système FAO [26]

Le traitement au sein du processeur ne se fait pas d'une manière automatique et même si cela existe dans certains systèmes FAO, il n'est pas tout à fait développé ou si développé pour une application très particulière. Généralement, le fonctionnement d'un processeur FAO se fait d'une manière interactive avec l'utilisateur. La majorité des fournisseurs de systèmes FAO offre des modules ayant comme objectif de générer un CLfile ou un programme APT qui contient les données technologiques (vitesse, l'avance, le numéro d'outil..) et les trajectoires suivies par l'outil.

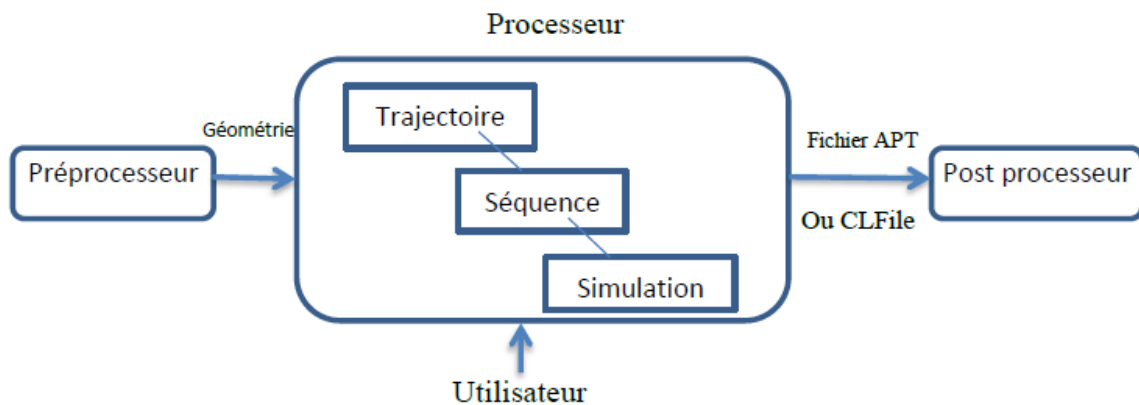


Figure II.18 : Rôle du processeur dans un système FAO [26]

Le rôle du post processeur consiste à traduire, en fonction du type du contrôleur de la machine-outil à commande numérique, le CLfile ou le programme APT pour générer le programme CN. Ce programme est ensuite téléchargé dans la mémoire de la DCN ou de la CNC de la machine-outil. Dans un atelier équipé de plusieurs machines-outils à commande numérique, il n'est pas rare d'avoir des contrôleurs de MOCN différents. Pour cela un système FAO doit disposer d'autant de post processeurs que de contrôleurs différents. La figure II.21 présente le rôle de post processeur dans les systèmes FAO.

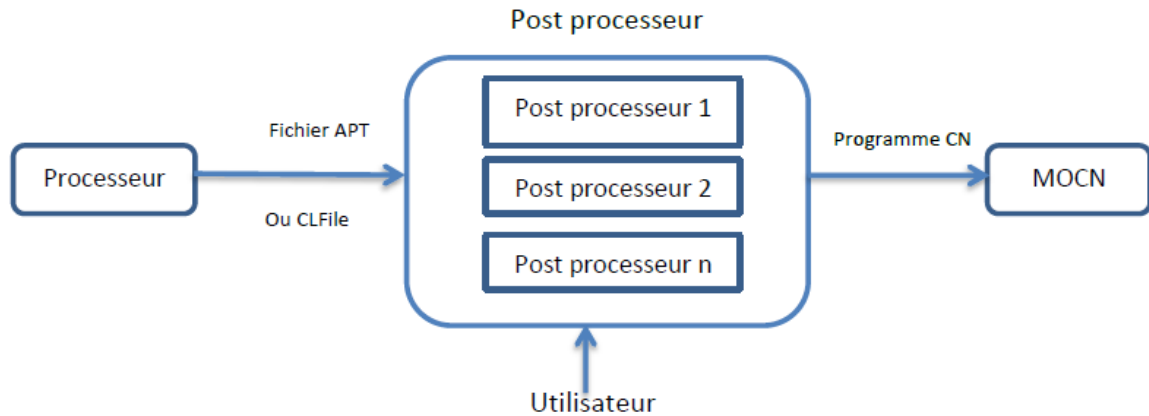


Figure II.19 : Rôle du post processeur dans un système FAO [26]

II.8.2.2 Etapes pour l'utilisation d'un système FAO

Pour utiliser un système FAO on passe par cinq étapes essentielles, qui sont les suivantes :

➤ Définition de la géométrie

La conception de la pièce à fabriquer est réalisée à l'aide d'un progiciel de Conception assistée par ordinateur CAO. Ce modèle sera alors exporté en utilisant un standard d'échange comme IGES, STEP, VDA, DXF ou autre. Certains outils de FAO sont capables de relire directement les fichiers des grands fournisseurs de CAO. Dans d'autres cas, la CAO et la FAO sont complètement intégrées et ne nécessitent pas de transfert et dans d'autre application de FAO.

➤ Elaboration des parcours d'outil

La modélisation 3D étant importée sur le progiciel de FAO puis relue par celui-ci, il est possible de passer à la programmation des parcours outils, le cœur de l'activité de la FAO. On crée les parcours en respectant les choix d'outil, les vitesses de coupe et d'avance, et les stratégies d'usinage à mettre en œuvre. Les progiciels de FAO sont capables de reproduire graphiquement (visualisation volumique) et d'une manière fiable, l'action des outils dans la matière, permettant ainsi de vérifier ses méthodes d'usinage et éviter a priori les collisions sur les machines outil. Il est possible désormais de modéliser entièrement la machine-outil et de visualiser les mouvements des éléments mobiles de celle-ci (tête, table, axes rotatifs) lors de la simulation d'usinage.

➤ Génération de programme CN

Cette étape consiste à générer le programme CN selon la commande de la machine (post processeur) depuis le programme de logiciel FAO utilisé en langage APT.

Chapitre II Généralités sur les machines à commande numérique

➤ Simulation d'usinage

Cette étape permet de vérifier la validation de programme généré et les paramètres fournis, par la visualisation (virtuelle) de la pénétration de l'outil dans la matière, elle permet aussi de détecter les collisions (broche/pièce ou broche/mandrin, etc.).

➤ Transfert vers la MOCN

Dans cette étape on fait le transfert du programme CN généré vers la MOCN.

La figure (II.22) présente les différentes étapes suivies pour utiliser un système FAO ou CFAO

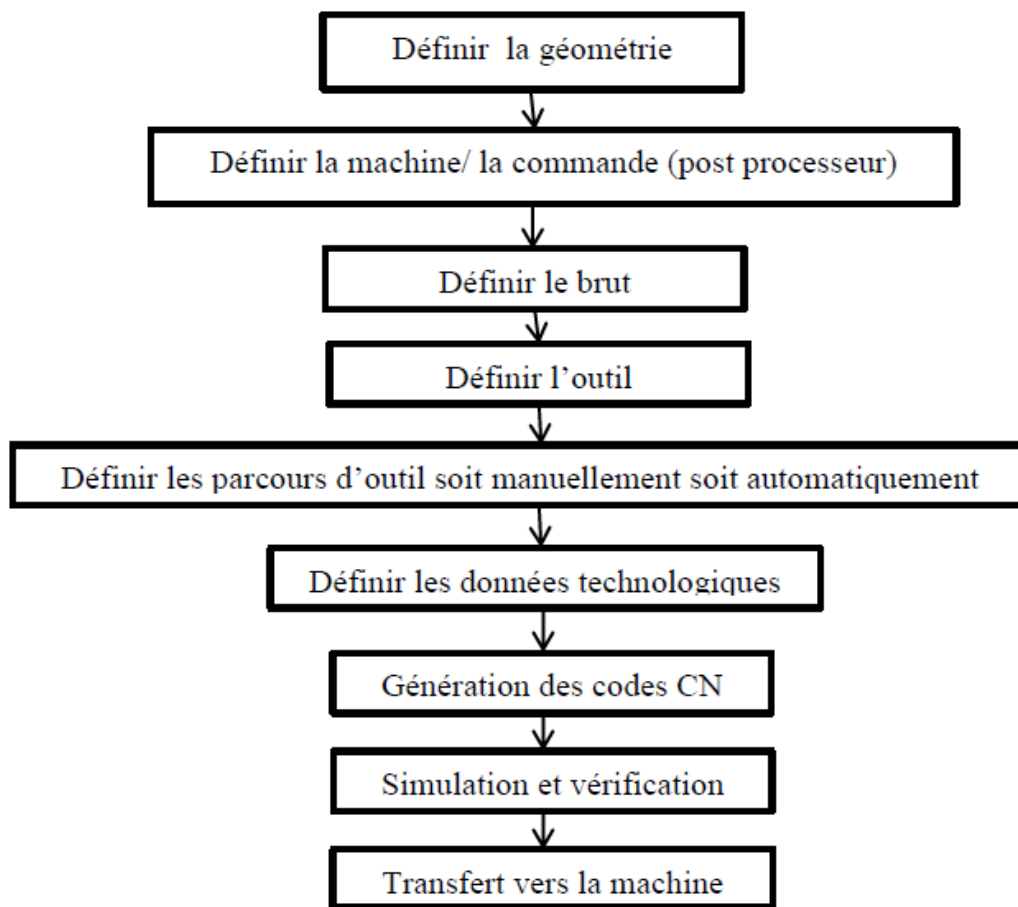


Figure II.22 : Etapes pour utiliser un système FAO ou CFAO [8].

II.8.3 Intégration entre la CAO et la FAO

Du fait des avantages procurés par la réutilisation, dans les secteurs de production, des définitions établies au niveau du bureau d'études, on assiste à une intégration croissante des techniques de conception assistée par ordinateur et des techniques de fabrication assistée par ordinateur. L'ensemble étant regroupé sous le sigle CFAO [27], la liaison entre ces deux systèmes réside dans l'utilisation du model géométrique commun. Parfois on trouve le

Chapitre II Généralités sur les machines à commande numérique

problème de l'incompatibilité de format de fichier qui comporte la géométrie dans la transmission de ce dernier de système CAO au système FAO dans le cas d'utilisation de deux système CAO et FAO séparés, pour cela il est préférable d'utiliser un système CFAO parce qu'il nous permet de faire la conception et la génération de programme CN dans le même environnement.

II.10. Conclusion

L'utilisation des MOCN présente un grand intérêt pour la fabrication en petite et moyenne série ainsi que pour les formes complexes des pièces à usiner.

Dans ce chapitre nous avons présenté une recherche bibliographique sur Les machines-outils à commande numérique (MOCN), les commandes les plus utilisées et les classifications des MOCN, le cheminement de l'information CONEPT-MOCN.

Chapitre III :

Conception de l'outil PDC

III.1-Introduction

Dans ce chapitre nous donnons un rappel sur le logiciel utilisé SolidWorks 2017 d'une manière générale avant de passer à la présentation de la structure de l'outil de forage PDC (polycrystallin diamant compact) pour finir avec la modélisation 3D de la pièce.

III.2-Choix de l'outil informatique de CAO

Pour la modélisation géométrique (conception assistée par ordinateur) d'une forme complexe, nous avons utilisé le logiciel de CAO SolidWorks 2017 étant donné la disponibilité de ce dernier et les connaissances acquises durant notre formation.

Plus de 6 millions d'ingénieurs dans le monde font confiance chaque jour au logiciel SolidWorks pour transformer avec succès leurs idées innovantes en projets. En choisissant de travailler avec SolidWorks, nous améliorons de manière substantielle notre processus de développement et de fabrication de produits et réduisons les délais de développement ainsi que les coûts.

III.2.1- Présentation de SolidWorks

Le logiciel de conception mécanique SolidWorks est un outil de conception et de modélisation volumique paramétré, basé sur des fonctions, qui tire parti des fonctionnalités de Windows, connu pour sa convivialité. On peut créer des modèles volumiques 3D entièrement intégrés avec ou sans contraintes tout en utilisant des relations automatiques ou définies par l'utilisateur pour saisir l'intention de conception.

La conception des pièces se conforme à partir d'une esquisse dessinée sur un plan. Cette esquisse 2D est obtenue par des formes géométriques simples comme lignes et cercles. Une fois l'esquisse prête, le logiciel offre plusieurs fonctions à exécuter. On peut la prolonger vers une direction (extrusion), la faire tourner autour d'un axe ou réaliser plusieurs autres opérations.

Un modèle SolidWorks est entièrement intégré par rapport aux mises en plan et aux assemblages qui le référencent. Les changements introduits dans le modèle sont entièrement reflétés dans les mises en plan et les assemblages qui lui sont associés. Inversement si on effectue des changements dans le contexte d'une mise en plan ou d'un assemblage, ces changements sont reflétés dans le modèle.

III.3-Les différentes étapes de conception d'un outil de forage

Elle s'effectue au niveau du bureau d'études. La première étape consiste à utiliser un logiciel 3D (SolidWorks) qui permet de situer le contexte dans lequel l'outil va travailler ; à savoir les roches.

La seconde étape consiste à définir l'outil dans tous ses constituants et dimensions, notamment le diamètre de l'outil, le profil, les lames (nombres et positions angulaires), les PDC (leur diamètre et leurs positionnements).

La troisième étape est la simulation sur SolidWorks, cette étape constitue le traitement de la forme de l'outil, la simulation des contraintes mécaniques, thermiques et hydrauliques.

III.4-Présentation de notre outil de forage PDC avec corps en acier

C'est un outil de forage monobloc PDC 6 lames 10 pouces avec corps en acier, usiné puis recouvert de carbure de tungstène pour limiter l'érosion. Le corps en acier est réalisé à partir d'une seule pièce (le filetage est taillé directement sur le corps). En effet, l'avantage fondamental des outils PDC réside dans l'absence des parties mobile, d'où leur nom d'outils monobloc.

L'usinage contrôlé par ordinateur, permet d'obtenir une plus grande précision et des formes plus répétitives que par moulage.

III.4.1-Structure de l'outil

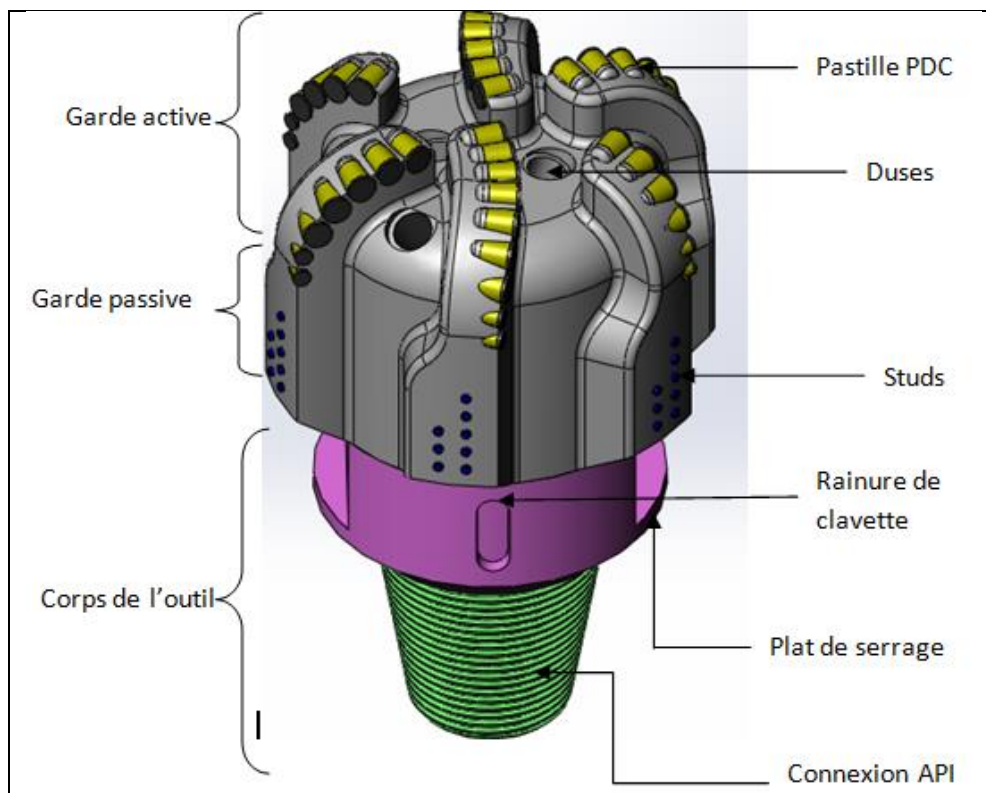


Figure.III.1. Structure de l'outil PDC

L'Outil PDC est principalement constitué de deux parties distinctes :

a- La tête de l'outil :

- **La structure de coupe :**

Comprend toutes les pastilles PDC implantées à un rayon inférieur ou égal à celui de l'outil sur des lames droites ou spiralées. Le profil générique de l'outil joue un rôle primordial dans la stabilité et l'aptitude de l'outil à dévier.

L'implantation des pastilles doit assurer un recouvrement total du front de coupe au cours d'une révolution complète de l'outil, une répartition homogène de l'usure et un bon équilibre latéral et axial de l'outil.

- **La garde active :**

Elle est composée de pastilles PDC brasées sur les lames et de taillants (trimmers) tronqués au diamètre de l'outil de plus faible agressivité que les PDC, qui assurent un forage de diamètre égal au diamètre du corps de l'outil (garde passive)

- **La garde passive :**

Correspond à la partie stabilisatrice de l'outil et généralement composée de patins lisses (spiralés ou droits) ou couverts d'inserts diamantés. Elle joue un rôle primordial dans l'agressivité latérale de l'outil. Une attention particulière est, de nos jours, accordée à la conception et au dimensionnement des gardes passives pour leurs rôles d'amortissement des vibrations, d'amélioration d'état de surface des parois du puits et surtout de maîtrise du comportement directionnel d'une garniture de forage.

• **Duses d'évacuation (nozzle) :**

Les duses en carbure de tungstène, réparties de part et d'autre entre les lames de l'outil. Elles doivent présenter de bonnes qualités d'irrigation, de nettoyage, de refroidissement des lames et des taillants, ainsi qu'une bonne évacuation des déblais.

• **Les pastilles PDC :**

Les pastilles diamants polycristallins compact sont l'élément central de cet outil et sont constituées de deux parties : un support en carbure de tungstène et une surface de coupe en (PDC). Les deux sont fabriquées par un système de haute pression / haute température, le cutter PDC présente l'avantage du diamant et du carbure de tungstène à savoir la dureté et la résistance à l'usure (diamant) d'un côté, et la résistance aux chocs (carbure) de l'autre. L'orientation d'une pastille est définie par son angle de coupe qui conditionne l'agressivité du taillant et sa résistance aux chocs, et son angle latéral qui sert à éjecter les copeaux vers la périphérie de l'outil.

Les cutters PDC sont réalisés suivant un procédé de frittage. Cette opération consiste à assembler plusieurs particules de diamant entre elles à une température de 1400 °C et sous une pression de 60 kbar.

b- Le corps de l'outil :

- **Le plat de serrage :**

Il sert de logement pour la clé afin d'assurer le bon serrage de l'outil.

- **La rainure de clavette :**

Elle a pour fonction de lier en rotation deux pièces (outil- masse tiges).

- Connexion API :

Le filetage conique API assure la fixation (outil-masse tige). Il est usiné ainsi que le diamètre intérieur du passage principal du fluide.

III.5-La technique utilisée pour la conception

Les dimensions et les cotes de la pièce ne sont pas disponibles. C'est un secret professionnel et les fabricants de ces outils ne donnent aucune information sur cet aspect.

Afin de mener l'étude et la conception de cet outil de forage, nous avons utilisé les deux images ci-dessous comme support (**Fig.III.2**), elles représentent la vue de face et la vue de dessus de la pièce en question, en utilisant la technique ESQUISSE SUR IMAGE SOLIDWORKS. Cette technique est utilisée afin de modéliser un solide 3D en utilisant un minimum des cotes prises sur le terrain.

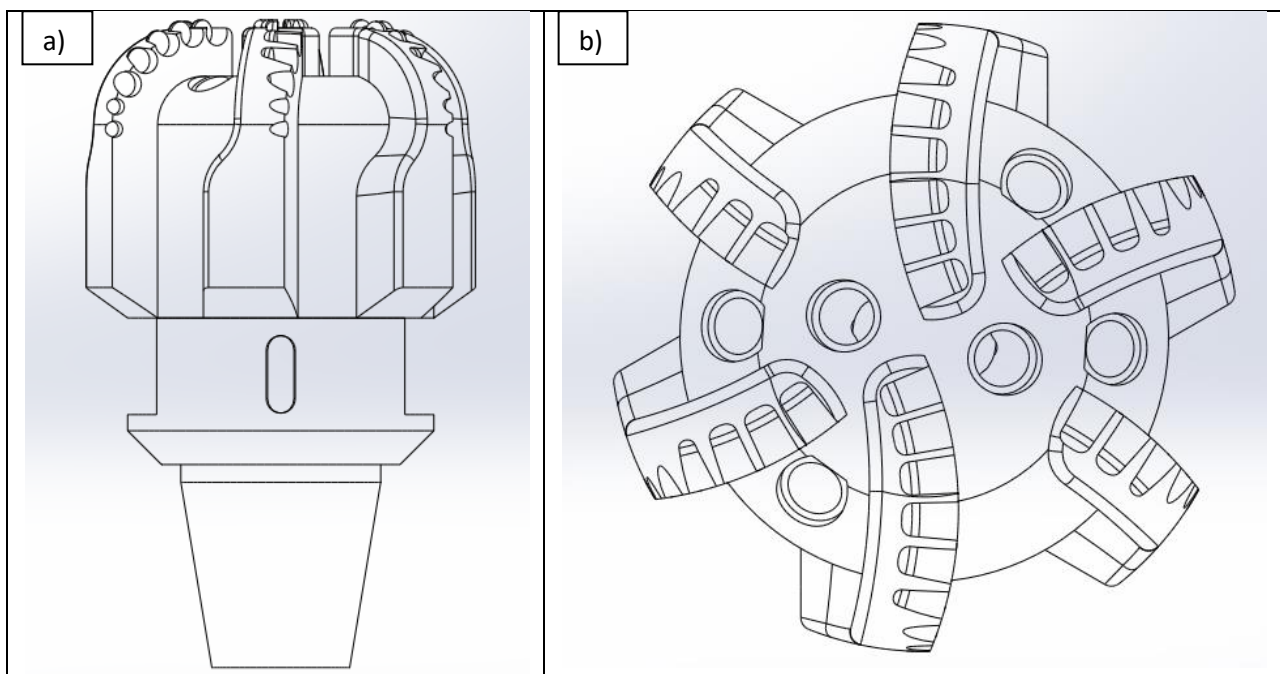


Figure.III.2- Image de référence : a)- vue de face , b)- vue de dessus.

III.5.1-Définition de la technique esquisse sur image :

Le mode **esquisse de SOLIDWORKS** intègre une fonction permettant d'importer les fichiers images. Ces images pourront ensuite servir de références pour la création de l'esquisse 2D. Il sera alors plus aisé de réaliser un travail précis, de qualité, mais de manière très rapide.

On résume les étapes de construction comme suit :

- Prendre une cote sur la pièce modèle à l'aide d'un instrument de mesure (pied à coulisse).
- Pour utiliser cette fonctionnalité **SOLIDWORKS**, commencez par créer une nouvelle esquisse.

- Lancez ensuite la fonction « **Image d'esquisse** ». Par défaut, elle se situe dans le menu Outils \ Outils d'esquisse,
- Parcourez ensuite l'explorateur Windows jusqu'à l'emplacement de fichier, pour importer les deux images sur l'interface du SOLIDWORKS
- Redimensionner et positionner directement dans la zone graphique,
- Utilisation de l'option « **proportions constantes** » pour mettre toutes les cotes à l'échelle.
- La cote prise sur la pièce est utilisée comme référence pour mettre les deux images à l'échelle.
- Réalisation des esquisses en utilisant les images comme supports.
- Choisir les fonctions SOLIDWORKS avec optimisation pour construire le solide 3D.

