

formation QUALIFICATION emploi

**centre d'études
et de recherches
sur les qualifications**

DOCUMENT N° 30

QUALIFICATION

**L'ETUDE DE L'INTRODUCTION
D'UNE TECHNOLOGIE NOUVELLE
ET DE SES EFFETS SUR LES QUALIFICATIONS :
LES MACHINES-OUTILS A ELECTRO-EROSION**

Février 1977

30

**L'ETUDE DE L'INTRODUCTION
D'UNE TECHNOLOGIE NOUVELLE
ET DE SES EFFETS SUR LES QUALIFICATIONS :
LES MACHINES-OUTILS A ELECTRO-EROSION**

Février 1977

**L'ETUDE DE L'INTRODUCTION D'UNE TECHNOLOGIE NOUVELLE
ET DE SES EFFETS SUR LES QUALIFICATIONS :
LES MACHINES OUTILS A ELECTRO-EROSION**

Ce document a été réalisé par Béatrice GUILLIET et Patrice SOULIER dans le cadre du département Innovation et Emploi.

Les documents correspondent à une étape intermédiaire dans la réalisation d'une étude et, de ce fait, ne font l'objet que d'une diffusion restreinte.

Le Centre d'études et de recherches sur les qualifications remercie l'Institut National des Sciences appliquées (INSA) de Lyon pour l'aide qu'il lui a apportée au cours de cette étude, Monsieur Paul MAY, directeur du Centre d'étude de la commande numérique (CECN) ainsi que les élèves ingénieurs de 5ème année du Génie Mécanique Construction de l'INSA qui ont réalisé les enquêtes dans la région Rhône-Alpes.

Il remercie également les responsables des entreprises visitées pour l'accueil qui leur a été réservé et les informations qui leur ont été communiquées.

S O M M A I R E

<u>Introduction</u>	3
<u>Première partie</u>	5
I - Situation de l'innovation.....	7
II - Le développement technologique du procédé.....	9
III - La diffusion du procédé et ses limites d'implan- tation dans l'industrie.....	12
IV - Champ d'application de l'usinage par électro- érosion.....	13
V - Les modifications du processus de fabrication...	17
<u>Deuxième partie</u>	23
Chapitre I - Présentation des établissements enquêtés.	27
I - Marché ou destination du produit fabriqué par les divers établissements enquêtés.....	27
II - Les principaux produits fabriqués.....	29
III - Les matériaux ouvrés	30
IV - Les équipements utilisés.....	30
V - La date d'implantation de la première machine d'électro-érosion dans les établissements enquêtés.....	30
Chapitre II - Potentiel de fabrication des établis- sements.....	33
I - L'organisation de la production dans les éta- blissements enquêtés.....	33
II - Le potentiel technique de fabrication.....	34
III - Le potentiel humain de fabrication.....	35

Chapitre III - Les "logiques d'insertion" de l'innovation.....	41
Chapitre IV - Analyse du champ fonctionnel d'intervention de l'opérateur.....	45
Chapitre V - Le contenu de l'emploi d'opérateur.....	57
<u>Conclusion</u>	67
Annexe I - Dossier technique.....	71
I - Historique.....	75
II - Principe.....	77
III - Description technique des machines d'usinage par électro-érosion.....	79
IV - Comparaison avec les méthodes traditionnelles d'usinage.....	95
V - Les freins à l'introduction de cette technique dans l'industrie.....	99
Synthèse bibliographique.....	101
Annexe II - Caractéristiques des établissements enquêtés	103
Annexe III - Etudes en vue de l'investissement et motifs avancés.....	107
Annexe IV - Les opérateurs sur machines d'électro-érosion	113

INTRODUCTION

Autour du thème général de la recherche des facteurs explicatifs des emplois et de leurs évolutions et en particulier des effets de l'évolution technologique, le Centre d'études et de recherches sur les qualifications avait inscrit à son programme d'activité 1975 une étude intitulée "effets sur les qualifications de l'introduction des machines d'électro-érosion dans l'industrie mécanique".

Cette étude avait pour objectifs la connaissance des modalités de diffusion d'une technique nouvelle, l'analyse du changement provoqué par l'introduction de cette technique dans le processus de production à tous les niveaux (études, méthodes, fabrication) et enfin, la mise à jour des tâches nouvelles qui incombait aux opérateurs.

L'enquête a porté sur un échantillon non représentatif de 23 établissements choisis sur des critères d'activité et de taille (de 8 à plus de 20 000 salariés), l'activité étant essentiellement de deux natures, la fabrication d'outillage d'une part, et la fabrication de produits divers, d'autre part.

La réalisation des enquêtes de la région Rhône-Alpes a été confiée à un groupe d'élèves ingénieurs de l'INSA (1) de Lyon ; celles de la Région Parisienne ont été effectuées par deux ingénieurs du Centre.

Les informations nécessaires à la conduite de l'étude ont été recueillies à partir d'un guide d'entretien ouvert. Elles portaient tout d'abord, sur des données générales concernant l'établissement,

(1) INSA : Institut National des Sciences Appliquées

puis sur le projet d'investissement en électro-érosion et sur la caractérisation de l'atelier d'insertion de l'électro-érosion, enfin, sur l'activité de l'opérateur lui-même.

La première partie du rapport concerne le procédé d'usinage, sa description, son évolution, les facteurs qui ont joué un rôle important dans le développement d'une innovation (1) qu'il s'agisse des améliorations qui ont contribué à son développement ou des difficultés qui ont joué un rôle de frein à sa diffusion dans les entreprises.

On examinera en fin de première partie les modifications technologiques que ce procédé d'usinage entraîne dans le processus d'usinage traditionnel et dans la conception des produits, en particulier, les outillages de découpe et de fonderie.

La deuxième partie nous permettra de dégager une situation de travail (2) dominante pour chacun des types d'établissements retenus. Cette typologie a été construite à partir des variables d'établissement, marché (ou destination du produit) et taille d'une part, potentiel de fabrication d'autre part. Par potentiel de fabrication, on entend les caractéristiques d'organisation, techniques et humaines, de l'établissement.

Pour chacune des situations de travail dominantes on examinera le contenu de travail de l'opérateur et ses variations à l'intérieur de la même situation de travail. On fera également apparaître les tâches nouvelles qui sont effectuées par les opérateurs sur machine d'électro-érosion.

*

*

*

(1) Nous utilisons ici le terme "innovation" pour désigner un procédé nouveau qui a dépassé le stade de l'invention et qui se trouve au début de son industrialisation

(2) Par situation de travail, on entend l'ensemble des liens qui peuvent exister entre l'opérateur sur machine d'électro-érosion et les différents intervenants assurant les principales fonctions techniques (études, préparation du travail, contrôle)

P R E M I E R E P A R T I E

=====

I - SITUATION DE L'INNOVATION

Les techniques évoluent de différentes manières, soit par améliorations successives qui, prises individuellement, peuvent paraître mineures, soit par transformations substantielles qui peuvent toucher à la technologie principale du procédé.

Les machines-outils par enlèvement de matière n'échappent pas à ce principe. Depuis une trentaine d'années, elles ont fait l'objet d'améliorations multiples dont les effets ont porté, d'une part, sur l'amélioration de la précision du travail fait et, d'autre part, sur l'augmentation du rendement.

Ces améliorations peuvent être de nature extrêmement variée et provenir de secteurs industriels différents. Ainsi, les améliorations mécaniques et métallurgiques les plus connues ont surtout porté sur la rigidité des batis, la réalisation et la multiplicité possible des broches, les automatismes à technologie mécanique, les mécanismes de changement d'outils qui réduisent les temps morts et enfin, sur la qualité des métaux utilisés dans la construction des machines.

