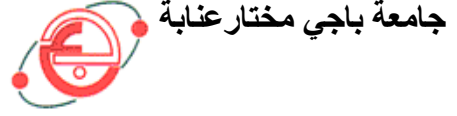


وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR ANNABA-UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

INTITULE

*ETUDE ET REALISATION DE MATRICE POUR LA FABRICATION D'UN JOINT
D'ACCOUPLMENT*

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNIQUES

FILIERE : GENIE MECANIQUE

SPECIALITE : PRODUCTIQUE MECANIQUE

PRESENTE PAR : SLIMI HAMDI

DIRECTEUR DU MEMOIRE : MBOURENANE RABAH

DEVANT LE JURY

PRESIDENT : BOUCLAGHEM

EXAMINATEURS : BOURENANE

LAGRED

HAMADACH

BOULAKROUCH

Année : 2014/2015

dédicaces

JE tiens à dédier ce modeste travail aux êtres les plus chers au monde :

Ma Mère qui a éclairé mon chemin et qui m'a encouragé et soutenu depuis mes premiers pas jusqu'à ce jour.

Mon père

Ma femme pour avoir déployé tant d'effort et pour son encouragement surtout dans cette période.

Mes frères

Toute ma famille

Mes collègues de classe

et

Tous mes amis

Remerciements

Je remercie avant tout dieu Le tout puissant de m'avoir guidé, éclairé et protégé jusqu'à cette aimable réussite.

Je remercie vivement Monsieur **BOURENANE RABAH** professeur au département de Génie Mécanique l'université d'Annaba pour son aide technique et surtout pour son suivi régulier et son assistance jusqu'à la fin de cette recherche, ainsi pour ses encouragements et ses conseils prodigués.

Comme je tiens aussi à remercier le membre de jury, d'avoir accepté de juger notre travail.

A tous les enseignants de Génie Mécanique qui ont contribué à notre formation.

mes plus vifs remerciements vont également à:

Toute ma promotion.

SLIMI HAMDI

❖ **CHAPITRE I :**

I -G é n é r a l i t é s :	(1)
I -1 : Introduction :	(1)
I -2 VUE GENERALE SUR LE COMPLEXE D'EL-HADJAR:	(2)
I -3 : Historique de complexe d'El Hadjar:	(3)
I -4 Produits du complexe d'El Hadjar	(3)
I -5 : Organigramme de l'usine :	(5)

❖ **CHAPITRE II :**

II -Procédé d'usinage :	(6)
II -1 Usinages conventionnels :	(6)
II -1-1 Limites de l'usinage coupant :	(6)
II- 2 Usinages non conventionnels:	(7)
II -2-1 Historique :	(7)
II -2-2N écessitédes proc é d é s non conventionnels :	(7)
II-2-3 Usinage abrasif par ultrasons :	(8)
II-2-4 Usinage électrochimique :	(10)
II-2- D écoupe laser :	(11)
II-2-6 découpage par jet d'eau :	(12)
A - Méthode de d écoupe :	(14)

❖ **CHAPITRE III :**

III –Usinage par électro érosion :	(16)
III-1 Historique :	(16)

III-2 Principe de base :	(17)
III-3 Principes physiques de l usinage	(17)
III-3-1 Les 3 phases successives d'une étincelle :	(17)
Phase 1: la construction :	(19)
Phase 2: la d écharge :	(20)
Phase 3: la rupture :	(20)
III-4 Zone thermiquement affect ée :	(21)
III-5 El éments d'une machine:	(23)
III-5-1 Description de machine :	(24)
III-6 Di éctrique :	(24)
III-6-1 R ôle du fluide di éctrique :	(24)
Isolation :	(24)
Ionisation :	(24)
Refroidissement :	(25)
Evacuation des particules enlev ées :	(25)
III-6-2 Electrodes :	(26)
III-6-2-1 Les matériaux d'électrode :	(26)
III-7 Les diff érents proc éd és d'EDM:	(27)
III-7-1 Electro érosion à fil :	(27)
III-7-2 Electro érosion par enfon çage :	(29)
III-8 Avantages et inconvénient de l'électroérosion :	(31)

❖ CHAPITRE IV

IV GAMME DE USINAG :	(32)
IV-1 Les r égimes de coupe :	(32)
IV-2 Les Contrat De Phase.....	(35)

Liste des figures

Figure.1.1 vue g é n é rale du complexe El Hadjar.....	(2)
Figure.1.2 Organigramme de l'usine.....	(5)
Figure.2.1 Machine d'usinage par ultra sons.....	(9)
Figure .2.2 principe de la d écoupe laser.....	(12)
Figure .2.3 Différence entre découpage à l'eau pure et avec abrasif.....	(13)
Figure .2.4 pièces réalisé avec découpage à jet d'eau.....	(14)
Figure .3.1Phase de construction d une étincelle.....	(18)
Figure .3.2Phase de d écharge.....	(20)
Figure .3.3Phase de rupture.....	(20)
Figure .3.4 Zone thermiquement affect é.....	(21)
Figure 3.6 El éments d'une machine.....	(23)
Figure .3.7 ROBOFORM 400.....	(23)
Figure .3.8. Electro érosion à fil.....	(28)
Figure .3.9 Electro érosion à enfon çage.....	(30)

CHAPITRE I

I - GENERALITES

I – 1 Introduction:

Dans la très dure bataille que notre pays livre pour s'imposer face aux problèmes liés à l'industrie, surtout en cette période de crise économique il est impératif que chacun de nous se sente responsable et conscient de cette situation.

Dans ce contexte et dans le cadre de mémoire de fin d'études on se propose une étude qui consente la fabrication. Aussi la phase préparatoire du travail, prend une part de plus en plus grande dans l'organisation de fabrication en raison principalement de la nécessité de produire par séries de plus en plus importantes des objets de qualité suffisante et constante à des prix qu'il faut s'efforcer de réduire au minimum.

L'étude de fabrication, l'élaboration des gammes et des analyses des phases constituent un aspect essentiel dans la préparation du travail. Elle nécessite de la part des techniciens et ingénieurs, la possession d'un bagage technologique de base qu'il faut sans cesse compléter et actualiser pour suivre l'évaluation des techniques, elles exigent en outre la prise de conscience des problèmes posés, et la nécessité de dégager l'essentiel.

La transposition d'une solution théorique, idéale en une solution pratique, acceptable constitue un compromis satisfaisant entre de divers impératifs techniques, métrologiques, économiques et humains.

L'Algérie après avoir affronté une période cruciale relative à la guerre de libération se devait de sortir de l'impasse due aux problèmes postindépendance et notamment son économie ce qui a conduit le choix politique à l'époque vers une industrialisation du pays dans laquelle l'industrie mécanique joue un très grand rôle contribuant au développement de l'économie nationale. C'est ainsi que plusieurs projets industriels ont vu le jour et particulièrement à travers la wilaya de ANNABA qui a bénéficiés du grand complexe sidérurgique (EL HADJAR), autour duquel se sont greffés des unités industrielles parmi lesquelles l'entreprise "FERROVIAL"

L'industrie se base beaucoup plus sur l'usinage des pièces des engins. Mais le problème posé est la difficulté de l'usinage des pièces à partir des matériaux à dureté élevés. Pour résoudre ce problème les techniciens ont développé de nouvelles.

Techniques et méthodes, parmi ces techniques l'usinage par électroérosion (usinage non conventionnel) Ce procédé repose sur l'enlèvement de la matière par la décharge électrique.

CHAPITRE I

Cette nouvelle méthode d'usinage est valable pour tous les matériaux quelle que soit leur forme, et leurs caractéristiques mécaniques.

I.2 VUE GENERALE SUR LE COMPLEXE D'EL-HADJAR :

C'est un centre principal de sidérurgie, situé à une distance de 15 Km au sud de la ville d'ANNABA, il occupe une superficie de 800 Hectares.

Ce complexe a pour mission de valoriser le minerai de fer et de fabriquer les produits sidérurgiques, l'alimentation en minerai vient des mines de l'OUENZA.

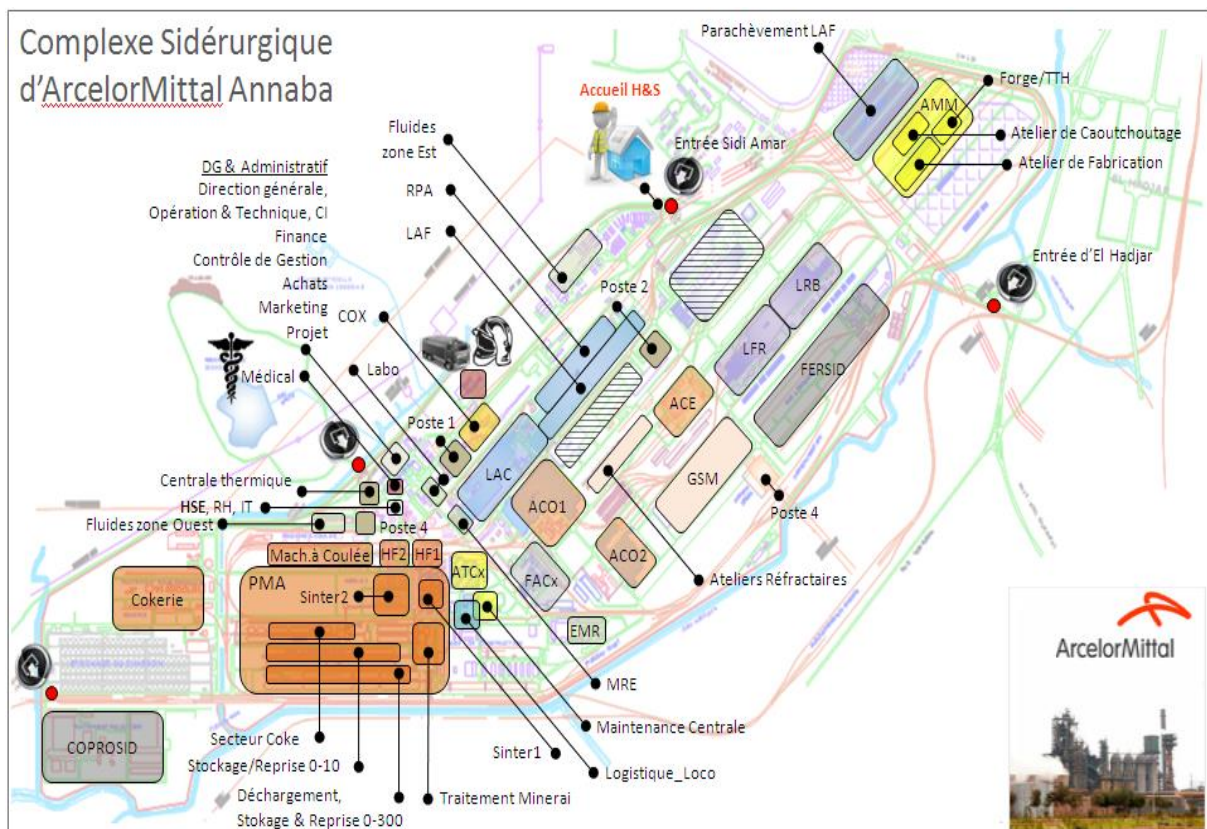


Figure. I .1 vue générale du complexe El Hadjar

CHAPITRE I

Il est érigé de quatre zones de production

ZONE FONTE.

ZONE DES PRODUITS LONGS.

ZONE DES PRODUITS PLATS.

ZONE DES TUBRIES.

En outre, il est équipé de 03 centrales thermiques, 04 centrales à oxygène et 03 usines à eau.

Enfin, ce complexe emploie plus de 9000 travailleurs entre cadre et opérateurs.

I.3 Historique de complexe d'EL-HADJAR :

La société nationale de sidérurgie a été créée le 03/09/1964 par ordonnance no 642-72, et constitue l'une des cinq (05) entreprises nationales sous la tutelle du ministère de l'industrie lourde. Elle regroupe différentes unités réparties sur tout le territoire national. En tant que moyen pour assurer le développement du pays et améliorer les conditions de la vie du peuple algérien, autrement dit pour répondre aux impératifs économiques et sociaux du développement du pays. [1]

La SNS a bénéficié des différents plans de développement pour s'attendre au fil des nécessités et devenir enfin ENTREPRISE NATIONALE DE SIDERURGIE suite à la restructuration des sociétés nationales. [1]

SIDER a développé en 1969 une sidérurgie à EL-HADJAR pouvant répondre à une gamme de produits sidérurgiques très variés. [1]

Le complexe intégré d'EL-HADJAR depuis 1969 a vu son domaine d'activités se développer au fil des années afin de répondre à la demande incessante, et croissante, en produits sidérurgiques pour la réalisation de plusieurs secteurs (habitat, unités pétrolières, ...etc.). [1]

I.4 Produits du complexe d'EL-HADJAR :

Les principaux produits sont :

CHAPITRE I

INSTALLATION	PRODUITS	PRINCIPAUX UTILISATEURS
Cokerie	Coke	❖ Métallurgie
Secteur haut-fourneaux 1et2 (HF1 et HF2)	Fonte	❖ Métallurgie
Aciérie à oxygène 1et2 (ACO1 et ACO2)	Brames et billettes	❖ Industrie et transformation
Laminoir à chaud LAC	Tôles fortes	❖ Construction métallique ❖ Chantier Navals ❖ Tubes et Bouteilles à gaz ❖ Industrie et transformation
Laminoir a froid LAF	Tôles fines	❖ Electroménager ❖ Mobilier métallique ❖ Industrie de transformation
Tuberie spirale TUS	Tube avec soudure	❖ Transport des hydrocarbures et d'hydraulique
Tuberie sans soudure TSS	Tube sans soudure	❖ Exploitation des hydrocarbures et d'hydraulique
Aciérie électrique ACE	Lingots	❖ Recherche et production pétrolière et transport des hydrocarbures
Laminoir à fils ronds LFR	Fil rond à béton	❖ Bâiment et travaux publics hydraulique
Etamage	Fer blanc	❖ Emballage métallique divers pour les industries alimentaires et chimiques
Galvanisation	Tôles galvanisés	❖ Bâiments pour l'agronomie ❖ Industrie et élevage

Tableau. I.1 Produits du complexe d'EL-HADJAR.