III.6-Conception de notre outil de forage PDC 10''

Ouvrir SolidWorks 

Lors de l'ouverture, cliquer sur nouveau document apparition de l'écran de démarrage : (3 possibilités sont proposées)

1. Pièce
2. Assemblage (de pièces)
3. Mise en plan (de pièces ou d'assemblage de pièces)

- Sélectionner Pièce puis OK
- Sélectionner le plan de face, créer une esquisse,
 - Sur la barre de menu en lance la fonction Outil/outil d'esquisse ensuite image d'esquisse pour importer les deux images (vue de face, et vue de dessus).
 - Insérer les lignes de construction.
 - Utiliser l'option « **proportions constantes** » pour mettre toutes les cotes à l'échelle.

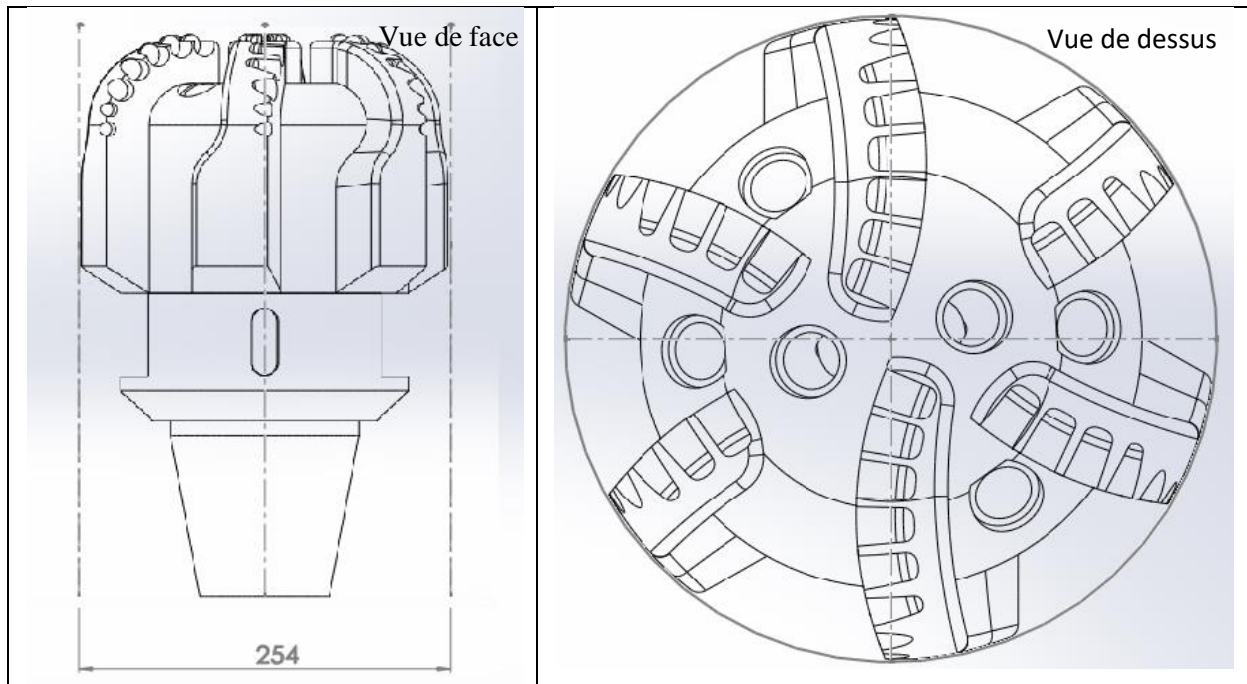


Figure.III.3. Mettre les cotes à l'échelle

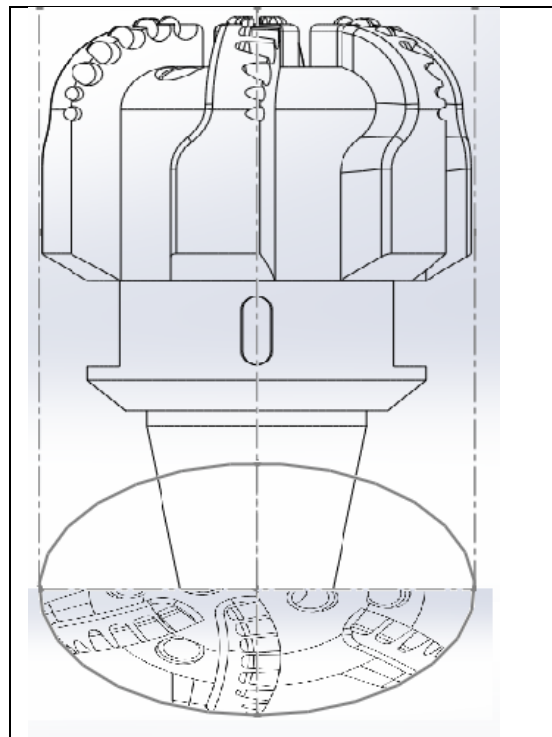


Figure.III.4. Vue des esquisses.

A- Conception du corps de l'outil (shank) :

- Sélectionner le plan de face, créer une esquisse et dessiner le corps de l'outil en utilisant l'image comme support.
- Utiliser la fonction révolution pour passer de 2D à 3D.

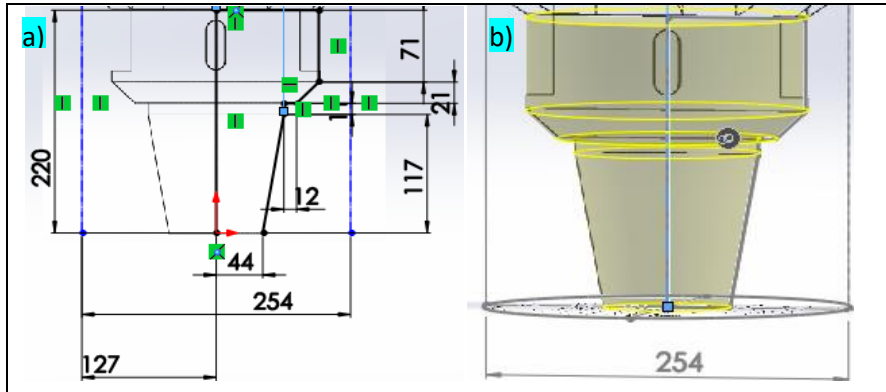


Figure.III.5- Création du corps de l'outil :
a) Esquisser le corps. b) Fonction révolution.

Pour réaliser le plat de serrage on procède par :

- Esquisser un rectangle
- Fonction Enlèvement de matière Extrusion
- Utiliser la fonction symétrie-enlèvement de matière pour avoir le deuxième plat.

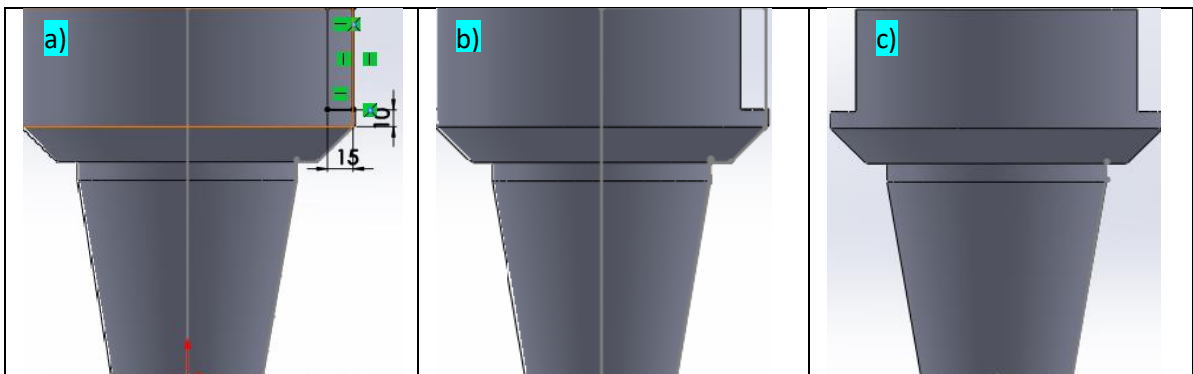


Figure.III.6. Réalisation des plats de serrage :
a)Esquisser un rectangle. b) Enlèvements de matières. c)Symétrie-enlev.matière.

B- Conception de la tête de l'outil (brute) :

- Esquisser la tête de l'outil sur le plan de face
- Utiliser la fonction révolution par rapport à l'axe de l'outil mais sans fusionner les résultats

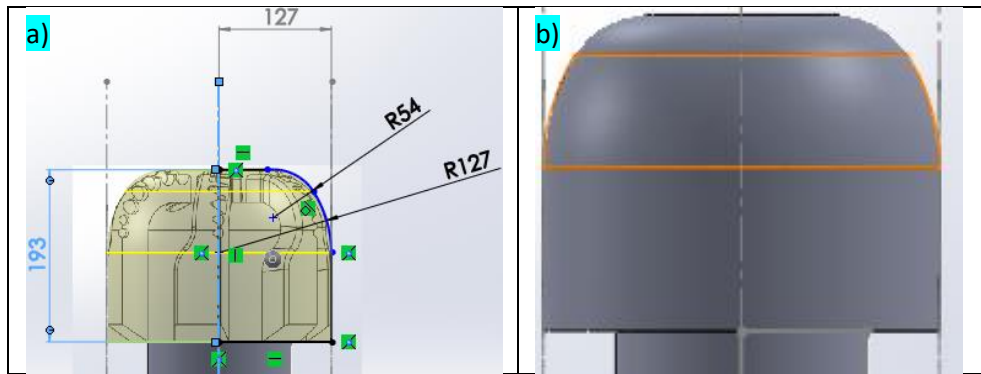


Figure.III.7-Création de la tête de l'outil (brute) :

- a) Esquisser la brute de la tête b) Fonction révolution

Après avoir réalisé la tête en brute on entame la réalisation des 6 lames, pour cela on précède par :

- Esquisse des 6 lames en utilisant l'image de dessus comme support grâce à l'outil d'esquisse sur image.
- Fonction enlèvements de matières à travers tout en choisissant le corps.

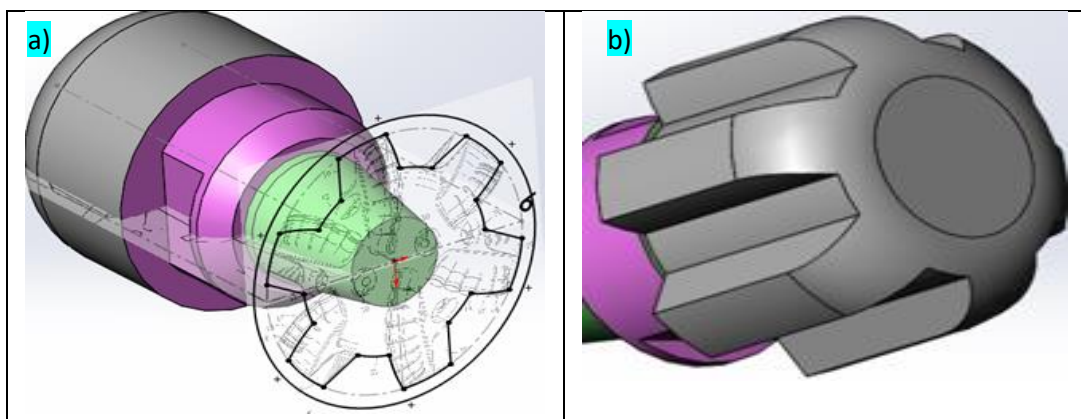


Figure.III.8-Réalisation de la garde passive :

- a) Esquisse des 6 lames. b) Fonction enlèvements de matières

Ensuite :

- Esquisser la garde active et utiliser la fonction d'enlèvement de matière.
- Esquisser à nouveau et ajouter la matière par révolution.

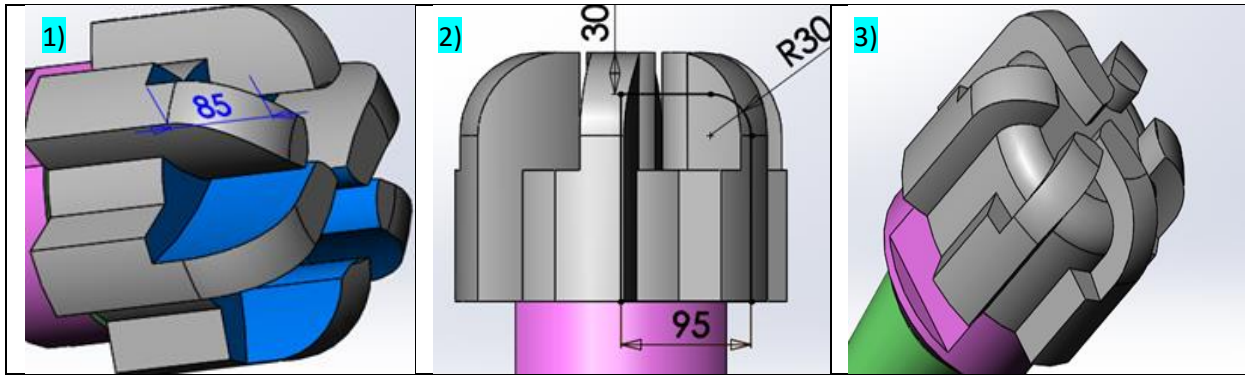


Figure.III.9. Création de la garde active de l'outil

- Réaliser les chanfreins pour les 6 lames.

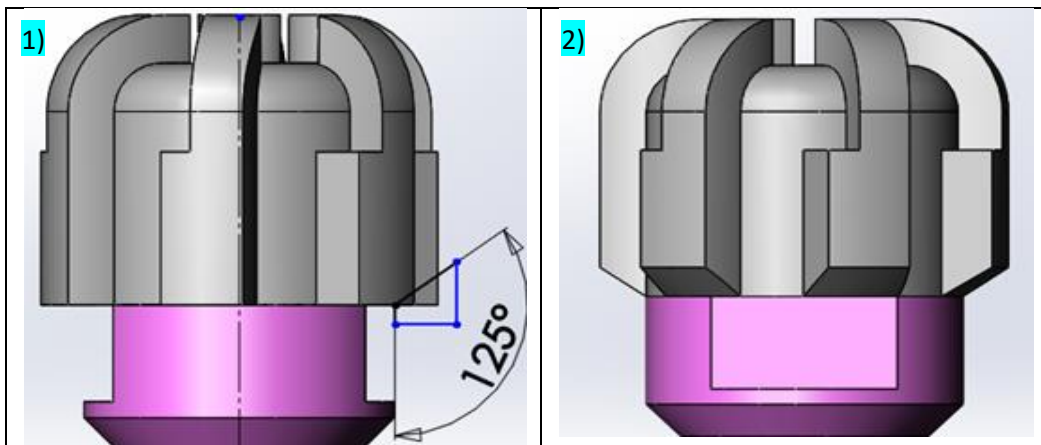


Figure.III.10- Création des chanfreins

Création des congés sur toutes les arêtes sélectionnées

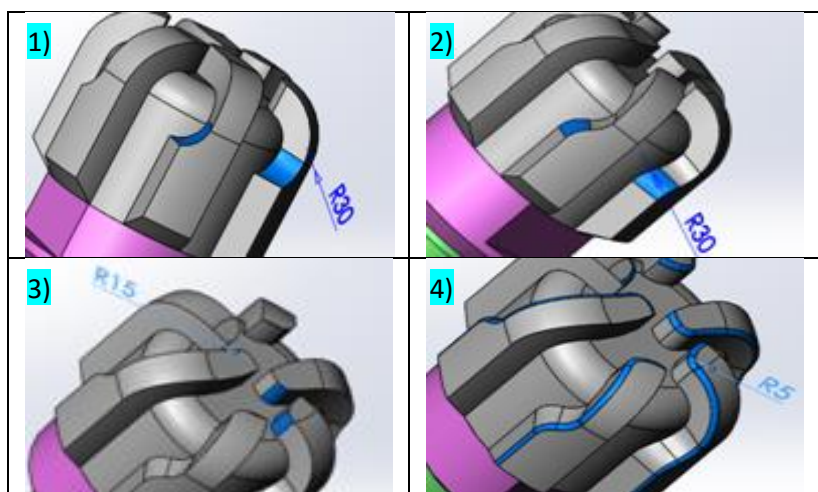


Figure.III.11.Création des congés

C- Réalisation de la rainure de blocage de l'outil :

- Esquisser et créer la rainure on utilisant la fonction enroulement.
- Créer la deuxième rainure avec la fonction symétrie.

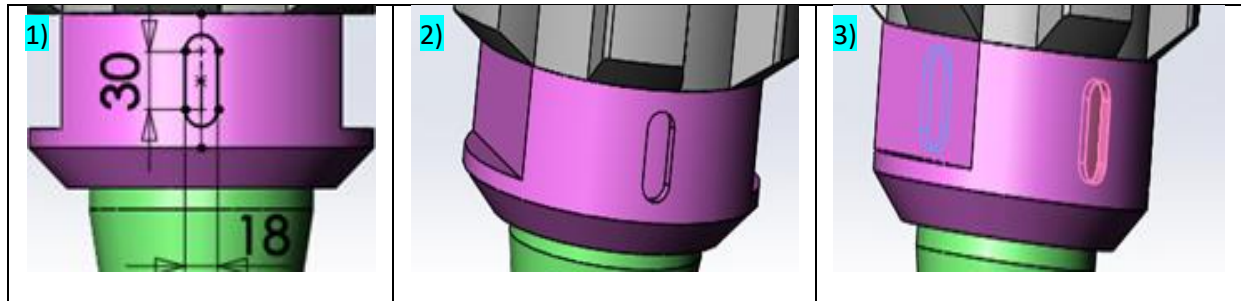


Figure.III.12. Création des deux rainures de blocage.

D- Création de l'emplacement des duses et des canaux de refroidissement :

Créer un corps surfacique temporaire qui nous aidera pour le repérage des trous d'évacuation (duses) :

- Esquisser et utiliser la fonction surface révolution.

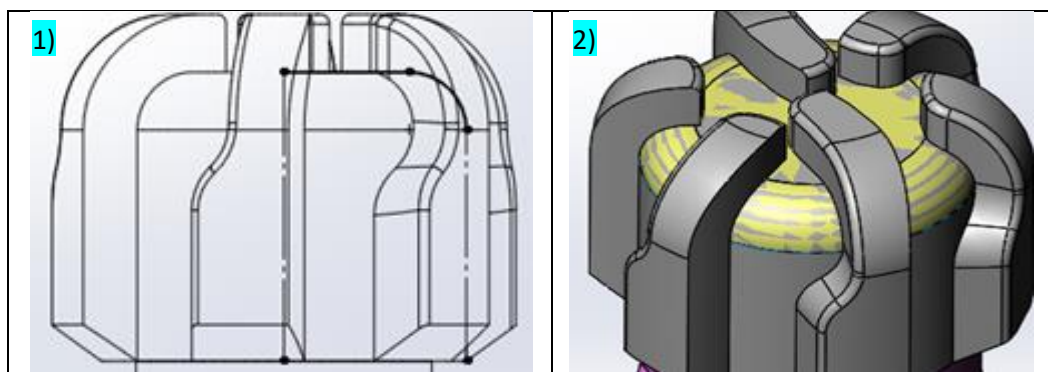


Figure.III.13. Création du corps surfacique

Reparer l'axe des duses :

- Esquisser et définir les axes des trous avec des points.
- Utiliser la fonction ligne de séparation.

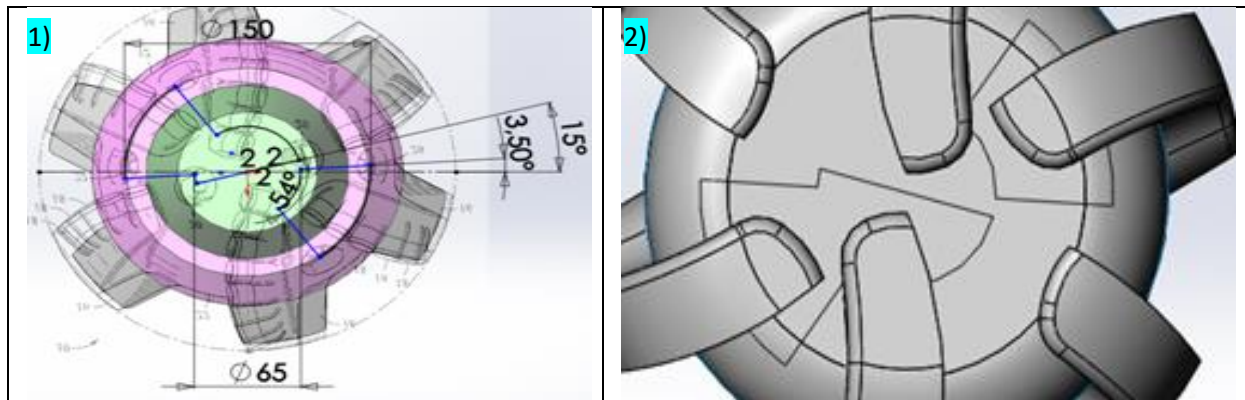


Figure.III.14. Repérage d'emplacement des duses par esquisse.

Ensuite :

- Supprimer le corps surfacique.
- Relier l'ensemble des points vers un point bien défini dans l'axe de l'outil.
- Création d'un plan sur chaque point.
- Esquisser un cercle et utiliser la fonction extrusion pour réaliser un cylindre sur le plan numéro 1 qui servira de logement pour la Duse.
- Esquisser et créer un second cylindre de diamètre inférieur sur la surface dessous du cylindre.
- Répéter le même travail sur chaque plan.

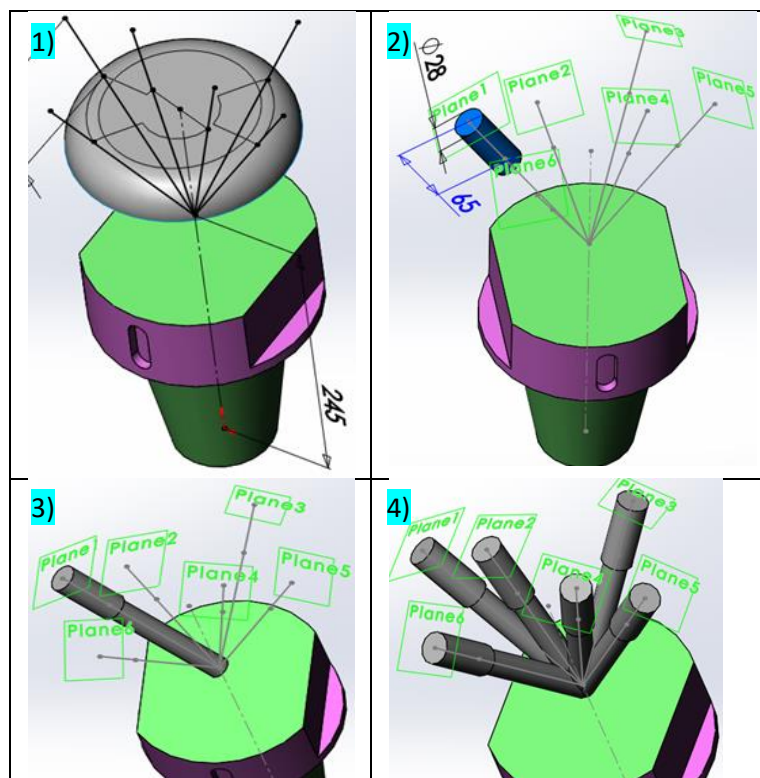


Figure.III.15. Création des cylindres

Création du canal principal d'évacuation et la chambre d'intersection des cylindres et utiliser la fonction révolution.

- Esquisser et utiliser la fonction combiner et soustraire le nouveau corps.