La chimie a également contribué à ces améliorations en augmentant la qualité des huiles de coupe ce qui a permis d'augmenter les vitesses de coupe.

Les apports, ayant les effets les plus marqués, viennent de l'électricité et de l'électronique dans les systèmes d'asservissements la possibilité de commander l'outil par des automatismes programmables (commande numérique). Ces transformations sont apparues plus substantielles que les premières citées qui ne deviennent notables que par addition successive, leur effet individuel étant faible.

Les machines-outils par enlèvement de matières qui avaient au début une spécificité propre (tournage, fraisage, perçage etc.) sont devenues des "centres d'usinage" à l'aide desquels de nombreuses opérations mécaniques peuvent être affectuées. Malgré toutes ces modifications, le principe d'usinage reste le même, il s'agit d'enlever le métal excédentaire à l'aide d'un outil coupant.

A l'inverse, dans l'usinage par électro-érosion parfois appelé usinage par étincelage, c'est le principe même de l'enlèvement de matière qui est modifié. Le métal n'est plus "coupé" à l'aide d'un outil mais est "enlevé" par une succession de décharges électriques qui éclatent entre l'électrode-outil et la pièce à usiner. Un liquide diélectrique dans lequel baigne l'électrode et la pièce à usiner évacue les "micro-copeaux" formés sous l'action de l'arc électrique.

Cette innovation apparue sur le marché il y a environ vingt-cinq ans adopte dès le départ des technologies nouvelles : l'électricité et l'électronique pour effectuer une opération mécanique classique - l'enlèvement de métal-.

Cette nouvelle technique d'usinage a donc bénéficié parallèlement à la technique d'usinage classique des progrès qui ont été accomplis dans la mise en oeuvre des technologies électriques et électroniques.

On compte en France à l'heure actuelle trois constructeurs :

- ERNAULT SOMUA
- G S P
- LANGUEPIN

qui ont un volume de vente faible par rapport à celui des concurrents étrangers.

II - LE DEVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE DU PROCEDE (1)

La découverte du phénomène d'électro-érosion est ancienne ; en effet, l'action érosive des étincelles électriques est connue depuis longtemps car elle est à l'origine de la détérioration des contacts électriques sous l'effet d'arcs se produisant au moment de la coupure des courants de forte intensité. Le physicien anglais PRIESTLEY publie en 1768 la découverte qu'il a faite de la formation de petits cratères sur les surfaces en regard d'électrodes soumises à des décharges électriques. C'est en faisant des recherches pour éliminer cet effet érosif que les savants soviétiques BR. et NI. LAZARENKO eurent l'idée d'exploiter cette action destructrice à des fins d'usinage de métaux. En 1943, ils mirent au point un premier dispositif d'enlèvement de matière par étincelage ; les décharges électriques se font entre deux conducteurs immergés dans un liquide diélectrique, l'outil et la pièce.

Les premières machines d'usinage par électro-érosion apparaissent vers 1948-1950 ; ce sont des perceuses conventionnelles adaptées avec adjonction d'un bac, d'un générateur et de divers autres équipements. M. DUNOD (ingénieur français) présente la première machine française spécialement conçue pour l'usinage par électro-érosion en 1952.

Le développement technologique du procédé a été marqué par des améliorations successives du matériel apportant à ce procédé d'usinage une meilleure fiabilité technique.

Une machine classique d'usinage par électro-érosion se compose de divers éléments :

- une partie mécanique supportant le bac d'usinage et une tête porte-électrode mobile verticalement ;

(1) On trouvera en annexe 1 un développement concernant le principe et la description technique des machines d'usinage par électro-érosion

- une armoire contenant les circuits électriques et électroniques (générateurs) fournissant les décharges électriques ;
- un système de circulation et de filtrage du liquide diélectrique

1) L'évolution de la partie mécanique des machines

Vers les années 1950 on voit apparaître des machines spécialement conçues pour l'usinage par électro-érosion. Par rapport aux perceuses conventionnelles modifiées qui étaient utilisées pour des dépannages et le perçage d'orifices dans des matériaux durs, les applications du procédé se sont trouvées accrues et ont été orientées vers ce qu'elles sont actuellement.

La deuxième modification importante a porté sur le système de descente de la tête porte-électrode. En effet, l'adoption d'un servomécanisme contrôlant ce système a permis de respecter un espace inter électrode constant assurant un meilleur usinage.

La troisième amélioration mécanique a été l'adoption d'un système permettant de déplacer l'électrode latéralement en tous sens. Ce système permet de réaliser l'ébauche et la finition avec la même électrode.

Ces améliorations ont donc permis d'usiner des pièces de plus en plus complexes, le procédé étant introduit dans la fabrication des outillages divers. Actuellement, les recherches semblent s'orienter vers l'utilisation de l'électro-érosion en production de masse, les machines devenant dans ce cas spéciales et entièrement automatisées.

Vers 1960, afin d'exécuter des fentes fines et profondes dans des matériaux durs, ce qui posait des problèmes de réalisation et d'usure d'électrodes, on remplaça l'électrode par un fil ; la machine à découpe par fil était née.

Les chercheurs eurent recours à un fil calibré du commerce dont l'usure était automatiquement compensée par son déroulement. Le taillage s'effectue ainsi en une seule opération sans changement et sans fabrication d'électrode. Des machines d'usinage par défonçage furent donc équipées d'un tel dispositif et se transformèrent en machine à

découpe par fil. Aux environs de 1965, l'idée de placer le fil vertical en adoptant une table à mouvements croisés comme support de pièce, permet de réaliser des formes de découpe.

L'utilisation de la commande numérique pour piloter la table paraissait attrayante mais il restait à résoudre le problème du servomécanisme permettant le recul du fil et conservant le tracé du contour. La société suisse AGIE a fait effectuer différentes recherches par son Bureau d'Etudes pour obtenir le contrôle numérique avec marche arrière à conservation de profil permettant d'intégrer aux informations géométriques les informations technologiques propres à ce type d'usinage.

En 1969, le prototype est exposé à Chicago et est suffisamment mis au point pour être commercialisé - les premières machines sont livrées quelques semaines après l'exposition, car une première série était déjà en cours de fabrication depuis la fin de l'année 1968 -.

2) L'évolution des générateurs (1)

Les premiers générateurs mis en service étaient du type dit "à relaxation". De conception simple et robuste ils présentaient, comme principal avantage, une gamme étendue d'énergies de décharge. Les inconvénients par contre étaient nombreux : usure des électrodes rapide, interdépendance de certains paramètres de réglage, impossibilité d'utiliser certains matériaux pour la confection des électrodes.

Après les années 1950 et conjointement au développement de l'électronique et en particulier des transistors de puissance, le deuxième type de générateurs dits "à impulsion" a été développé. Après une mise au point échelonnée sur plusieurs années on est arrivé à obtenir des impulsions isoénergétiques qui permettent d'enlever à chaque décharge une quantité constante de matière. Avec ce type de générateur, il est possible d'agir séparément sur chacun des paramètres de réglage des décharges (durée, espacement, intensité) ; de maintenir constante la polarité de l'électrode, ce qui permet de fabriquer les électrodes dans le matériau le plus avantageux.

Les améliorations les plus récentes ont porté sur la mise au point des générateurs multicanaux. Ils permettent, en scindant l'électrode en plusieurs parties isolées électriquement, de faire éclater simultanément une décharge sur chaque outil. Il s'en suit une réduction importante des temps d'usinage.