I.5 Organigramme de l'usine

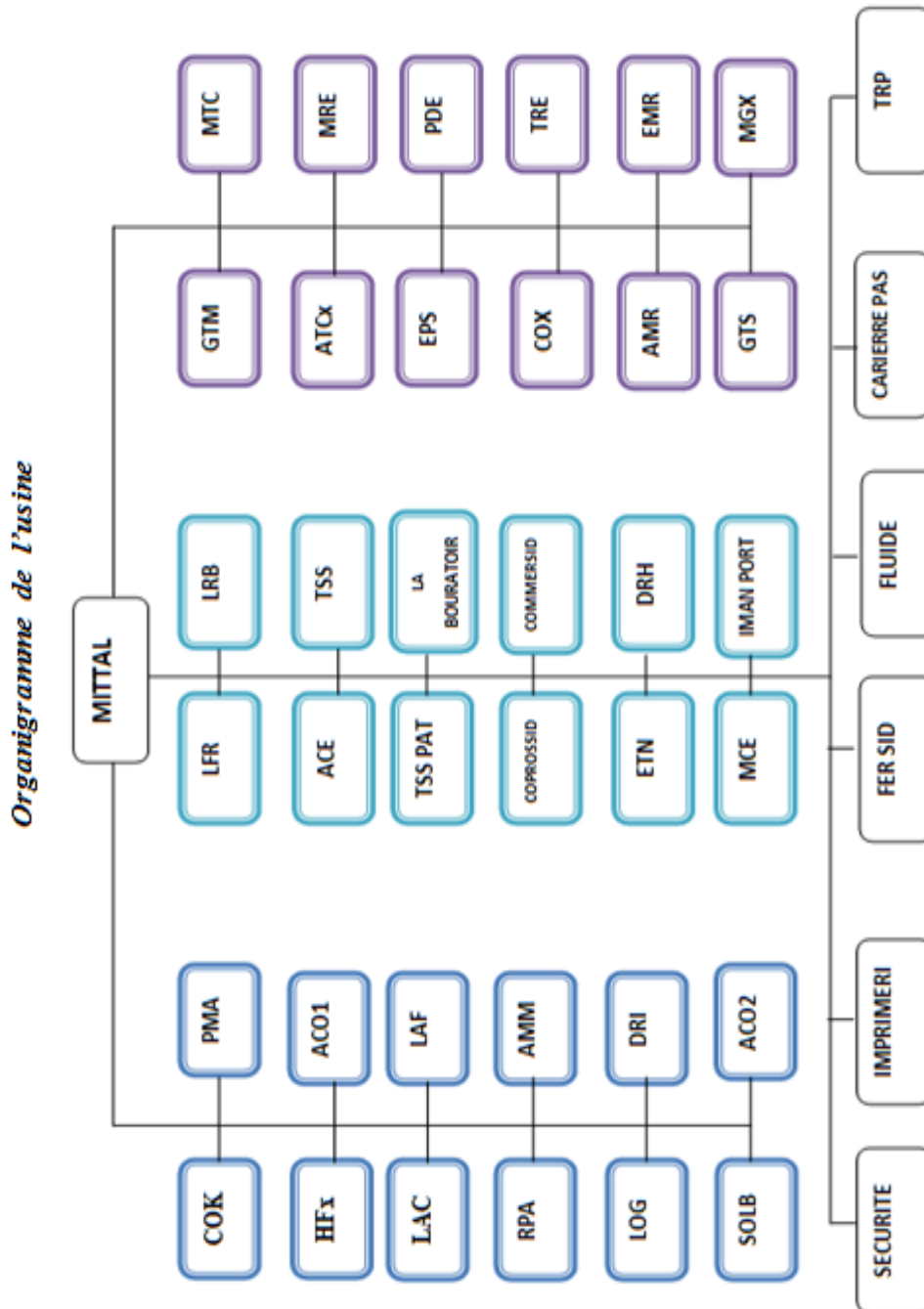


Figure.1.2 Organigramme de l'usine

II – Procédé d’usinage

II -1 L’usinage conventionnel :

L’usinage s’effectue dans le but de donner aux pièces brutes la forme, la dimension et la précision nécessaire demandée par le concepteur dans son dessin de définition, par enlèvement de copeau (sur épaisseur) sur des machines-outils appropriés.

En fonction de la forme à donner à la surface et du type de la machine-outil, on distingue les opérations de coupe suivantes : le tournage, le perçage, fraisage,etc.

L’usinage est obtenu par une action mécanique mettant en œuvre un outil plus dur que la pièce à usiner, et grâce à un mouvement d’avance et de coupe l’usinage fut réaliser.

Le développement de l’industrie dans différents secteurs ; la recherche d’une plus grande productivité et précision sur des matériaux de plus en plus durs ainsi que d’autres raisons de diverses natures font que l’usinage conventionnelles à des limites d’emplois telles que :

- Difficultés d’usinage des pièces fragiles et de dureté élevée dues aux efforts de coupe
- Difficultés d’usinage des pièces de forme complexe, intérieures et extérieures et de petites dimensions
- Usure de l’outil
- Le prix de revient de ce procédé d’usinage est élevé
- Temps d’usinage plus long ce qui influe sur le rendement et la productivité

Touts ces raisons ainsi que d’autres la qualité ont nécessité des moyens de fabrication qui figurent dans l’usinage non-conventionnel.

II -1-1 Limites de l’usinage coupant :

Dans l’usinage conventionnel, l’enlèvement de la matière s’effectue par action mécanique l’énergie est fournie par le mouvement relatif outil-pièce et transmise par contact direct.

La matière est arrachée sous forme de copeaux.

II – 2 Usinages non conventionnels :

II – 2 -1 Historique :

Ce n'est qu'en 1950 que l'on a commencé à travailler pour la première fois avec les procédés d'usinage électriques. Etant basés sur l'enlèvement de matière par décharge électrique, l'intérêt de cette techniques fut admise par tous les pays industrialisés.

Plus tard, ces gammes de machines sont implantées dans le marché, et mettant en œuvre ce procédé d'usinage non conventionnel.

On distingue l'application de ce procédé dans l'aéronautique, l'industrie nucléaire et surtout l'industrie automobile, et l'industrie électronique.

Les méthodes conventionnelle de coupe n'ont pas répondu longtemps aux exigences déjà citées, et n'ont pas pu satisfaire les conditions demandées. Pour cette raison, on a eu recours à ces nouvelles méthodes non conventionnelles d'usinage.

II -2-2 Nécessités des procédés non conventionnels :

L'appellation « Procédés non-conventionnels » est utilisée pour désigner un ensemble de techniques de production relativement récentes. L'emploi a été rendu nécessaire par l'usage croissant de matériaux à caractéristiques mécaniques élevées, pour lesquels les procédés conventionnels étaient limités.

Les procédés non conventionnels sont les techniques d'usinage autres que la coupe et rectification pour lesquelles l'énergie est fournie différemment, par un mode autre qu'une action mécanique transmise par contact direct et effort entre un outil et la pièce.

La surface de la terre et de nombreux matériaux naturels ont été façonnés par l'action de la chaleur, de la lumière, de l'eau, des solutions chimiques, de l'énergie électrique, du vent, de procédés abrasifs. Les procédés non-conventionnels utilisent le courant électrique, la lumière amplifiée, des gaz, des abrasifs libres, des solutions chimiques, ou même l'eau comme moyens d'usinage plutôt qu'un outil de coupe ou d'abrasion conventionnel. Parmi ces procédés nous distinguons :

- ✓ Usinage abrasif par ultrasons
- ✓ L'usinage électrochimique
- ✓ Découpe laser
- ✓ Découpage par jet d'eau
- ✓ Electroérosion

II-2-3 Usinage abrasif par ultrasons :

On désigne par l'usinage abrasif ultrasonore un mode de travail dans le quel l'enlèvement de matière s'effectue par l'action de vibrations

Un outil, généralement positionné suivant un axe vertical, appelé "sonotrode", reproduit en pénétrant dans la pièce à usiner sa propre forme. Ce travail est dû aux mouvements de grains d'abrasif (carbure de bore, carbure de silicium ou diamant de quelques dizaines de μm de diamètre) entraînés entre pièce et sonotrode (gap) par la vibration de celle-ci qui est excitée sur sa fréquence de résonance (20 KHz). Les particules très dures sont projetées sur la surface de la pièce et pénètrent celle-ci en provoquant une déformation suivie d'un enlèvement de matière sous forme de micro-copeaux. L'abrasif est en suspension dans de l'eau qui transmet bien les fréquences ultrasonores. Cet usinage est particulièrement adapté aux matériaux durs et fragiles, et donc cassants, qui, comme le quartz ne supportent pas de gradients thermiques importants. Cette usure et le travail d'enlèvement de la matière dépendent de nombreux paramètres tels que : vibration, pression statique, taille et nature du grain d'abrasif, profondeur de pénétration, nature et forme de la pièce à réaliser,...Ainsi, les paramètres d'usinage sont à déterminer au cas par cas.

La matière est enlevée par cisaillement, l'érosion et l'abrasion provoqués par les grains abrasifs. Cette action se traduit par enlèvement de matière sur la pièce, une usure de la sonotrode et une usure des grains.

Deux mécanismes principaux sont reconnus pour l'enlèvement de matière :

- Une action mécanique due à la projection et au martèlement des grains abrasifs contre la surface de la pièce
- Une érosion de cavitation due aux variations de pression au sein du liquide, engendrées par les vibrations de la sonotrode

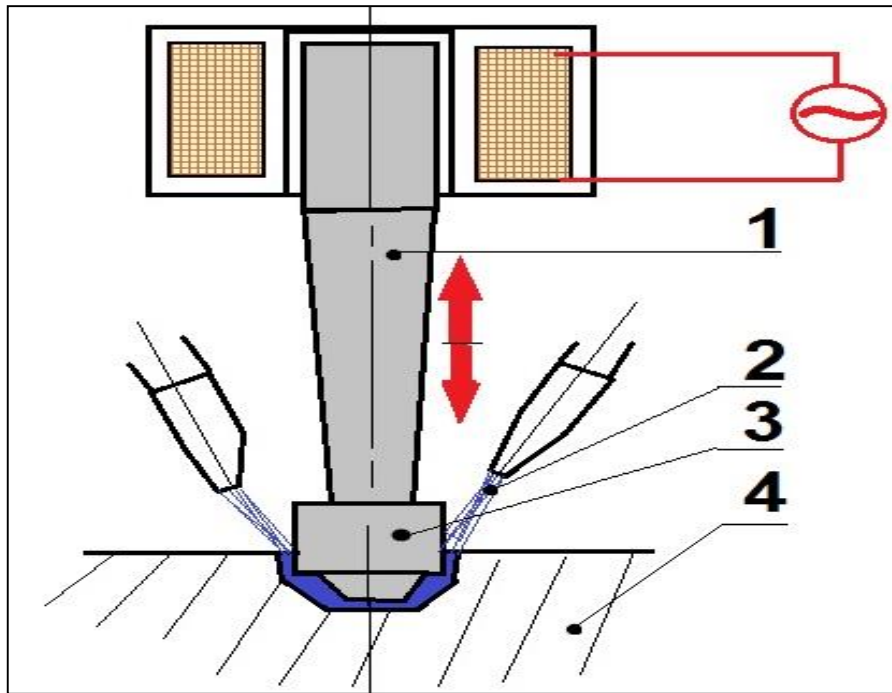


Figure. II.1 Machine d'usinage par ultra sons

Principe d'usinage par ultrasons

- 1- sonotrode ou outil vibrant
- 2-liquide +grains d'abrasifs
- 3-buse d'arrosage
- 4-pièces à usiner

L'usinage par abrasion ultrasonore est encore peu répandu dans l'industrie. son utilisation est restreinte a quelques secteurs dans lesquels il est indispensable : perçage ou usinage de substrats en céramique pour l'électronique ; usinage et découpage d'éléments en verre, quartz, silice,..., pour constituer des capteurs pour la recherche spatial ; perçage de pierres précieuses pour l'horlogerie.

Cette faiblesse d'utilisation est liée à la faible performance en vitesse d'usinage, qui condamne le procédé dans la plupart des applications de série.

II – 2-4 Usinage électrochimique :

C'est un procédé "doux", sans formation d'étincelles. Avec ce procédé la pièce à usiner est polarisée positivement comme anode et l'outil négativement comme cathode par l'intermédiaire d'une source de courant continu ou d'une source d'impulsion.

La charge entre la cathode et l'anode présente dans l'espace inter électrode circule à travers une solution d'électrolyte, généralement du nitrate de sodium ou du chlorure de sodium ; cette énergie est fournie par un générateur extérieur capable de délivrer un courant électrique de forte intensité (jusqu'à 20 000 A pour certaines installations) sous faible tension.

Des ions métalliques de la pièce à usiner sont dissous. La matière enlevée peut ensuite être éliminée par filtrage de la solution d'électrolyte, sous forme d'hydroxyde métallique.

La forme de la cathode d'outil est adaptée à la tâche d'usinage. C'est ainsi que l'usinage électrochimique des métaux n'agit véritablement qu'aux endroits où un enlèvement de matière est souhaité sans contrainte mécanique ou thermique. C'est précisément cette spécificité qui rend ce procédé si avantageux.

Ce processus d'usinage défini étroitement permet même d'usiner de façon reproductible et précise des composants en filigrane.

L'enlèvement de matière est exprimé par la loi de Faraday :

$$\frac{dm}{dt} = \frac{1}{F n} I$$

Avec m : masse de matière dissoute à l'anode

t : temps de dissolution

F : constante de Faraday (96 500 c)

A : masse atomique de métal dissout

n : valence

I : intensité du courant

CHAPITRE II

L'obtention d'un débit de matière élevé nécessite une forte intensité de courant.

La limite principale de l'usinage électrochimique est sans conteste la non fidélité de reproduction de forme entre la cathode et l'anode qui oblige à de nombreux calculs complexes et à de fastidieuses expérimentations pour arriver à définir correctement la forme de la cathode et les conditions expérimentales.

II -2-5 Découpe laser :

Le découpage au laser est un procédé thermique sans contact qui sert à séparer les matériaux. Le laser est focalisé par une lentille, au travers d'une buse dans laquelle arrive un gaz d'assistance coaxial au faisceau. Le faisceau laser focalisé avec un éclairement de 106 à 108 W/cm² rencontre la surface, le matériau fond très localement et s'évapore partiellement. Ensuite le matériau est expulsé au moyen d'un débit de gaz propulsé à travers celui-ci. Le jet de gaz combiné à l'avance de la pièce (ou du faisceau) permet d'obtenir une ligne de coupe (figure II-2.). La découpe laser sous oxygène s'apparente à l'oxycoupage mais apporte une plus grande précision, et une coupe plus fine permettant de diminuer la zone affectée thermiquement.

Et on distingue plusieurs types de lasers tels :

- Les lasers chimiques «excimere » projette des photons sur la surface de la pièce, provoquant des réactions photo chimiques, l'énergie libérée étant suffisante pour rompre les liaisons atomiques.
- Les lasers CO₂ : les domaines d'application sont très variés. Il convient aussi bien pour découper le carton que le bois en passant par les matières plastiques et les métaux. Mais l'utilisation la plus répandue reste la découpe des aciers sur des épaisseurs allant jusqu'à 15 à 20 mm avec des puissances de 500 à 2000 W et des vitesses comprises entre 0,8 et 10 m/min.
- Les lasers YAG s'apparente à celle du laser CO₂, mais compte tenu de sa longueur d'onde 10 fois plus faible, il est intéressant de l'utiliser pour la découpe de matériaux à haut facteur de réflexion (aluminium, cuivre, certains matériaux composites...)

Les domaines d'application sont très variés. Il convient aussi bien pour découper le carton que le bois en passant par les matières plastiques et les métaux. Mais l'utilisation la plus répandue reste la découpe des aciers sur des épaisseurs allant jusqu'à 15 à 20 mm avec des

CHAPITRE II

puissances de 500 à 2000 W et des vitesses comprises entre 0,8 et 10 m/min. d'ont les caractéristiques de ce laser sont :

- Découpe une large gamme de matériaux : bois, plastique, papier, acier, aluminium.
- Vitesse élevée
- Grande souplesse d'utilisation
- Précision

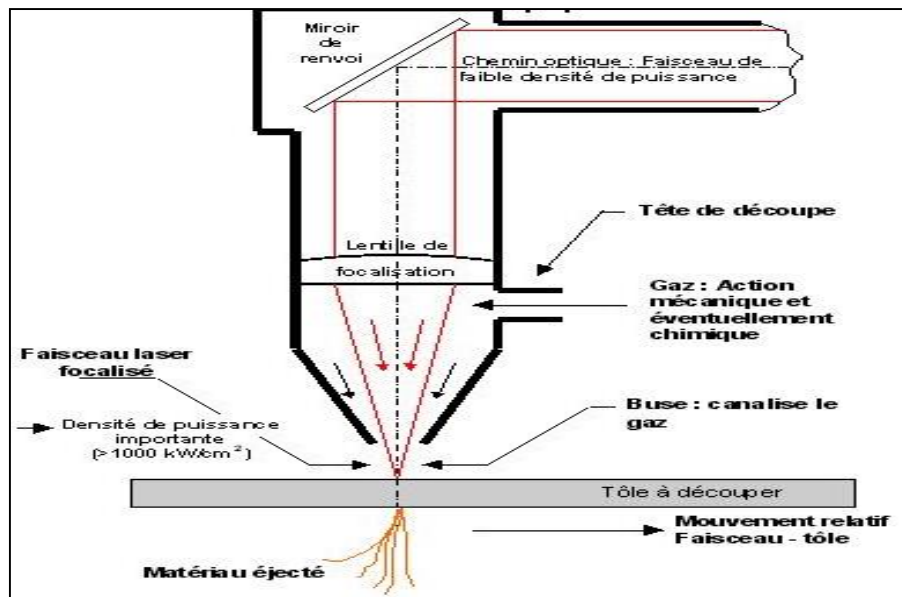


Figure .II.2 principe de la découpe laser

II -2-6 Découpage par jet d'eau :

Le découpage par jet d'eau permet une découpe de la plus petite pièce à la plus grande, et de la plus fine à la plus épaisse (de quelque centième jusqu'à 150mm même sur les aciers durs), et on distingue deux méthodes de jet (avec abrasif et à l'eau pure)

Le découpage par jet d'eau avec abrasif est identique au processus à l'eau pure, cependant on y ajoute un abrasif lorsqu'il entre dans la chambre de mélange. Ceci crée un vide, transférant des quantités commandées d'abrasif dans le jet d'eau. L'eau et le mélange abrasif est raménagé dans un tube de focalisation donnant une largeur de découpage de 0.8/1.0 mm.