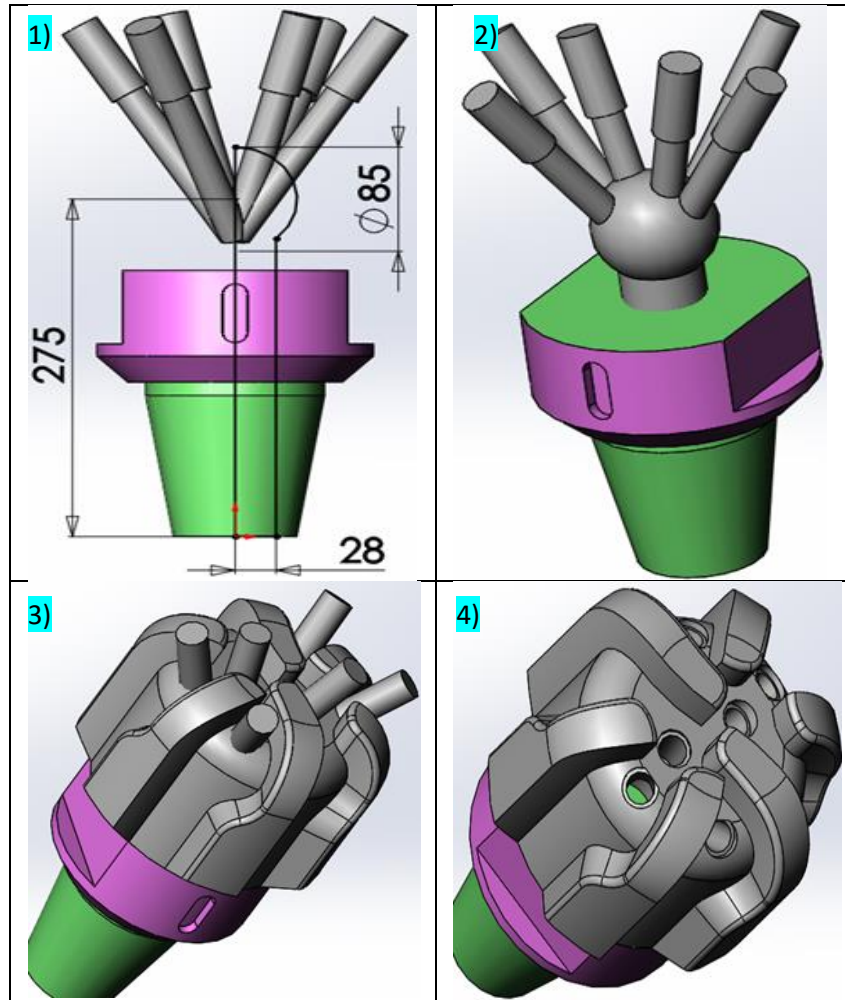


Figure.III.16. Réalisation des canaux d'évacuation et des logements des duses

E- Réalisation des logements de pastilles :

- Créer un nouveau plan sur le plan de dessus.
- Esquisser et utiliser les deux fonctions surface extrudée et épaisir (sans fusionner les résultats).

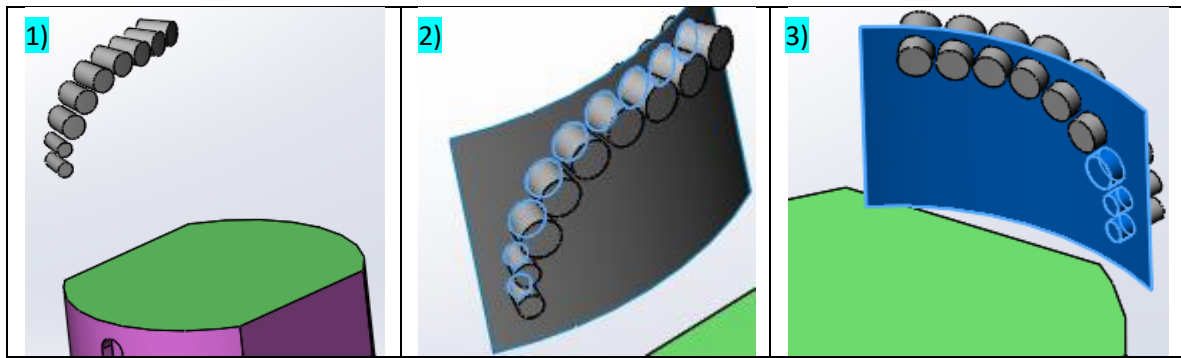


Figure.III.19. Fractionner les volumes pastilles.

- Utiliser la fonction répétition circulaire
- supprimer les corps sélectionnés en bleu.

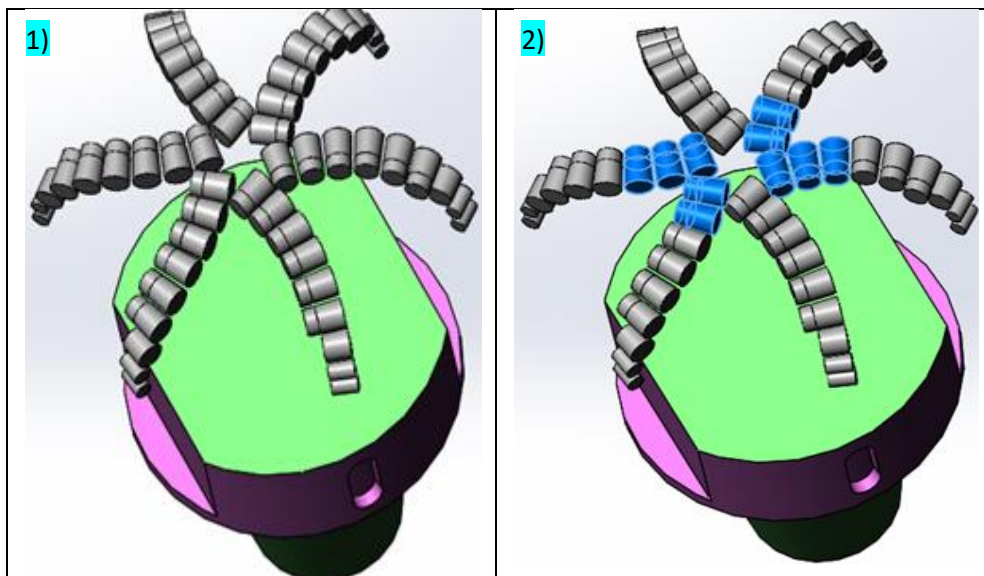


Figure.III.20. Répartition des pastilles sur les 6 lames

- Utiliser la fonction combiner soustraire pour créer les logements des pastilles.
- Utiliser la fonction combinée ajouté pour fixer les supports.
- Cliquer sur la fonction congé.

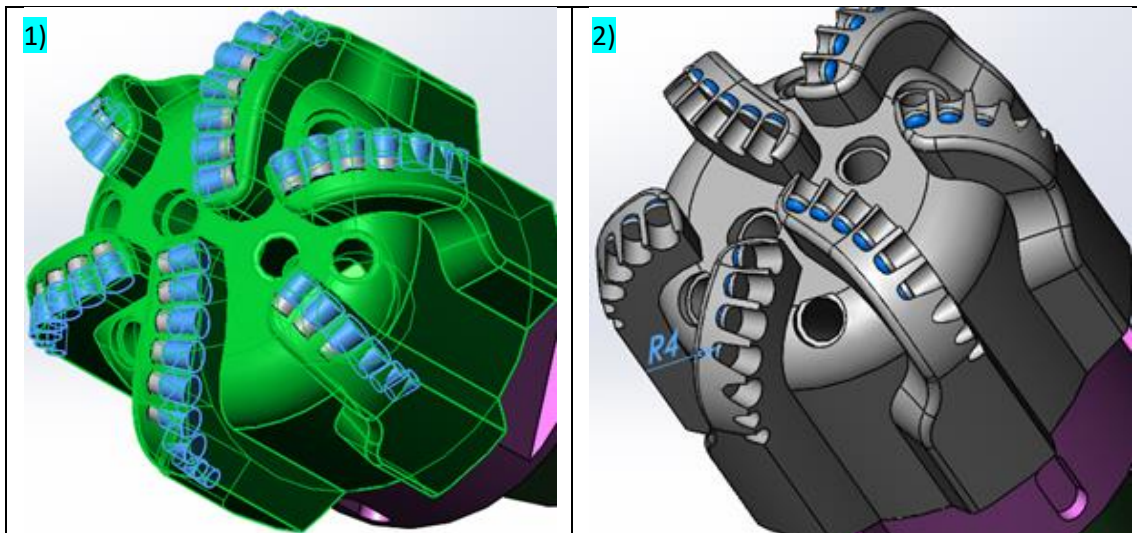


Figure.III.21- Réalisation des logements de pastilles

F- Réalisation du passage principal du fluide de refroidissement de l'outil :

- Esquisser un cercle sur la surface dessous du l'API.
- Utiliser la fonction enlev-mat jusqu'à la prochaine surface.

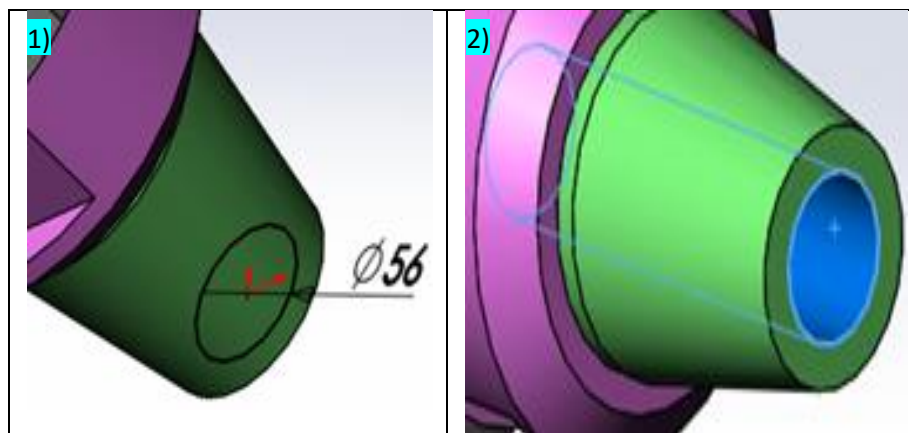


Figure.III.22. Création de la conduite principale du fluide.

G- Réalisation du filetage conique API :

- Esquisser un cercle et utiliser la fonction spirale.
- Esquisse 3D pour définir le profil et la trajectoire.
- Utiliser la fonction surface balayé.
- Esquisse 3D courbe d'intersection.
- Utiliser la fonction enlev-mat balayé.

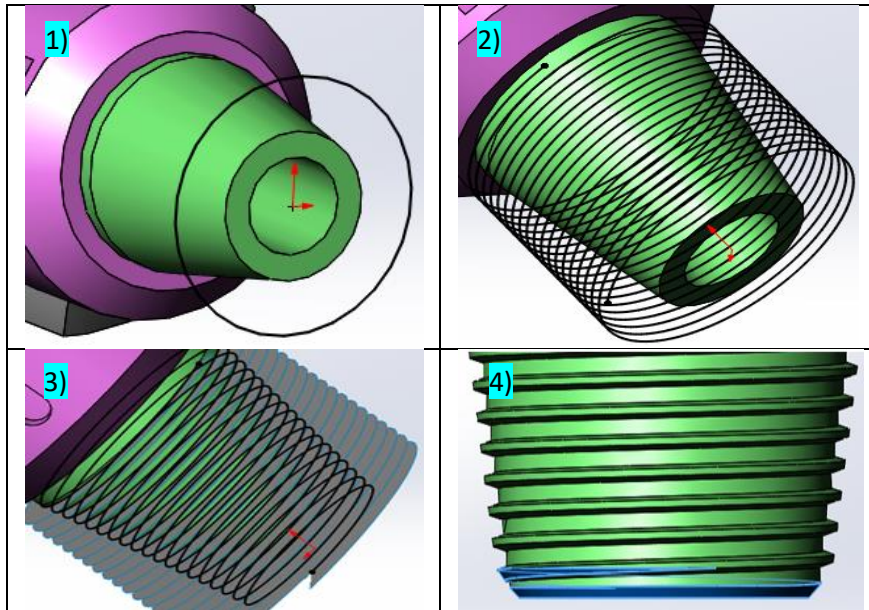


Figure.III.23. Réalisation du filetage de l'API

H- Réalisation des studs (insert de gage) :

- Esquisser des cercles sur la garde passive de l'outil.
- Utiliser la fonction enroulement.
- Utiliser la fonction répétition circulaire pour les répartir sur les 6lames.

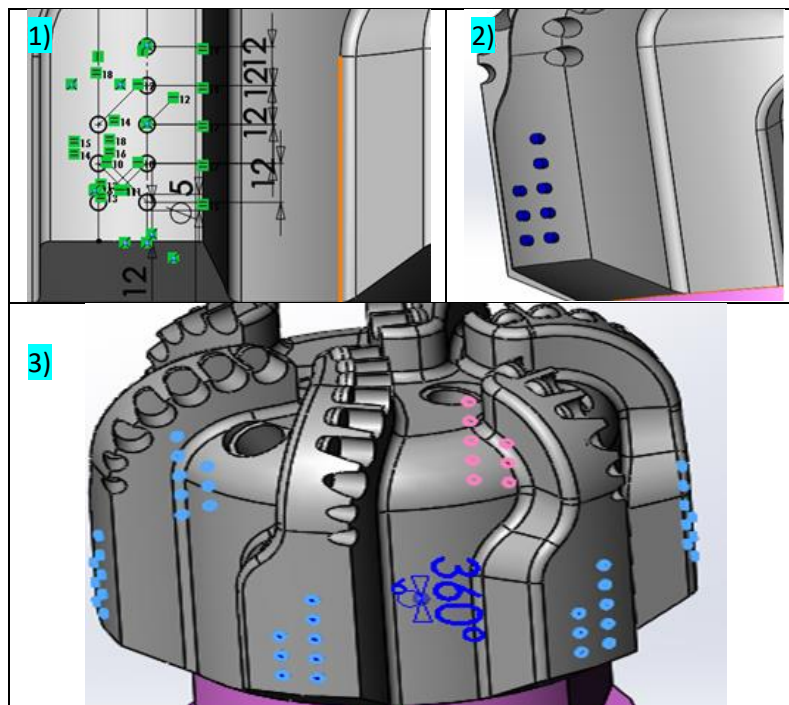


Figure.III.24. Réalisation des studs

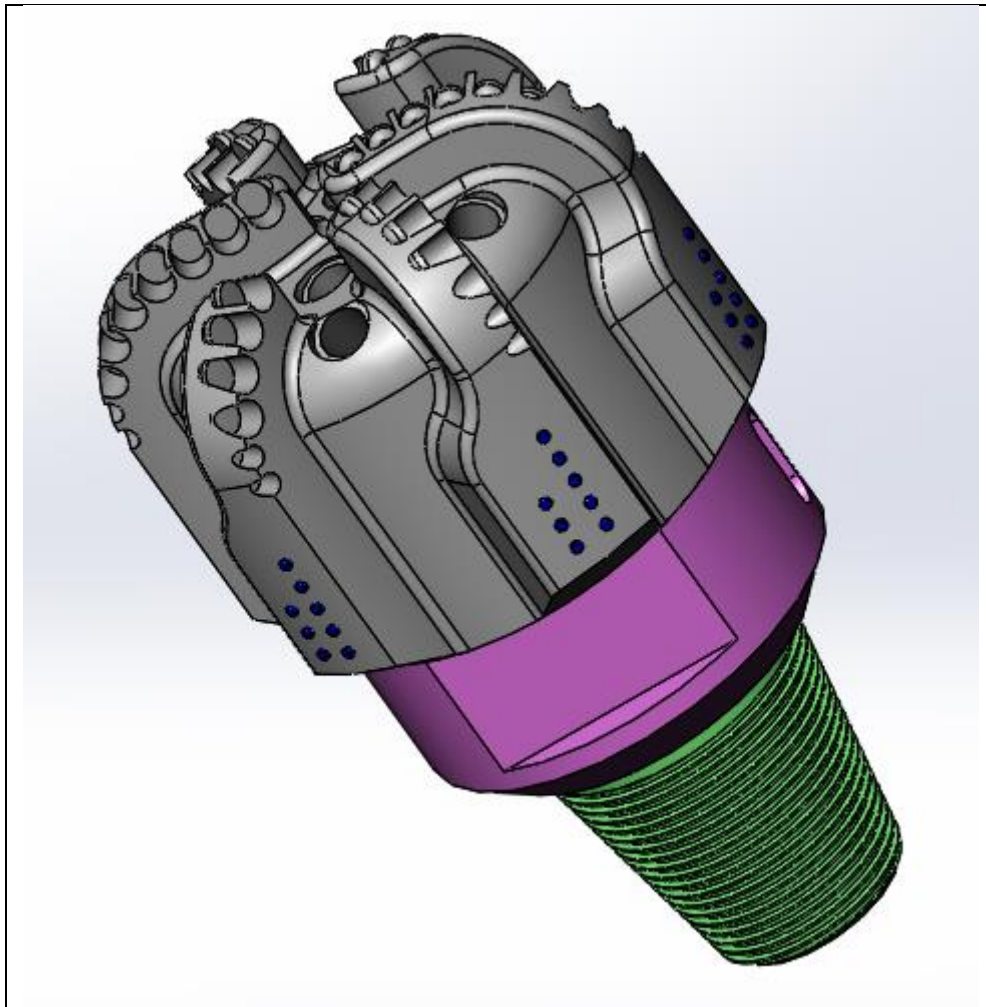


Figure.III.25. Outil de Forage PDC 10''

III.7.Conclusion

Dans ce chapitre nous avons montré les différentes étapes de conception pour chaque géométrie de l'outil en utilisant les différentes fonctions géométriques de l'application tel que la fonction d'esquisse sur image qui nous a facilité la modélisation 3D de la pièce avec un minimum de cotes prises sur le terrain.

Cette partie nous a permis d'appliquer nos connaissances acquises lors de notre formation de l'outil de CAO SolidWorks, et d'apprendre les fonctions les plus avancées de SolidWorks.

Chapitre IV :

Génération du CODE-G

IV.1.Introduction

Lorsque la définition de l'usinage devient trop complexe ou lorsque le volume de programmation est tel qu'il exclut la programmation manuelle, on fait appel à un langage de programmation spécialisé (G-Code) généré à partir d'un système Rhinocéros.

Pour cela dans ce chapitre on va présenter quelques notions de stratégies d'usinage appliquées aux systèmes Rhino CAM, le choix de la machine pour finir avec la génération d'un programme G-CODE.

IV.2.Fabrication assisté par ordinateur

La fabrication assistée par ordinateur est l'opération consistant à automatiser le processus d'usinage en élaborant un fichier contenant un programme de pilotage d'une machine à commande numérique (MOCN), ce fichier (G-CODE) assure une reprise automatique des données définissant les profils de contourage ou celle définissant des surfaces évolutives.

Le modèle 3D de la pièce à usiner étant importé sur le progiciel de FAO, il est possible de passer à la programmation des parcours des outils qui est le cœur des activités de la FAO. Le programmeur crée les parcours en respectant les choix d'outils, vitesses de coupe et d'avance, et machines-outils. [13]

Il est possible désormais de modéliser entièrement la machine-outil et de visualiser les mouvements des organes mobiles de celle-ci (tête, table, axes rotatifs) lors de la simulation d'usinage : cette possibilité est précieuse lors de la vérification et la validation de parcours en 5 axes, où les risques de collision sont importants par rapport à un usinage plus classique, en 3 axes.

Du point de vue de l'utilisation du système FAO, il convient de choisir une stratégie (en fonction de ce qui convient le mieux, selon la situation qui est en face). L'usinage 5 axes des pièces à géométrie complexe, en particulier des outillages, des moules, et des outils de forage, s'appuie sur la chaîne des processus CAO - FAO – CN

Notre tâche se résume ainsi :

- Définir un code G en utilisant le logiciel Rhino CAM
- Le choix de la machine et la stratégie d'usinage

IV.3. Rhinocéros

Le logiciel Rhinocéros est un modéleur de forme libre en 3D, il peut éditer, analyser et traduire des courbes, des surfaces et des solides, il est basé sur les courbes B-Spline rationnel Non Uniforme (NURBS). Il travaille sous Windows [19].

Le nom Rhinocéros parce que lorsque les programmeurs du logiciel ont commencé à utiliser le mot Rhino pour désigner ce programme très tôt dans le processus de développement. Des bibelots et des images de rhinocéros ont commencé à s'accumuler dans le bureau et lorsque le produit est arrivé en phase bêta, le nom était resté [20].

Rhino CAM est une application FAO intégré complètement dans Rhinocéros pour former un logiciel CFAO puissant qui aide les utilisateurs de faire la CAO et la FAO dans le même environnement sans sortir de système Rhino. Il est créé par Microsoft et basé sur Visuel-MILL et il est non autonome. Il est capable de générer le parcours d'outils des opérations de fraisage 2 ½, 3, 4 et 5 axes, il possède aussi des centaines de post processeurs et notamment les plus utilisés (FANUC, NUM, SEMENS, FAGOR, HEIDENHAIN...), il possède aussi un générateur post processeur permet au programmeur de définir son propre post processeur [8], après la génération de parcours d'outil il nous donne toutes les informations liés à ce parcours d'outil (l'outil utilisé, la vitesse d'avance, la position dans le programme CN, et le temps d'exécution).

IV.3.1. Création de parcours d'outil de Rhino CAM par différentes stratégies

- **Ebauche horizontale**

C'est la principale méthode de dégrossissage de Rhino CAM, soit aussi que la ligne de flottaison ou de coupe constante Z, dans lequel la matière est malmené en couches horizontales. Ce type d'usinage est très efficace pour enlever de grandes quantités de matière, et est généralement effectuée avec un gros outil. Ebauche est généralement suivie parcours semi-finition ou de finition [9].

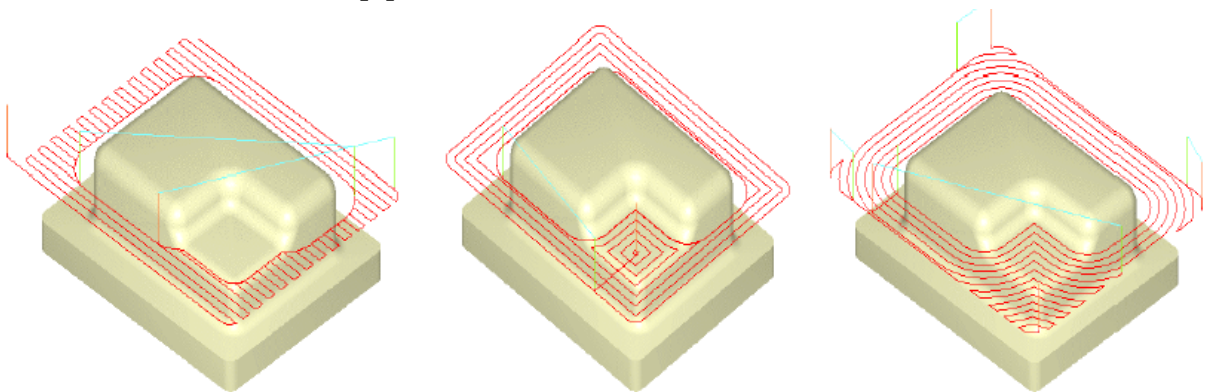


Figure IV.1 : Ebauche horizontale [9].

- **Ebauche en plongeon**

Aussi appelé ébauche de forage, l'outil peut couper dans la direction Z, et non en X et Y. L'outil effectue une série de chevauchement pour enlever les bouchons cylindriques de matériau [9].

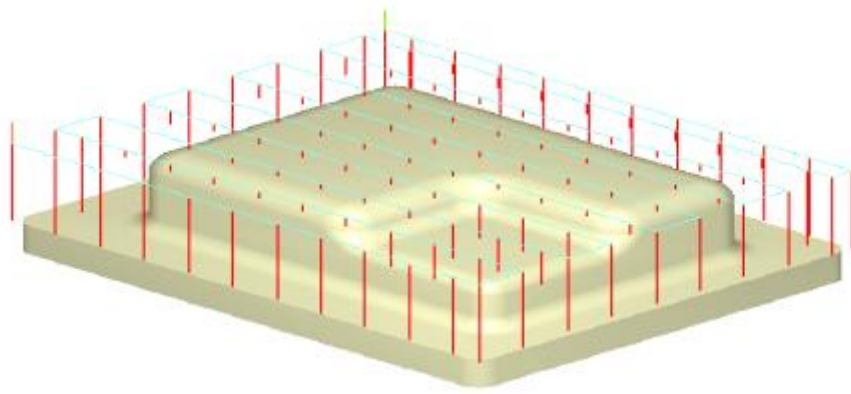


Figure IV.2 : Ebauche de plongeon [9].

- **Usinage radial**

Cette méthode est utilisée pour les zones qui présentent des caractéristiques circulaires ou quasi-circulaire, comme les fonds de poche finition. Il faut spécifier une ou plusieurs zones d'usinage, l'outil se déplace dans un motif en spirale par rapport au centre de gravité de ces régions [9].