(1) Pour une description technique précise, se rapporter à l'annexe 1

3 - Conclusion

Depuis la commercialisation des premières machines d'usinage par électro-érosion, tous les aménagements ou toutes les modifications, qu'ils portent sur la partie mécanique des machines ou sur les générateurs, ont contribué à amener ce procédé à un degré de fiabilité tout à fait acceptable.

La diminution de l'usure des électrodes, l'accroissement des débits d'usinage, l'amélioration de l'état de surface des pièces usinées, la meilleure connaissance du phénomène ont été les facteurs déterminants d'un accroissement important de la fiabilité du procédé.

III - LA DIFFUSION DU PROCEDE ET SES LIMITES D'IMPLANTATION DANS L'INDUSTRIE

La diffusion de ce procédé d'usinage a été extrêmement lente. A cela, plusieurs causes peuvent être avancées. Les unes tiennent au procédé lui-même et au milieu professionnel dans lequel il s'insère, les autres au contexte de recherche dans lequel cette innovation s'est développée.

Ce procédé d'usinage, fondé sur un phénomène électrique, n'a rien de commun avec l'usinage traditionnel. L'absence de copeaux, la présence d'une électrode, l'impossibilité de "visualiser" le travail, la pénétration massive de l'électronique, le "fini" particulier de l'électro-érosion, ont entraîné une réticence importante des professionnels.

De plus, au départ, ce procédé ne s'adressait pas à des utilisateurs très précis, le dépannage (extraction de forets cassés) et le percement d'orifices sont le fait de toutes les branches de l'industrie mécanique. Par la suite l'électro-érosion a été et est surtout utilisée dans la fabrication d'outillage.

La mise au point du procédé a été lente, les premiers utilisateurs connaissaient des déboires : usure rapide des électrodes, méconnaissance du phénomène, temps d'usinage long, coût élevé, etc. Tous ces problèmes ne seront résolus que peu à peu. Mais certains utilisateurs restent toujours méfiants.

Enfin, on ne voyait pas très bien au départ si cette technique concurrençait ou se substituait aux techniques traditionnelles. Le créneau d'utilisation de l'électro-érosion n'apparaîtra que plus tard lorsque le procédé sera plus au point et qu'on en verra tous les avantages par rapport à l'usinage classique.

Cette invention semble être née simultanément en URSS et en FRANCE. Son développement a eu lieu en France à partir de 1952 sous l'impulsion de M. DUNOD mais dans un contexte de recherche du XIX^{ème} siècle. Aucun organisme professionnel et aucun constructeur n'a semblé attiré par le procédé. Aucun budget recherche substantiel ne lui a été attribué. A partir de 1954, les sociétés suisses AGIE puis ensuite CHARMILLES consacrent à ce procédé des moyens de recherches importants.

Elles paraissent présenter à l'heure actuelle les matériels les plus performants et bon nombre d'améliorations précédemment décrites proviennent de leurs bureaux d'études.

En URSS, malgré le peu d'informations dont on dispose, il semblerait que le procédé ait bénéficié plus rapidement de recherches plus approfondies et soit à l'heure actuelle bien implanté dans les industries mécaniques et aéronautiques soviétiques.

Actuellement, ce procédé fait l'objet d'une attention plus grande dans les manifestations professionnelles. Le parc français actuel de machines se compose d'environ 2 200 unités de défonceuse et d'environ une dizaine de machines de découpe par fil à commande numérique.

IV - CHAMP D'APPLICATION DE L'USINAGE PAR ELECTRO-EROSION

On examinera successivement les applications de l'usinage par enfonçage et les applications de la machine à découpe par fil. Pour chaque application on fera une description des modifications technologiques de certains produits qui ont été induites ou autorisées par ce procédé d'usinage.

1 - Les domaines d'application de l'usinage par enfonçage

On peut classer les différentes applications de l'électro-érosion par enfonçage en deux grandes catégories :

- D'une part, l'utilisation de l'électro-érosion dans la fabrication d'outillages divers (matrices et poinçons de découpe, matrices d'estampage et de forge, filières d'extrusion et d'étirage, moules pour matières plastiques et alliages légers). Dans notre étude, cette application a été le plus souvent rencontrée.

- D'autre part, l'utilisation de l'électro-érosion dans certaines entreprises pour la fabrication de produits divers (industrie automobile, aéronautique, nucléaire, etc...). Dans ces cas, l'électro-érosion est généralement utilisée pour usiner des matériaux durs ou déformables chaque fois que les techniques traditionnelles (fraisage, perçage, etc.) ne peuvent être mises en oeuvre facilement.

Cette dernière application est la plus récente et semble se développer depuis peu de temps, en particulier depuis que le procédé est plus fiable ce qui permet de l'intégrer, tout en respectant les contraintes de production (temps, reproductibilité, etc...). Il semble également que cette application soit encore dans une phase de développement et que les constructeurs de machines d'électro-érosion s'orientent de plus en plus vers ce marché.

Les possibilités de l'usinage par électro-érosion par rapport aux usinages traditionnels ont permis de modifier la technologie de fabrication et de conception des moules. En effet, ce procédé a permis de réaliser des nervures très fines et très profondes dans les moules de fonderie pour alliages légers (carters de moteurs ou de boîtes de vitesses). De même, il a entraîné une évolution dans la conception de ces produits, il a permis de diminuer l'épaisseur donc la quantité de métal employé, tout en conservant une rigidité suffisante grâce au nervurage fin, mais important, qui était dès lors réalisable. Avant l'utilisation de l'électro-érosion, ces nervures (moins profondes et plus larges) étaient réalisées par fraisage, mais avec beaucoup de difficultés.

2 - Les domaines d'application de la machine à découpe par fil

La machine à découpe par fil trouve son application principale dans la fabrication d'outillage, en particulier les matrices et poinçons de découpe. Cette technique d'usinage a bouleversé la conception des outils de presse à découper, aussi bien les matrices et poinçons simples que les outils dits "à suivre" et les poinçons correspondants. Lorsqu'elles sont usinées par les méthodes traditionnelles (fraisage et surtout rectification) les matrices sont constituées de "pavés" usinés et assemblés sur une frette. Le nombre de "pavés" dépend de la complexité de la forme géométrique à découper. Par contre la machine à découpe par fil permet de réaliser sur une seule plaque métallique la forme géométrique voulue.