CHAPITRE II

Le jet d'eau est propulsé à 4200 Bars de pression soit une vitesse de 600 à 900 mètres/s afin de garantir une découpe de grande précision et des états de surfaces améliorés.

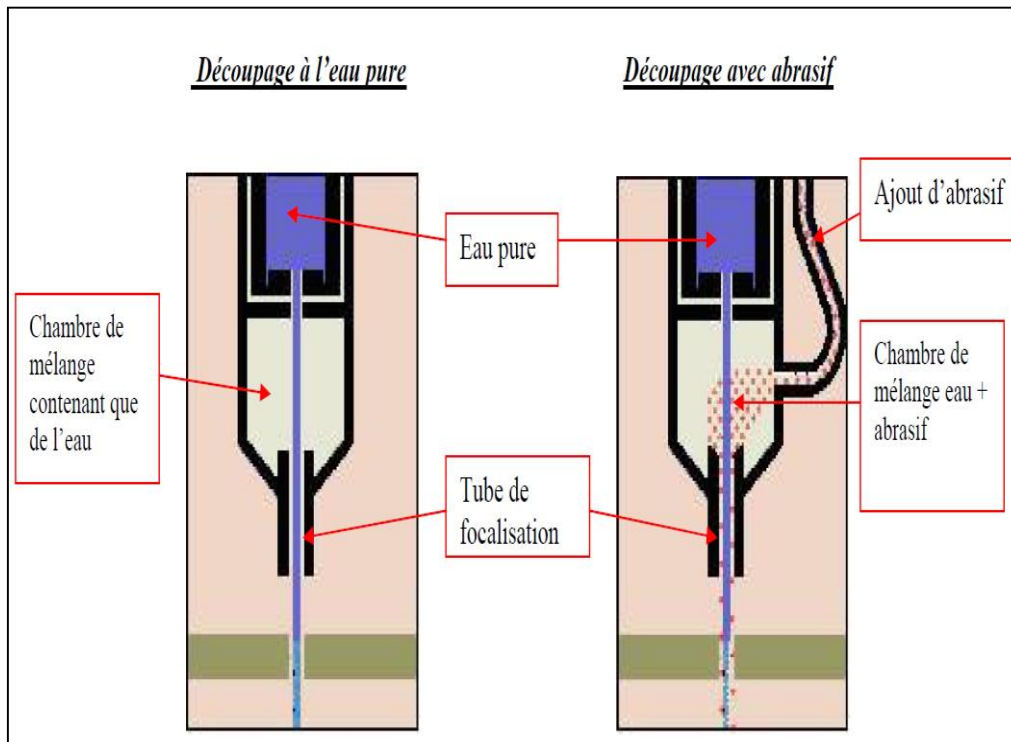


Figure .II.3 Différence entre découpage à l'eau pure et avec abrasif

Principaux avantages de la découpe sont :

- Le jet d'eau n'engendre pas :
 - de modification de la structure des matériaux
 - de déformation
 - de dégradation de l'aspect.
- Le jet d'eau apporte une grande flexibilité en découpant des formes complexes et permet une optimisation des formats par imbrication des pièces
- Réglage plus rapide – blocage inutile en raison des faibles forces tangentielles
- Haute précision – découpe secondaire inutile
- Haute vitesse de découpe
- Affûtage des outils inutile
- Plus grande sécurité pour l'opérateur et l'environnement – ni vapeur, ni poussière, ni fumée, et pas de coûts refroidissants

CHAPITRE II

- Processus de découpe à froid – pas de zones affectées thermiquement, pas de durcissement et pas de contraintes du matériau
- Un produit fini propre évite les opérations de nettoyage secondaires
- Finition sans bavures – finition de surface secondaire inutile pour la plupart des applications
- Idéale pour la production rapide et flexible de prototypes, production à haut volume possible



Figure .II.4 pièces réalisées avec découpage à jet d'eau

A - Méthode de découpe :

○ Découpe à l'eau pure :

La découpe à l'eau pure est principalement utilisée pour les matériaux tendres comme le plastique, les textiles, le papier, les matériaux d'étanchéité, les feuilles métalliques, le contreplaqué et les produits alimentaires, etc.

De l'eau normale est pressurisée à très haute pression et chassée à travers une petite buse en pierre précieuse pour former un intense jet de découpe. La vitesse du jet peut atteindre jusqu'à 2,5 fois la vitesse du son, ceci permettant une découpe à très haut rendement tandis que les vitesses varient en fonction du matériau traité.

CHAPITRE II

○ **Découpe à l'abrasif :**

La découpe à l'abrasif est utilisée pour les matériaux durs tels que le métal, le verre, la pierre, le béton, les composés du verre, la céramique, l'aluminium ou l'oxyde de silicone.

Avec les matériaux plus durs où la découpe à l'eau pure ne permet plus l'effet attendu, on utilise la méthode dite abrasive. Ce processus consiste à adjoindre à l'eau un agent de découpe à fines particules. Après ajout de l'abrasif, celui-ci, l'eau et l'air sont combinés dans la chambre de mélange, le mélange est focalisé à travers d'une buse. Le résultat en est un jet accéléré à haute énergie qui perce et découpe par effet de micro-érosion des matériaux de grande épaisseur et des consistances les plus diverses, comme par exemple le métal, la céramique, la roche et le verre pare-balles.

-Secteurs d'utilisation :

La polyvalence de la Découpe par jet d'eau s'applique à tous les secteurs d'activités telle que :

○ **Activités industrielles**

Mécanique générale, Construction aéronautique ou navale, Nucléaire, Électronique, Automobile, Plasturgie, Moulisterie, Fonderie, Conditionnement, Emballages mousses ...

○ **Activités du Bâtiment**

Menuiserie, Revêtements de sols, Murs, Plafonds, Équipement de la maison, Miroiterie ...

○ **Activités de la Décoration, Publicité Signalétique**

Architectes et Décorateurs (Aménagements de cuisines, salles de bains, Décoration intérieure ou extérieure),

Événementiel, Méallerie, Menuiserie, Marbrerie, Verrerie, Luminaires...

III-1 L' électro érosion

III-1-1 Historique

1770: Le chimiste britannique Josef Priestley (1733-1804) découvre l'effet érodant des décharges électriques.

Il observe la lumière produite par les décharges électriques, de même que les traces laissées sur les électrodes. Ces mêmes observations sont confirmées vers 1777 par un autre Scientifique: Georg Christian Lichtenberg (1742-1799).

L' électro érosion 1943: Découverte du principe d'usinage par électro érosion.

La démocratisation de l' électricité a entraîné un effort de recherche dans le domaine des

Interrupteurs de distribution. En particulier dans la compréhension de la grande usure due aux arcs électriques.

Pendant la réalisation de travaux de recherche pour l' élimination de l'effet érodant aux

Contacts électriques, les scientifiques soviétiques Boris et Natalya Lazarenko ont eu l'idée de

Rendre l'effet destructif des décharges électriques utilisables. Ils ont alors mis au point une méthode pour l'usinage des métaux par l' électro érosion.

1950: Les premiers balbutiements de l'industrie EDM souffrent de maladies infantiles.

Les Premiers générateurs (générateurs à relaxation) construits avec les composants électroniques

Disponibles dans les années cinquante (tubes amplificateurs, redresseurs, thyratrons, résistances, Condensateurs) sont peu fiables. Les machines sont imprécises. Il est dès lors difficile d'obtenir des Résultats satisfaisants.

1969: Première commande numérique (CNC) sur une machine à électro érosion.

L'entreprise AGIE présente à la foire des machines-outils de Milan, la première machine à fil

Commande numérique. Les coûts élevés des premières CNC mettent un frein à leur

Développement. Il faut attendre le milieu des années 70 pour voir l'essor des commandes

Numériques.

III-2 Principe de base

L'usinage par électroérosion fait partie des usinages non conventionnels, il consiste à soumettre deux pièces conductrices d'électricité à décharge électrique par l'intermédiaire d'un liquide diélectrique.

Dans l'usinage par « UEE » il n'y a pas de contact entre les électrodes qui sont distantes d'un intervalle de décharge électrique (quelques centièmes de millimètres) ce procédé d'usinage se fait dans un diélectrique turbulent.

Électroérosion est un processus d'usinage essentiellement utilisé pour la fabrication de moules ou matrices aux formes diverses et qui consiste à enlever de la matière par l'action d'une énergie dissipée entre une électrode, possédant la forme inverse, et la pièce de métal usinée. On distinguera deux phases principales ; « L'ébauche » (ou phase d'enfonçage) qui se traduit par un enlèvement rapide et important de la matière et la « finition » ou, le travail plus lent et plus précis, conduit à l'obtention d'état de surface appropriés.

Le processus, exposé ci-contre, explique comment se déroulent les différentes phases du cycle opérationnel et met en valeur l'importance de la stabilité et de la maîtrise canal d'ionisation qui conditionne la qualité du travail obtenu.

- pour usiner par électroérosion, 04 éléments sont nécessaires :

- 1- Une électrode
- 2- Une pièce
- 3- Du diélectrique
- 4- De l'électricité

III-3 Principes physiques d'une étincelle érosive

Nous décrivons brièvement les 3 phases successives d'une étincelle érosive et

L'influence de la polarité électrode-pièce.

III-3-1 Les 3 phases successives d'une étincelle

CHAPITRE III

Phase 1: la construction

Cette phase préparatoire consiste en l'accroissement de l'ionisation du diélectrique initialement très faible, voire pratiquement nulle puisqu'il s'agit d'un milieu isolant. Il est admis, que le Phénomène a lieu à l'endroit où le champ électrique provenant de l'application d'une tension entre Les électrodes, a une intensité maximale. Le plus souvent entre les points les plus proches de L'électrode et de la pièce; de petites irrégularités de surface suffisent pour déclencher la Construction d'une étincelle.

Durant cette première phase qui comprend toutes les réactions conduisant à la formation du canal de décharge, on note une forte variation du courant et de la tension. Cette caractéristique, après la Perforation du diélectrique, provoque un flux de courant presque exclusivement à la superficie du canal de décharge qui s'est formé (effet pelliculaire).

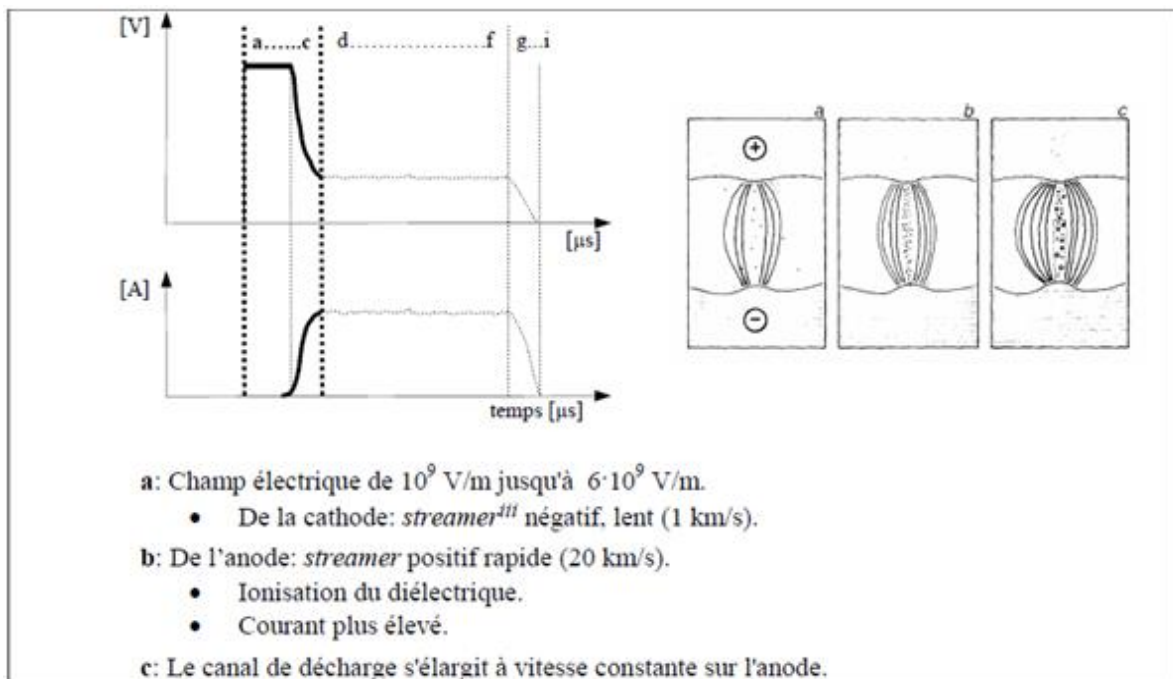


Figure .III.1 Phase de construction d'une étincelle

CHAPITRE III

Phase 2: la d écharge

Le diélectrique étant ionisé, un courant s'établit entre les électrodes à travers le gap. La d écharge Est fortement concentr ée dans un canal de tr ès petite section. Les particules à charge négative sont Attirées vers l'électrode positive, dont elles bombardent la surface et inversement, les particules Chargées positivement se dirigent vers l'électrode négative.

C'est le choc de ces différentes particules possédant une grande énergie cinétique avec la surface.

Des électrodes correspondantes, qui provoquent l'échauffement de ces dernières. Dans le canal de d écharge ou canal de plasma, la température est de 8'000 à 12'000 K et la densité de courant est Très élevée: de l'ordre de plusieurs dizaines de milliers d'ampères par centimètre carr é Cela signifie, que le nombre de particules charg ées en mouvement est grand dans un volume r éduit et que la vitesse qu'elles atteignent, est très élevée. Les températures engendr ées sur la surface de la pièce et de l'électrode entraînent la fusion et la vaporisation des mat ériaux constituant ces derni ères.

Ces conditions conjugu ées avec la d égradation du di électrique, conduisent à la formation de gaz et de r ésidus carbonneux.

Une bulle de gaz se forme autour du canal de plasma, à l'intérieur de laquelle la pression est très élev ée; le volume de cette bulle croît durant le passage du courant, comme d'ailleurs la section du canal de plasma.