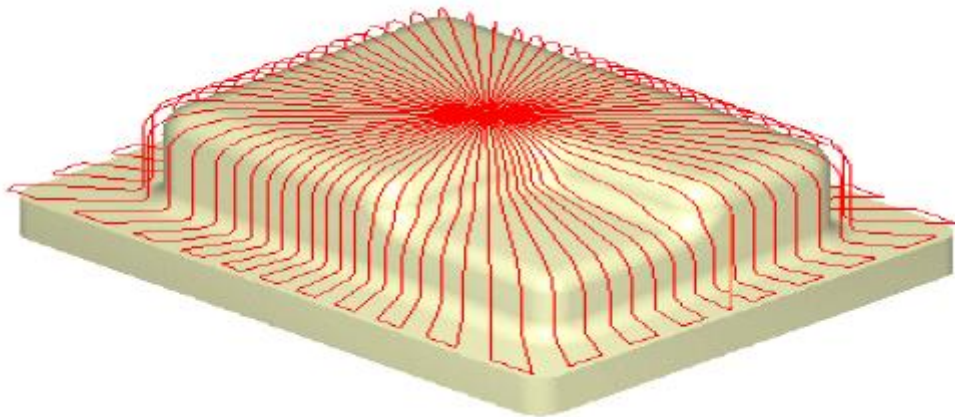


Figure IV.3 : Usinage radial [9].

- **Usinage spirale**

Usinage en spirale est un procédé de génération d'une trajectoire d'outil en spirale. Il peut être utilisé efficacement pour les régions circulaires. Une / plusieurs régions doivent être sélectionnées et activées pour générer le parcours en spirale. Le parcours sera généré uniquement dans les régions activées [9].

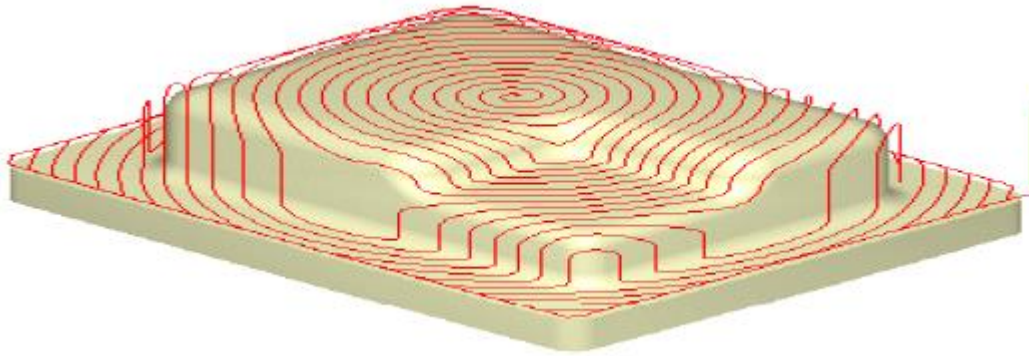


Figure IV.4 : Usinage en spirale [9].

IV.4.Choix de la machine

Dans tous les domaines, la création d'objets se voit aujourd'hui confrontée à des exigences croissantes en matière de design. Les critères ergonomiques, la valeur ou tout simplement l'esthétique demandent des formes de plus en plus arrondies. Les différentes phases de la conception doivent toujours être plus rapides et plus précises. Les paramètres de forme sont fournis essentiellement par les systèmes de CAO, les programmes d'usinage des surfaces gauches sont issus des postes de FAO.

Aujourd'hui c'est les machines 5-axes qui sont à la mesure du challenge que constitue aujourd'hui la fabrication d'outils de forage. Cette dernière répond au mieux aux exigences de fabrication de pièces de formes complexes avec grande précision des formes répétitives, sauf que due à la non-disponibilité de cette machine au cours de la réalisation de notre projet on a opté à l'utilisation de la machine à 2axes et ½ (EMCO Concept MILL 55 Siemens 810M) disponible à l'université Abderrahmane Mira de Bejaia, ainsi générer un programme G-code.

IV.4.1.Description de la machine

C'est une machine-outil à commande numérique (CNC) pédagogique à deux axes et demi, destinée au tournage de pièces de révolution, qui consiste à obtenir des pièces de forme cylindrique et/ou conique à l'aide d'un outil coupant par enlèvement de matière. Elle se trouve dans la salle IMAO au niveau du Hall de Technologie à l'université Abderrahmane Mira de Bejaïa **figure IV.5**.



Figure IV.5 : Fraiseuse 2axes et 1/2, EMCO Concept MILL55, à commande Siemens 810M

IV.4.2. Caractéristiques techniques du tour numérique

Type de la machine.....	Emco Concept MILL55
Numéro de série:.....	A6F_V00
Numéro de fabrication:.....	A6FW4101
Date de fabrication:.....	2008
Fabriqué en.....	Autriche
Fabricant:.....	EMCO
Poids de la machin:.....	85 Kg
Largeur:.....	451 mm
Longueur:.....	840 mm
Hauteur:.....	395 mm
Niveau de pression acoustique:.....	65 db
Langage de dialogue de la CN avec les organes de la machine:.....	Siemens (SinumeriK)

IV.5.Génération automatique du programme G-code :

Un programme G-code est généré automatiquement pour la CN EMCO Concept MILL55 à l'aide du logiciel cité en haut (Rhino Cam), Ce langage traduit les différentes informations sur les trajectoires d'outils et les vitesses d'exécution.

N1 G40 G49 G80 G98	N718 X0.4157 Z-0.0889	N1436 X1.0751 Z-0.2922
N2 G20 G90	N719 X0.3763 Z-0.0729	N1437 X1.0456 Z-0.2799
N3 S4851 M03	N720 X0.3566 Z-0.0652	N1438 X1.0259 Z-0.2723
N4 G00 Z0.1574	N721 X0.2976 Z-0.0445	N1439 X0.9669 Z-0.2544
N5 X-1.0179 Y-0.4921	N722 X0.2582 Z-0.0328	N1440 X0.9275 Z-0.2444
N6 G01 Z-0.1655 F1.617	N723 X0.2188 Z-0.0236	N1441 X0.8881 Z-0.2348
N7 Z-0.1891 F0.606	N724 X0.1401 Z-0.0115	N1442 X0.8487 Z-0.2265
N8 X-0.9982 Z-0.184 F0.809	N725 X0.0613 Z-0.0049	N1443 X0.77 Z-0.2107
N9 X-0.9588 Z-0.175	N726 X0.0023 Z-0.0015	N1444 X0.6913 Z-0.1973
N10 X-0.8211 Z-0.1501	N727 X-0.0568 Z-0.0003	N1445 X0.6716 Z-0.1948
N11 X-0.8014 Z-0.1458	N728 X-0.0765 Z-0.0002	N1446 X0.6519 Z-0.193
N12 X-0.7817 Z-0.1403	N729 X-0.1355 Z-0.0034	N1447 X0.6322 Z-0.192
N13 X-0.7423 Z-0.1289	N730 X-0.1552 Z-0.0048	N1448 X0.6125 Z-0.1917
N14 X-0.7029 Z-0.1164	N731 X-0.2143 Z-0.0123	N1449 X0.5978 Z-0.1907
N15 X-0.6242 Z-0.0936	N732 X-0.2536 Z-0.0183	N1450 X0.5621 Z-0.167
N16 X-0.5848 Z-0.0835	N733 X-0.3324 Z-0.0317	N1451 X0.5086 Z-0.1346
N17 X-0.5455 Z-0.0742	N734 X-0.4111 Z-0.0461	N1452 X0.4996 Z-0.1294
N18 X-0.4667 Z-0.0571	N735 X-0.4898 Z-0.0619	N1453 X0.4354 Z-0.0972
N19 X-0.388 Z-0.0418	N736 X-0.5686 Z-0.0796	N1454 X0.4157 Z-0.0889
N20 X-0.3092 Z-0.0276	N737 X-0.608 Z-0.0895	N1455 X0.3763 Z-0.0729
N21 X-0.2305 Z-0.0145	N738 X-0.6473 Z-0.1001	N1456 X0.3566 Z-0.0652
N22 X-0.1911 Z-0.0091	N739 X-0.6867 Z-0.1114	N1457 X0.2976 Z-0.0445
N23 X-0.1518 Z-0.0044	N740 X-0.7261 Z-0.1238	N1458 X0.2582 Z-0.0328
N24 X-0.1124 Z-0.0015	N741 X-0.7654 Z-0.1358	N1459 X0.2188 Z-0.0236
N25 X-0.073 Z-0.0001	N742 X-0.7851 Z-0.1415	N1460 X0.1401 Z-0.0115
N26 X-0.0336 Z-0.0005	N743 X-0.8048 Z-0.1469	N1461 X0.0613 Z-0.0049
N27 X0.0057 Z-0.0017	N744 X-0.8442 Z-0.1547	N1462 X0.0023 Z-0.0015
N28 X0.0845 Z-0.0066	N745 X-0.8835 Z-0.1616	N1463 X-0.0568 Z-0.0003
N29 X0.1238 Z-0.0099	N746 X-0.9229 Z-0.1682	N1464 X-0.0765 Z-0.0002
N30 X0.1632 Z-0.0144	N747 X-0.9901 Z-0.1819	N1465 X-0.1355 Z-0.0034
N31 X0.2026 Z-0.0206	N748 X-1.0179 Z-0.1894	N1466 X-0.1552 Z-0.0048
N32 X0.2223 Z-0.0244	N749 Y-0.136	N1467 X-0.2143 Z-0.0123
N33 X0.2419 Z-0.0289	N750 X-0.9982 Z-0.184	N1468 X-0.2536 Z-0.0183
N34 X0.2616 Z-0.0338	N751 X-0.9785 Z-0.1794	N1469 X-0.3324 Z-0.0317
N35 X0.2813 Z-0.0396	N752 X-0.9195 Z-0.1676	N1470 X-0.4111 Z-0.0461
N36 X0.3207 Z-0.0524	N753 X-0.8604 Z-0.1578	N1471 X-0.4898 Z-0.0619
N37 X0.3601 Z-0.0664	N754 X-0.8014 Z-0.1462	N1472 X-0.5686 Z-0.0796
N38 X0.3994 Z-0.0823	N755 X-0.7423 Z-0.1289	N1473 X-0.608 Z-0.0895
N39 X0.4388 Z-0.0989	N756 X-0.7029 Z-0.1165	N1474 X-0.6473 Z-0.1001
N40 X0.4782 Z-0.1182	N757 X-0.6242 Z-0.0936	N1475 X-0.6867 Z-0.1114
N41 X0.4978 Z-0.1284	N758 X-0.5455 Z-0.0742	N1476 X-0.7261 Z-0.1238
N42 X0.5471 Z-0.1574	N759 X-0.4667 Z-0.0571	N1477 X-0.7654 Z-0.1358

N43 X0.5969 Z-0.1901	N760 X-0.388 Z-0.0418	N1478 X-0.7851 Z-0.1415
N44 X0.5975 Z-0.1904	N761 X-0.3092 Z-0.0276	N1479 X-0.8048 Z-0.1469
N45 X0.6559 Z-0.1933	N762 X-0.2305 Z-0.0145	N1480 X-0.8442 Z-0.1547
N46 X0.6852 Z-0.1963	N763 X-0.1518 Z-0.0044	N1481 X-0.8835 Z-0.1616
N47 X0.7538 Z-0.2076	N764 X-0.073 Z-0.0001	N1482 X-0.9229 Z-0.1682
N48 X0.7931 Z-0.2152	N765 X0.0057 Z-0.0017	N1483 X-0.9901 Z-0.1819
N49 X0.8719 Z-0.2314	N766 X0.0845 Z-0.0066	N1484 X-1.0179 Z-0.1894
N50 X0.9506 Z-0.2499	N767 X0.1238 Z-0.0099	N1485 Y0.2201
N51 X1.0097 Z-0.2668	N768 X0.1435 Z-0.012	N1486 X-0.9982 Z-0.184
N52 X1.0293 Z-0.2734	N769 X0.2026 Z-0.0209	N1487 X-0.9785 Z-0.1794
N53 X1.0711 Z-0.2904	N770 X0.2223 Z-0.0244	N1488 X-0.9195 Z-0.1676
N54 X1.085 Z-0.2971	N771 X0.2419 Z-0.0289	N1489 X-0.8604 Z-0.1578
N55 Y-0.4699 Z-0.2972	N772 X0.2616 Z-0.0338	N1490 X-0.8014 Z-0.1462
N56 X1.0751 Z-0.2922	N773 X0.2813 Z-0.0396	N1491 X-0.7423 Z-0.1289
N57 X1.0456 Z-0.2799	N774 X0.301 Z-0.0457	N1492 X-0.7029 Z-0.1165
N58 X1.0259 Z-0.2723	N775 X0.3601 Z-0.0664	N1493 X-0.6242 Z-0.0936
N59 X0.9669 Z-0.2544	N776 X0.4191 Z-0.0903	N1494 X-0.5455 Z-0.0742
N60 X0.9275 Z-0.2444	N777 X0.4388 Z-0.0989	N1495 X-0.4667 Z-0.0571
N61 X0.8881 Z-0.2348	N778 X0.4978 Z-0.1284	N1496 X-0.388 Z-0.0418
N62 X0.8487 Z-0.2265	N779 X0.5175 Z-0.1401	N1497 X-0.3092 Z-0.0276
N63 X0.77 Z-0.2107	N780 X0.5569 Z-0.1639	N1498 X-0.2305 Z-0.0145
N64 X0.6913 Z-0.1973	N781 X0.5981 Z-0.1908	N1499 X-0.1518 Z-0.0044
N65 X0.6716 Z-0.1948	N782 X0.6562 Z-0.1934	N1500 X-0.073 Z-0.0001
N66 X0.6519 Z-0.193	N783 X0.6853 Z-0.1963	N1501 X0.0057 Z-0.0017
N67 X0.6322 Z-0.192	N784 X0.7538 Z-0.2076	N1502 X0.0845 Z-0.0066
N68 X0.6125 Z-0.1917	N785 X0.7931 Z-0.2152	N1503 X0.1238 Z-0.0099
N69 X0.5978 Z-0.1907	N786 X0.8719 Z-0.2314	N1504 X0.1435 Z-0.012
N70 X0.5621 Z-0.167	N787 X0.9506 Z-0.2499	N1505 X0.2026 Z-0.0209
N71 X0.5086 Z-0.1346	N788 X1.0293 Z-0.2734	N1506 X0.2223 Z-0.0244
N72 X0.4996 Z-0.1294	N789 X1.0711 Z-0.2904	N1507 X0.2419 Z-0.0289
N73 X0.4354 Z-0.0972	N790 X1.085 Z-0.2972	N1508 X0.2616 Z-0.0338
N74 X0.4157 Z-0.0889	N791 Y-0.1138	N1509 X0.2813 Z-0.0396
N75 X0.3763 Z-0.0729	N792 X1.0751 Z-0.2922	N1510 X0.301 Z-0.0457
N76 X0.3566 Z-0.0652	N793 X1.0456 Z-0.2799	N1511 X0.3601 Z-0.0664
N77 X0.2976 Z-0.0445	N794 X1.0259 Z-0.2723	N1512 X0.4191 Z-0.0903
N78 X0.2582 Z-0.0328	N795 X0.9669 Z-0.2544	N1513 X0.4388 Z-0.0989
N79 X0.2188 Z-0.0236	N796 X0.9275 Z-0.2444	N1514 X0.4978 Z-0.1284
N80 X0.1401 Z-0.0115	N797 X0.8881 Z-0.2348	N1515 X0.5175 Z-0.1401
N81 X0.0613 Z-0.0049	N798 X0.8487 Z-0.2265	N1516 X0.5569 Z-0.1639
N82 X0.0023 Z-0.0015	N799 X0.77 Z-0.2107	N1517 X0.5981 Z-0.1908
N83 X-0.0568 Z-0.0003	N800 X0.6913 Z-0.1973	N1518 X0.6562 Z-0.1934
N84 X-0.0765 Z-0.0002	N801 X0.6716 Z-0.1948	N1519 X0.6853 Z-0.1963
N85 X-0.1355 Z-0.0034	N802 X0.6519 Z-0.193	N1520 X0.7538 Z-0.2076
N86 X-0.1552 Z-0.0048	N803 X0.6322 Z-0.192	N1521 X0.7931 Z-0.2152
N87 X-0.2143 Z-0.0123	N804 X0.6125 Z-0.1917	N1522 X0.8719 Z-0.2314
N88 X-0.2536 Z-0.0183	N805 X0.5978 Z-0.1907	N1523 X0.9506 Z-0.2499
N89 X-0.3324 Z-0.0317	N806 X0.5621 Z-0.167	N1524 X1.0293 Z-0.2734
N90 X-0.4111 Z-0.0461	N807 X0.5086 Z-0.1346	N1525 X1.0711 Z-0.2904
N91 X-0.4898 Z-0.0619	N808 X0.4996 Z-0.1294	N1526 X1.085 Z-0.2972
N92 X-0.5686 Z-0.0796	N809 X0.4354 Z-0.0972	N1527 Y0.2424

N93 X-0.608 Z-0.0895	N810 X0.4157 Z-0.0889	N1528 X1.0751 Z-0.2922
N94 X-0.6473 Z-0.1001	N811 X0.3763 Z-0.0729	N1529 X1.0456 Z-0.2799
N95 X-0.6867 Z-0.1114	N812 X0.3566 Z-0.0652	N1530 X1.0259 Z-0.2723
N96 X-0.7261 Z-0.1238	N813 X0.2976 Z-0.0445	N1531 X0.9669 Z-0.2544
N97 X-0.7654 Z-0.1358	N814 X0.2582 Z-0.0328	N1532 X0.9275 Z-0.2444
N98 X-0.7851 Z-0.1415	N815 X0.2188 Z-0.0236	N1533 X0.8881 Z-0.2348
N99 X-0.8048 Z-0.1469	N816 X0.1401 Z-0.0115	N1534 X0.8487 Z-0.2265
N100 X-0.8442 Z-0.1547	N817 X0.0613 Z-0.0049	N1535 X0.77 Z-0.2107
N101 X-0.8835 Z-0.1616	N818 X0.0023 Z-0.0015	N1536 X0.6913 Z-0.1973
N102 X-0.9229 Z-0.1682	N819 X-0.0568 Z-0.0003	N1537 X0.6716 Z-0.1948
N103 X-0.9901 Z-0.1819	N820 X-0.0765 Z-0.0002	N1538 X0.6519 Z-0.193
N104 X-1.0179 Z-0.1894	N821 X-0.1355 Z-0.0034	N1539 X0.6322 Z-0.192
N105 Y-0.4476	N822 X-0.1552 Z-0.0048	N1540 X0.6125 Z-0.1917
N106 X-0.9982 Z-0.184	N823 X-0.2143 Z-0.0123	N1541 X0.5978 Z-0.1907
N107 X-0.9785 Z-0.1794	N824 X-0.2536 Z-0.0183	N1542 X0.5621 Z-0.167
N108 X-0.9195 Z-0.1676	N825 X-0.3324 Z-0.0317	N1543 X0.5086 Z-0.1346
N109 X-0.8604 Z-0.1578	N826 X-0.4111 Z-0.0461	N1544 X0.4996 Z-0.1294
N110 X-0.8014 Z-0.1462	N827 X-0.4898 Z-0.0619	N1545 X0.4354 Z-0.0972
N111 X-0.7423 Z-0.1289	N828 X-0.5686 Z-0.0796	N1546 X0.4157 Z-0.0889
N112 X-0.7029 Z-0.1165	N829 X-0.608 Z-0.0895	N1547 X0.3763 Z-0.0729
N113 X-0.6242 Z-0.0936	N830 X-0.6473 Z-0.1001	N1548 X0.3566 Z-0.0652
N114 X-0.5455 Z-0.0742	N831 X-0.6867 Z-0.1114	N1549 X0.2976 Z-0.0445
N115 X-0.4667 Z-0.0571	N832 X-0.7261 Z-0.1238	N1550 X0.2582 Z-0.0328
N116 X-0.388 Z-0.0418	N833 X-0.7654 Z-0.1358	N1551 X0.2188 Z-0.0236
N117 X-0.3092 Z-0.0276	N834 X-0.7851 Z-0.1415	N1552 X0.1401 Z-0.0115
N118 X-0.2305 Z-0.0145	N835 X-0.8048 Z-0.1469	N1553 X0.0613 Z-0.0049
N119 X-0.1518 Z-0.0044	N836 X-0.8442 Z-0.1547	N1554 X0.0023 Z-0.0015
N120 X-0.073 Z-0.0001	N837 X-0.8835 Z-0.1616	N1555 X-0.0568 Z-0.0003
N121 X0.0057 Z-0.0017	N838 X-0.9229 Z-0.1682	N1556 X-0.0765 Z-0.0002
N122 X0.0845 Z-0.0066	N839 X-0.9901 Z-0.1819	N1557 X-0.1355 Z-0.0034
N123 X0.1238 Z-0.0099	N840 X-1.0179 Z-0.1894	N1558 X-0.1552 Z-0.0048
N124 X0.1435 Z-0.012	N841 Y-0.0915	N1559 X-0.2143 Z-0.0123
N125 X0.2026 Z-0.0209	N842 X-0.9982 Z-0.184	N1560 X-0.2536 Z-0.0183
N126 X0.2223 Z-0.0244	N843 X-0.9785 Z-0.1794	N1561 X-0.3324 Z-0.0317
N127 X0.2419 Z-0.0289	N844 X-0.9195 Z-0.1676	N1562 X-0.4111 Z-0.0461
N128 X0.2616 Z-0.0338	N845 X-0.8604 Z-0.1578	N1563 X-0.4898 Z-0.0619
N129 X0.2813 Z-0.0396	N846 X-0.8014 Z-0.1462	N1564 X-0.5686 Z-0.0796
N130 X0.301 Z-0.0457	N847 X-0.7423 Z-0.1289	N1565 X-0.608 Z-0.0895
N131 X0.3601 Z-0.0664	N848 X-0.7029 Z-0.1165	N1566 X-0.6473 Z-0.1001
N132 X0.4191 Z-0.0903	N849 X-0.6242 Z-0.0936	N1567 X-0.6867 Z-0.1114
N133 X0.4388 Z-0.0989	N850 X-0.5455 Z-0.0742	N1568 X-0.7261 Z-0.1238
N134 X0.4978 Z-0.1284	N851 X-0.4667 Z-0.0571	N1569 X-0.7654 Z-0.1358
N135 X0.5175 Z-0.1401	N852 X-0.388 Z-0.0418	N1570 X-0.7851 Z-0.1415
N136 X0.5569 Z-0.1639	N853 X-0.3092 Z-0.0276	N1571 X-0.8048 Z-0.1469
N137 X0.5981 Z-0.1908	N854 X-0.2305 Z-0.0145	N1572 X-0.8442 Z-0.1547
N138 X0.6562 Z-0.1934	N855 X-0.1518 Z-0.0044	N1573 X-0.8835 Z-0.1616
N139 X0.6853 Z-0.1963	N856 X-0.073 Z-0.0001	N1574 X-0.9229 Z-0.1682
N140 X0.7538 Z-0.2076	N857 X0.0057 Z-0.0017	N1575 X-0.9901 Z-0.1819
N141 X0.7931 Z-0.2152	N858 X0.0845 Z-0.0066	N1576 X-1.0179 Z-0.1894
N142 X0.8719 Z-0.2314	N859 X0.1238 Z-0.0099	N1577 Y0.2646