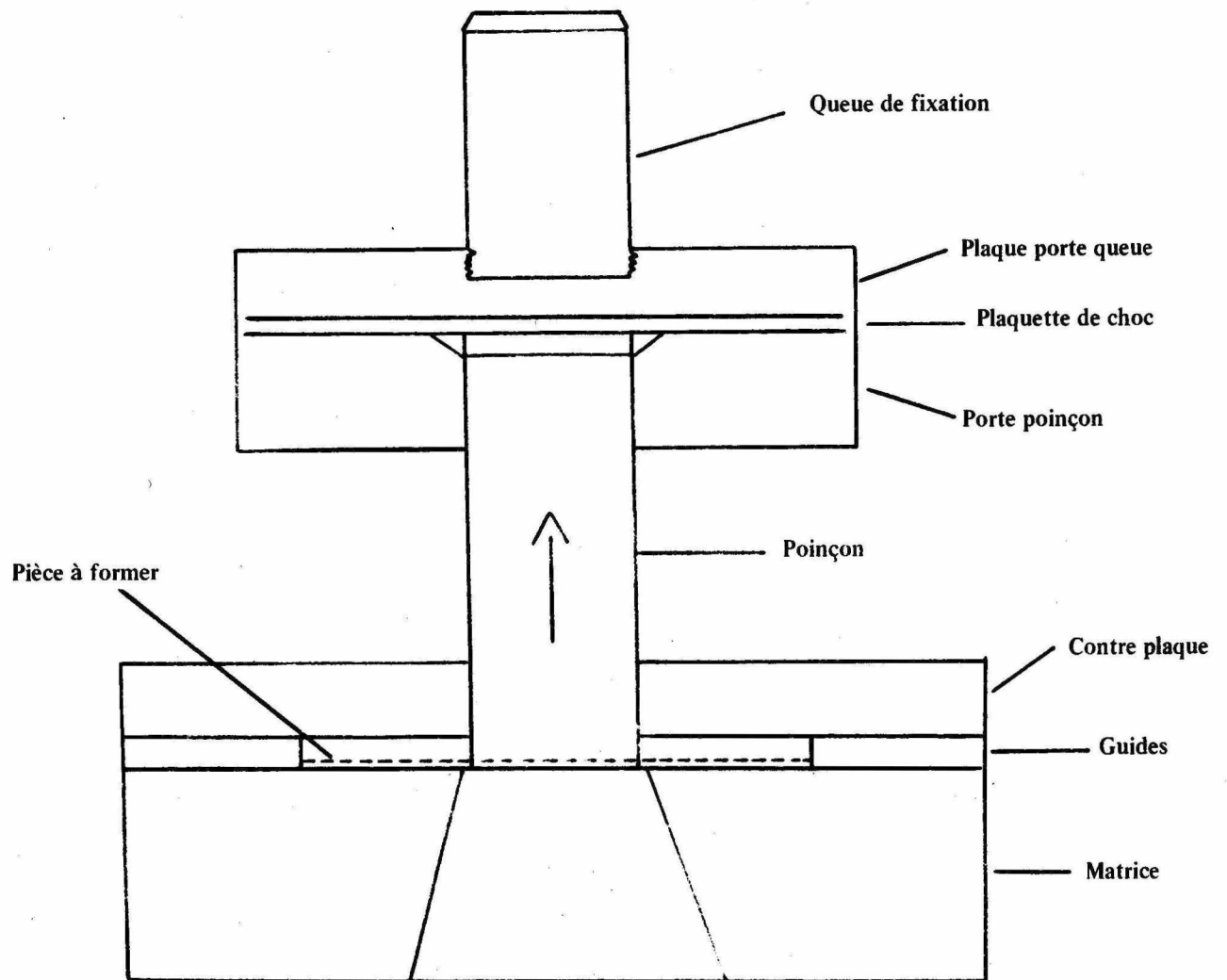
La commande numérique permet le stockage des éléments géométriques sur bande perforée. Il est donc possible de reproduire par la suite et autant de fois qu'on le désire la même matrice dans des délais de temps très courts. Ceci permet à l'entreprise de ne pas constituer de stocks d'outils. De plus, cette machine permet, à partir d'un programme unique, d'exécuter dans des conditions de reproductibilité parfaites les différentes pièces constituant l'ensemble poinçon-matrice (1) ; il s'agit généralement du porte-poinçon, de la contre-plaque et de la matrice. Il est également possible d'usiner l'électrode en cuivre qui servira à usiner le poinçon sur une machine d'électro-érosion par enfonçage.

On voit donc que dans ce cas l'usinage par électro-érosion à découpe par fil associé à la commande numérique modifie totalement la conception et les méthodes de fabrication des outils de presse à découper ; l'usinage par l'électro-érosion permettant le remplacement des "pavés" par une découpe unique sur une seule plaque métallique et la commande numérique permettant d'assurer la reproductibilité des différentes découpes nécessaires à la réalisation des différentes pièces.

Une utilisation accessoire de la machine à découpe par fil est la réalisation de pièces prototypes, généralement en tôle mince. Dans ce cas, il suffit d'empiler un nombre déterminé de plaques de tôle, de lancer le programme, la machine effectuera ainsi en une seule

(1) cf. schéma page suivante

Schéma d'un outil de presse à découper



fois quelques pièces prototypes. Lorsque la mise au point des pièces est effectuée, le programme définitif ainsi établi pourra être utilisé pour la fabrication de l'outillage de découpe correspondant. Avantage dû, là encore, à l'utilisation de la commande numérique.

L'usinage par électro-érosion est surtout utilisé dans ses deux principales applications à la réalisation de pièces à l'unité ou en petite série. Son application en production de masse reste exceptionnelle.

V - LES MODIFICATIONS DU PROCESSUS DE FABRICATION

L'utilisation de l'usinage par électro-érosion entraîne par rapport à un usinage traditionnel des modifications des séquences d'usinage à la fois dans leur ordonnancement et dans leur durée.

Ainsi dans bien des cas, l'usinage par électro-érosion qui se substitue à une partie du fraisage (on verra ultérieurement dans quelle proportion) entraîne un déplacement de l'opération de traitement thermique. Par exemple, dans la fabrication d'un outil par méthode classique, on trouvait l'opération de traitement thermique après le fraisage et avant la rectification, le traitement thermique entraînant des déformations du métal. Dans le cas de l'usinage par électro-érosion, on peut effectuer ce traitement thermique (1) avant l'opération d'électro-érosion ce qui a pour effet de "gommer" les déformations éventuelles, l'opération de rectification se trouve alors considérablement raccourcie.

Deux exemples de fabrication d'outils peuvent être cités. Le premier concerne la fabrication d'un outil combiné pour presse à découper par méthode classique et par électro-érosion. Le deuxième mesure les effets dus au remplacement pour un usinage déterminé d'une machine d'électro-érosion classique par une machine dotée d'un générateur à quatre canaux.

(1) La dureté du métal n'intervient pas dans l'usinage par électro-érosion

1 - Le bilan ci-après qui compare la réalisation d'un outil par les méthodes traditionnelles et par électro-érosion fait apparaître les gains ou les excédents de temps nécessaires à chaque opération. On remarque que les gains de temps les plus importants concernent les opérations de fraisage et de rectification plane. L'usinage de l'outil considéré nécessite 1 785 heures de travail par les méthodes classiques contre 1 071 heures en électro-érosion. Le gain de temps global (714 heures) représente 40 % d'économie. Cette économie de temps provenant principalement du remplacement de la technique des "pavés" par la "découpe" d'une seule plaque métallique (tableau n° 1 page suivante).

2 - L'exemple cité concerne l'usinage d'un moule de carter de boîte de vitesses en utilisant pour l'opération d'électro-érosion une machine à quatre canaux.

Dans le tableau ci-après on compare les temps d'usinage nécessaires en utilisant avec des moyens traditionnels une machine à électro-érosion monocanal en plus de ces moyens traditionnels et en utilisant une machine à électro-érosion à quatre canaux.

Opérations	Electro-érosion mono-canal en heures	Electro-érosion 4 canaux en heures
Divers	296,5	296,5
Fraisage reproduction	520	70
Electro-érosion	50	70
Ajustage	351,5	141,5
Total	1 218	578

TABLEAU N° I

BILAN COMPARATIF D'UN ESSAI DE REALISATION SUR UN OUTIL COMBINE

OPERATIONS	Temps passé en méthode classique en heures	Temps passé en utilisant l'E.E en heures	Gain de temps en heures	Gain de temps en %
Etude	270	170	100	14
Préparation	130	80	50	7
Fraisage	250	70	180	25,2
Tournage	50	44	6	0,8
Rabotage	20	7	13	1,8
Pointage	120	150	- 30	- 4,2
Rectif. plane	550	48	502	70,3
Rectif, Studer	50	-	50	7
Rectif, cylindrique	60	57	3	0,4
Rectif, hauser	85	104	- 19	- 2,7
E. E. fil	-	96	} - 134	} - 18,8
E. E. classique	-	38		
Ajustage	200	192	8	1,1
Contrôle	-	15	- 15	- 2,1
TOTAUX	1 785	1 071	714	100

Il apparaît donc que pour une augmentation de 20 heures d'électro-érosion, le fraisage reproduction se trouve diminué de 450 heures et l'ajustage de 210 heures. L'utilisation de l'électro-érosion pour l'usinage de ce moule permet un gain de temps d'environ 50 %.