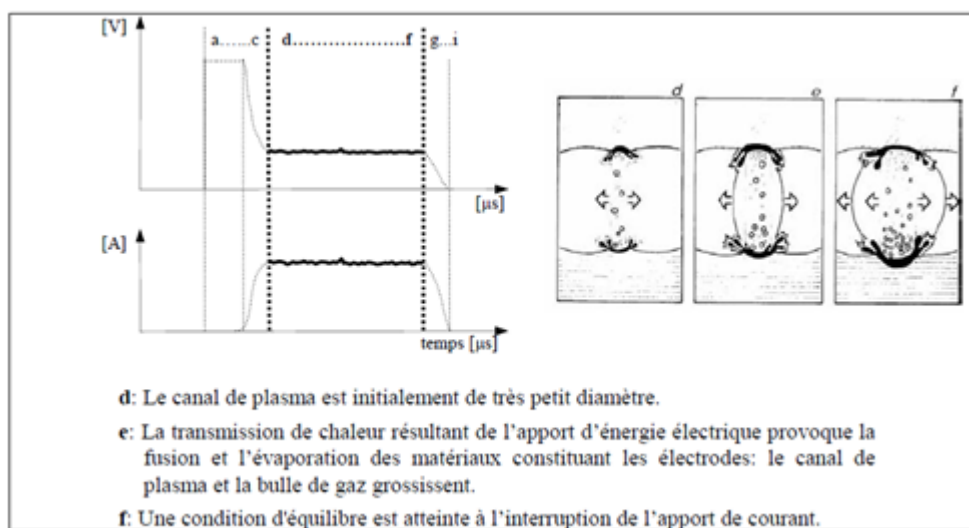


Figure .III.2 Phase de d écharge

Phase 3: la rupture

A la fin de la décharge, lorsque le courant est coupé, la pression tombe à l'intérieur de la bulle et simultanément le canal de plasma s'effondre. Aux surfaces de la pièce et de l'électrode, on assiste à une vaporisation explosive du matériau fondu. Les débris érodés sont éjectés à grande vitesse dans le diélectrique, pour former en se refroidissant de petites particules sphériques.

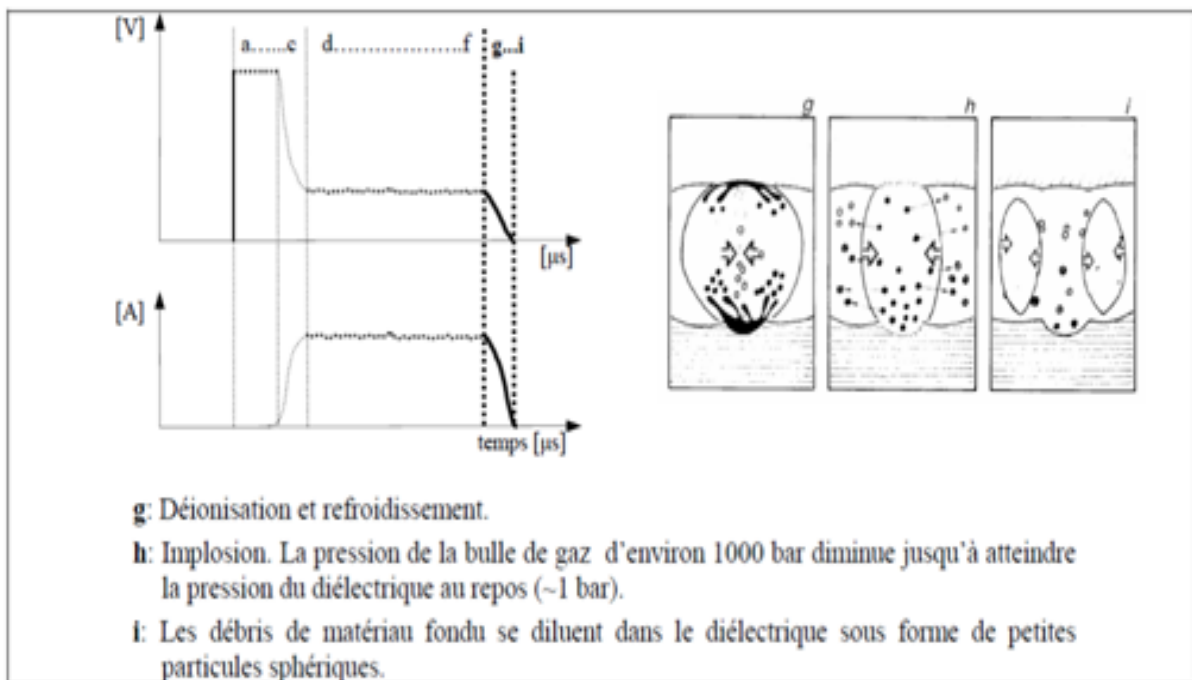


Figure .III.3 Phase de rupture

III-4 Zone thermiquement affectée

La surface de la pièce est altérée du fait de son échauffement lors de l'usinage. On

Peut distinguer trois couches superficielles

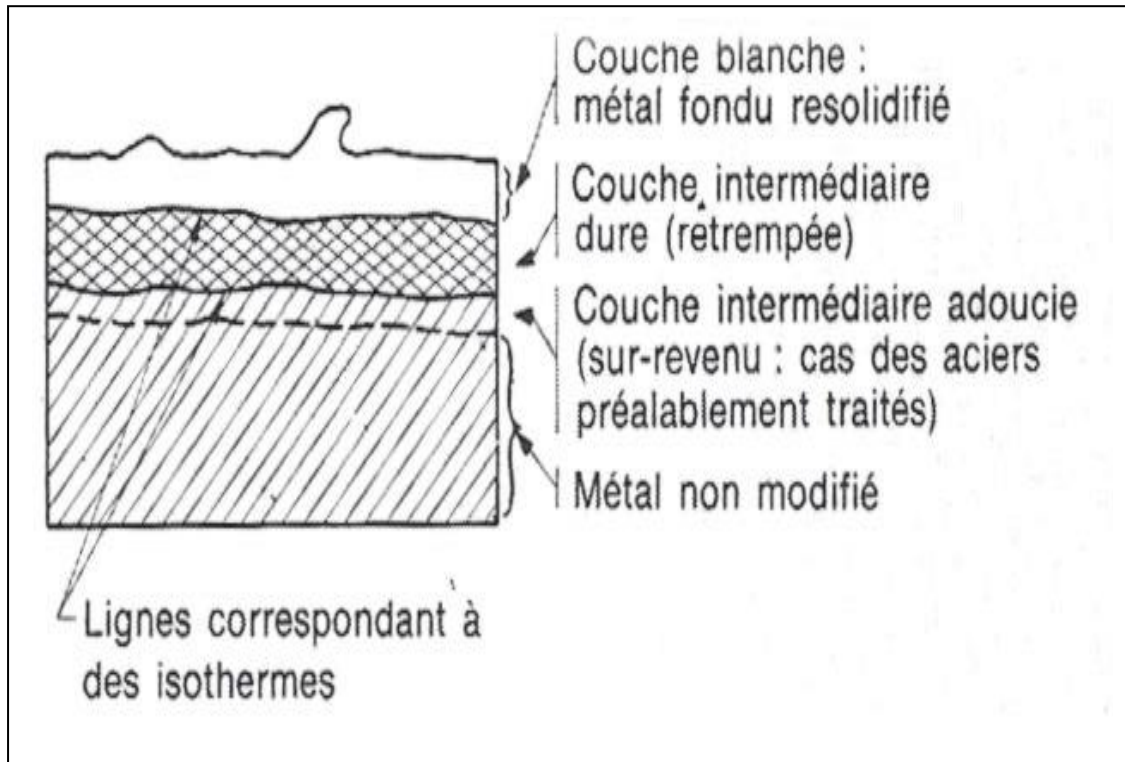


Figure .III.4 Zone thermiquement affectée

1) La couche blanche : Elle est principalement constituée de métal fondu puis

Resolidifiée et est riche en carbone provenant de l'huile de coupe.

2) La couche intermédiaire dure : A cette profondeur le métal n'a pas été porté à sa

Température de fusion, mais il a tout de même été porté à haute température

Puis refroidi brutalement. Il en résulte une dureté très élevée (effet de trempe).

CHAPITRE III

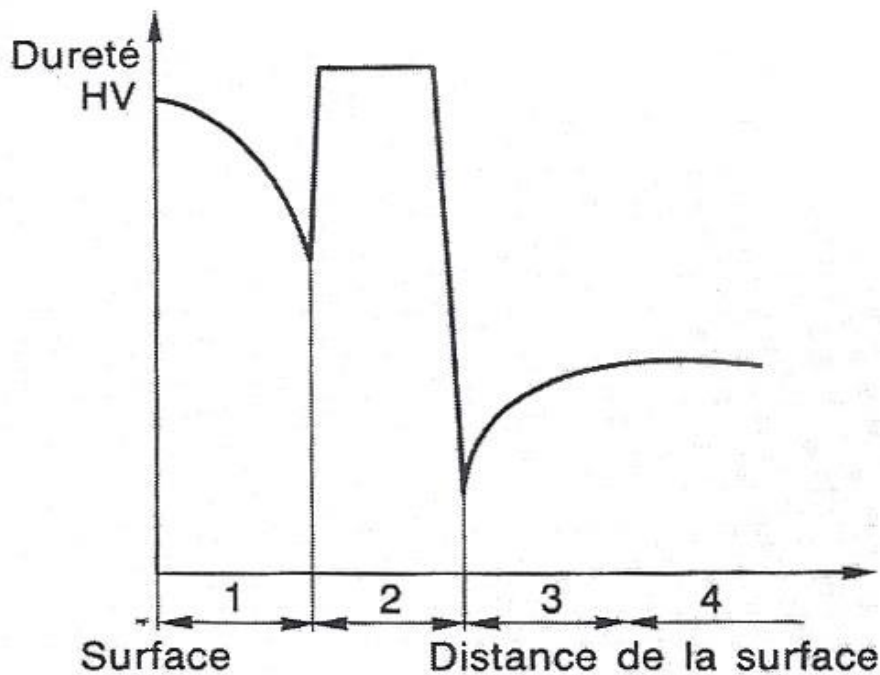
3) La couche intermédiaire adoucie : Si l'acier a déjà été trempé, une zone de Sur revenu apparaît. C'est une zone où l'effet de la trempe a été annulé, ce qui se traduit par une dureté plus faible que le reste de la pièce.

Ces couches superficielles ne sont cependant pas très épaisses, elles sont de l'ordre de Grandeur de la rugosité de surface.

On peut tirer avantage de cette modification structurale de la couche superficielle.

Par exemple, si l'on veut une dureté élevée, il n'y a pas besoin de faire une trempe

Puisque la surface est déjà durcie par l'usinage.



- | |
|--|
| <p>1 : zone fondue → couche blanche.
2 : zone austénitisée → couche intermédiaire trempée.
3 : zone sur-revenue → uniquement dans le cas des aciers trempés et revenus.
4 : métal non modifié.</p> |
|--|

De plus, par électroérosion il n'y a aucun contact entre l'outil et la pièce à usiner. De ce fait, aucune contrainte mécanique n'est appliquée sur celle-ci.

III-5 El éments d'une machine

Une machine à électro érosion peut être divis ée en plusieurs sous-parties Fonctionnelles.

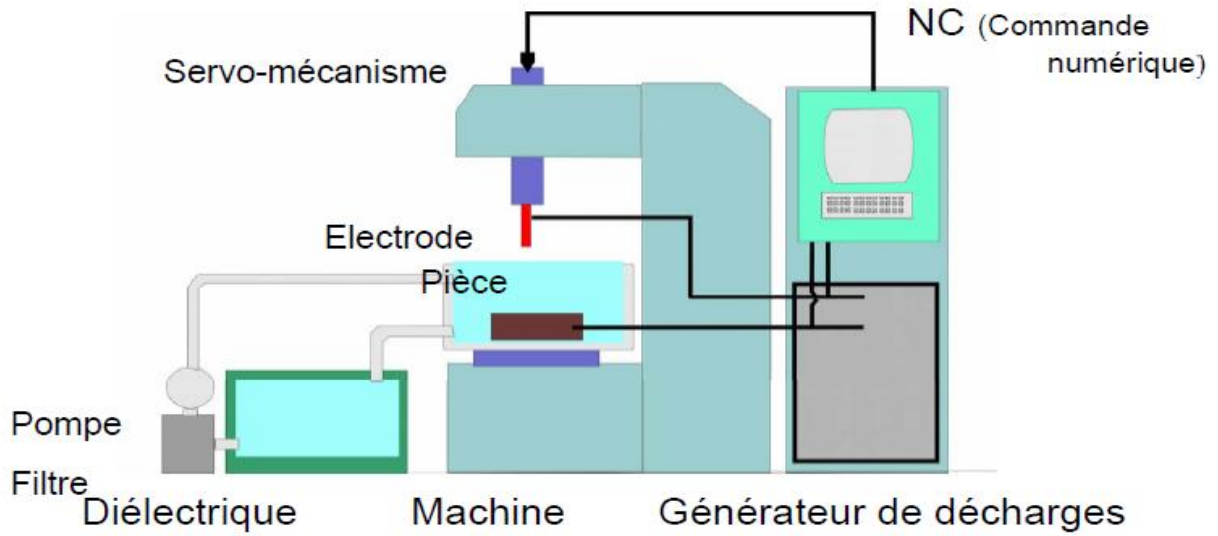


Figure III.6 El éments d'une machine



Figure .III.7 ROBOFORM 400

III-5-1 Description de machine:

Capacité 120m³/h de volume usiné

Dimensions table : 1195 x 800 x 500

Poids max. de la pièce à usiner 800 kg

Langage machine ISO

ROBOT EROWA X 40 OUTILS

III-6 Diélectrique

1 Fluide diélectrique pour l'électroérosion :

C'est en 1943, que le couple de chercheurs russes Lazarenko avait découvert l'emploi des décharges à condensateur comme procédé d'usinage sur les matériaux métalliques. Ils utilisèrent tout d'abord de l'air normal comme diélectrique.

Il s'avéra cependant très rapidement que les fluides à base d'huile minérale offraient des avantages non négligeables. La rigidité diélectrique était plus élevée. Aucun gap plus petit permettant une telle précision de reproduction ne pouvait être choisi. L'enchaînement des étincelles pouvait être augmenté et le métal ainsi ôté pouvait être facilement évacué de la zone de traitement.

A partir de 1960, l'industrie pétrolière a commencé à développer des fluides spéciaux pour l'emploi dans les installations d'électroérosion.

III-6-1 Rôle du fluide diélectrique :

A- Isolation :

Le liquide diélectrique a comme première fonction l'isolation de la pièce par rapport à l'électrode. Il refroidit la pièce et nous permet de nous approcher le plus près possible de la pièce. Ainsi, on augmente l'intensité de l'érosion et la précision d'usinage.

B- Ionisation :

Le diélectrique doit installer le plus rapidement possible les conditions nécessaires à la création d'un champ électrique qui formera le canal d'ionisation. Après l'impulsion, le canal doit être désionisé précipitamment afin que la prochaine décharge se produise. Afin d'obtenir une densité de flux élevée, le fluide rétrécit le canal. Le fait de l'avoir restreint engendre une augmentation de rendement lors de la décharge.

CHAPITRE III

C- Refroidissement :

Etant donné que l'arc électrique entre l'électrode et la pièce se produit à une température d'environ 8'000°C à 12'000°C, le système doit être rapidement refroidi ; fonction remplie par le diélectrique. La surchauffe de l'électrode est à éviter, si on ne veut pas trop l'user. Les vapeurs qui apparaissent lors du procédé d'électroérosion se condensent dans le liquide.

D- Evacuation des particules enlevées :

Les particules arrachées lors de l'usinage doivent pouvoir s'évacuer de la zone d'électroérosion par le liquide diélectrique afin de dépolluer la zone et éviter un court-circuit.

Etant donnée l'importance du liquide diélectrique dans l'usinage par électroérosion, tout investisseur dans la machine doit prendre en compte les critères d'un diélectrique comme :

Taux d'enlèvement et d'usure

- Critères sanitaires
- Toxicité
- Emission de fumée
- Point éclair
- Densité
- Indice d'évaporation
- Viscosité
- Conductivité électrique
- Tension de rupture
- Capacité de portance des impuretés
- Filtrabilité
- Compatibilité avec les éléments de l'installation (pièces de la machine, vernis, matériel d'étanchéité)
- Résistance au vieillissement
- Constance de la qualité
- Disponibilité
- Prix

III-6-2 Electrodes

Le choix de la matière pour l'électrode est un compromis entre le coût et la résistance à l'usure. A l'inverse des matières à usiner, on cherche ici des points de fusion et de Vaporisation aussi élevés que possible ainsi qu'une bonne conduction thermique. On préfère les électrodes qui se désintègrent en formant des particules aussi fines que possible parce que leur évacuation par le diélectrique est plus facile et que c'est généralement synonyme d'une dégradation plus ralentie dans le temps.