N143 X0.9506 Z-0.2499	N860 X0.1435 Z-0.012	N1578 X-0.9982 Z-0.184
N144 X1.0293 Z-0.2734	N861 X0.2026 Z-0.0209	N1579 X-0.9785 Z-0.1794
N145 X1.0711 Z-0.2904	N862 X0.2223 Z-0.0244	N1580 X-0.9195 Z-0.1676
N146 X1.085 Z-0.2972	N863 X0.2419 Z-0.0289	N1581 X-0.8604 Z-0.1578
N147 Y-0.4254	N864 X0.2616 Z-0.0338	N1582 X-0.8014 Z-0.1462
N148 X1.0751 Z-0.2922	N865 X0.2813 Z-0.0396	N1583 X-0.7423 Z-0.1289
N149 X1.0456 Z-0.2799	N866 X0.301 Z-0.0457	N1584 X-0.7029 Z-0.1165
N150 X1.0259 Z-0.2723	N867 X0.3601 Z-0.0664	N1585 X-0.6242 Z-0.0936
N151 X0.9669 Z-0.2544	N868 X0.4191 Z-0.0903	N1586 X-0.5455 Z-0.0742
N152 X0.9275 Z-0.2444	N869 X0.4388 Z-0.0989	N1587 X-0.4667 Z-0.0571
N153 X0.8881 Z-0.2348	N870 X0.4978 Z-0.1284	N1588 X-0.388 Z-0.0418
N154 X0.8487 Z-0.2265	N871 X0.5175 Z-0.1401	N1589 X-0.3092 Z-0.0276
N155 X0.77 Z-0.2107	N872 X0.5569 Z-0.1639	N1590 X-0.2305 Z-0.0145
N156 X0.6913 Z-0.1973	N873 X0.5981 Z-0.1908	N1591 X-0.1518 Z-0.0044
N157 X0.6716 Z-0.1948	N874 X0.6562 Z-0.1934	N1592 X-0.073 Z-0.0001
N158 X0.6519 Z-0.193	N875 X0.6853 Z-0.1963	N1593 X0.0057 Z-0.0017
N159 X0.6322 Z-0.192	N876 X0.7538 Z-0.2076	N1594 X0.0845 Z-0.0066
N160 X0.6125 Z-0.1917	N877 X0.7931 Z-0.2152	N1595 X0.1238 Z-0.0099
N161 X0.5978 Z-0.1907	N878 X0.8719 Z-0.2314	N1596 X0.1435 Z-0.012
N162 X0.5621 Z-0.167	N879 X0.9506 Z-0.2499	N1597 X0.2026 Z-0.0209
N163 X0.5086 Z-0.1346	N880 X1.0293 Z-0.2734	N1598 X0.2223 Z-0.0244
N164 X0.4996 Z-0.1294	N881 X1.0711 Z-0.2904	N1599 X0.2419 Z-0.0289
N165 X0.4354 Z-0.0972	N882 X1.085 Z-0.2972	N1600 X0.2616 Z-0.0338
N166 X0.4157 Z-0.0889	N883 Y-0.0692	N1601 X0.2813 Z-0.0396
N167 X0.3763 Z-0.0729	N884 X1.0751 Z-0.2922	N1602 X0.301 Z-0.0457
N168 X0.3566 Z-0.0652	N885 X1.0456 Z-0.2799	N1603 X0.3601 Z-0.0664
N169 X0.2976 Z-0.0445	N886 X1.0259 Z-0.2723	N1604 X0.4191 Z-0.0903
N170 X0.2582 Z-0.0328	N887 X0.9669 Z-0.2544	N1605 X0.4388 Z-0.0989
N171 X0.2188 Z-0.0236	N888 X0.9275 Z-0.2444	N1606 X0.4978 Z-0.1284
N172 X0.1401 Z-0.0115	N889 X0.8881 Z-0.2348	N1607 X0.5175 Z-0.1401
N173 X0.0613 Z-0.0049	N890 X0.8487 Z-0.2265	N1608 X0.5569 Z-0.1639
N174 X0.0023 Z-0.0015	N891 X0.77 Z-0.2107	N1609 X0.5981 Z-0.1908
N175 X-0.0568 Z-0.0003	N892 X0.6913 Z-0.1973	N1610 X0.6562 Z-0.1934
N176 X-0.0765 Z-0.0002	N893 X0.6716 Z-0.1948	N1611 X0.6853 Z-0.1963
N177 X-0.1355 Z-0.0034	N894 X0.6519 Z-0.193	N1612 X0.7538 Z-0.2076
N178 X-0.1552 Z-0.0048	N895 X0.6322 Z-0.192	N1613 X0.7931 Z-0.2152
N179 X-0.2143 Z-0.0123	N896 X0.6125 Z-0.1917	N1614 X0.8719 Z-0.2314
N180 X-0.2536 Z-0.0183	N897 X0.5978 Z-0.1907	N1615 X0.9506 Z-0.2499
N181 X-0.3324 Z-0.0317	N898 X0.5621 Z-0.167	N1616 X1.0293 Z-0.2734
N182 X-0.4111 Z-0.0461	N899 X0.5086 Z-0.1346	N1617 X1.0711 Z-0.2904
N183 X-0.4898 Z-0.0619	N900 X0.4996 Z-0.1294	N1618 X1.085 Z-0.2972
N184 X-0.5686 Z-0.0796	N901 X0.4354 Z-0.0972	N1619 Y0.2869
N185 X-0.608 Z-0.0895	N902 X0.4157 Z-0.0889	N1620 X1.0751 Z-0.2922
N186 X-0.6473 Z-0.1001	N903 X0.3763 Z-0.0729	N1621 X1.0456 Z-0.2799
N187 X-0.6867 Z-0.1114	N904 X0.3566 Z-0.0652	N1622 X1.0259 Z-0.2723
N188 X-0.7261 Z-0.1238	N905 X0.2976 Z-0.0445	N1623 X0.9669 Z-0.2544
N189 X-0.7654 Z-0.1358	N906 X0.2582 Z-0.0328	N1624 X0.9275 Z-0.2444
N190 X-0.7851 Z-0.1415	N907 X0.2188 Z-0.0236	N1625 X0.8881 Z-0.2348
N191 X-0.8048 Z-0.1469	N908 X0.1401 Z-0.0115	N1626 X0.8487 Z-0.2265
N192 X-0.8442 Z-0.1547	N909 X0.0613 Z-0.0049	N1627 X0.77 Z-0.2107

N193 X-0.8835 Z-0.1616	N910 X0.0023 Z-0.0015	N1628 X0.6913 Z-0.1973
N194 X-0.9229 Z-0.1682	N911 X-0.0568 Z-0.0003	N1629 X0.6716 Z-0.1948
N195 X-0.9901 Z-0.1819	N912 X-0.0765 Z-0.0002	N1630 X0.6519 Z-0.193
N196 X-1.0179 Z-0.1894	N913 X-0.1355 Z-0.0034	N1631 X0.6322 Z-0.192
N197 Y-0.4031	N914 X-0.1552 Z-0.0048	N1632 X0.6125 Z-0.1917
N198 X-0.9982 Z-0.184	N915 X-0.2143 Z-0.0123	N1633 X0.5978 Z-0.1907
N199 X-0.9785 Z-0.1794	N916 X-0.2536 Z-0.0183	N1634 X0.5621 Z-0.167
N200 X-0.9195 Z-0.1676	N917 X-0.3324 Z-0.0317	N1635 X0.5086 Z-0.1346
N201 X-0.8604 Z-0.1578	N918 X-0.4111 Z-0.0461	N1636 X0.4996 Z-0.1294
N202 X-0.8014 Z-0.1462	N919 X-0.4898 Z-0.0619	N1637 X0.4354 Z-0.0972
N203 X-0.7423 Z-0.1289	N920 X-0.5686 Z-0.0796	N1638 X0.4157 Z-0.0889
N204 X-0.7029 Z-0.1165	N921 X-0.608 Z-0.0895	N1639 X0.3763 Z-0.0729
N205 X-0.6242 Z-0.0936	N922 X-0.6473 Z-0.1001	N1640 X0.3566 Z-0.0652
N206 X-0.5455 Z-0.0742	N923 X-0.6867 Z-0.1114	N1641 X0.2976 Z-0.0445
N207 X-0.4667 Z-0.0571	N924 X-0.7261 Z-0.1238	N1642 X0.2582 Z-0.0328
N208 X-0.388 Z-0.0418	N925 X-0.7654 Z-0.1358	N1643 X0.2188 Z-0.0236
N209 X-0.3092 Z-0.0276	N926 X-0.7851 Z-0.1415	N1644 X0.1401 Z-0.0115
N210 X-0.2305 Z-0.0145	N927 X-0.8048 Z-0.1469	N1645 X0.0613 Z-0.0049
N211 X-0.1518 Z-0.0044	N928 X-0.8442 Z-0.1547	N1646 X0.0023 Z-0.0015
N212 X-0.073 Z-0.0001	N929 X-0.8835 Z-0.1616	N1647 X-0.0568 Z-0.0003
N213 X0.0057 Z-0.0017	N930 X-0.9229 Z-0.1682	N1648 X-0.0765 Z-0.0002
N214 X0.0845 Z-0.0066	N931 X-0.9901 Z-0.1819	N1649 X-0.1355 Z-0.0034
N215 X0.1238 Z-0.0099	N932 X-1.0179 Z-0.1894	N1650 X-0.1552 Z-0.0048
N216 X0.1435 Z-0.012	N933 Y-0.047	N1651 X-0.2143 Z-0.0123
N217 X0.2026 Z-0.0209	N934 X-0.9982 Z-0.184	N1652 X-0.2536 Z-0.0183
N218 X0.2223 Z-0.0244	N935 X-0.9785 Z-0.1794	N1653 X-0.3324 Z-0.0317
N219 X0.2419 Z-0.0289	N936 X-0.9195 Z-0.1676	N1654 X-0.4111 Z-0.0461
N220 X0.2616 Z-0.0338	N937 X-0.8604 Z-0.1578	N1655 X-0.4898 Z-0.0619
N221 X0.2813 Z-0.0396	N938 X-0.8014 Z-0.1462	N1656 X-0.5686 Z-0.0796
N222 X0.301 Z-0.0457	N939 X-0.7423 Z-0.1289	N1657 X-0.608 Z-0.0895
N223 X0.3601 Z-0.0664	N940 X-0.7029 Z-0.1165	N1658 X-0.6473 Z-0.1001
N224 X0.4191 Z-0.0903	N941 X-0.6242 Z-0.0936	N1659 X-0.6867 Z-0.1114
N225 X0.4388 Z-0.0989	N942 X-0.5455 Z-0.0742	N1660 X-0.7261 Z-0.1238
N226 X0.4978 Z-0.1284	N943 X-0.4667 Z-0.0571	N1661 X-0.7654 Z-0.1358
N227 X0.5175 Z-0.1401	N944 X-0.388 Z-0.0418	N1662 X-0.7851 Z-0.1415
N228 X0.5569 Z-0.1639	N945 X-0.3092 Z-0.0276	N1663 X-0.8048 Z-0.1469
N229 X0.5981 Z-0.1908	N946 X-0.2305 Z-0.0145	N1664 X-0.8442 Z-0.1547
N230 X0.6562 Z-0.1934	N947 X-0.1518 Z-0.0044	N1665 X-0.8835 Z-0.1616
N231 X0.6853 Z-0.1963	N948 X-0.073 Z-0.0001	N1666 X-0.9229 Z-0.1682
N232 X0.7538 Z-0.2076	N949 X0.0057 Z-0.0017	N1667 X-0.9901 Z-0.1819
N233 X0.7931 Z-0.2152	N950 X0.0845 Z-0.0066	N1668 X-1.0179 Z-0.1894
N234 X0.8719 Z-0.2314	N951 X0.1238 Z-0.0099	N1669 Y0.3091
N235 X0.9506 Z-0.2499	N952 X0.1435 Z-0.012	N1670 X-0.9982 Z-0.184
N236 X1.0293 Z-0.2734	N953 X0.2026 Z-0.0209	N1671 X-0.9785 Z-0.1794
N237 X1.0711 Z-0.2904	N954 X0.2223 Z-0.0244	N1672 X-0.9195 Z-0.1676
N238 X1.085 Z-0.2972	N955 X0.2419 Z-0.0289	N1673 X-0.8604 Z-0.1578
N239 Y-0.3808	N956 X0.2616 Z-0.0338	N1674 X-0.8014 Z-0.1462
N240 X1.0751 Z-0.2922	N957 X0.2813 Z-0.0396	N1675 X-0.7423 Z-0.1289
N241 X1.0456 Z-0.2799	N958 X0.301 Z-0.0457	N1676 X-0.7029 Z-0.1165
N242 X1.0259 Z-0.2723	N959 X0.3601 Z-0.0664	N1677 X-0.6242 Z-0.0936

N243 X0.9669 Z-0.2544	N960 X0.4191 Z-0.0903	N1678 X-0.5455 Z-0.0742
N244 X0.9275 Z-0.2444	N961 X0.4388 Z-0.0989	N1679 X-0.4667 Z-0.0571
N245 X0.8881 Z-0.2348	N962 X0.4978 Z-0.1284	N1680 X-0.388 Z-0.0418
N246 X0.8487 Z-0.2265	N963 X0.5175 Z-0.1401	N1681 X-0.3092 Z-0.0276
N247 X0.77 Z-0.2107	N964 X0.5569 Z-0.1639	N1682 X-0.2305 Z-0.0145
N248 X0.6913 Z-0.1973	N965 X0.5981 Z-0.1908	N1683 X-0.1518 Z-0.0044
N249 X0.6716 Z-0.1948	N966 X0.6562 Z-0.1934	N1684 X-0.073 Z-0.0001
N250 X0.6519 Z-0.193	N967 X0.6853 Z-0.1963	N1685 X0.0057 Z-0.0017
N251 X0.6322 Z-0.192	N968 X0.7538 Z-0.2076	N1686 X0.0845 Z-0.0066
N252 X0.6125 Z-0.1917	N969 X0.7931 Z-0.2152	N1687 X0.1238 Z-0.0099
N253 X0.5978 Z-0.1907	N970 X0.8719 Z-0.2314	N1688 X0.1435 Z-0.012
N254 X0.5621 Z-0.167	N971 X0.9506 Z-0.2499	N1689 X0.2026 Z-0.0209
N255 X0.5086 Z-0.1346	N972 X1.0293 Z-0.2734	N1690 X0.2223 Z-0.0244
N256 X0.4996 Z-0.1294	N973 X1.0711 Z-0.2904	N1691 X0.2419 Z-0.0289
N257 X0.4354 Z-0.0972	N974 X1.085 Z-0.2972	N1692 X0.2616 Z-0.0338
N258 X0.4157 Z-0.0889	N975 Y-0.0247	N1693 X0.2813 Z-0.0396
N259 X0.3763 Z-0.0729	N976 X1.0751 Z-0.2922	N1694 X0.301 Z-0.0457
N260 X0.3566 Z-0.0652	N977 X1.0456 Z-0.2799	N1695 X0.3601 Z-0.0664
N261 X0.2976 Z-0.0445	N978 X1.0259 Z-0.2723	N1696 X0.4191 Z-0.0903
N262 X0.2582 Z-0.0328	N979 X0.9669 Z-0.2544	N1697 X0.4388 Z-0.0989
N263 X0.2188 Z-0.0236	N980 X0.9275 Z-0.2444	N1698 X0.4978 Z-0.1284
N264 X0.1401 Z-0.0115	N981 X0.8881 Z-0.2348	N1699 X0.5175 Z-0.1401
N265 X0.0613 Z-0.0049	N982 X0.8487 Z-0.2265	N1700 X0.5569 Z-0.1639
N266 X0.0023 Z-0.0015	N983 X0.77 Z-0.2107	N1701 X0.5981 Z-0.1908
N267 X-0.0568 Z-0.0003	N984 X0.6913 Z-0.1973	N1702 X0.6562 Z-0.1934
N268 X-0.0765 Z-0.0002	N985 X0.6716 Z-0.1948	N1703 X0.6853 Z-0.1963
N269 X-0.1355 Z-0.0034	N986 X0.6519 Z-0.193	N1704 X0.7538 Z-0.2076
N270 X-0.1552 Z-0.0048	N987 X0.6322 Z-0.192	N1705 X0.7931 Z-0.2152
N271 X-0.2143 Z-0.0123	N988 X0.6125 Z-0.1917	N1706 X0.8719 Z-0.2314
N272 X-0.2536 Z-0.0183	N989 X0.5978 Z-0.1907	N1707 X0.9506 Z-0.2499
N273 X-0.3324 Z-0.0317	N990 X0.5621 Z-0.167	N1708 X1.0293 Z-0.2734
N274 X-0.4111 Z-0.0461	N991 X0.5086 Z-0.1346	N1709 X1.0711 Z-0.2904
N275 X-0.4898 Z-0.0619	N992 X0.4996 Z-0.1294	N1710 X1.085 Z-0.2972
N276 X-0.5686 Z-0.0796	N993 X0.4354 Z-0.0972	N1711 Y0.3314
N277 X-0.608 Z-0.0895	N994 X0.4157 Z-0.0889	N1712 X1.0751 Z-0.2922
N278 X-0.6473 Z-0.1001	N995 X0.3763 Z-0.0729	N1713 X1.0456 Z-0.2799
N279 X-0.6867 Z-0.1114	N996 X0.3566 Z-0.0652	N1714 X1.0259 Z-0.2723
N280 X-0.7261 Z-0.1238	N997 X0.2976 Z-0.0445	N1715 X0.9669 Z-0.2544
N281 X-0.7654 Z-0.1358	N998 X0.2582 Z-0.0328	N1716 X0.9275 Z-0.2444
N282 X-0.7851 Z-0.1415	N999 X0.2188 Z-0.0236	N1717 X0.8881 Z-0.2348
N283 X-0.8048 Z-0.1469	N1000 X0.1401 Z-0.0115	N1718 X0.8487 Z-0.2265
N284 X-0.8442 Z-0.1547	N1001 X0.0613 Z-0.0049	N1719 X0.77 Z-0.2107
N285 X-0.8835 Z-0.1616	N1002 X0.0023 Z-0.0015	N1720 X0.6913 Z-0.1973
N286 X-0.9229 Z-0.1682	N1003 X-0.0568 Z-0.0003	N1721 X0.6716 Z-0.1948
N287 X-0.9901 Z-0.1819	N1004 X-0.0765 Z-0.0002	N1722 X0.6519 Z-0.193
N288 X-1.0179 Z-0.1894	N1005 X-0.1355 Z-0.0034	N1723 X0.6322 Z-0.192
N289 Y-0.3586	N1006 X-0.1552 Z-0.0048	N1724 X0.6125 Z-0.1917
N290 X-0.9982 Z-0.184	N1007 X-0.2143 Z-0.0123	N1725 X0.5978 Z-0.1907
N291 X-0.9785 Z-0.1794	N1008 X-0.2536 Z-0.0183	N1726 X0.5621 Z-0.167
N292 X-0.9195 Z-0.1676	N1009 X-0.3324 Z-0.0317	N1727 X0.5086 Z-0.1346

N293 X-0.8604 Z-0.1578	N1010 X-0.4111 Z-0.0461	N1728 X0.4996 Z-0.1294
N294 X-0.8014 Z-0.1462	N1011 X-0.4898 Z-0.0619	N1729 X0.4354 Z-0.0972
N295 X-0.7423 Z-0.1289	N1012 X-0.5686 Z-0.0796	N1730 X0.4157 Z-0.0889
N296 X-0.7029 Z-0.1165	N1013 X-0.608 Z-0.0895	N1731 X0.3763 Z-0.0729
N297 X-0.6242 Z-0.0936	N1014 X-0.6473 Z-0.1001	N1732 X0.3566 Z-0.0652
N298 X-0.5455 Z-0.0742	N1015 X-0.6867 Z-0.1114	N1733 X0.2976 Z-0.0445
N299 X-0.4667 Z-0.0571	N1016 X-0.7261 Z-0.1238	N1734 X0.2582 Z-0.0328
N300 X-0.388 Z-0.0418	N1017 X-0.7654 Z-0.1358	N1735 X0.2188 Z-0.0236
N301 X-0.3092 Z-0.0276	N1018 X-0.7851 Z-0.1415	N1736 X0.1401 Z-0.0115
N302 X-0.2305 Z-0.0145	N1019 X-0.8048 Z-0.1469	N1737 X0.0613 Z-0.0049
N303 X-0.1518 Z-0.0044	N1020 X-0.8442 Z-0.1547	N1738 X0.0023 Z-0.0015
N304 X-0.073 Z-0.0001	N1021 X-0.8835 Z-0.1616	N1739 X-0.0568 Z-0.0003
N305 X0.0057 Z-0.0017	N1022 X-0.9229 Z-0.1682	N1740 X-0.0765 Z-0.0002
N306 X0.0845 Z-0.0066	N1023 X-0.9901 Z-0.1819	N1741 X-0.1355 Z-0.0034
N307 X0.1238 Z-0.0099	N1024 X-1.0179 Z-0.1894	N1742 X-0.1552 Z-0.0048
N308 X0.1435 Z-0.012	N1025 Y-0.0025	N1743 X-0.2143 Z-0.0123
N309 X0.2026 Z-0.0209	N1026 X-0.9982 Z-0.184	N1744 X-0.2536 Z-0.0183
N310 X0.2223 Z-0.0244	N1027 X-0.9785 Z-0.1794	N1745 X-0.3324 Z-0.0317
N311 X0.2419 Z-0.0289	N1028 X-0.9195 Z-0.1676	N1746 X-0.4111 Z-0.0461
N312 X0.2616 Z-0.0338	N1029 X-0.8604 Z-0.1578	N1747 X-0.4898 Z-0.0619
N313 X0.2813 Z-0.0396	N1030 X-0.8014 Z-0.1462	N1748 X-0.5686 Z-0.0796
N314 X0.301 Z-0.0457	N1031 X-0.7423 Z-0.1289	N1749 X-0.608 Z-0.0895
N315 X0.3601 Z-0.0664	N1032 X-0.7029 Z-0.1165	N1750 X-0.6473 Z-0.1001
N316 X0.4191 Z-0.0903	N1033 X-0.6242 Z-0.0936	N1751 X-0.6867 Z-0.1114
N317 X0.4388 Z-0.0989	N1034 X-0.5455 Z-0.0742	N1752 X-0.7261 Z-0.1238
N318 X0.4978 Z-0.1284	N1035 X-0.4667 Z-0.0571	N1753 X-0.7654 Z-0.1358
N319 X0.5175 Z-0.1401	N1036 X-0.388 Z-0.0418	N1754 X-0.7851 Z-0.1415
N320 X0.5569 Z-0.1639	N1037 X-0.3092 Z-0.0276	N1755 X-0.8048 Z-0.1469
N321 X0.5981 Z-0.1908	N1038 X-0.2305 Z-0.0145	N1756 X-0.8442 Z-0.1547
N322 X0.6562 Z-0.1934	N1039 X-0.1518 Z-0.0044	N1757 X-0.8835 Z-0.1616
N323 X0.6853 Z-0.1963	N1040 X-0.073 Z-0.0001	N1758 X-0.9229 Z-0.1682
N324 X0.7538 Z-0.2076	N1041 X0.0057 Z-0.0017	N1759 X-0.9901 Z-0.1819
N325 X0.7931 Z-0.2152	N1042 X0.0845 Z-0.0066	N1760 X-1.0179 Z-0.1894
N326 X0.8719 Z-0.2314	N1043 X0.1238 Z-0.0099	N1761 Y0.3536
N327 X0.9506 Z-0.2499	N1044 X0.1435 Z-0.012	N1762 X-0.9982 Z-0.184
N328 X1.0293 Z-0.2734	N1045 X0.2026 Z-0.0209	N1763 X-0.9785 Z-0.1794
N329 X1.0711 Z-0.2904	N1046 X0.2223 Z-0.0244	N1764 X-0.9195 Z-0.1676
N330 X1.085 Z-0.2972	N1047 X0.2419 Z-0.0289	N1765 X-0.8604 Z-0.1578
N331 Y-0.3363	N1048 X0.2616 Z-0.0338	N1766 X-0.8014 Z-0.1462
N332 X1.0751 Z-0.2922	N1049 X0.2813 Z-0.0396	N1767 X-0.7423 Z-0.1289
N333 X1.0456 Z-0.2799	N1050 X0.301 Z-0.0457	N1768 X-0.7029 Z-0.1165
N334 X1.0259 Z-0.2723	N1051 X0.3601 Z-0.0664	N1769 X-0.6242 Z-0.0936
N335 X0.9669 Z-0.2544	N1052 X0.4191 Z-0.0903	N1770 X-0.5455 Z-0.0742
N336 X0.9275 Z-0.2444	N1053 X0.4388 Z-0.0989	N1771 X-0.4667 Z-0.0571
N337 X0.8881 Z-0.2348	N1054 X0.4978 Z-0.1284	N1772 X-0.388 Z-0.0418
N338 X0.8487 Z-0.2265	N1055 X0.5175 Z-0.1401	N1773 X-0.3092 Z-0.0276
N339 X0.77 Z-0.2107	N1056 X0.5569 Z-0.1639	N1774 X-0.2305 Z-0.0145
N340 X0.6913 Z-0.1973	N1057 X0.5981 Z-0.1908	N1775 X-0.1518 Z-0.0044
N341 X0.6716 Z-0.1948	N1058 X0.6562 Z-0.1934	N1776 X-0.073 Z-0.0001
N342 X0.6519 Z-0.193	N1059 X0.6853 Z-0.1963	N1777 X0.0057 Z-0.0017