Il faut toutefois remarquer que l'opération d'électro-érosion ne dure que 70 heures pour un temps total d'usinage de 580, soit environ 12 %. Les opérations mécaniques traditionnelles restent toujours prédominantes.

Les deux exemples cités illustrent parfaitement les modifications subies par le processus de fabrication lorsqu'il est fait appel à l'usinage par électro-érosion.

La première modification qui consiste à déplacer l'opération de traitement thermique dans le déroulement du processus n'entraîne pas de modification sur le plan personnel.

A l'inverse, la réduction importante des temps de fraisage, de rectification et d'ajustage peut avoir une conséquence indirecte plus marquée. On pourrait penser qu'une utilisation encore accentuée de l'usinage par électro-érosion entraîne la suppression de quelques fraiseurs, d'ajusteurs ou de rectifieurs ou tout au moins que certains ouvriers soient reconvertis en opérateurs sur machine à électro-érosion.

Conclusion

L'usinage par électro-érosion paraît être arrivé à un stade de développement suffisant pour que son implantation dans les industries mécaniques mais aussi aéronautiques, automobiles, aille en s'accroissant. Il semblerait que les constructeurs en soient conscients car bon nombre d'entre-eux, non spécialistes de cette technique ont mis ce type d'équipement à leur catalogue.

Le bilan qui suit permet de donner les avantages et les inconvénients techniques actuels du procédé d'usinage par électro-érosion.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">- La difficulté d'usinage n'est pas liée à la dureté du métal- Facilité d'usinage des électrodes (force mâle)- Absence de contraintes mécaniques sur la pièce usinée- Possibilité de percer des orifices longs et étroits dans n'importe quel métal* Exécution de plusieurs pièces d'un même outil à partir d'un programme unique- Permet la simplification de la conception et de la réalisation de certains outils- Possibilité d'usiner les pièces après traitement thermique	<ul style="list-style-type: none">- Temps d'usinage long- Pas de visibilité du point d'usinage- Circulation du diélectrique parfois difficile à établir correctement- Fini des surfaces usinées non traditionnel- Trempe superficielle du métal- Réglage du générateur "abstrait"

* Avantage directement lié à la commande numérique

En résumé, les avantages tiennent essentiellement au fait que la dureté du métal usiné n'est pas un paramètre influent sur le procédé d'usinage par électro-érosion. Les inconvénients sont par contre le plus souvent liés à des effets secondaires du procédé où à l'existence "d'accessoires non traditionnels".

= : = : = : = : = : = :

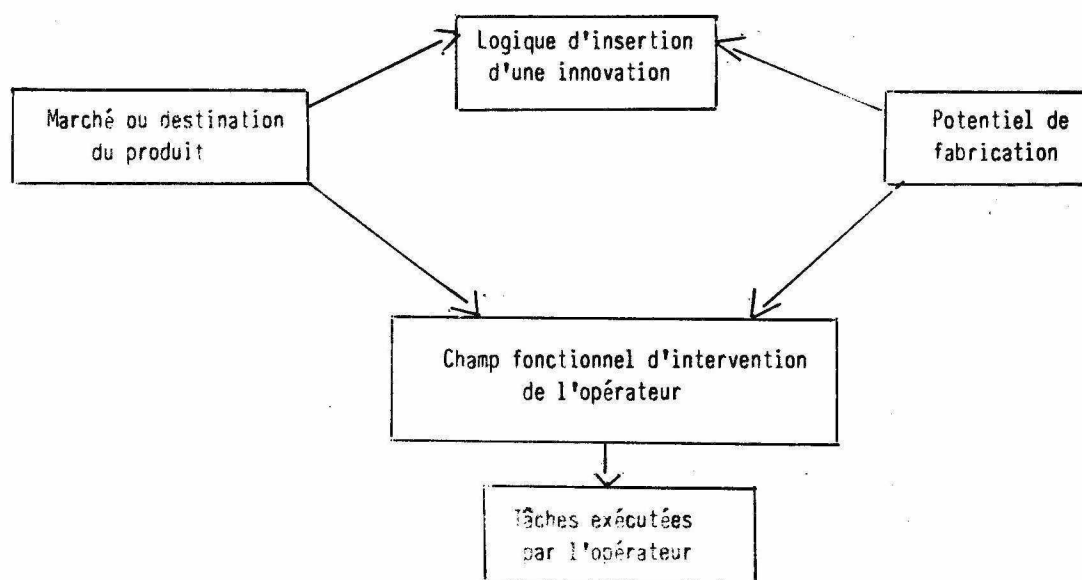
D E U X I E M E P A R T I E

=====
=====

En simplifiant à l'extrême, on peut considérer que le champ fonctionnel des interventions des opérateurs de fabrication est engendré au sein d'un établissement de production par des contraintes de deux natures :

- des contraintes externes à l'établissement (marché ou destination de produit)

- des contraintes internes à l'établissement que l'on peut caractériser par le potentiel de fabrication (d'organisation, technique et humain), ce potentiel de fabrication étant étroitement associé à la taille des établissements.



Ces deux types de contraintes devraient conduire les "instances de décision" d'entreprises ayant ces caractéristiques identiques, à réagir de façon comparable pour l'insertion d'une innovation dans leur potentiel de fabrication. Ainsi, pour chacun des types d'établissements que l'on examinera, on devrait pouvoir dégager des "logiques d'insertion".

La démarche qui nous conduira à l'examen des contenus d'emplois sur machine à électro-érosion et à la mise à jour des tâches spécifiques à la conduite de cette machine, peut être ainsi résumée :

- on construira tout d'abord, une typologie des établissements enquêtés sur la base de la contrainte externe à l'établissement, c'est-à-dire, le marché ou la destination du produit. Ensuite, on vérifiera qu'à chacun de ces types correspond bien un potentiel de fabrication différent. On se trouvera donc en présence d'une typologie d'établissements construite sur deux types de contraintes externes et internes précédemment citées. On examinera l'hypothèse d'une "logique d'insertion" d'une innovation par type d'établissements. Enfin, on établira pour chacun d'eux le champ fonctionnel des interventions des opérateurs sur machine à électro-érosion. Ceci nous conduira à examiner leurs contenus d'emplois, à séparer les tâches spécifiques à l'utilisation d'une machine à électro-érosion des tâches complémentaires qu'ils sont susceptibles d'exécuter.

CHAPITRE I

Présentation des établissements enquêtés

I - Marché ou destination du produit fabriqué par les divers établissements enquêtés

Les 23 établissements étudiés présentent des caractéristiques diverses tant sur le plan des produits fabriqués et de leur destination, que de leur taille. Un premier croisement de la destination des produits, du statut juridique des établissements et de la taille permet de dégager quatre types d'établissements (tableau n° 2).

Type I - Ce sont les établissements qui fabriquent de l'outillage en "sous-traitance". Ils sont de petite taille, moins de 50 salariés (1).

Type II - Les établissements qui fabriquent de l'outillage destiné à être utilisé sur leurs propres machines de production (outillage "interne"). Ces établissements sont parmi les plus grands de notre échantillon (plus de 100 salariés). Ces établissements appartiennent à des secteurs d'activités très variés : automobile, matériel de comptage etc.