Les électrodes peuvent posséder des conduits où est injecté du diélectrique afin d'améliorer son renouvellement dans la zone de travail

III-6-2-1 Les matériaux d'électrode :

Tous les matériaux conducteurs d'électrode dont les principales propriétés doivent être :

-Physique :

Capacité calorifique

Bonne conductibilité thermique

Température de fusion élevée

-Mécanique :

Bonne usinabilité

Masse spécifique

Stabilité dimensionnelle

Module d'élasticité

CHAPITRE III

Trois types de matériaux sont les plus utilisés : matériaux métalliques (cuivre au chrome, laiton, acier tungstène), matériaux non métalliques tels les graphites, et les matériaux combinés. (cupro-graphites)

Avantages	Inconvénients
Cuivre et alliages → Petites électrodes	
Faible résistivité électrique Grande conductibilité thermique Prix équilibré	Point de fusion bas Faible dureté
Graphites → Electrodes de grandes dimensions	
Résolution plus élevée Faible résistivité Température de sublimation élevée	Mauvaise conductibilité thermique Plus cher que le cuivre Ne peut pas être utilisé sous forme de fil
Tungstène et alliages → Matière privilégiée	
Bonne conductibilité électrique Dureté et point de fusion élevés	Mauvaise conductibilité thermique Difficile à usiner Cher

III-7 Les différents procédés d'EDM

III-7-1 Electroérosion à fil

La machine déroule le fil à la vitesse nécessaire pour éviter que le fil ne cède. Le fil passe dans des guidages qui le tendent et en empêchent les vibrations. Une tension est appliquée entre le fil et la pièce par le générateur d'étincelage qui gère la tension et le courant nécessaire au bon déroulement du processus. La façon de fixer la pièce est tout autant importante que la manière de l'usiner, c'est la difficulté principale de la méthode. Il faut donc ingénieusement créer un support pour chaque type de pièce, et trouver de quelle manière le fixer sur la machine.

Une fois utilisé le fil est récupéré dans un bac, soit entier, soit coupé en petits morceaux, afin

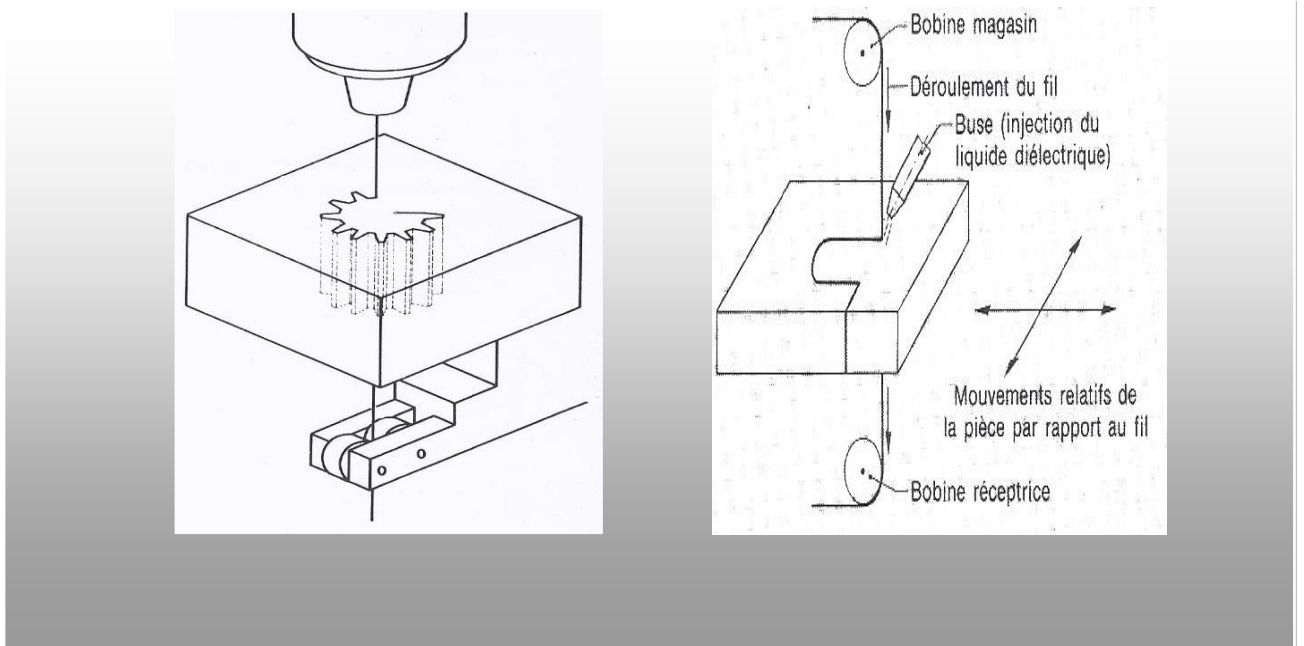


Figure .III.8. Electro érosion à fil

Possibilités d'usines

Exemple: les simples découpes dans de l'acier trempé avec un fil en laiton d'un diamètre entre 0.1 et 0.7mm) peuvent être usinés en moyennes séries (maximum 12'000 pièces par année pour une même série chez Marcel Jaccard SA). Ces usinages « simples » pour l'électroérosion mais trop compliqués pour être faits sur CNC sont pratiqués sur les machines d'entrée de gamme (250'000 CHF). Pour faire des usinages plus complexes et plus précis il faut une machine avec des déplacements plus précis, capable d'utiliser des fils plus petits (\varnothing 0.03mm), et donc plus chère (500'000 à 800'000 CHF). Les fils de plus haute qualité sont souvent faits de molybdène, de tungstène et/ou plaqué au zinc ou au chrome.

En inclinant la pièce, on peut usiner n'importe quelle forme sur une face passant dans un trou sur la face parallèle, pour autant que la pièce soit assez épaisse. Cette technique permet d'usiner 2 formes différentes dans 2 faces parallèles

Malgré toutes les précautions prises pour la mise en œuvre, il arrive que le fil cède. Quand cela se produit, le fil est chauffé, étiré puis coupé pour former une pointe. Un jet d'eau désionisée vient guider le fil dans le trou pour reprendre l'érosion là où elle en était restée. Toute cette manœuvre se fait normalement sans l'aide d'un technicien. Mais il arrive que le trou soit trop étroit pour passer le fil automatiquement, dans ce cas le technicien l'enfile manuellement.

CHAPITRE III

Ce dernier peut aussi être coupé volontairement par un court-circuit au niveau du guidage supérieur.

La fente la plus fine que l'on puisse usiner avec un fil de diamètre 0.1mm (par exemple) est $0.1\text{mm} + 2$ fois la largeur du gap. La largeur d'un gap d'électroérosion à fil est de l'ordre de 10-15 μm . Cela nous donne la largeur de la fente = environ 0.13mm.

L'enlèvement de matière est calculé en mm^2 / min car le fil va enlever une très fine couche, qu'on associe à une surface. Si on utilise un fil en laiton de 0.25 mm de diamètre et qu'on veut usiner sur une hauteur de 40mm, on atteint environ une vitesse de 120-140 mm^2 / min . Cela nous donne une avance linéaire du fil de 3 à 3.5mm / min sur la pièce. Cette vitesse décroît si l'épaisseur des pièces à usiner augmente. En théorie, on utilise une relation mathématique pour approximer et optimiser la vitesse idéale d'avance du fil en fonction de la matière à usiner, la matière du fil et l'épaisseur de la pièce à usiner. Mais en pratique, on utilise des paliers de vitesses, ce qui fait que si on veut éroder une pièce de 2mm ou de 20 mm d'épaisseur, on ira à la même vitesse. Et cette vitesse changera pour un palier supérieur. En réalité, ces réglages se font de manière empirique. De ce fait, on peut dire que l'épaisseur idéale à usiner pour l'électroérosion à fil est de 40mm. Si les pièces à usiner sont très petites, on peut les empiler pour obtenir la meilleure épaisseur et donc par la même occasion, gagner beaucoup de temps.

III-7-2 Electroérosion par enfonçage

Pour utiliser cette technique, il faut préalablement usiner l'électrode. Celle-ci est en fait quasiment le négatif de la pièce à usiner. En effet, l'usinage prendra la forme de l'électrode mais il y aura toujours la taille du gap en plus ce qui aura comme conséquences d'augmenter la taille de l'usinage et d'arrondir les angles avec un rayon égal au gap. Il faut parfois jusqu'à 5 électrodes pour atteindre la précision requise par le client : première ébauche, deuxième ébauche, puis 3 finitions de plus en plus précises du fait qu'on enlève de moins en moins de matière et donc que l'électrode est encore parfaitement affûtée. En effet, l'électrode s'use assez rapidement et cet effet d'érosion est encore beaucoup plus marqué quand il s'agit d'usiner des arrêtes.

Il est impossible d'enfoncer l'électrode en un coup dans la matière car il faut évacuer les particules érodées qui sont dans le diélectrique régulièrement. On va donc faire de petits allers-retours avec l'électrode afin de créer un flux de liquide diélectrique.

CHAPITRE III

Nous préciserons qu'une électrode est dans la plupart des cas unique. Il faut donc également tenir compte du fait que même si elle est encore en bon état après le procédé il y aura peu de chance qu'elle soit à nouveau utile.

On utilise souvent une électrode en graphite pour la finition en faisant un enlèvement de matière de l'ordre de $2\text{mm}^3/\text{min}$ alors que le cuivre est la matière utilisée pour faire le 99% de l'enlèvement de matière. Les 95% d'ébauche sont enlevés à $400\text{mm}^3/\text{min}$ alors que les 4% de semi-finition sont ôtés à la vitesse de $100\text{mm}^3/\text{min}$.

L'avantage du graphite est qu'il s'use moins que le cuivre et donc on pourra obtenir une bonne précision pendant plus longtemps.

Dans ce type d'électroérosion, l'arc électrique est plus long et moins violent qu'avec un fil afin d'éviter l'usure trop rapide de l'électrode. Ces deux méthodes sont souvent complémentaires, c'est-à-dire que dans la plupart des cas, nous utilisons le fil et l'enfonçage pour réaliser les exigences du client (parfois même encore l'usinage CNC).

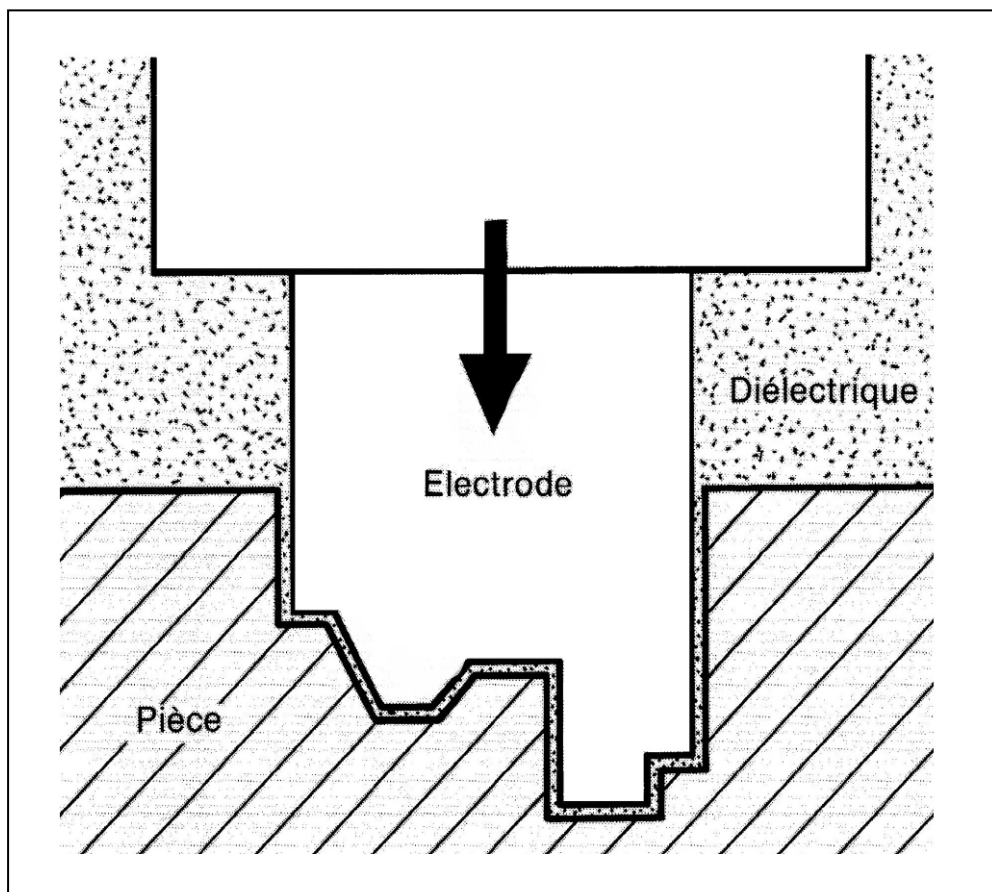


Figure .III.9 Electro érosion à enfonçage

III-8 Avantages et inconvénient de l'électroérosion

A- Avantages

- Possibilité de réaliser des géométries complexes, très petites ou impossibles à réaliser par tournage ou fraisage. Par ex.: angles internes sans rayon.
- Haute précision ($1\mu\text{m}$).
- Excellent état de surface ($R_a 0.1$). Le polissage est réduit au minimum.
- Usinage de métaux durs ou déjà trempés.
- Dimension des pièces limitée par la dimension de la machine uniquement.
- Pas de contraintes mécaniques entre électrode-outil et pièce usinée.
- Travail automatique: le mécanicien ne doit que vérifier l'absence de pannes de temps à autres durant l'usinage.

B- Inconvénients

- Procède extrêmement lent: plusieurs heures par pièce.
- Limite aux petites séries.
- Coûts élevés à l'investissement et à l'usage: machine et électrodes chères.
- Matériaux usinables limités aux conducteurs et semi-conducteurs électriques.
- Réactions parasites: galvanisation avec les particules de l'électrode-outil, Hydrolyse du diélectrique.