N343 X0.6322 Z-0.192	N1060 X0.7538 Z-0.2076	N1778 X0.0845 Z-0.0066
N344 X0.6125 Z-0.1917	N1061 X0.7931 Z-0.2152	N1779 X0.1238 Z-0.0099
N345 X0.5978 Z-0.1907	N1062 X0.8719 Z-0.2314	N1780 X0.1435 Z-0.012
N346 X0.5621 Z-0.167	N1063 X0.9506 Z-0.2499	N1781 X0.2026 Z-0.0209
N347 X0.5086 Z-0.1346	N1064 X1.0293 Z-0.2734	N1782 X0.2223 Z-0.0244
N348 X0.4996 Z-0.1294	N1065 X1.0711 Z-0.2904	N1783 X0.2419 Z-0.0289
N349 X0.4354 Z-0.0972	N1066 X1.085 Z-0.2972	N1784 X0.2616 Z-0.0338
N350 X0.4157 Z-0.0889	N1067 Y0.0198	N1785 X0.2813 Z-0.0396
N351 X0.3763 Z-0.0729	N1068 X1.0751 Z-0.2922	N1786 X0.301 Z-0.0457
N352 X0.3566 Z-0.0652	N1069 X1.0456 Z-0.2799	N1787 X0.3601 Z-0.0664
N353 X0.2976 Z-0.0445	N1070 X1.0259 Z-0.2723	N1788 X0.4191 Z-0.0903
N354 X0.2582 Z-0.0328	N1071 X0.9669 Z-0.2544	N1789 X0.4388 Z-0.0989
N355 X0.2188 Z-0.0236	N1072 X0.9275 Z-0.2444	N1790 X0.4978 Z-0.1284
N356 X0.1401 Z-0.0115	N1073 X0.8881 Z-0.2348	N1791 X0.5175 Z-0.1401
N357 X0.0613 Z-0.0049	N1074 X0.8487 Z-0.2265	N1792 X0.5569 Z-0.1639
N358 X0.0023 Z-0.0015	N1075 X0.77 Z-0.2107	N1793 X0.5981 Z-0.1908
N359 X-0.0568 Z-0.0003	N1076 X0.6913 Z-0.1973	N1794 X0.6562 Z-0.1934
N360 X-0.0765 Z-0.0002	N1077 X0.6716 Z-0.1948	N1795 X0.6853 Z-0.1963
N361 X-0.1355 Z-0.0034	N1078 X0.6519 Z-0.193	N1796 X0.7538 Z-0.2076
N362 X-0.1552 Z-0.0048	N1079 X0.6322 Z-0.192	N1797 X0.7931 Z-0.2152
N363 X-0.2143 Z-0.0123	N1080 X0.6125 Z-0.1917	N1798 X0.8719 Z-0.2314
N364 X-0.2536 Z-0.0183	N1081 X0.5978 Z-0.1907	N1799 X0.9506 Z-0.2499
N365 X-0.3324 Z-0.0317	N1082 X0.5621 Z-0.167	N1800 X1.0293 Z-0.2734
N366 X-0.4111 Z-0.0461	N1083 X0.5086 Z-0.1346	N1801 X1.0711 Z-0.2904
N367 X-0.4898 Z-0.0619	N1084 X0.4996 Z-0.1294	N1802 X1.085 Z-0.2972
N368 X-0.5686 Z-0.0796	N1085 X0.4354 Z-0.0972	N1803 Y0.3759
N369 X-0.608 Z-0.0895	N1086 X0.4157 Z-0.0889	N1804 X1.0751 Z-0.2922
N370 X-0.6473 Z-0.1001	N1087 X0.3763 Z-0.0729	N1805 X1.0456 Z-0.2799
N371 X-0.6867 Z-0.1114	N1088 X0.3566 Z-0.0652	N1806 X1.0259 Z-0.2723
N372 X-0.7261 Z-0.1238	N1089 X0.2976 Z-0.0445	N1807 X0.9669 Z-0.2544
N373 X-0.7654 Z-0.1358	N1090 X0.2582 Z-0.0328	N1808 X0.9275 Z-0.2444
N374 X-0.7851 Z-0.1415	N1091 X0.2188 Z-0.0236	N1809 X0.8881 Z-0.2348
N375 X-0.8048 Z-0.1469	N1092 X0.1401 Z-0.0115	N1810 X0.8487 Z-0.2265
N376 X-0.8442 Z-0.1547	N1093 X0.0613 Z-0.0049	N1811 X0.77 Z-0.2107
N377 X-0.8835 Z-0.1616	N1094 X0.0023 Z-0.0015	N1812 X0.6913 Z-0.1973
N378 X-0.9229 Z-0.1682	N1095 X-0.0568 Z-0.0003	N1813 X0.6716 Z-0.1948
N379 X-0.9901 Z-0.1819	N1096 X-0.0765 Z-0.0002	N1814 X0.6519 Z-0.193
N380 X-1.0179 Z-0.1894	N1097 X-0.1355 Z-0.0034	N1815 X0.6322 Z-0.192
N381 Y-0.3141	N1098 X-0.1552 Z-0.0048	N1816 X0.6125 Z-0.1917
N382 X-0.9982 Z-0.184	N1099 X-0.2143 Z-0.0123	N1817 X0.5978 Z-0.1907
N383 X-0.9785 Z-0.1794	N1100 X-0.2536 Z-0.0183	N1818 X0.5621 Z-0.167
N384 X-0.9195 Z-0.1676	N1101 X-0.3324 Z-0.0317	N1819 X0.5086 Z-0.1346
N385 X-0.8604 Z-0.1578	N1102 X-0.4111 Z-0.0461	N1820 X0.4996 Z-0.1294
N386 X-0.8014 Z-0.1462	N1103 X-0.4898 Z-0.0619	N1821 X0.4354 Z-0.0972
N387 X-0.7423 Z-0.1289	N1104 X-0.5686 Z-0.0796	N1822 X0.4157 Z-0.0889
N388 X-0.7029 Z-0.1165	N1105 X-0.608 Z-0.0895	N1823 X0.3763 Z-0.0729
N389 X-0.6242 Z-0.0936	N1106 X-0.6473 Z-0.1001	N1824 X0.3566 Z-0.0652
N390 X-0.5455 Z-0.0742	N1107 X-0.6867 Z-0.1114	N1825 X0.2976 Z-0.0445
N391 X-0.4667 Z-0.0571	N1108 X-0.7261 Z-0.1238	N1826 X0.2582 Z-0.0328
N392 X-0.388 Z-0.0418	N1109 X-0.7654 Z-0.1358	N1827 X0.2188 Z-0.0236

N393 X-0.3092 Z-0.0276	N1110 X-0.7851 Z-0.1415	N1828 X0.1401 Z-0.0115
N394 X-0.2305 Z-0.0145	N1111 X-0.8048 Z-0.1469	N1829 X0.0613 Z-0.0049
N395 X-0.1518 Z-0.0044	N1112 X-0.8442 Z-0.1547	N1830 X0.0023 Z-0.0015
N396 X-0.073 Z-0.0001	N1113 X-0.8835 Z-0.1616	N1831 X-0.0568 Z-0.0003
N397 X0.0057 Z-0.0017	N1114 X-0.9229 Z-0.1682	N1832 X-0.0765 Z-0.0002
N398 X0.0845 Z-0.0066	N1115 X-0.9901 Z-0.1819	N1833 X-0.1355 Z-0.0034
N399 X0.1238 Z-0.0099	N1116 X-1.0179 Z-0.1894	N1834 X-0.1552 Z-0.0048
N400 X0.1435 Z-0.012	N1117 Y0.042	N1835 X-0.2143 Z-0.0123
N401 X0.2026 Z-0.0209	N1118 X-0.9982 Z-0.184	N1836 X-0.2536 Z-0.0183
N402 X0.2223 Z-0.0244	N1119 X-0.9785 Z-0.1794	N1837 X-0.3324 Z-0.0317
N403 X0.2419 Z-0.0289	N1120 X-0.9195 Z-0.1676	N1838 X-0.4111 Z-0.0461
N404 X0.2616 Z-0.0338	N1121 X-0.8604 Z-0.1578	N1839 X-0.4898 Z-0.0619
N405 X0.2813 Z-0.0396	N1122 X-0.8014 Z-0.1462	N1840 X-0.5686 Z-0.0796
N406 X0.301 Z-0.0457	N1123 X-0.7423 Z-0.1289	N1841 X-0.608 Z-0.0895
N407 X0.3601 Z-0.0664	N1124 X-0.7029 Z-0.1165	N1842 X-0.6473 Z-0.1001
N408 X0.4191 Z-0.0903	N1125 X-0.6242 Z-0.0936	N1843 X-0.6867 Z-0.1114
N409 X0.4388 Z-0.0989	N1126 X-0.5455 Z-0.0742	N1844 X-0.7261 Z-0.1238
N410 X0.4978 Z-0.1284	N1127 X-0.4667 Z-0.0571	N1845 X-0.7654 Z-0.1358
N411 X0.5175 Z-0.1401	N1128 X-0.388 Z-0.0418	N1846 X-0.7851 Z-0.1415
N412 X0.5569 Z-0.1639	N1129 X-0.3092 Z-0.0276	N1847 X-0.8048 Z-0.1469
N413 X0.5981 Z-0.1908	N1130 X-0.2305 Z-0.0145	N1848 X-0.8442 Z-0.1547
N414 X0.6562 Z-0.1934	N1131 X-0.1518 Z-0.0044	N1849 X-0.8835 Z-0.1616
N415 X0.6853 Z-0.1963	N1132 X-0.073 Z-0.0001	N1850 X-0.9229 Z-0.1682
N416 X0.7538 Z-0.2076	N1133 X0.0057 Z-0.0017	N1851 X-0.9901 Z-0.1819
N417 X0.7931 Z-0.2152	N1134 X0.0845 Z-0.0066	N1852 X-1.0179 Z-0.1894
N418 X0.8719 Z-0.2314	N1135 X0.1238 Z-0.0099	N1853 Y0.3982
N419 X0.9506 Z-0.2499	N1136 X0.1435 Z-0.012	N1854 X-0.9982 Z-0.184
N420 X1.0293 Z-0.2734	N1137 X0.2026 Z-0.0209	N1855 X-0.9785 Z-0.1794
N421 X1.0711 Z-0.2904	N1138 X0.2223 Z-0.0244	N1856 X-0.9195 Z-0.1676
N422 X1.085 Z-0.2972	N1139 X0.2419 Z-0.0289	N1857 X-0.8604 Z-0.1578
N423 Y-0.2918	N1140 X0.2616 Z-0.0338	N1858 X-0.8014 Z-0.1462
N424 X1.0751 Z-0.2922	N1141 X0.2813 Z-0.0396	N1859 X-0.7423 Z-0.1289
N425 X1.0456 Z-0.2799	N1142 X0.301 Z-0.0457	N1860 X-0.7029 Z-0.1165
N426 X1.0259 Z-0.2723	N1143 X0.3601 Z-0.0664	N1861 X-0.6242 Z-0.0936
N427 X0.9669 Z-0.2544	N1144 X0.4191 Z-0.0903	N1862 X-0.5455 Z-0.0742
N428 X0.9275 Z-0.2444	N1145 X0.4388 Z-0.0989	N1863 X-0.4667 Z-0.0571
N429 X0.8881 Z-0.2348	N1146 X0.4978 Z-0.1284	N1864 X-0.388 Z-0.0418
N430 X0.8487 Z-0.2265	N1147 X0.5175 Z-0.1401	N1865 X-0.3092 Z-0.0276
N431 X0.77 Z-0.2107	N1148 X0.5569 Z-0.1639	N1866 X-0.2305 Z-0.0145
N432 X0.6913 Z-0.1973	N1149 X0.5981 Z-0.1908	N1867 X-0.1518 Z-0.0044
N433 X0.6716 Z-0.1948	N1150 X0.6562 Z-0.1934	N1868 X-0.073 Z-0.0001
N434 X0.6519 Z-0.193	N1151 X0.6853 Z-0.1963	N1869 X0.0057 Z-0.0017
N435 X0.6322 Z-0.192	N1152 X0.7538 Z-0.2076	N1870 X0.0845 Z-0.0066
N436 X0.6125 Z-0.1917	N1153 X0.7931 Z-0.2152	N1871 X0.1238 Z-0.0099
N437 X0.5978 Z-0.1907	N1154 X0.8719 Z-0.2314	N1872 X0.1435 Z-0.012
N438 X0.5621 Z-0.167	N1155 X0.9506 Z-0.2499	N1873 X0.2026 Z-0.0209
N439 X0.5086 Z-0.1346	N1156 X1.0293 Z-0.2734	N1874 X0.2223 Z-0.0244
N440 X0.4996 Z-0.1294	N1157 X1.0711 Z-0.2904	N1875 X0.2419 Z-0.0289
N441 X0.4354 Z-0.0972	N1158 X1.085 Z-0.2972	N1876 X0.2616 Z-0.0338
N442 X0.4157 Z-0.0889	N1159 Y0.0643	N1877 X0.2813 Z-0.0396

N443 X0.3763 Z-0.0729	N1160 X1.0751 Z-0.2922	N1878 X0.301 Z-0.0457
N444 X0.3566 Z-0.0652	N1161 X1.0456 Z-0.2799	N1879 X0.3601 Z-0.0664
N445 X0.2976 Z-0.0445	N1162 X1.0259 Z-0.2723	N1880 X0.4191 Z-0.0903
N446 X0.2582 Z-0.0328	N1163 X0.9669 Z-0.2544	N1881 X0.4388 Z-0.0989
N447 X0.2188 Z-0.0236	N1164 X0.9275 Z-0.2444	N1882 X0.4978 Z-0.1284
N448 X0.1401 Z-0.0115	N1165 X0.8881 Z-0.2348	N1883 X0.5175 Z-0.1401
N449 X0.0613 Z-0.0049	N1166 X0.8487 Z-0.2265	N1884 X0.5569 Z-0.1639
N450 X0.0023 Z-0.0015	N1167 X0.77 Z-0.2107	N1885 X0.5981 Z-0.1908
N451 X-0.0568 Z-0.0003	N1168 X0.6913 Z-0.1973	N1886 X0.6562 Z-0.1934
N452 X-0.0765 Z-0.0002	N1169 X0.6716 Z-0.1948	N1887 X0.6853 Z-0.1963
N453 X-0.1355 Z-0.0034	N1170 X0.6519 Z-0.193	N1888 X0.7538 Z-0.2076
N454 X-0.1552 Z-0.0048	N1171 X0.6322 Z-0.192	N1889 X0.7931 Z-0.2152
N455 X-0.2143 Z-0.0123	N1172 X0.6125 Z-0.1917	N1890 X0.8719 Z-0.2314
N456 X-0.2536 Z-0.0183	N1173 X0.5978 Z-0.1907	N1891 X0.9506 Z-0.2499
N457 X-0.3324 Z-0.0317	N1174 X0.5621 Z-0.167	N1892 X1.0293 Z-0.2734
N458 X-0.4111 Z-0.0461	N1175 X0.5086 Z-0.1346	N1893 X1.0711 Z-0.2904
N459 X-0.4898 Z-0.0619	N1176 X0.4996 Z-0.1294	N1894 X1.085 Z-0.2972
N460 X-0.5686 Z-0.0796	N1177 X0.4354 Z-0.0972	N1895 Y0.4204
N461 X-0.608 Z-0.0895	N1178 X0.4157 Z-0.0889	N1896 X1.0751 Z-0.2922
N462 X-0.6473 Z-0.1001	N1179 X0.3763 Z-0.0729	N1897 X1.0456 Z-0.2799
N463 X-0.6867 Z-0.1114	N1180 X0.3566 Z-0.0652	N1898 X1.0259 Z-0.2723
N464 X-0.7261 Z-0.1238	N1181 X0.2976 Z-0.0445	N1899 X0.9669 Z-0.2544
N465 X-0.7654 Z-0.1358	N1182 X0.2582 Z-0.0328	N1900 X0.9275 Z-0.2444
N466 X-0.7851 Z-0.1415	N1183 X0.2188 Z-0.0236	N1901 X0.8881 Z-0.2348
N467 X-0.8048 Z-0.1469	N1184 X0.1401 Z-0.0115	N1902 X0.8487 Z-0.2265
N468 X-0.8442 Z-0.1547	N1185 X0.0613 Z-0.0049	N1903 X0.77 Z-0.2107
N469 X-0.8835 Z-0.1616	N1186 X0.0023 Z-0.0015	N1904 X0.6913 Z-0.1973
N470 X-0.9229 Z-0.1682	N1187 X-0.0568 Z-0.0003	N1905 X0.6716 Z-0.1948
N471 X-0.9901 Z-0.1819	N1188 X-0.0765 Z-0.0002	N1906 X0.6519 Z-0.193
N472 X-1.0179 Z-0.1894	N1189 X-0.1355 Z-0.0034	N1907 X0.6322 Z-0.192
N473 Y-0.2696	N1190 X-0.1552 Z-0.0048	N1908 X0.6125 Z-0.1917
N474 X-0.9982 Z-0.184	N1191 X-0.2143 Z-0.0123	N1909 X0.5978 Z-0.1907
N475 X-0.9785 Z-0.1794	N1192 X-0.2536 Z-0.0183	N1910 X0.5621 Z-0.167
N476 X-0.9195 Z-0.1676	N1193 X-0.3324 Z-0.0317	N1911 X0.5086 Z-0.1346
N477 X-0.8604 Z-0.1578	N1194 X-0.4111 Z-0.0461	N1912 X0.4996 Z-0.1294
N478 X-0.8014 Z-0.1462	N1195 X-0.4898 Z-0.0619	N1913 X0.4354 Z-0.0972
N479 X-0.7423 Z-0.1289	N1196 X-0.5686 Z-0.0796	N1914 X0.4157 Z-0.0889
N480 X-0.7029 Z-0.1165	N1197 X-0.608 Z-0.0895	N1915 X0.3763 Z-0.0729
N481 X-0.6242 Z-0.0936	N1198 X-0.6473 Z-0.1001	N1916 X0.3566 Z-0.0652
N482 X-0.5455 Z-0.0742	N1199 X-0.6867 Z-0.1114	N1917 X0.2976 Z-0.0445
N483 X-0.4667 Z-0.0571	N1200 X-0.7261 Z-0.1238	N1918 X0.2582 Z-0.0328
N484 X-0.388 Z-0.0418	N1201 X-0.7654 Z-0.1358	N1919 X0.2188 Z-0.0236
N485 X-0.3092 Z-0.0276	N1202 X-0.7851 Z-0.1415	N1920 X0.1401 Z-0.0115
N486 X-0.2305 Z-0.0145	N1203 X-0.8048 Z-0.1469	N1921 X0.0613 Z-0.0049
N487 X-0.1518 Z-0.0044	N1204 X-0.8442 Z-0.1547	N1922 X0.0023 Z-0.0015
N488 X-0.073 Z-0.0001	N1205 X-0.8835 Z-0.1616	N1923 X-0.0568 Z-0.0003
N489 X0.0057 Z-0.0017	N1206 X-0.9229 Z-0.1682	N1924 X-0.0765 Z-0.0002
N490 X0.0845 Z-0.0066	N1207 X-0.9901 Z-0.1819	N1925 X-0.1355 Z-0.0034
N491 X0.1238 Z-0.0099	N1208 X-1.0179 Z-0.1894	N1926 X-0.1552 Z-0.0048
N492 X0.1435 Z-0.012	N1209 Y0.0866	N1927 X-0.2143 Z-0.0123

N493 X0.2026 Z-0.0209	N1210 X-0.9982 Z-0.184	N1928 X-0.2536 Z-0.0183
N494 X0.2223 Z-0.0244	N1211 X-0.9785 Z-0.1794	N1929 X-0.3324 Z-0.0317
N495 X0.2419 Z-0.0289	N1212 X-0.9195 Z-0.1676	N1930 X-0.4111 Z-0.0461
N496 X0.2616 Z-0.0338	N1213 X-0.8604 Z-0.1578	N1931 X-0.4898 Z-0.0619
N497 X0.2813 Z-0.0396	N1214 X-0.8014 Z-0.1462	N1932 X-0.5686 Z-0.0796
N498 X0.301 Z-0.0457	N1215 X-0.7423 Z-0.1289	N1933 X-0.608 Z-0.0895
N499 X0.3601 Z-0.0664	N1216 X-0.7029 Z-0.1165	N1934 X-0.6473 Z-0.1001
N500 X0.4191 Z-0.0903	N1217 X-0.6242 Z-0.0936	N1935 X-0.6867 Z-0.1114
N501 X0.4388 Z-0.0989	N1218 X-0.5455 Z-0.0742	N1936 X-0.7261 Z-0.1238
N502 X0.4978 Z-0.1284	N1219 X-0.4667 Z-0.0571	N1937 X-0.7654 Z-0.1358
N503 X0.5175 Z-0.1401	N1220 X-0.388 Z-0.0418	N1938 X-0.7851 Z-0.1415
N504 X0.5569 Z-0.1639	N1221 X-0.3092 Z-0.0276	N1939 X-0.8048 Z-0.1469
N505 X0.5981 Z-0.1908	N1222 X-0.2305 Z-0.0145	N1940 X-0.8442 Z-0.1547
N506 X0.6562 Z-0.1934	N1223 X-0.1518 Z-0.0044	N1941 X-0.8835 Z-0.1616
N507 X0.6853 Z-0.1963	N1224 X-0.073 Z-0.0001	N1942 X-0.9229 Z-0.1682
N508 X0.7538 Z-0.2076	N1225 X0.0057 Z-0.0017	N1943 X-0.9901 Z-0.1819
N509 X0.7931 Z-0.2152	N1226 X0.0845 Z-0.0066	N1944 X-1.0179 Z-0.1894
N510 X0.8719 Z-0.2314	N1227 X0.1238 Z-0.0099	N1945 Y0.4427
N511 X0.9506 Z-0.2499	N1228 X0.1435 Z-0.012	N1946 X-0.9982 Z-0.184
N512 X1.0293 Z-0.2734	N1229 X0.2026 Z-0.0209	N1947 X-0.9785 Z-0.1794
N513 X1.0711 Z-0.2904	N1230 X0.2223 Z-0.0244	N1948 X-0.9195 Z-0.1676
N514 X1.085 Z-0.2972	N1231 X0.2419 Z-0.0289	N1949 X-0.8604 Z-0.1578
N515 Y-0.2473	N1232 X0.2616 Z-0.0338	N1950 X-0.8014 Z-0.1462
N516 X1.0751 Z-0.2922	N1233 X0.2813 Z-0.0396	N1951 X-0.7423 Z-0.1289
N517 X1.0456 Z-0.2799	N1234 X0.301 Z-0.0457	N1952 X-0.7029 Z-0.1165
N518 X1.0259 Z-0.2723	N1235 X0.3601 Z-0.0664	N1953 X-0.6242 Z-0.0936
N519 X0.9669 Z-0.2544	N1236 X0.4191 Z-0.0903	N1954 X-0.5455 Z-0.0742
N520 X0.9275 Z-0.2444	N1237 X0.4388 Z-0.0989	N1955 X-0.4667 Z-0.0571
N521 X0.8881 Z-0.2348	N1238 X0.4978 Z-0.1284	N1956 X-0.388 Z-0.0418
N522 X0.8487 Z-0.2265	N1239 X0.5175 Z-0.1401	N1957 X-0.3092 Z-0.0276
N523 X0.77 Z-0.2107	N1240 X0.5569 Z-0.1639	N1958 X-0.2305 Z-0.0145
N524 X0.6913 Z-0.1973	N1241 X0.5981 Z-0.1908	N1959 X-0.1518 Z-0.0044
N525 X0.6716 Z-0.1948	N1242 X0.6562 Z-0.1934	N1960 X-0.073 Z-0.0001
N526 X0.6519 Z-0.193	N1243 X0.6853 Z-0.1963	N1961 X0.0057 Z-0.0017
N527 X0.6322 Z-0.192	N1244 X0.7538 Z-0.2076	N1962 X0.0845 Z-0.0066
N528 X0.6125 Z-0.1917	N1245 X0.7931 Z-0.2152	N1963 X0.1238 Z-0.0099
N529 X0.5978 Z-0.1907	N1246 X0.8719 Z-0.2314	N1964 X0.1435 Z-0.012
N530 X0.5621 Z-0.167	N1247 X0.9506 Z-0.2499	N1965 X0.2026 Z-0.0209
N531 X0.5086 Z-0.1346	N1248 X1.0293 Z-0.2734	N1966 X0.2223 Z-0.0244
N532 X0.4996 Z-0.1294	N1249 X1.0711 Z-0.2904	N1967 X0.2419 Z-0.0289
N533 X0.4354 Z-0.0972	N1250 X1.085 Z-0.2972	N1968 X0.2616 Z-0.0338
N534 X0.4157 Z-0.0889	N1251 Y0.1088	N1969 X0.2813 Z-0.0396
N535 X0.3763 Z-0.0729	N1252 X1.0751 Z-0.2922	N1970 X0.301 Z-0.0457
N536 X0.3566 Z-0.0652	N1253 X1.0456 Z-0.2799	N1971 X0.3601 Z-0.0664
N537 X0.2976 Z-0.0445	N1254 X1.0259 Z-0.2723	N1972 X0.4191 Z-0.0903
N538 X0.2582 Z-0.0328	N1255 X0.9669 Z-0.2544	N1973 X0.4388 Z-0.0989
N539 X0.2188 Z-0.0236	N1256 X0.9275 Z-0.2444	N1974 X0.4978 Z-0.1284
N540 X0.1401 Z-0.0115	N1257 X0.8881 Z-0.2348	N1975 X0.5175 Z-0.1401
N541 X0.0613 Z-0.0049	N1258 X0.8487 Z-0.2265	N1976 X0.5569 Z-0.1639
N542 X0.0023 Z-0.0015	N1259 X0.77 Z-0.2107	N1977 X0.5981 Z-0.1908