Type III - Les établissements qui associent à une production diverse (pour laquelle l'usinage par électro-érosion n'est pas utilisé) une production d'outillage soit pour leur propre production, soit pour un donneur d'ordre. Ces établissements peuvent être des sous-traitants ou non. Leur taille est variable de 35 à 900 salariés mais avec nette prédominance des établissements de plus de 100 salariés.

(1) Note : Un petit établissement très particulier a été inclus dans ce type. Cet établissement exécute uniquement des opérations d'électro-érosion pour divers donneurs d'ordres (principalement les outilleurs et les industries aéronautiques et nucléaires).

TABLEAU N° II

Activité et taille des établissements enquêtés

Activités des établissements Taille	Type I	Type II	Type III	Type IV
	Fabrication d'outillage en sous-traitance	Fabrication "d'outillage interne"	Fabrication de produits divers et d'outillage en sous-traitance ou non	Fabrication de produits divers
< 20 sal.	0003 (1) * 1012 1008 1006			
20 - 49 sal.	1014 1009 1003	1010	1005	
50 - 99 sal.		1002		
99 - 499 sal.		1004 1016	0002 * 1001 1017	1015
> 500 sal.		0001 0005 * 1011	1007	0004 1013 1018

- Les numéros indiqués représentent le code d'identification des entreprises

* établissements utilisant une machine à découper par fil

(1) sous-traitance de l'opération d'électro-érosion uniquement

Type IV - Les établissements qui utilisent l'électro-érosion lors de l'usinage de produits divers. L'activité de ces établissements relève de la mécanique, de l'énergie atomique, de l'automobile et de l'aéronautique. Ils sont également parmi les plus grands de notre échantillon (plus de 300 salariés).

II - Les principaux produits fabriqués (1)

Les produits pour lesquels l'électro-érosion est utilisée en cours d'usinage peuvent être classés en deux catégories ; d'une part, l'outillage qui se révèle être la catégorie la plus importante et d'autre part, des produits divers à base de matériaux particuliers (carbures, aciers alliés, etc.)

* Parmi les outils, on rencontre principalement :

- les matrices et poinçons de découpe
- les outils de presse à forger et à emboutir
- les filières pour extrusion et filage
- les moules de fonderie
- les moules d'injection

* Parmi les produits divers on trouve :

- des pièces pour l'aéronautique
- des distributeurs hydrauliques
- des pièces diverses pour l'énergie atomique
- des roues à aubes pour pompes

(1) Voir tableau en annexe II

III - Les matériaux ouvrés

Les matériaux usinés par électro-érosion sont généralement des matériaux durs : aciers pré-traités, alliages à base de nickel ou de cobalt, carbure de tungstène, uranium et berillium etc.

Le graphite bien qu'il soit un matériau très tendre est parfois usiné par électro-érosion lorsqu'il s'agit de percer des orifices longs et étroits par exemple pour l'industrie nucléaire.

IV - Les équipements utilisés

Les machines d'électro-érosion que l'on a rencontré dans les établissements enquêtés sont de nationalité, de marque et de type variés. On trouve en ce qui concerne les machines par enfonçage :

- du matériel français : GSP LANGUEPIN et HERNAULT
SOMUA (QUALITEX)
- du matériel espagnol : ONA
- du matériel anglais : SPARCATRON
- du matériel américain : ELOX
- du matériel russe : NASSOVIA
- du matériel suisse : AGIE - CHARMILLES - S.I.P.

Les machines d'électro-érosion à découpe par fil recensés sont fabriquées par les sociétés AGIE et CHARMILLES. Ces deux sociétés semblent d'après notre échantillon détenir une part importante du marché dans les deux types de machines d'électro-érosion.

V - La date d'implantation de la première machine d'électro-érosion dans les établissements enquêtés

On aurait pu penser que, au fur et à mesure de la mise au point du procédé, s'ouvriraient de nouveaux marchés ou tout au moins apparaîtraient de nouvelles utilisations. En fait, il n'en est rien, si l'on

examine le croisement type d'établissement et date d'implantation de la première machine d'électro-érosion, aucune distribution préférentielle n'apparaît.

Dates d'introduction	Avant 1950	1951 1955	1956 1960	1961 1965	1966 1970	1971 1975
Nombre d'observations	1	0	3	6	6	7

L'examen de ce tableau montre que l'électro-érosion a surtout été implantée après 1960. Parmi les premières implantations, on trouve essentiellement des grandes entreprises (3 sur 4). Ensuite le procédé se développe à la fois dans les grandes et les petites entreprises.

Ces observations trop limitées ne permettent pas de déterminer le comportement des entreprises face à une innovation au début de son développement. Est-ce plutôt les grandes entreprises ou est-ce plutôt les petites entreprises qui ont adopté les premières ce procédé d'usinage? Les constructeurs consultés laissent à penser que ce sont plutôt les petites entreprises qui prennent le risque d'introduire une nouvelle technologie ; en effet, dans les grandes entreprises, les responsables de la fabrication ne veulent pas "essayer les plâtres" et être tenus pour responsables d'un échec éventuel.

CHAPITRE II

Potentiel de fabrication des établissements

Afin de renforcer la construction des types d'établissements qui vient d'être effectuée sur le critère principal de marché (ou destination du produit), nous sommes conduits à examiner quelles sont les caractéristiques du potentiel de fabrication (d'organisation, technique et humain) des établissements de chacun des types.

I - L'organisation de la production dans les établissements enquêtés

Cette organisation ayant une influence déterminante sur le champ d'intervention des opérateurs, les caractéristiques ici sommairement dégagées seront reprises plus précisément dans le chapitre IV.

TYPE I - Petits établissements fabriquant de l'outillage en sous-traitance

Dans ce type d'établissements, il n'existe pas de bureau d'études, pas de services méthodes, pas de service contrôle particuliers. Toutefois, ces fonctions sont assumées et nous verrons par qui ultérieurement

Type II - Grands et moyens établissements fabriquant leur propre outillage

La situation est ici plus complexe. Il existe dans quatre observations sur sept un Bureau d'Etudes sans qu'il soit toujours possible de préciser s'il s'agit d'un Bureau d'Etudes propre à l'outillage ou d'un Bureau d'Etudes générales ; dans de nombreux cas, les services outillages possèdent leurs propres bureaux d'études.

Le Bureau d'Etudes général fournit alors les plans des pièces à réaliser. Le Bureau d'Etudes outillage se charge d'établir les plans des outils qui seront nécessaires à la fabrication pour réaliser les dites pièces et dans le cas précis qui nous occupe, les plans des

électrodes après avoir pris en compte le sous-dimensionnement nécessaire par rapport à l'outil (moule par exemple).

Nous avons observé la présence d'un Bureau des Méthodes dans trois cas sur sept et celle d'un service contrôle dans quatre observations sur sept.

On se trouve donc ici en présence d'une organisation plus structurée. Le fait que l'on ait affaire à des grands établissements n'est d'ailleurs pas étranger, le facteur taille jouant ici pleinement.

Type III - Etablissements associant à une production diversifiée, une fabrication d'outillage en sous-traitance ou non.

Généralement, ces établissements ont un Bureau d'études propre. A l'inverse, le Bureau des Méthodes n'existe pas toujours (deux observations sur cinq).

Type IV - Etablissements fabriquant des produits divers

Ces établissements essentiellement de grande taille, utilisent l'usinage par électro-érosion à des opérations de fabrication de produits divers. Les Bureaux d'Etudes sont présents dans les quatre établissements du type. Les bureaux de méthode sont également présents dans trois cas sur quatre. On se trouve donc en présence d'une organisation de la production très structurée.

II - Le potentiel technique de fabrication

Les équipements utilisés dans les entreprises enquêtées sont essentiellement des tours, des fraiseuses, des fraiseuses à copier, des perceuses, diverses rectifieuses, des étaux-limeurs, etc.