IV - GAMME D'USINAGE

IV -1 Les r égimes de coups pout la fraise :Ø 63

Mati ère = cuivre

La fraise :Ø63 mim

IV-1-1-a Calcul de la fr équence de rotation Ebauche :

$V_c = 150\text{m/min}$

$F_{ze} = 0.05\text{mm}$

$$N_e = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D_e}$$

N : fr équence de rotation (tr/min)

V_c : vitesse de coupe (m/min)

D : diamètre de l'outil (mm)

$$N_e = 1000 \times 150 / 3.14 \times 63 = 761 \text{ T/min}$$

$$N_e = 761 \text{ T/min}$$

IV-1-1-b Calcul de la fr équence de rotation La finition :

$V_{cf} = 200\text{m/min}$

$F_{zf} = 0.004 \text{ mm}$

$$N_f = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D_e}$$

$$S_F = 1000 \times 200 / 3.14 \times 63 = 1011$$

$$S_f = 1011 \text{ tr/min}$$

CHAPITRE IV

IV-1-2 Calcul de la vitesse d'avance Vf:

IV-1-2-a Calcul de la vitesse d'avance Ebauche :

$$Vf_e = f_z \times Z \times n$$

Vf : vitesse d'avance en mm/min

f Z : avance en mm/tr/dt

Z : nombre de dents de l'outil

n : fréquence de rotation en tr/min

$$Vf_f = 761 \times 8 \times 0.05 = 304 \text{ mm/min}$$

IV-1-2-b Calcul de la vitesse d'avance finition :

$$Vf_f = f_z \times Z \times n$$

$$Vf_f = 1015 \times 8 \times 0.04 = 324 \text{ mm/min}$$

IV-2 Les régimes de coupe pour la fraise : Ø8

Matériau = cuivre

La fraise : Ø8 mm

IV-2 -1-a Calcul de la fréquence de rotation Ebauche :

$$V_c = 150 \text{ m/min}$$

$$Fz_e = 0.05 \text{ mm}$$

$$N_e = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D_e}$$

N : fréquence de rotation (tr/min)

Vc : vitesse de coupe (m/min)

D : diamètre de l'outil (mm)

$$N_e = 1000 \times 150 / 3.14 \times 8 = 5970 \text{ T/min}$$

$$N_e = 5970 \text{ T/min}$$

CHAPITRE IV

IV-2-1-b Calcul de la fréquence de rotation La finition :

$$V_{cf} = 200 \text{ m/min}$$

$$F_{zf} = 0.004 \text{ mm}$$

$$N_f = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D_e}$$

$$S_F = 1000 \times 200 / 3.14 \times 8 = 7960 \text{ T/min}$$

$$S_f = 7960 \text{ tr/min}$$

IV-2-2 Calcul de la vitesse d'avance Ebauche :

$$V_{f_e} = f_z \times Z \times n$$

$$V_{f_f} = 5970 \times 4 \times 0.04 = 955 \text{ mm/min}$$

IV-2-3 Calcul de la vitesse d'avance finition

$$V_{f_f} = f_z \times Z \times n$$

$$V_{f_f} = 7960 \times 4 \times 0.04 = 1270 \text{ mm/min}$$

IV-3 Les régimes de coups pour le Forets : Ø8 mm

IV-3-1 Calcul de la fréquence de rotation

Matière = cuivre

Forets: Ø8 mm

$$V_c = 150 \text{ m/min}$$

$$F_{z_e} = 0.05 \text{ mm}$$

$$N_e = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D_e}$$

N : fréquence de rotation (tr/min)

V_c : vitesse de coupe (m/min)

CHAPITRE IV

D : diamètre de l'outil (mm)

$$N_e = 1000 \times 40 / 3.14 \times 8 = 1590 \text{ tr/min}$$

$$N_e = 1590 \text{ T/min}$$

IV-3-2 Calcul de la vitesse d'avance

V_f : vitesse d'avance en mm/min

f_Z : avance en mm/tr/dt

Z : nombre de dents de l'outil

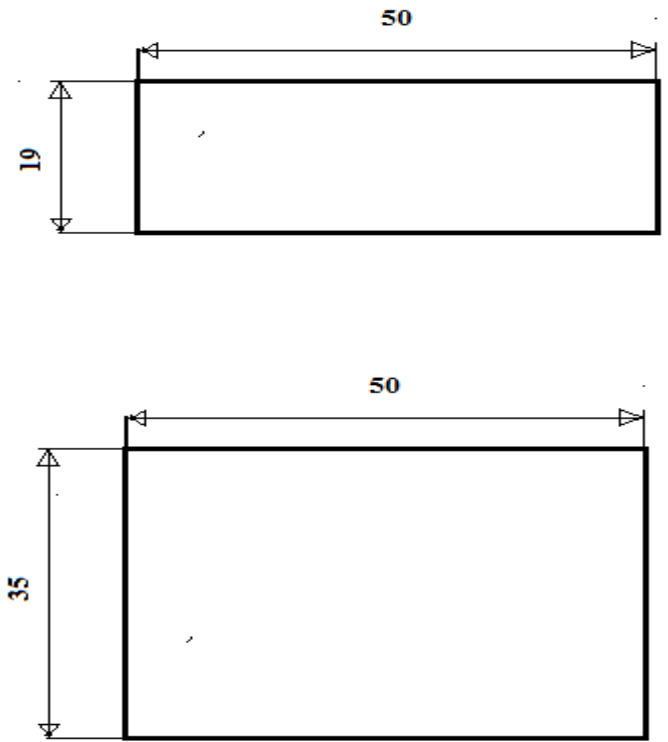
n : fréquence de rotation en tr/min

$$V_{f e} = f_z \times Z \times n$$

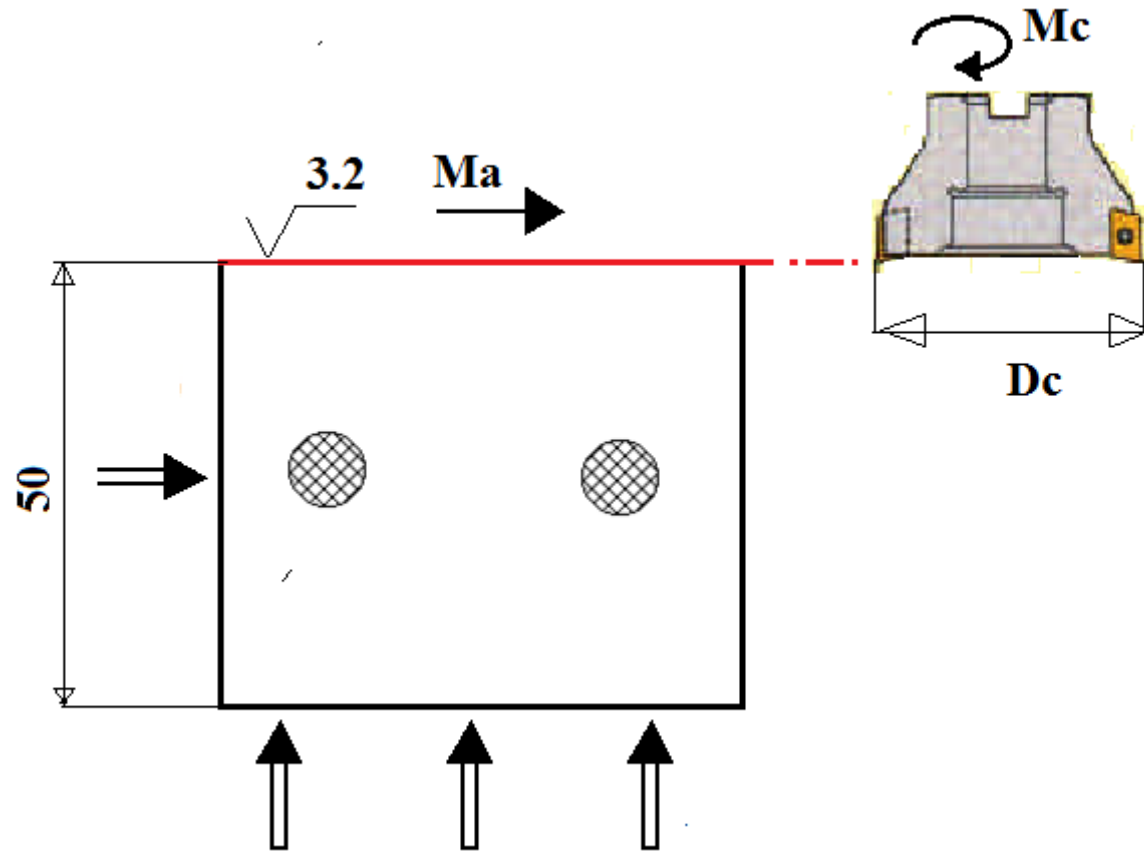
$$V_{f e} = 1590 \times 2 \times 0.04 = 127 \text{ mm/min}$$

IV-4 LE CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL

CHAPITRE IV

CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°100	ENSEMBLE:	DATE:30/05/2015				
	PIECE: Electrode	/				
	MATIERE: : Cuivre électrolyse					
NOM:SLIMI HAMDI	PROGRAMME: UNITAIRE					
DESIGNATION: atelier de contrôle						
MACHINE:						
						
OPERATIONS	OUTILS	Vc	f/fz	N	ap	p min
contrôle de la pièce brut Atelier de contrôle	Pied a coulisse +règle					

CHAPITRE IV

CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°	ENSEMBLE:		DATE:30/05/2015				
	PIECE: Electrode		NOM:SLIMI HAMDI				
	MATIERE: : Cuivre électrolyse						
NOM:SLIMI HAMDI	PROGRAMME: UNITAIRE						
DESIGNATION: fraisage							
MACHINE: Fraiseuse universelle							
 <p>The diagram illustrates a rectangular workpiece with a width of 50. A surface texture of 3.2 is indicated on the top surface. Two circular features are shown on the top surface. A cross-sectional view of a milling operation is shown to the right, with parameters Ma (axial feed), Mc (cutting speed), and Dc (cutting diameter).</p>							
OPERATIONS	OUTILS	V_c m/min	f/f_z mim/d	N Tr/min	A m/mi n	P min	
Surfaçage et dressage Ébauche	Fraise surfacerø63 à	150	0.05	761	304	1	
Surfaçage et dressage finition	à, 3 tailles-en Carbures métalliques	200	0.04	1015	243		

CHAPITRE IV

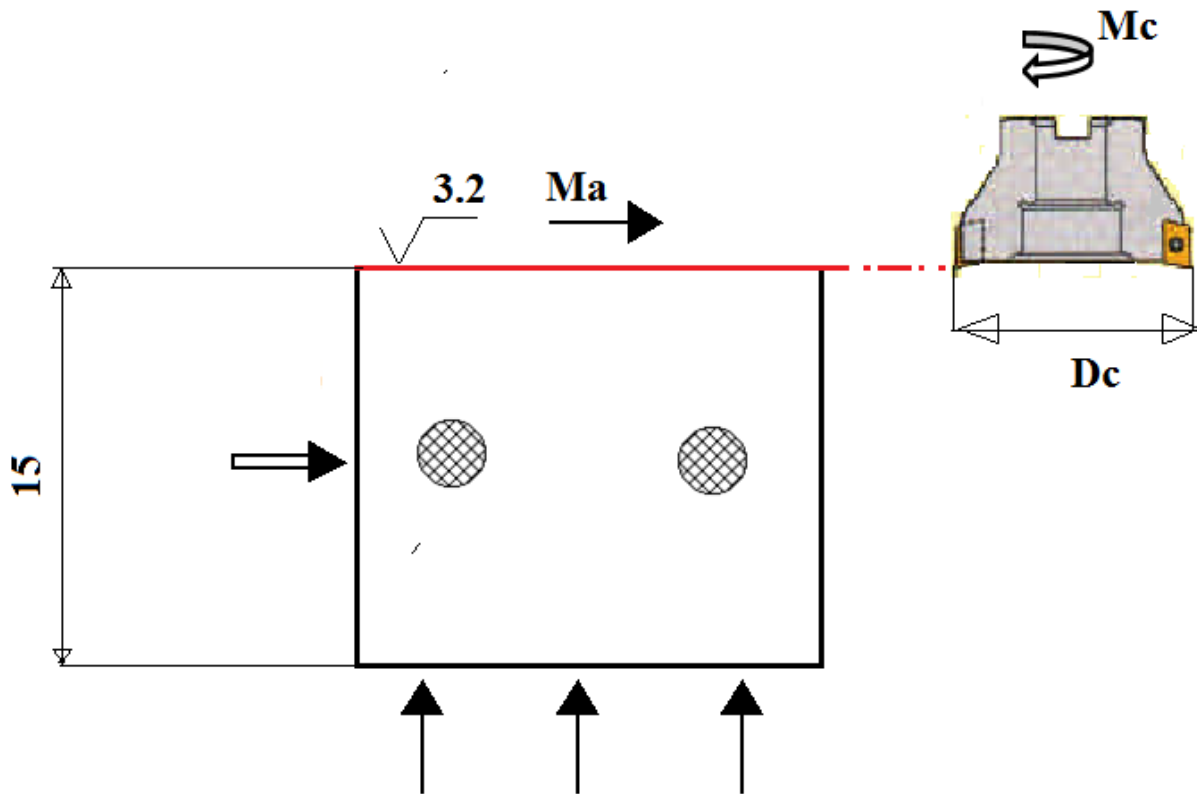
CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°100	ENSEMBLE:		DATE:30/05/2015			
	PIECE: Electrode		/			
	MATIERE: : Cuivre électrolyse					
NOM:SLIMI HAMDY	PROGRAMME: UNITAIRE					
DESIGNATION: fraisage						
MACHINE: Fraiseuse universelle						
OPERATIONS	OUTILS	Vc m/min	f/fz mim/d	N Tr/mi n	A m/min	P min
Surfaçage et dressage Ébauche	Fraise à surfacer ø63	150	0.05	761	304	1
Surfaçage et dressage finition	à, 3 tailles-en Carbures métalliques	200	0.04	1015	243	

CHAPITRE IV

CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°10	ENSEMBLE:	DATE:30/05/2015					
	PIECE: Electrode	/					
	MATIERE: Cuivre électrolyse						
NOM:SLIMI HAMDY	PROGRAMME: UNITAIRE						
DESIGNATION: fraisage							
MACHINE: Fraiseuse universelle							
OPERATIONS	OUTILS	Vc m/min	f/fz mim/d	N Tr/min	A m/mi n	P min	
Surfaçage et dressage Ébauche	Fraise à surfaçer $\varnothing 63$	150	0.05	761	304	1	
Surfaçage et dressage finition	à, 3 tailles-en Carbures métalliques	200	0.04	1015	243		

CHAPITRE IV

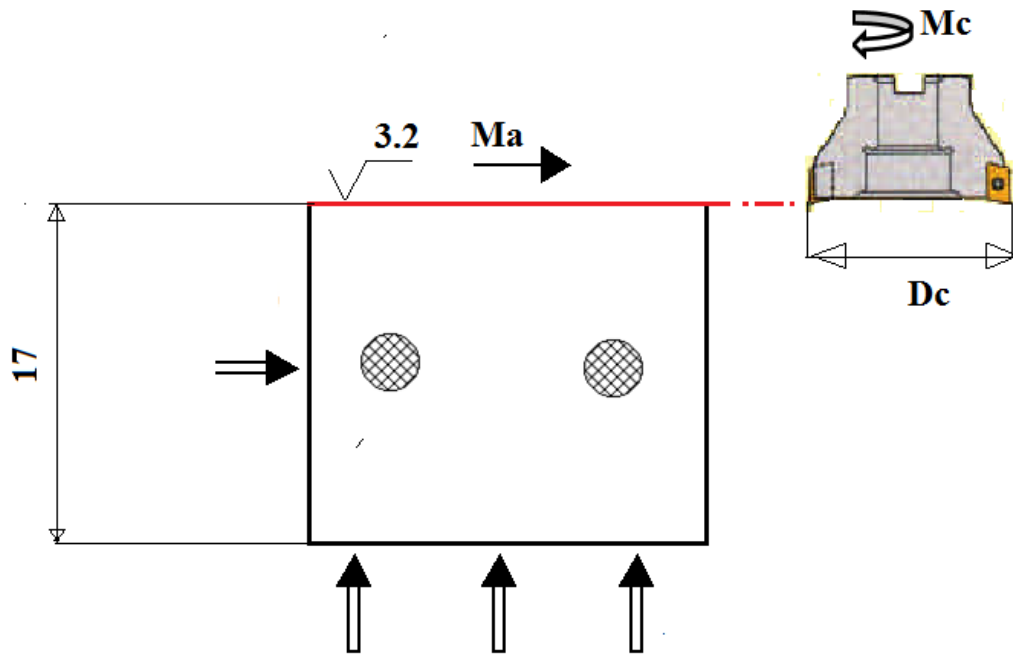
CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°10	ENSEMBLE:	DATE:30/05/2015	
	PIECE: Electrode		/
	MATIERE: Cuivre électrolyse		
NOM:SLIMI HAMDY	PROGRAMME: UNITAIRE		
DESIGNATION: fraisage			
MACHINE: Fraiseuse universelle			



OPERATIONS	OUTILS	Vc m/min	f/z mim/d	N Tr/min	A m/min	P min
Surfaçage et dressage Ébauche	Fraise à surfacer ø 63	150	0.05	761	30	1
Surfaçage et dressage finition	à, 3 tailles-en Carbures métalliques	200	0.04	1015	243	