N543 X-0.0568 Z-0.0003	N1260 X0.6913 Z-0.1973	N1978 X0.6562 Z-0.1934
N544 X-0.0765 Z-0.0002	N1261 X0.6716 Z-0.1948	N1979 X0.6853 Z-0.1963
N545 X-0.1355 Z-0.0034	N1262 X0.6519 Z-0.193	N1980 X0.7538 Z-0.2076
N546 X-0.1552 Z-0.0048	N1263 X0.6322 Z-0.192	N1981 X0.7931 Z-0.2152
N547 X-0.2143 Z-0.0123	N1264 X0.6125 Z-0.1917	N1982 X0.8719 Z-0.2314
N548 X-0.2536 Z-0.0183	N1265 X0.5978 Z-0.1907	N1983 X0.9506 Z-0.2499
N549 X-0.3324 Z-0.0317	N1266 X0.5621 Z-0.167	N1984 X1.0293 Z-0.2734
N550 X-0.4111 Z-0.0461	N1267 X0.5086 Z-0.1346	N1985 X1.0711 Z-0.2904
N551 X-0.4898 Z-0.0619	N1268 X0.4996 Z-0.1294	N1986 X1.085 Z-0.2972
N552 X-0.5686 Z-0.0796	N1269 X0.4354 Z-0.0972	N1987 Y0.4649
N553 X-0.608 Z-0.0895	N1270 X0.4157 Z-0.0889	N1988 X1.0751 Z-0.2922
N554 X-0.6473 Z-0.1001	N1271 X0.3763 Z-0.0729	N1989 X1.0456 Z-0.2799
N555 X-0.6867 Z-0.1114	N1272 X0.3566 Z-0.0652	N1990 X1.0259 Z-0.2723
N556 X-0.7261 Z-0.1238	N1273 X0.2976 Z-0.0445	N1991 X0.9669 Z-0.2544
N557 X-0.7654 Z-0.1358	N1274 X0.2582 Z-0.0328	N1992 X0.9275 Z-0.2444
N558 X-0.7851 Z-0.1415	N1275 X0.2188 Z-0.0236	N1993 X0.8881 Z-0.2348
N559 X-0.8048 Z-0.1469	N1276 X0.1401 Z-0.0115	N1994 X0.8487 Z-0.2265
N560 X-0.8442 Z-0.1547	N1277 X0.0613 Z-0.0049	N1995 X0.77 Z-0.2107
N561 X-0.8835 Z-0.1616	N1278 X0.0023 Z-0.0015	N1996 X0.6913 Z-0.1973
N562 X-0.9229 Z-0.1682	N1279 X-0.0568 Z-0.0003	N1997 X0.6716 Z-0.1948
N563 X-0.9901 Z-0.1819	N1280 X-0.0765 Z-0.0002	N1998 X0.6519 Z-0.193
N564 X-1.0179 Z-0.1894	N1281 X-0.1355 Z-0.0034	N1999 X0.6322 Z-0.192
N565 Y-0.225	N1282 X-0.1552 Z-0.0048	N2000 X0.6125 Z-0.1917
N566 X-0.9982 Z-0.184	N1283 X-0.2143 Z-0.0123	N2001 X0.5978 Z-0.1907
N567 X-0.9785 Z-0.1794	N1284 X-0.2536 Z-0.0183	N2002 X0.5621 Z-0.167
N568 X-0.9195 Z-0.1676	N1285 X-0.3324 Z-0.0317	N2003 X0.5086 Z-0.1346
N569 X-0.8604 Z-0.1578	N1286 X-0.4111 Z-0.0461	N2004 X0.4996 Z-0.1294
N570 X-0.8014 Z-0.1462	N1287 X-0.4898 Z-0.0619	N2005 X0.4354 Z-0.0972
N571 X-0.7423 Z-0.1289	N1288 X-0.5686 Z-0.0796	N2006 X0.4157 Z-0.0889
N572 X-0.7029 Z-0.1165	N1289 X-0.608 Z-0.0895	N2007 X0.3763 Z-0.0729
N573 X-0.6242 Z-0.0936	N1290 X-0.6473 Z-0.1001	N2008 X0.3566 Z-0.0652
N574 X-0.5455 Z-0.0742	N1291 X-0.6867 Z-0.1114	N2009 X0.2976 Z-0.0445
N575 X-0.4667 Z-0.0571	N1292 X-0.7261 Z-0.1238	N2010 X0.2582 Z-0.0328
N576 X-0.388 Z-0.0418	N1293 X-0.7654 Z-0.1358	N2011 X0.2188 Z-0.0236
N577 X-0.3092 Z-0.0276	N1294 X-0.7851 Z-0.1415	N2012 X0.1401 Z-0.0115
N578 X-0.2305 Z-0.0145	N1295 X-0.8048 Z-0.1469	N2013 X0.0613 Z-0.0049
N579 X-0.1518 Z-0.0044	N1296 X-0.8442 Z-0.1547	N2014 X0.0023 Z-0.0015
N580 X-0.073 Z-0.0001	N1297 X-0.8835 Z-0.1616	N2015 X-0.0568 Z-0.0003
N581 X0.0057 Z-0.0017	N1298 X-0.9229 Z-0.1682	N2016 X-0.0765 Z-0.0002
N582 X0.0845 Z-0.0066	N1299 X-0.9901 Z-0.1819	N2017 X-0.1355 Z-0.0034
N583 X0.1238 Z-0.0099	N1300 X-1.0179 Z-0.1894	N2018 X-0.1552 Z-0.0048
N584 X0.1435 Z-0.012	N1301 Y0.1311	N2019 X-0.2143 Z-0.0123
N585 X0.2026 Z-0.0209	N1302 X-0.9982 Z-0.184	N2020 X-0.2536 Z-0.0183
N586 X0.2223 Z-0.0244	N1303 X-0.9785 Z-0.1794	N2021 X-0.3324 Z-0.0317
N587 X0.2419 Z-0.0289	N1304 X-0.9195 Z-0.1676	N2022 X-0.4111 Z-0.0461
N588 X0.2616 Z-0.0338	N1305 X-0.8604 Z-0.1578	N2023 X-0.4898 Z-0.0619
N589 X0.2813 Z-0.0396	N1306 X-0.8014 Z-0.1462	N2024 X-0.5686 Z-0.0796
N590 X0.301 Z-0.0457	N1307 X-0.7423 Z-0.1289	N2025 X-0.608 Z-0.0895
N591 X0.3601 Z-0.0664	N1308 X-0.7029 Z-0.1165	N2026 X-0.6473 Z-0.1001
N592 X0.4191 Z-0.0903	N1309 X-0.6242 Z-0.0936	N2027 X-0.6867 Z-0.1114

N593 X0.4388 Z-0.0989	N1310 X-0.5455 Z-0.0742	N2028 X-0.7261 Z-0.1238
N594 X0.4978 Z-0.1284	N1311 X-0.4667 Z-0.0571	N2029 X-0.7654 Z-0.1358
N595 X0.5175 Z-0.1401	N1312 X-0.388 Z-0.0418	N2030 X-0.7851 Z-0.1415
N596 X0.5569 Z-0.1639	N1313 X-0.3092 Z-0.0276	N2031 X-0.8048 Z-0.1469
N597 X0.5981 Z-0.1908	N1314 X-0.2305 Z-0.0145	N2032 X-0.8442 Z-0.1547
N598 X0.6562 Z-0.1934	N1315 X-0.1518 Z-0.0044	N2033 X-0.8835 Z-0.1616
N599 X0.6853 Z-0.1963	N1316 X-0.073 Z-0.0001	N2034 X-0.9229 Z-0.1682
N600 X0.7538 Z-0.2076	N1317 X0.0057 Z-0.0017	N2035 X-0.9901 Z-0.1819
N601 X0.7931 Z-0.2152	N1318 X0.0845 Z-0.0066	N2036 X-1.0179 Z-0.1894
N602 X0.8719 Z-0.2314	N1319 X0.1238 Z-0.0099	N2037 Y0.4816
N603 X0.9506 Z-0.2499	N1320 X0.1435 Z-0.012	N2038 Y0.4872 Z-0.1892
N604 X1.0293 Z-0.2734	N1321 X0.2026 Z-0.0209	N2039 X-0.9982 Z-0.184
N605 X1.0711 Z-0.2904	N1322 X0.2223 Z-0.0244	N2040 X-0.9588 Z-0.175
N606 X1.085 Z-0.2972	N1323 X0.2419 Z-0.0289	N2041 X-0.9195 Z-0.1676
N607 Y-0.2028	N1324 X0.2616 Z-0.0338	N2042 X-0.8801 Z-0.1609
N608 X1.0751 Z-0.2922	N1325 X0.2813 Z-0.0396	N2043 X-0.8309 Z-0.1521
N609 X1.0456 Z-0.2799	N1326 X0.301 Z-0.0457	N2044 X-0.8051 Z-0.1469
N610 X1.0259 Z-0.2723	N1327 X0.3601 Z-0.0664	N2045 X-0.762 Z-0.1348
N611 X0.9669 Z-0.2544	N1328 X0.4191 Z-0.0903	N2046 X-0.7423 Z-0.1289
N612 X0.9275 Z-0.2444	N1329 X0.4388 Z-0.0989	N2047 X-0.7029 Z-0.1165
N613 X0.8881 Z-0.2348	N1330 X0.4978 Z-0.1284	N2048 X-0.6242 Z-0.0936
N614 X0.8487 Z-0.2265	N1331 X0.5175 Z-0.1401	N2049 X-0.5799 Z-0.0824
N615 X0.77 Z-0.2107	N1332 X0.5569 Z-0.1639	N2050 X-0.5455 Z-0.0742
N616 X0.6913 Z-0.1973	N1333 X0.5981 Z-0.1908	N2051 X-0.4667 Z-0.0571
N617 X0.6716 Z-0.1948	N1334 X0.6562 Z-0.1934	N2052 X-0.388 Z-0.0418
N618 X0.6519 Z-0.193	N1335 X0.6853 Z-0.1963	N2053 X-0.3092 Z-0.0276
N619 X0.6322 Z-0.192	N1336 X0.7538 Z-0.2076	N2054 X-0.2305 Z-0.0145
N620 X0.6125 Z-0.1917	N1337 X0.7931 Z-0.2152	N2055 X-0.1911 Z-0.0092
N621 X0.5978 Z-0.1907	N1338 X0.8719 Z-0.2314	N2056 X-0.1518 Z-0.0044
N622 X0.5621 Z-0.167	N1339 X0.9506 Z-0.2499	N2057 X-0.1222 Z-0.0025
N623 X0.5086 Z-0.1346	N1340 X1.0293 Z-0.2734	N2058 X-0.1124 Z-0.0015
N624 X0.4996 Z-0.1294	N1341 X1.0711 Z-0.2904	N2059 X-0.0878 Z-0.0008
N625 X0.4354 Z-0.0972	N1342 X1.085 Z-0.2972	N2060 X-0.073 Z-0.0001
N626 X0.4157 Z-0.0889	N1343 Y0.1533	N2061 X-0.0336 Z-0.0005
N627 X0.3763 Z-0.0729	N1344 X1.0751 Z-0.2922	N2062 X0.0057 Z-0.0017
N628 X0.3566 Z-0.0652	N1345 X1.0456 Z-0.2799	N2063 X0.0648 Z-0.0051
N629 X0.2976 Z-0.0445	N1346 X1.0259 Z-0.2723	N2064 X0.1238 Z-0.0099
N630 X0.2582 Z-0.0328	N1347 X0.9669 Z-0.2544	N2065 X0.1534 Z-0.0131
N631 X0.2188 Z-0.0236	N1348 X0.9275 Z-0.2444	N2066 X0.2075 Z-0.0215
N632 X0.1401 Z-0.0115	N1349 X0.8881 Z-0.2348	N2067 X0.2223 Z-0.0244
N633 X0.0613 Z-0.0049	N1350 X0.8487 Z-0.2265	N2068 X0.2419 Z-0.0289
N634 X0.0023 Z-0.0015	N1351 X0.77 Z-0.2107	N2069 X0.2616 Z-0.0338
N635 X-0.0568 Z-0.0003	N1352 X0.6913 Z-0.1973	N2070 X0.2715 Z-0.0365
N636 X-0.0765 Z-0.0002	N1353 X0.6716 Z-0.1948	N2071 X0.301 Z-0.0457
N637 X-0.1355 Z-0.0034	N1354 X0.6519 Z-0.193	N2072 X0.3305 Z-0.0559
N638 X-0.1552 Z-0.0048	N1355 X0.6322 Z-0.192	N2073 X0.3601 Z-0.0664
N639 X-0.2143 Z-0.0123	N1356 X0.6125 Z-0.1917	N2074 X0.4191 Z-0.0903
N640 X-0.2536 Z-0.0183	N1357 X0.5978 Z-0.1907	N2075 X0.4388 Z-0.0989
N641 X-0.3324 Z-0.0317	N1358 X0.5621 Z-0.167	N2076 X0.488 Z-0.1232
N642 X-0.4111 Z-0.0461	N1359 X0.5086 Z-0.1346	N2077 X0.4978 Z-0.1284

N643 X-0.4898 Z-0.0619	N1360 X0.4996 Z-0.1294	N2078 X0.5471 Z-0.1575
N644 X-0.5686 Z-0.0796	N1361 X0.4354 Z-0.0972	N2079 X0.5975 Z-0.1904
N645 X-0.608 Z-0.0895	N1362 X0.4157 Z-0.0889	N2080 X0.6066 Z-0.1916
N646 X-0.6473 Z-0.1001	N1363 X0.3763 Z-0.0729	N2081 X0.6413 Z-0.1922
N647 X-0.6867 Z-0.1114	N1364 X0.3566 Z-0.0652	N2082 X0.6706 Z-0.1947
N648 X-0.7261 Z-0.1238	N1365 X0.2976 Z-0.0445	N2083 X0.6852 Z-0.1963
N649 X-0.7654 Z-0.1358	N1366 X0.2582 Z-0.0328	N2084 X0.7538 Z-0.2076
N650 X-0.7851 Z-0.1415	N1367 X0.2188 Z-0.0236	N2085 X0.7931 Z-0.2152
N651 X-0.8048 Z-0.1469	N1368 X0.1401 Z-0.0115	N2086 X0.8719 Z-0.2314
N652 X-0.8442 Z-0.1547	N1369 X0.0613 Z-0.0049	N2087 X0.9506 Z-0.2499
N653 X-0.8835 Z-0.1616	N1370 X0.0023 Z-0.0015	N2088 X0.9604 Z-0.2525
N654 X-0.9229 Z-0.1682	N1371 X-0.0568 Z-0.0003	N2089 X1.0097 Z-0.2668
N655 X-0.9901 Z-0.1819	N1372 X-0.0765 Z-0.0002	N2090 X1.0293 Z-0.2734
N656 X-1.0179 Z-0.1894	N1373 X-0.1355 Z-0.0034	N2091 X1.0711 Z-0.2904
N657 Y-0.1805	N1374 X-0.1552 Z-0.0048	N2092 X1.085 Z-0.2972
N658 X-0.9982 Z-0.184	N1375 X-0.2143 Z-0.0123	N2093 Y0.4921
N659 X-0.9785 Z-0.1794	N1376 X-0.2536 Z-0.0183	N2094 X1.0751 Z-0.2922
N660 X-0.9195 Z-0.1676	N1377 X-0.3324 Z-0.0317	N2095 X1.0456 Z-0.2799
N661 X-0.8604 Z-0.1578	N1378 X-0.4111 Z-0.0461	N2096 X1.0259 Z-0.2723
N662 X-0.8014 Z-0.1462	N1379 X-0.4898 Z-0.0619	N2097 X1.0062 Z-0.2657
N663 X-0.7423 Z-0.1289	N1380 X-0.5686 Z-0.0796	N2098 X0.9669 Z-0.2543
N664 X-0.7029 Z-0.1165	N1381 X-0.608 Z-0.0895	N2099 X0.9275 Z-0.2444
N665 X-0.6242 Z-0.0936	N1382 X-0.6473 Z-0.1001	N2100 X0.8881 Z-0.2348
N666 X-0.5455 Z-0.0742	N1383 X-0.6867 Z-0.1114	N2101 X0.8487 Z-0.2263
N667 X-0.4667 Z-0.0571	N1384 X-0.7261 Z-0.1238	N2102 X0.77 Z-0.2107
N668 X-0.388 Z-0.0418	N1385 X-0.7654 Z-0.1358	N2103 X0.6913 Z-0.1973
N669 X-0.3092 Z-0.0276	N1386 X-0.7851 Z-0.1415	N2104 X0.6716 Z-0.1947
N670 X-0.2305 Z-0.0145	N1387 X-0.8048 Z-0.1469	N2105 X0.6519 Z-0.193
N671 X-0.1518 Z-0.0044	N1388 X-0.8442 Z-0.1547	N2106 X0.6322 Z-0.192
N672 X-0.073 Z-0.0001	N1389 X-0.8835 Z-0.1616	N2107 X0.6125 Z-0.1917
N673 X0.0057 Z-0.0017	N1390 X-0.9229 Z-0.1682	N2108 X0.6051 Z-0.1913
N674 X0.0845 Z-0.0066	N1391 X-0.9901 Z-0.1819	N2109 X0.5971 Z-0.1903
N675 X0.1238 Z-0.0099	N1392 X-1.0179 Z-0.1894	N2110 X0.5616 Z-0.1668
N676 X0.1435 Z-0.012	N1393 Y0.1756	N2111 X0.5439 Z-0.1554
N677 X0.2026 Z-0.0209	N1394 X-0.9982 Z-0.184	N2112 X0.4906 Z-0.1245
N678 X0.2223 Z-0.0244	N1395 X-0.9785 Z-0.1794	N2113 X0.4354 Z-0.0972
N679 X0.2419 Z-0.0289	N1396 X-0.9195 Z-0.1676	N2114 X0.4157 Z-0.0889
N680 X0.2616 Z-0.0338	N1397 X-0.8604 Z-0.1578	N2115 X0.3763 Z-0.0729
N681 X0.2813 Z-0.0396	N1398 X-0.8014 Z-0.1462	N2116 X0.3566 Z-0.0652
N682 X0.301 Z-0.0457	N1399 X-0.7423 Z-0.1289	N2117 X0.2976 Z-0.0445
N683 X0.3601 Z-0.0664	N1400 X-0.7029 Z-0.1165	N2118 X0.2582 Z-0.0328
N684 X0.4191 Z-0.0903	N1401 X-0.6242 Z-0.0936	N2119 X0.2188 Z-0.0236
N685 X0.4388 Z-0.0989	N1402 X-0.5455 Z-0.0742	N2120 X0.1795 Z-0.017
N686 X0.4978 Z-0.1284	N1403 X-0.4667 Z-0.0571	N2121 X0.1598 Z-0.0139
N687 X0.5175 Z-0.1401	N1404 X-0.388 Z-0.0418	N2122 X0.1401 Z-0.0115
N688 X0.5569 Z-0.1639	N1405 X-0.3092 Z-0.0276	N2123 X0.0613 Z-0.0049
N689 X0.5981 Z-0.1908	N1406 X-0.2305 Z-0.0145	N2124 X-0.0174 Z-0.0008
N690 X0.6562 Z-0.1934	N1407 X-0.1518 Z-0.0044	N2125 X-0.0765 Z-0.0002
N691 X0.6853 Z-0.1963	N1408 X-0.073 Z-0.0001	N2126 X-0.1158 Z-0.0018
N692 X0.7538 Z-0.2076	N1409 X0.0057 Z-0.0017	N2127 X-0.1552 Z-0.0048

N693 X0.7931 Z-0.2152	N1410 X0.0845 Z-0.0066	N2128 X-0.1749 Z-0.0073
N694 X0.8719 Z-0.2314	N1411 X0.1238 Z-0.0099	N2129 X-0.1946 Z-0.0094
N695 X0.9506 Z-0.2499	N1412 X0.1435 Z-0.012	N2130 X-0.2143 Z-0.0122
N696 X1.0293 Z-0.2734	N1413 X0.2026 Z-0.0209	N2131 X-0.2536 Z-0.0183
N697 X1.0711 Z-0.2904	N1414 X0.2223 Z-0.0244	N2132 X-0.3324 Z-0.0317
N698 X1.085 Z-0.2972	N1415 X0.2419 Z-0.0289	N2133 X-0.4111 Z-0.0461
N699 Y-0.1583	N1416 X0.2616 Z-0.0338	N2134 X-0.4898 Z-0.0619
N700 X1.0751 Z-0.2922	N1417 X0.2813 Z-0.0396	N2135 X-0.5686 Z-0.0796
N701 X1.0456 Z-0.2799	N1418 X0.301 Z-0.0457	N2136 X-0.608 Z-0.0895
N702 X1.0259 Z-0.2723	N1419 X0.3601 Z-0.0664	N2137 X-0.6473 Z-0.1001
N703 X0.9669 Z-0.2544	N1420 X0.4191 Z-0.0903	N2138 X-0.6867 Z-0.1114
N704 X0.9275 Z-0.2444	N1421 X0.4388 Z-0.0989	N2139 X-0.7261 Z-0.1237
N705 X0.8881 Z-0.2348	N1422 X0.4978 Z-0.1284	N2140 X-0.7654 Z-0.1358
N706 X0.8487 Z-0.2265	N1423 X0.5175 Z-0.1401	N2141 X-0.8048 Z-0.1467
N707 X0.77 Z-0.2107	N1424 X0.5569 Z-0.1639	N2142 X-0.8245 Z-0.1508
N708 X0.6913 Z-0.1973	N1425 X0.5981 Z-0.1908	N2143 X-0.8835 Z-0.1614
N709 X0.6716 Z-0.1948	N1426 X0.6562 Z-0.1934	N2144 X-0.9229 Z-0.1682
N710 X0.6519 Z-0.193	N1427 X0.6853 Z-0.1963	N2145 X-0.9623 Z-0.1757
N711 X0.6322 Z-0.192	N1428 X0.7538 Z-0.2076	N2146 X-0.9901 Z-0.1819
N712 X0.6125 Z-0.1917	N1429 X0.7931 Z-0.2152	N2147 X-1.0179 Z-0.1891
N713 X0.5978 Z-0.1907	N1430 X0.8719 Z-0.2314	N2148 Z-0.1655 F0.393701
N714 X0.5621 Z-0.167	N1431 X0.9506 Z-0.2499	N2149 G00 Z0.1574
N715 X0.5086 Z-0.1346	N1432 X1.0293 Z-0.2734	N2150 M30
N716 X0.4996 Z-0.1294	N1433 X1.0711 Z-0.2904	
N717 X0.4354 Z-0.0972	N1434 X1.085 Z-0.2972	
	N1435 Y0.1978	

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Le processus de fabrication des pièces usinées est un processus complexe constitué d'activités numériques et physiques. La commande numérique est au cœur de ce processus, elle fait le lien entre la chaîne numérique allant de la définition de la pièce à fabriquer jusqu'à la création des trajectoires d'usinage et en terminant avec le produit physique aboutissant à l'usinage.