Quelques machines automatiques ont été rencontrées ; il s'agit de fraiseuses à copier, de quelques rectifieuses automatiques et de trois tours à commande numérique.

En conséquence, on peut dire que l'électro-érosion est une innovation qui s'insère dans un milieu technologique très classique tant sur le plan des techniques mises en oeuvre que sur le plan de la modernité des équipements.

III Le potentiel humain de fabrication

Dans quelle structure professionnelle s'insère cette innovation et pour la mettre en oeuvre à qui fait-on appel ? On examinera donc successivement la structure professionnelle de l'atelier au plan de la polyvalence ou de la spécialisation du personnel, et l'appellation et la classification professionnelle des opérateurs sur machine d'électro-érosion.

1 - Polyvalence ou spécialisation du personnel de l'atelier par types d'établissements

L'atelier d'usinage dans lequel s'insère la machine d'électro-érosion emploie généralement des ouvriers professionnels de la mécanique (outilleurs pour la plupart). Ces ouvriers sont : soit spécialisés sur un type d'équipement ; soit polyvalents, c'est-à-dire, qu'ils utilisent indifféremment les divers types de machines de l'atelier. Une quantité importante (environ 25 % des ateliers étudiés fait appel à ces deux types de personnels dans des proportions variables (de 1/8 à 4/5 des ouvriers spécialisés par équipements).

En fonction de l'organisation de l'atelier considéré, on se trouve confronté à deux types de polyvalence. Le premier, le plus marqué, se rencontre dans le cas où le chef d'atelier (ou le patron pour les petites entreprises) confie à un ouvrier la réalisation complète d'un outil. Ce dernier devra dans ce cas effectuer toutes les opérations mécaniques nécessaires à l'élaboration du produit. Pour ce faire, il utilisera toutes les machines de l'atelier à l'exception de la machine d'électro-érosion qui est confiée à un ouvrier spécialiste. Dans le deuxième type de polyvalence, les ouvriers sont affectés à une seule machine mais du fait de la charge de travail de l'atelier peuvent être appelés à utiliser d'autres équipements. Dans ce type de polyvalence, par rapport à la précédente, l'ouvrier perd la maîtrise de l'élaboration du produit.

Il faut signaler que malgré la polyvalence du personnel, l'opération d'électro-érosion est toujours confiée à un ouvrier spécialisé et ceci même dans le cas où un ouvrier à la maîtrise totale de l'élaboration de l'outil.

L'examen de la polyvalence ou de la spécialisation du personnel par types d'établissements à l'aide des tableaux ci-dessous nous permet de formuler quelques remarques.

Type d'établissements	I						II						
N° d'enquête	1003	1006	1008	1009	1012	1014	0001	0005	1002	1004	1010	1011	1016
% de personnel polyvalent	100	100	100	20	100		100		17		33	100	88
% de personnel spécialisé				80		100		100	83	100	75		12

III					IV			
0002	1001	1005	1007	1017	0004	1013	1015	1018
			NSP	50			50	
100	100	100	NSP	50	100	100	50	100

En ce qui concerne le type I, c'est-à-dire, les petits établissements fabriquant de l'outillage en sous-traitance, on a affaire à un personnel plutôt polyvalent et c'est également dans ce type d'établissement que l'on rencontre le plus souvent les ouvriers ayant la maîtrise totale de la fabrication de l'outil.

- Dans les établissements du type II (fabrication d'outillage "interne"), on se trouve dans une situation mixte, le personnel étant tantôt polyvalent, tantôt spécialisé.

- Les types III et IV font appel à un personnel spécialisé. Ces deux types regroupent les établissements qui fabriquent de l'outillage conjointement à d'autres produits (type III) et les établissements qui utilisent l'électro-érosion dans la fabrication de produits divers (type IV). Ces établissements sont généralement de plus grande taille que ceux du type I et leur organisation se rapproche plus d'une structure de production. Il est donc normal que l'on ait affaire à un personnel spécialisé.

En conclusion, on peut dire qu'à chaque type d'établissement correspond une caractéristique dominante du personnel d'atelier, polyvalent ou spécialisé selon les cas.

2 - L'appellation et la classification professionnelle des opérateurs sur machine d'électro-érosion

Les conducteurs de machines d'électro-érosion prennent plusieurs dénominations. La plus fréquemment rencontrée est celle "d'opérateur". Ensuite les appellations utilisées proviennent de la spécialité d'origine de l'ouvrier, par exemple : fraiseur, pointeur, outilleur, ajusteur, etc... Dans quelques établissements on trouve encore le terme de "compagnon". Parfois, la conduite de la machine est confiée à un ouvrier (si l'on en croit la catégorie professionnelle annoncée) qui a aussi des responsabilités d'encadrement et qui est appelé "chef d'équipe" et même parfois "chef d'atelier". On rencontre également quelques techniciens. Les conducteurs de machine à électro-érosion n'ont pas, on le voit, une appellation établie ou constante.

La classification professionnelle des conducteurs de machine d'électro-érosion est généralement élevée.

On trouve : 5 techniciens ou agents de maîtrise
2 OHQ
10 P3
3 P2
2 P1

Mis à part les professionnels à classification professionnelle la plus basse (P1) qui appartiennent au Type IV d'établissements, on peut dire que les autres types font appel à tous les niveaux de classification professionnelle.

Sur 22 observations de postes de travail, 17 titulaires (77%) possèdent une classification égale ou supérieure à professionnel 3^{ème} échelon. Il faut toutefois souligner le fait que ces opérateurs ont généralement un passé professionnel d'ouvriers qualifiés de la mécanique, soit d'outilleurs, soit de diverses spécialités d'usinage. Leur mutation sur une machine d'électro-érosion ne semble pas se traduire par un changement de classification professionnelle.

En résumé, on peut dire que les opérateurs sur machine à électro-érosion sont des ouvriers très qualifiés (à l'exception de deux établissements de production du type IV), tout en étant le plus souvent à un niveau de classification professionnelle comparable à celui de leurs collègues opérant sur les machines d'usinage conventionnelles.

* *

*

La construction de la typologie des établissements enquêtés fondée au départ sur l'unique critère de marché (ou destination de produit) se trouve confortée lorsque l'on examine le potentiel de fabrication de ces établissements tout au moins sur le plan organisationnel. Le potentiel technique, c'est-à-dire, les équipements utilisés est quant à lui homogène pour tous les types d'établissements. Le potentiel humain est spécifique pour le type IV et homogène pour les types I, II, et III.

Les 23 établissements étudiés ont donc été ordonnés selon quatre types dont les caractéristiques principales sont résumées dans le tableau suivant.

L'objet du prochain chapitre sera d'examiner si à chacun de ces types d'établissements correspond une "logique d'insertion" de l'innovation particulière.

TABLEAU N° III

Caractéristiques dominantes des établissements de chacun des types

Type	Marché ou destination du produit	Potentiel de fabrication			Taille de l'établissement
		Organisation	Technique	Humain	
I	Sous-traitance outillage	Pas de bureaux d'études Pas de services de préparation du travail ni de contrôle	Equipements traditionnels	Personnel polyvalent	$t < 50$ salariés
II	Outillage "interne"	B.E. dans 50 % des cas B. préparation du travail S. contrôle } 50 % des cas	Equipements traditionnels	Personnel polyvalent et spécialisé	2 obs. $20 < t < 100$ sal. 5 obs. $t > 100$ sal.
III	Outillage plus produits divers en sous-traitance ou non	B.E. dans tous les cas B. préparation du travail dans 50 % des cas S. contrôle 50 % des cas	Equipements traditionnels	Personnel spécialisé	1 obs. $20 < t < 50$ sal. 4 obs. $t > 100$ sal.
IV	Produits divers	B.E. dans tous les cas B. préparation du travail S. contrôle 50 % des cas	Equipements traditionnels	Personnel spécialisé	$t > 100$ sal.