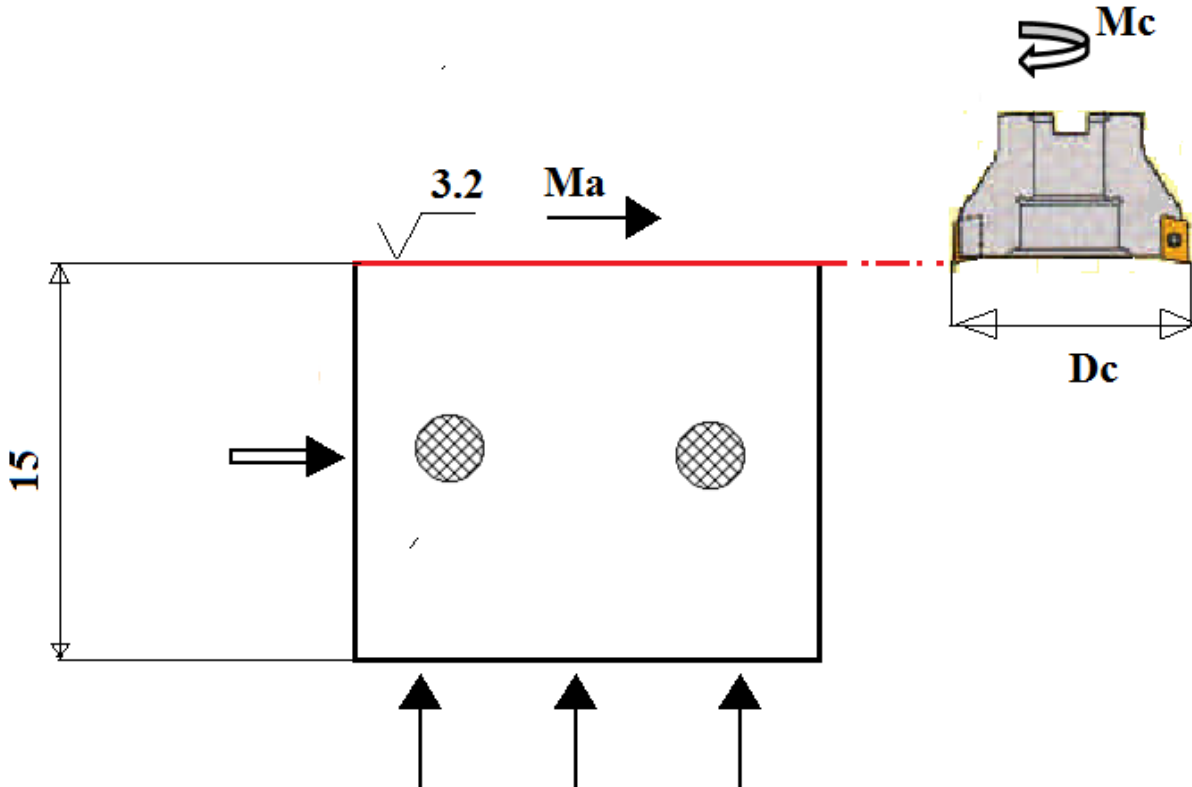
CHAPITRE IV

CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°10	ENSEMBLE:	DATE:30/05/2015	
	PIECE: Electrode		/
	MATIERE: Cuivre électrolyse		
NOM:SLIMI HAMDY	PROGRAMME: UNITAIRE		
DESIGNATION: fraisage			
MACHINE: Fraiseuse universelle			



OPERATIONS	OUTILS	Vc m/min	f/fz mim/d	N Tr/min	A m/min	P min
Surfaçage et dressage Ébauche	Fraise à surfacer $\phi 63$	150	0.05	761	304	1
Surfaçage et dressage finition	à 3 tailles-en Carbures métalliques	200	0.04	1015	243	

CHAPITRE IV

CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°10	ENSEMBLE:	DATE:30/05/2015				
	PIECE: Electrode	/				
	MATIERE: Cuivre électrolyse					
NOM:SLIMI HAMDY	PROGRAMME: UNITAIRE					
DESIGNATION: fraisage						
MACHINE: Fraiseuse universelle						
						
OPERATIONS	OUTILS	Vc m/min	f/fz mim/d	N Tr/min	A m/min	P min
Surfaçage et dressage Ébauche	Fraise à surfacerø63	150	0.05	761	304	1
Surfaçage et dressage finition	à 3 tailles-en Carbures métalliques	200	0.04	1015	243	

CHAPITRE IV

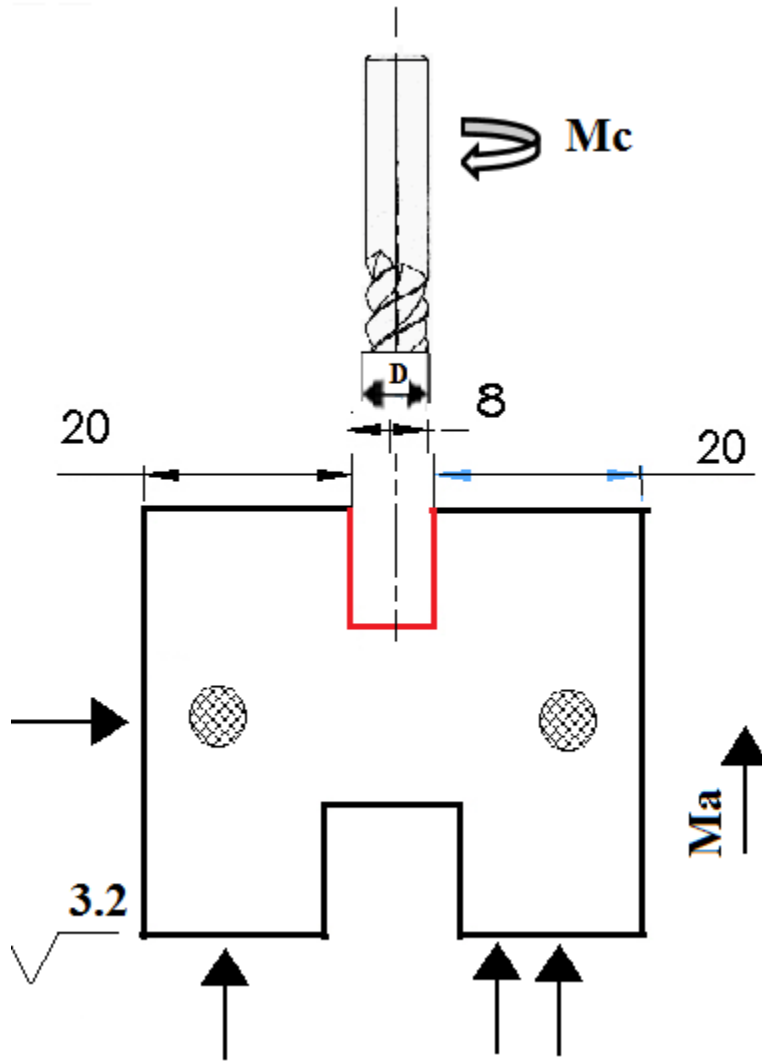
CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°10	ENSEMBLE:	DATE:30/05/2015				
	PIECE: Electrode	/				
	MATIERE: Cuivre électrolyse					
NOM:SLIMI HAMDY	PROGRAMME: UNITAIRE					
DESIGNATION: fraisage						
MACHINE: Fraiseuse universelle						
OPERATIONS	OUTILS	Vc m/min	f/fz mm/d	N Tr/min	A m/min	P min
Rainurage	Fraise pour rainure $\varnothing 8$ à 3 tailles en Carbures métalliques	150	0.04	5970	955	1

CHAPITRE IV

CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°10 NOM: SLIMI HAMDY	ENSEMBLE:	DATE: 30/05/2015				
	PIECE: Electrode		/			
	MATIERE: Cuivre électrolyse					
NOM: SLIMI HAMDY	PROGRAMME: UNITAIRE					
DESIGNATION: fraisage						
MACHINE: Fraiseuse universelle						
OPERATIONS	OUTILS	Vc m/min	f/fz mim/d	N tr	A m/min	P min
Rainurage	Fraise pour rainure $\varnothing 8$ à, 3 tailles en Carbures métalliques	150	0.04	5970	955	1


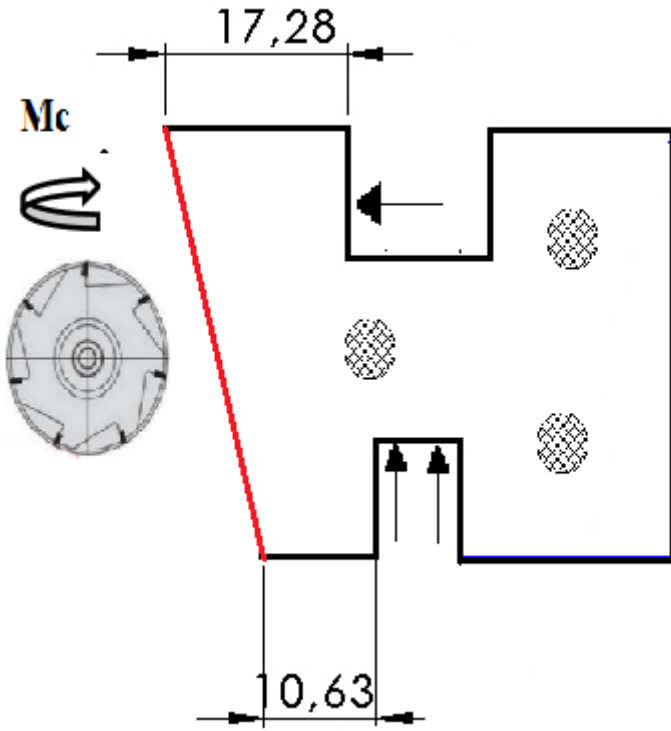
CHAPITRE IV

CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°10	ENSEMBLE:	DATE:30/05/2015	
	PIECE: Electrode		/
	MATIERE: Cuivre électrolyse		
NOM:SLIMI HAMDI	PROGRAMME: UNITAIRE		
DESIGNATION: fraissage			
MACHINE: Fraiseuse universelle			

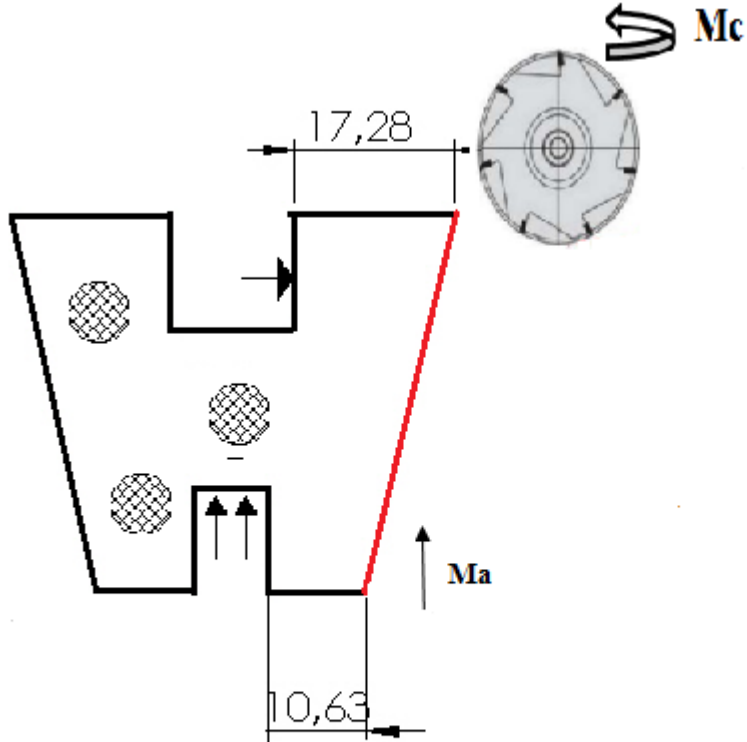


OPERATIONS	OUTILS	Vc m/min	f/fz mim/d	N tr	A m/min	p min
Rainurage	Fraise pour rainure $\varnothing 8$ à 3 tailles en Carbures métalliques	150	0.04	5970	955	1

CHAPITRE IV

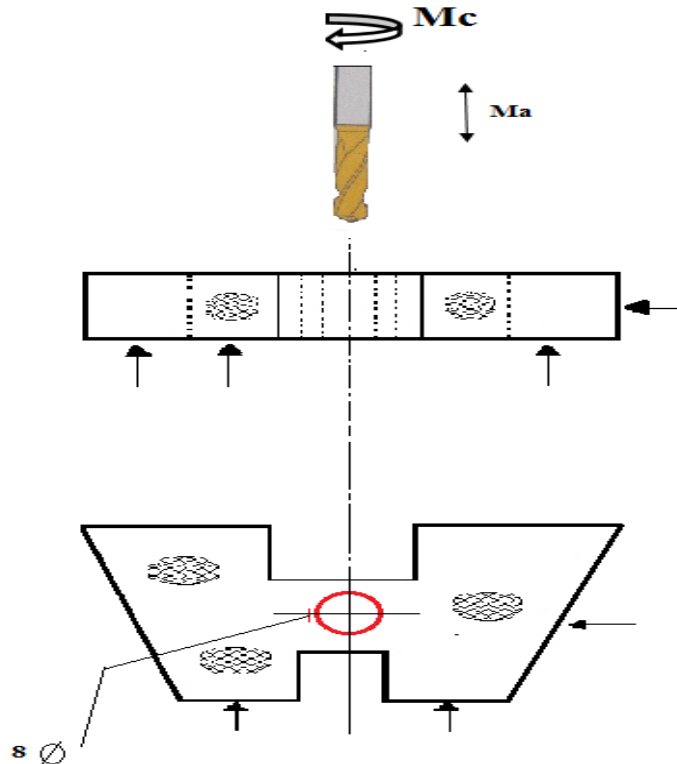
CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°10	ENSEMBLE:	DATE:30/05/2015				
	PIECE: Electrode					
	MATIERE: Cuivre électrolyse					
NOM:SLIMI HAMDY	PROGRAMME: UNITAIRE					
DESIGNATION: fraisage						
MACHINE: Fraiseuse universelle						
						
OPERATIONS	OUTILS	Vc m/min	f/fz mm/d	N Tr/min	A m/min	P min
Surfaçage encline Ébauche	Fraise à surfacer ø 63 à, 3 tailles-en Carbures métalliques	150	0.05	761	304	1
Surfaçage encline finition		200	0.04	1015	243	

CHAPITRE IV

CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°10	ENSEMBLE:	DATE:30/05/2015				
	PIECE: Electrode	/				
	MATIERE: Cuivre électrolyse					
NOM:SLIMI HAMDY	PROGRAMME: UNITAIRE					
DESIGNATION: fraisage						
MACHINE: Fraiseuse universelle						
						
OPERATIONS	OUTILS	Vc m/min	f/fz mm/d	N Tr/min	A m/min	P min
Surfaçage encline Ébauche	Fraise à surfaçer ø 63 à, 3 tailles-en Carbures métalliques	150	0.05	761	304	1
Surfaçage encline finition		200	0.04	1015	243	