Ce travail nous a permis d'apprendre les étapes de toute une démarche qui a comme problématique la conception d'un outil de forage de formes complexes avec un minimum de côte disponible en utilisant le système de CAO « SolidWorks », ainsi la génération d'un programme G-code à l'aide du logiciel FAO « Rhino Cam » qui se présente comme un défi pour nous puisque cette application est plus utilisée aux USA, chose qui nous a permis d'acquérir de nouvelles connaissances sur ce logiciel qui nous est inconnue avant la réalisation de ce projet .

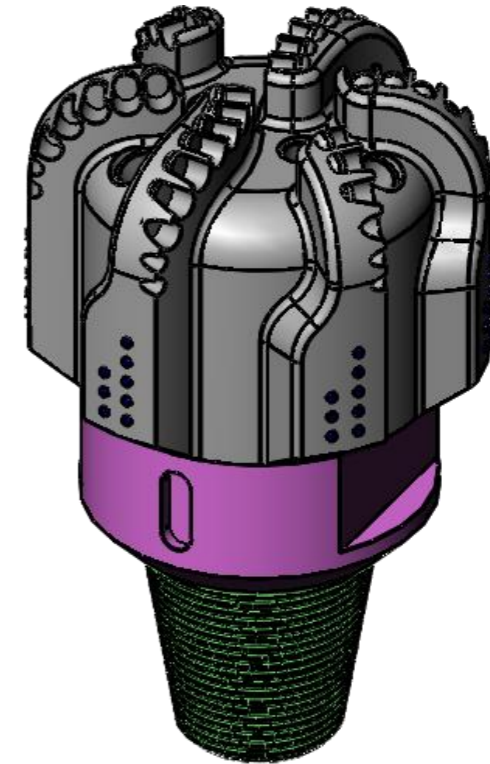
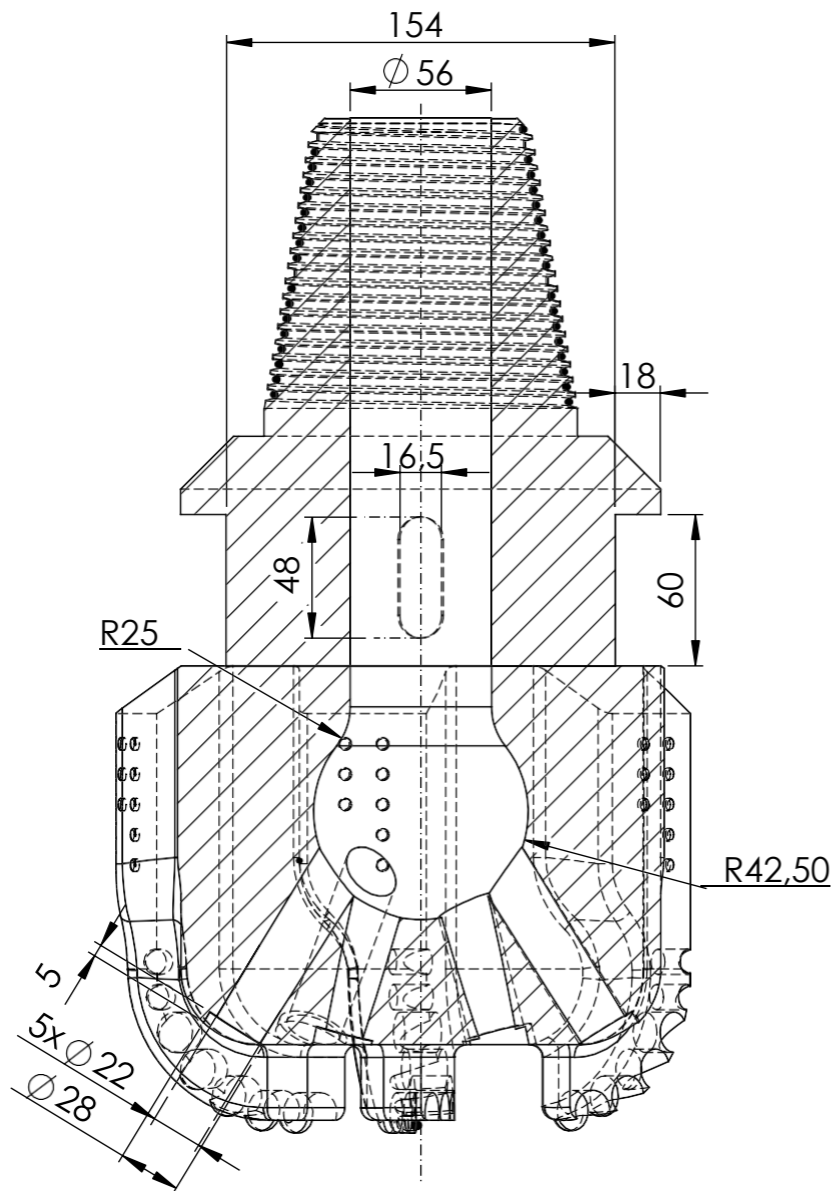
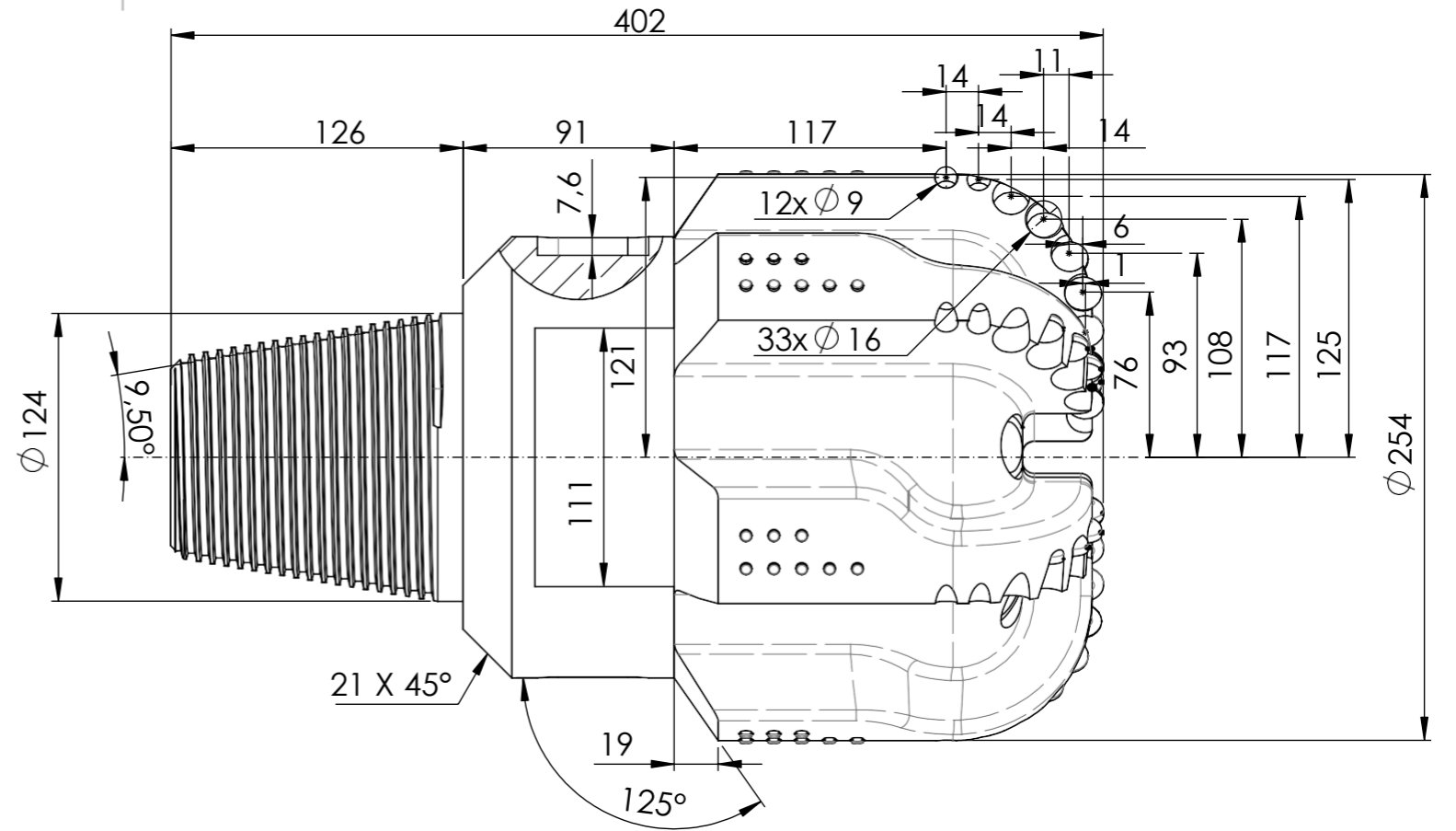
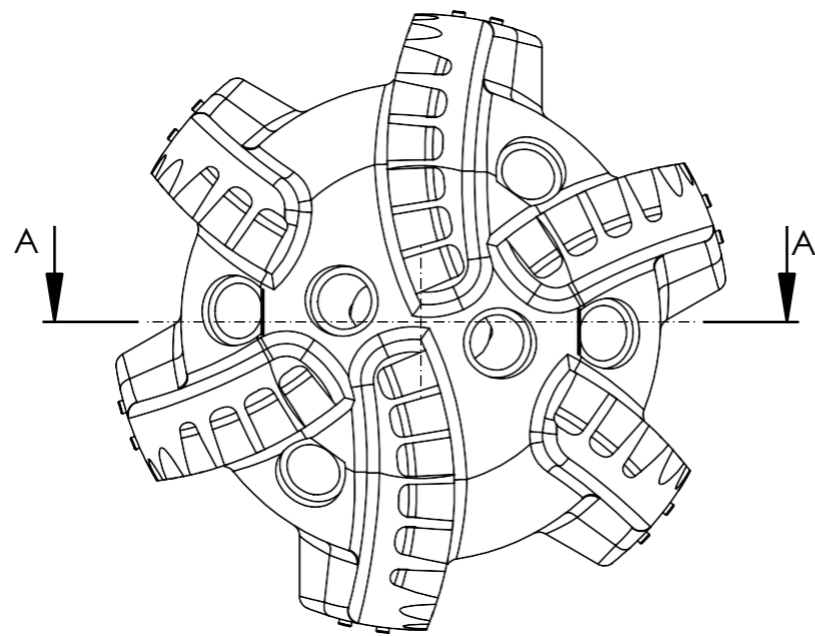
En fin, nous espérons que notre étude dans le domaine de la fabrication avancée sera un acquis pour enrichir notre expérience et sera considéré comme une motivation pour les prochaines générations de notre spécialité.

La perspective est ouverte pour développer le processus de fabrication des pièces de formes complexes qui auront pour objectifs un gain de temps et diminution des coûts.

Bibliographie

- [1] **MOUSSAMERI hanafi, CHETOUANI fodil**. Analyse de processus de fabrication de fonctionnement d'un outil de forage (*Steel Body, Matrix Body*), mémoire Université UMMTO (2017/1018).
- [2] **SMAIL Nassim, CHERAFT Brahim**. Mémoire validation d'un programme d'usinage d'une tête de forage sur un centre d'usinage 5 axes.
- [3] **BEN HEMIDA malek**. Analyse et validation du comportement directionnel des outils de forage couplés aux systèmes de forage dirigé, thèse école nationale supérieure des mines de Paris (2013).
- [4] **ABDOULAYE. A**, Contribution a la surveillance d'un processus de forage pétrolier, Thèse de doctorat, ParisTech-Institut des Sciences et Technologies, (2010).
- [5] **KAPLAN, J**. Modélisation tridimensionnelle du comportement directionnel du système de forage Rotary, Thèse de doctorat, Ecole nationale supérieure des mines de Paris, 2003.
- [6] **BELAID, A**. Modélisation tridimensionnelle du comportement mécanique de la garniture de forage dans les puits a trajectoires complexes: application a la prédiction des frottements
- [7]: **K.R.Bork**. The rig and his components, Unit I, Lesson 1, Fourth Edition 1995; Publié par: Petroleum Extension service (Division of continuing education. The University of Texas at Austin). En cooperation avec: International Association of Drilling Contractors.
- [8]: **RIANE Rami**. Contribution à la Synthèse d'Observateur Adaptatif à Entrées Inconnues d'un Système de Forage Rotary : Simulations sous Lab view. Université M'hamed bougara boumerdes (2014/2015).
- [9] : **BENCHEIKH samir et RABHI mohamed zakaria**. Mémoire étude du choix des outils de forage dans le champ de Hassi-Messaoud. Université Kasdi Merbah Ouargla (2016/2017).
- [10] : **ENSPM**. Les outils de forage, Formation Industrie, (1999).
- [11] **F.GRONDIN**. "outils de forage", ENSPM Formation Industrie - Forage • Production • Gisement (2009).
- [12] **PiotrBoryczko**, " drill bit selection and optimization in exploration well 6507/6-4A in the Nordland Ridge Area", Master's thesis, university of stavanger, faculty of science and technology (2012).
- [13] **Gilles**. Prod'homme Commande numérique des machines-outils DOC B 7 130, Techniques de l'ingénieur, Génie mécanique, Usinage, B7 130, 1995.
- [14] **RAHOU mohamed** Module : Atelier I et II deuxième année EPST, Ecole préparatoire en sciences et techniques Tlemcen (2013).
- [15] **D. Duret**, « simulation de gamme d'usinage », revue de l'ingénieur et du Technicien de l'enseignement technique, n°229,1981, pp. 34-37.
- [16] **William Fourmental, Lionel Hughes**. TechnoMéca. Des savoirs pour la mise en oeuvre des MOCN. Chap. Technologie 154, P52 (Mars 2008).
- [17] **BOURAOUI ali**. Validation d'un programme d'usinage d'une tête de forage sur un centre d'usinage 5 axes Université Bab Ezzouar, Alger, (juin 2011).
- [18] **MERGHACHE Sidi Mohamed** Magister, Contrôle et mesure intégrée sur machine Outil CNC. Contribution à l'identification et étude des erreurs géométriques.

- [19] **BELLOUFI Abderrahim**, «Machines-outils à commande numérique», Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie, (2010).
- [20] **A. Cheikh, N. Cheikh**, cours de CFAO1, Université de Tlemcen, Algérie (2011).
- [21] **Y. GUERMAT**. Conception et réalisation du logo Tlemcen capitale de la Culture islamique en 3D, (2011/2012).
- [22] **JEAN-PIERRE URSO**. Memo_tech Commande numérique programmation éducative, Edition castilla, (juillet 2002).
- [24] **S. BENLAHMIDI, H. AOUCI**, fabrication Assistée par Ordinateur. TP Production (Première année) Ecole nationale Supérieure de Technologie ROUIBA, (2013).
- [25] **J. Benyounes**, fabrication assistée par ordinateur, note de cours, Université de Tunis, Tunis (2004).
- [26] **I. Kacimi**, Mémoire de master en génie mécanique, option ingénierie des systèmes mécaniques et productives, « conception et fabrication assistées par ordinateur du logo du laboratoire de recherche IS2M », Université de Tlemcen (2012).
- [27] **P. Gillet**, conception assistée par ordinateur, technique de l'ingénieur, document T 7 300 (1995).

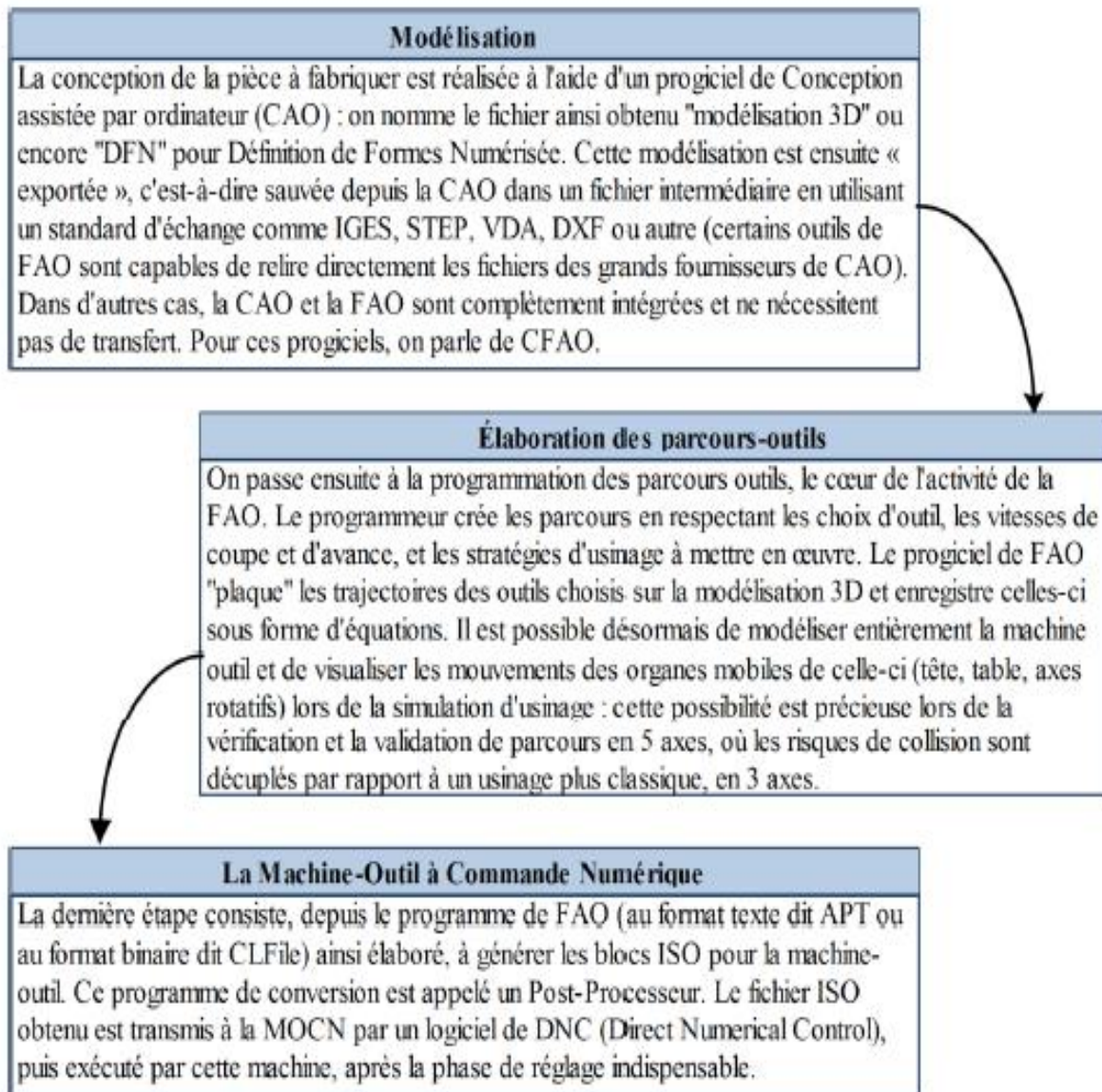


NOM-PRENOM /	RAMDANE Djilali	SIDI MAMAR	Youcef
Echelle	1:3	Désignation : Outil de forage PDC 10''	
		DGM-FGC-UMMTO	2019/2020
Format	A3	Matière : Acier allié	M2-FMP

ANNEXE MISE EN PLAN

ANNEXE A Rhino CAM

Rhino CAM est un système FAO (Fabrication Assister par Ordinateur), ou Le but de la fabrication assistée par ordinateur est d'écrire un fichier contenant le programme de pilotage d'une machine-outil à commande numérique. Ce fichier va décrire précisément les mouvements que doit exécuter la machine-outil pour réaliser la pièce demandée. On appelle également ce type de fichiers : programme G-CODE. Tout système FAO passe par les étapes suivantes :



ANNEXE MISE EN PLAN

B.1. INTRODUCTION

Rhino CAM est un terme employé pour décrire le logiciel dont le but principal est de créer des programmes pour commander les machines de commande numérique par ordinateur.

BASÉ SUR LA FORME : L'usinage est réalisé sur des formes telles que les trous, les poches et les bossages.

INTELLIGENT : Une base de données technologique permet de récupérer facilement les informations concernant les processus de fabrication utilisés sur votre site et d'appliquer ces informations pour automatiser encore davantage la programmation en code CN.

La base de données technologique permet de travailler de manière cohérente avec l'équipement et d'obtenir un usinage bien réglé.

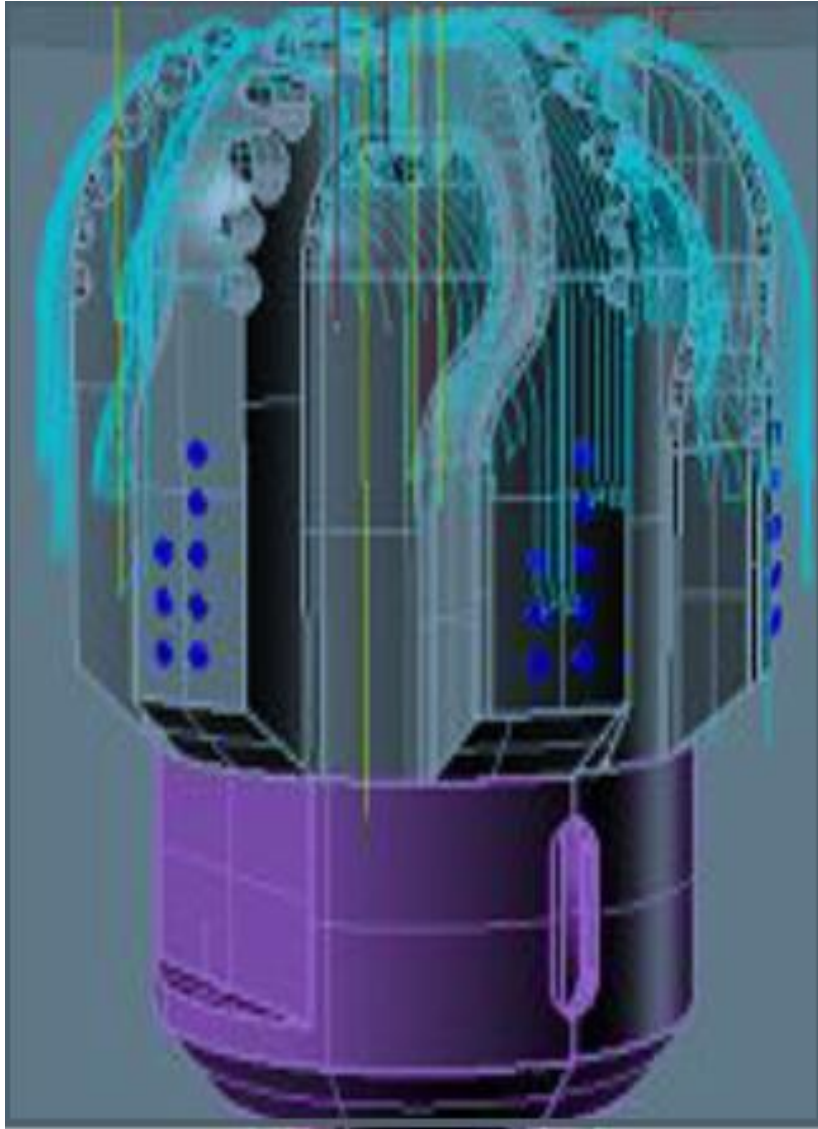
REACTIF : Dans certaines limites, si la pièce est modifiée, les formes et les parcours d'outil reflètent cette modification.

Les modules Rhino CAM sont proposés dans une variété de paquets et de combinaisons. Chaque module possède des stratégies d'usinage compétitives et des possibilités avancées pour aider à automatiser les processus d'usinage :

- Fraisage 2.5 axes, 3 axes, 4 et 5 axes Positionnés.
- Fraisage 4 et 5 axes simultanés.
- Etc.

ANNEXE MISE EN PLAN

ANNEXE B CODE-G-



Trajectoires d'outil sur logiciel Rhinocéros