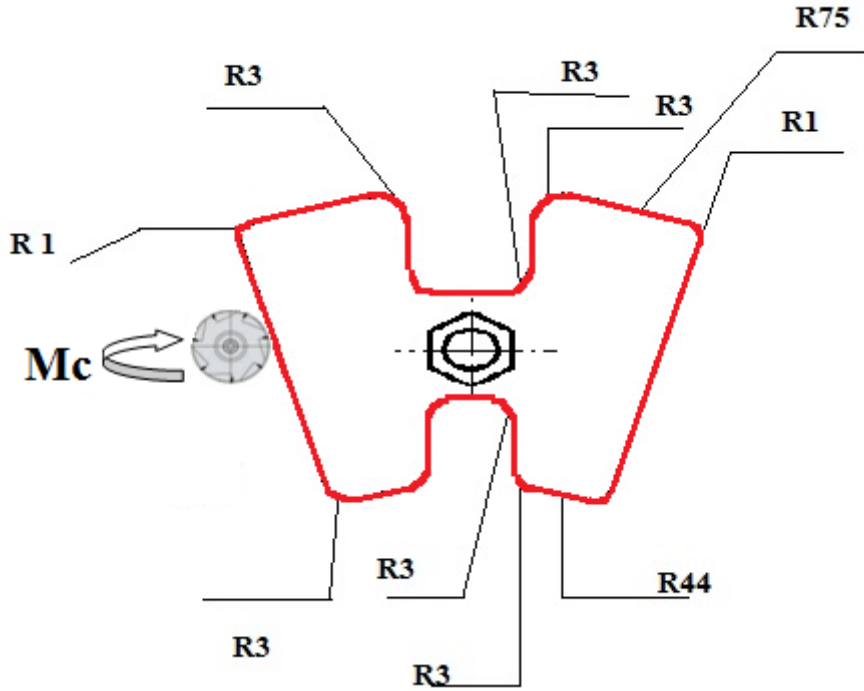
CHAPITRE IV

CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°10	ENSEMBLE:	DATE:30/05/2015	
	PIECE: Electrode		/
	MATIERE: Cuivre électrolyse		
NOM:SLIMI HAMDY	PROGRAMME: UNITAIRE		
DESIGNATION: Perçage			
MACHINE: Fraiseuse universelle			



OPERATIONS	OUTILS	Vc m/min	f/fz mm/d	N Tr/min	A m/min	
Perçage	Forets ø8	40	0.04	1592	127	

CHAPITRE IV

CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°	ENSEMBLE:	DATE:30/05/2015				
	PIECE: Electrode					
	MATIERE: : Cuivre électrolyse					
NOM:SLIMI HAMDI	PROGRAMME: UNITAIRE	NOM:SLIMI HAMDI				
DESIGNATION: fraisage						
MACHINE: FRAISEUSE CNC DX						
						
OPERATIONS	OUTILS	Vc	f/fz	N	ap	tm
Surfaçage DE CONTER	Fraise à surfacer ø 3 à, 3 tailles-en Carbures métalliques			S4	F80	

CHAPITRE IV

IV-5 LE PROGRAMME DE LA MACHINE CNC POUR L'ELECTRODE

N001 G 00 X+01388 Y+00690 M03 S4 LF

N002 G 41 LF

N003 G 01 F 080 Z - 00500LF

N004 X+ 00500 Y+ 03249 LF

N005 G 02 X + 00562 Y+ 03377LF

I+ 00093 J+00032

N006 G 02 X +01915 Y +03691 LF

I +02363 J+07118

N007 G 02 X +02254 Y +03421 LF

I +00040 J - 00295 LF

N008 G 01 X +02301 Y +02923 LF

N009 G 03 X +02614 Y+ 02652 LF

I+ 00298 J+ 00028 LF

N010 G 01 X +03237 Y+ 02652 LF

N011 G03 X+ 03550 Y+ 02923 LF

CHAPITRE IV

I +00007 J+ 00271 LF

N012 G 01 X+ 03597 Y +03421 LF

N013 G 02 X+ 03936 Y +03691 LF

I +00300 J – 00031 LF

N014 G 02 X +05289 Y +03373 LF

I +01010 J – 07431 LF

N015 G02 X +05352 Y+ 03249 LF

I – 00031 J – 00094 LF

N016 G 01 X + 04463 Y+ 00690 LF

N017 G 02 X + 04100 Y +00500 LF

I-00281 J+ 00098 LF

N018 G 03 X +03615 Y + 00605 LF

I – 01174 J – 04240 LF

N019 G 02 X+ 03363 Y +00926 LF

I - 00045 J – 00297 LF

N020 G 01 X +03391 Y +01226 LF

N021 G 03 X +03103 Y +01556 LF

CHAPITRE IV

I - 00299 J +00031 LF

N022 G 01 X +02748 Y+ 01556 LF

N023 G 03 X +02460 Y +01228 LF

I +00010 J -00299 LF

N024 G 01 X +02488 Y +00929 LF

N025 G 02 X +02236 Y +00605 LF

I -00298 J -00028 LF

N026 G 03 X +01756 Y +00500 LF

I +00689 J -04345 LF

N027 G 02 X +01388 Y +00690 LF

I -00080 J +00289 LF

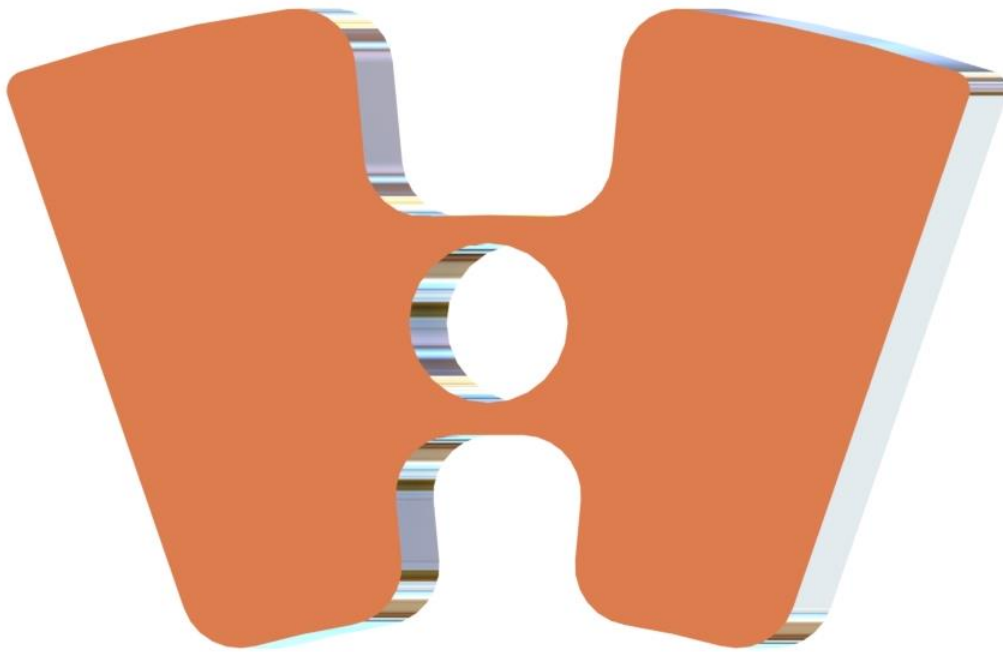
SP

N 901 I 00300 LF

CHAPITRE IV

IV-6 TABLO DE CORDONE

AXE NEM	X	Y	Z
1	13.88	6.90	-15
2	5	32.49	-15
3	5.62	33.77	-15
4	19.15	36.91	-15
5	22.54	34.21	-15
6	23.01	29.23	-15
7	26.14	26.52	-15
8	32.37	26.52	-15
9	35.50	29.23	-15
10	35.97	34.21	-15
11	39.36	36.91	-15
12	52.89	33.71	-15
13	35.52	32.49	-15
14	44.63	6.90	-15
15	41	5	-15
16	36.15	6.05	-15
17	33.63	9.29	-15
18	33.91	12.28	-15
19	31.03	15.56	-15
20	27.48	15.56	-15
21	24.60	12.28	-15
22	24.88	9.29	-15
23	22.36	6.05	-15
24	17.51	5	-15



CHAPITRE IV

CHAPITRE IV

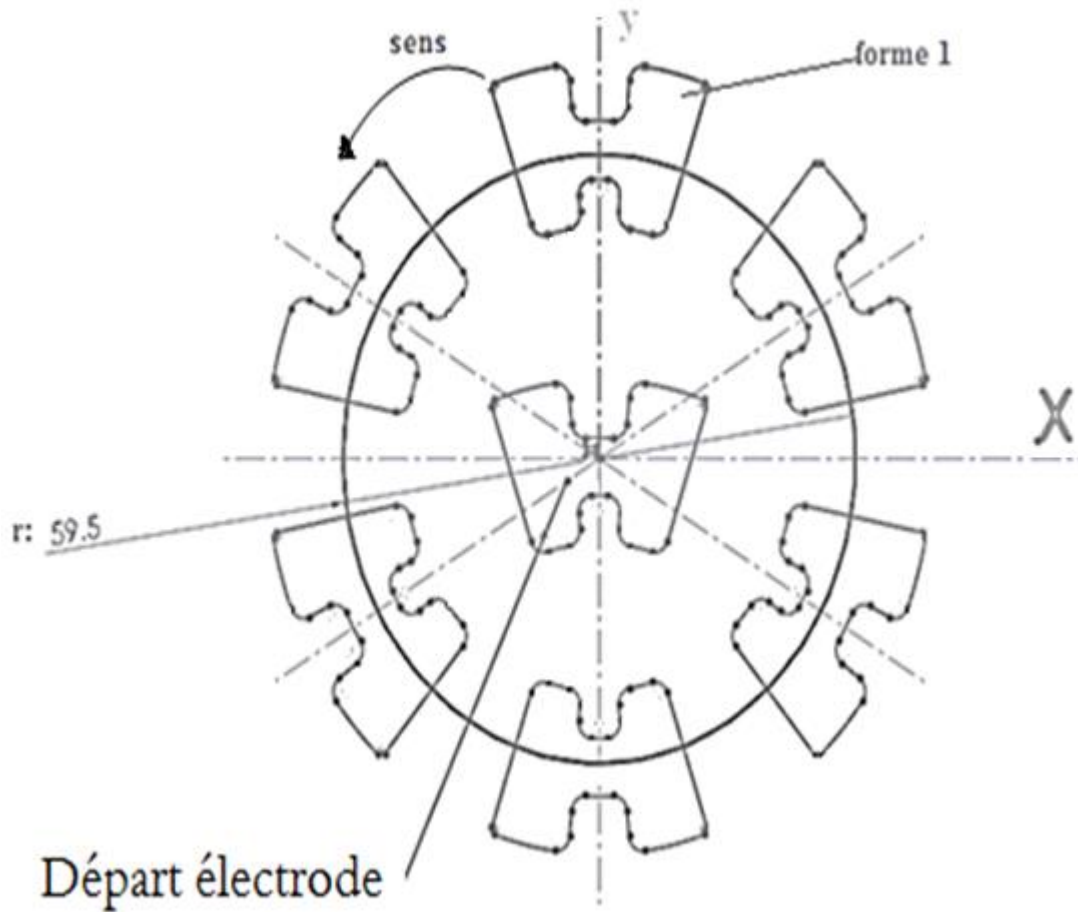
PROGRAMME MACHINE ROBO FORME 400

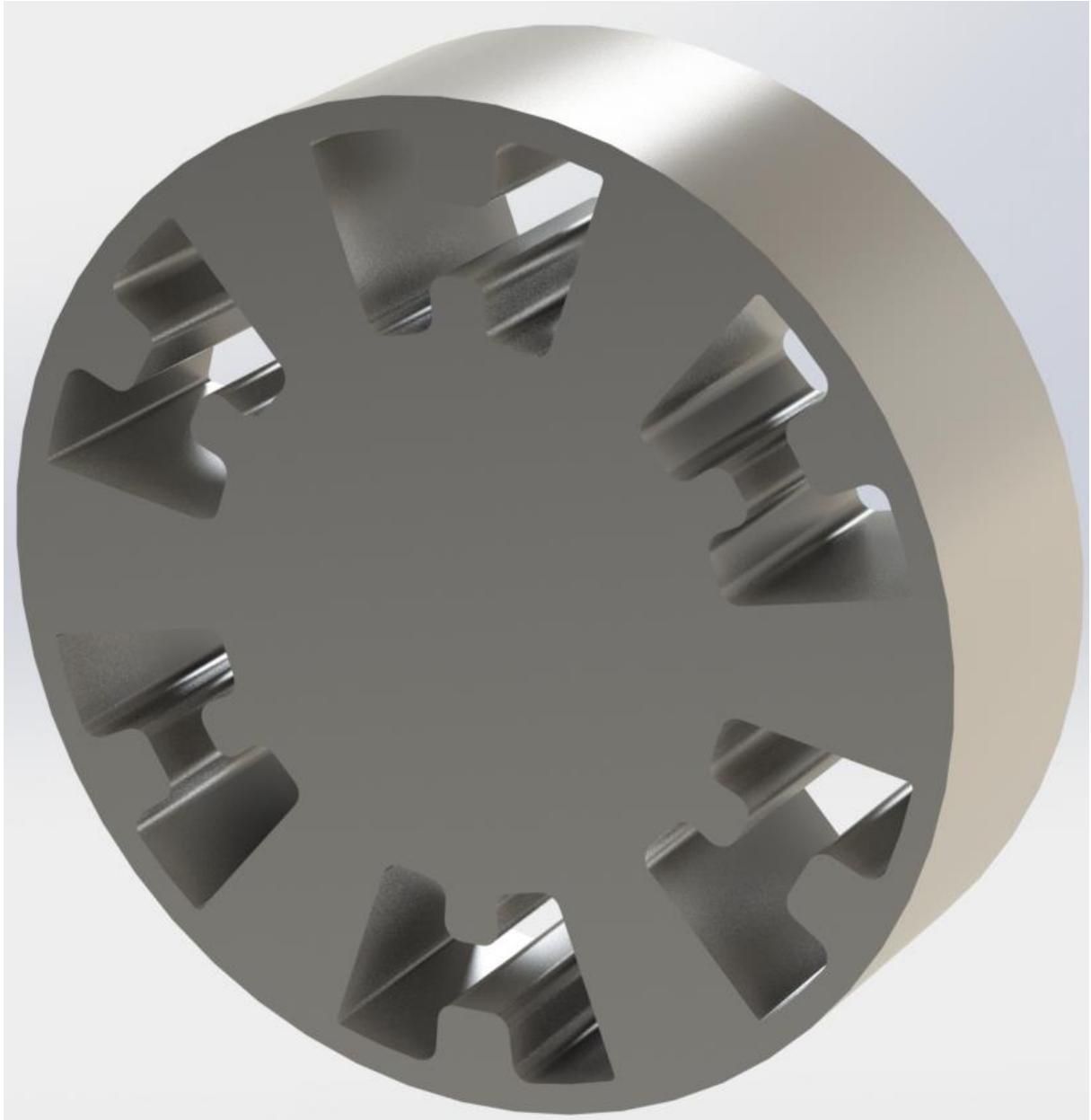
PN /PROGRAMME PARAMETRE PERMETTANT LA REALISATION
DE ‘n’ FORMES SUR UN RAYON QUELCONQUE

```
1 : NB =6      NOMBRE DE FORMES
2 : BETA =360 /NB  PAS ANGULAIRE
3 : RAY =59.5
5 : ALPHA =90
6 : ZE =-50
7 : MACRO /M 1
8 : GOTO / X , 59.5 x COS (90 ) ,Y, 59.5 x SIN (90) ,C , TETA
9: DOWN / L , ZF ,H-----,E-----
10 : ORB / L ,ZF ,H,----,E ,-----RET
11 : ALPHA =ALPHA +BETA
12 : TETA =TETA +BETA
13 : TERMAC
14 FROM /X , 0 ,Y ,0 ,Z ,55 C ,0
15 : CALL /N ,NB ,M1
16 : GOTO / X ,0 ,Y ,0 ,Z ,55 C ,0
17: END
```

CHAPITRE IV

PROGRAMME MACHINE ROBO FORME 400





Conclusion :

L'usinage par électroérosion est un procédé enlevant la matière par fusion, vaporisation et érosion, réservé aux matériaux conducteurs et semi-conducteurs. Il est insensible aux caractéristiques mécaniques des matériaux à usiner.

La grande qualité de l'usinage par électroérosion est la précision qu'il permet d'obtenir. Son intérêt principal est souvent l'absence d'effort, qui autorise de travailler avec des outils très fragiles ou déformables.

Il est utilisé pour réaliser des empreintes de forme complexe, des détails fins, des micro-usinages. Il est en concurrence avec le fraisage à grande vitesse lorsque la forme ne possède pas de détails trop fins, avec l'usinage électrochimique lorsque la précision requise n'est pas serrée.