CHAPITRE III

Les "logiques d'insertion" de l'innovation

Une partie importante de l'étude portait sur l'aspect économique de la rentrée de l'innovation dans l'entreprise. A cet effet, on s'est interrogé sur les motifs d'investissement en électro-érosion avancés par les chefs d'entreprises ou leurs collaborateurs. Une liste de motifs avait été établie, les principaux étant :

- 1 - Le remplacement d'un matériel ancien ou obsolète ;
- 2 - La réduction des coûts de production sur le facteur main-d'oeuvre ou matière première ;
- 3 - L'accroissement de la capacité de production ;
- 4 - La diversification de la production (fabrication de produits nouveaux ou modification des caractéristiques d'un produit déjà fabriqué) ;
- 5 - La pénurie de main-d'oeuvre qualifiée.

De même, il était intéressant de savoir si la décision d'achat d'une machine d'électro-érosion était prise à la suite d'études précises. On a retenu en particulier, l'étude technique, l'étude financière et l'étude de rentabilité économique. Il s'est avéré par la suite que de nombreux industriels effectuaient en lieu et place d'une étude technique des essais chez les différents constructeurs de machines d'électro-érosion.

On trouvera en annexe III, pour chaque type d'établissements, les motifs d'investissements et le type d'études effectuées préalablement à l'achat d'un nouvel équipement.

Ainsi, il apparaît que sauf dans un cas, l'achat d'une machine d'électro-érosion n'est pas destiné à remplacer un autre type de matériel. Ce type d'équipement vient en complément du parc de machines-outils traditionnelles.

Le motif d'investissement le plus cité, quel que soit le type d'établissement, est la diversification de la production. Cette volonté générale de diversifier la production semble plus marquée dans les établissements du type I (sous-traitance d'outillage), ce qui peut s'expliquer par le fait que ce type d'établissement doit pouvoir faire face pour conserver son marché, voire l'étendre, à des demandes de donneurs d'ordres variables dans le temps. Ainsi, ces établissements devront être en mesure, techniquement, de pouvoir réaliser une gamme de produits plus étendue et plus changeante que des établissements à production fixe et unique.

L'examen des motivations d'achats associées à tel ou tel type d'études, révèle les résultats résumés dans le tableau ci-dessous.

Type	Motivations d'achat (1)	Essais construct. (1)	Etudes techniques (1)	Etudes de rentabilité (1)	Autres (1)
I	Diversification de la production 5/7 Accroissement capacité de production 3/7 Réduction coûts 3/7	3/7	1/7	1/7	1/7
II	Diversification de la production 4/5 Accroissement de la capacité de production 3/5 Réduction coûts 3/5	4/7	4/7	2/7	1/7
III	Diversification de la production 4/5 Accroissement capacité de production 2/5 Réduction des coûts 2/5	0	2/5	4/5	1/5
IV	Diversification de la production 2/2 Accroissement capacité de production 2/2	1/4	2/4	2/4	0

(1) Le rapport indique le nombre de réponses à la question sur le nombre d'entreprises ayant répondu. La même entreprise peut avoir plusieurs motivations ou avoir fait plusieurs études

Ainsi la deuxième motivation pour les petites entreprises de sous-traitance d'outillage (type I) est l'accroissement de la capacité de production. La décision d'investir s'appuie ici uniquement sur des essais faits chez le constructeur sans études techniques ni études de rentabilité.

La deuxième motivation pour les entreprises (type II), quelque fois de grande taille : (35, 60, 384, 380, 1200, 3200 et 3600 salariés qui fabriquent leur propre outillage est une réduction des coûts de production. Sur les trois entreprises qui ont déclaré cette motivation, deux sont de très grande taille 3200 et 3600 salariés. La décision d'investir s'appuie à la fois sur des études techniques et sur des essais chez le constructeur. Seules, deux entreprises font faire des études de rentabilité et ce sont toujours les deux plus grandes entreprises.

La deuxième motivation pour les entreprises fabriquant de l'outillage et d'autres produits (type III) est double : réduction des coûts de production et accroissement de la capacité de production. Ces entreprises sont de taille moyenne (40, 120, 190, 231, 900 salariés). Ce sont les entreprises de 190 et de 900 personnes qui déclarent cette double motivation. La décision d'investir s'appuie, à une exception près, (l'entreprise de 231 salariés) sur des études de rentabilité.

Le dernier type d'établissement (type IV) : grandes entreprises fabriquant des produits divers ne comporte que quatre observations, et il n'a pas été possible de recueillir l'information pour deux d'entre elles ; tout de même, le couple de motivations : accroissement de la capacité de production et diversification de la production, est cité dans les deux cas. La décision d'investissement s'appuie ici, soit sur une étude technique, soit sur une étude de rentabilité.

Dans l'ensemble, les établissements qui effectuent une étude technique ou une étude de rentabilité, sont finalement peu nombreux (moins de 40 % pour chaque étude).

Les établissements de taille relativement importante qui sont aussi les plus structurés, ont plus tendance à effectuer des études de rentabilité avant un investissement. Ainsi cinq établissements de plus de 500 salariés, font une étude alors que l'échantillon en comporte sept. Par contre, seuls quatre établissements (sur seize à l'échantillon) de moins de 500 salariés en font une.

En ce qui concerne les études techniques, seuls trois établissements de plus de 500 salariés en réalisent une, contre six de moins de 500 salariés.

En conséquence, on peut dire que les petites entreprises, et en particulier celles qui font des travaux en sous-traitance, investissent en électro-érosion soit par "intuition", soit pour couvrir un besoin technologique ponctuel. Dans ce cas, ces entreprises cherchent par la suite des donneurs d'ordres susceptibles de leur fournir des travaux, ceci dans le but de charger leur machine au maximum et par voie de conséquence, de rentabiliser leur investissement. Dans notre échantillon, parmi les huit entreprises de moins de 50 salariés, trois utilisent leur machine d'électro-érosion pendant moins de 25 % du temps, ce qui peut paraître faible par rapport au montant de l'investissement en électro-érosion qui est considéré par deux d'entre elles comme étant important (par rapport au montant total annuel des investissements de l'établissement).

Ces petites entreprises ne peuvent, on le comprend, se doter des moyens leur permettant de réaliser toutes les études préalables à l'investissement, mais n'auraient-elles pas intérêt à faire appel aux services, soit de leurs organisations professionnelles, soit des chambres de commerce et d'industrie ? Ceci, dans le but de réaliser avec une forte probabilité des investissements qui assurent une bonne rentabilité.

Une telle action pourrait avoir un effet favorable sur le développement de l'innovation elle-même en éliminant dans bien des cas le risque économique que prend une petite entreprise en réalisant un tel investissement.

A l'inverse, dans les établissements de plus grande taille, les investissements en électro-érosion sont le plus souvent effectués à la suite d'études. Lorsque les équipements sont utilisés en production (type III) des études de rentabilité sont presque toujours effectuées.

De plus, dans les établissements de grande taille, la centralisation des instances de décision fait que la personne qui établit la demande d'investissement est obligée de l'accompagner d'une étude (le plus souvent économique) qui permettra à la personne qui détient le pouvoir de décision de procéder à un arbitrage entre les différentes demandes qui lui sont transmises.

CHAPITRE IV

Analyse du champ fonctionnel d'intervention de l'opérateur

On examinera pour chacun des types d'établissements quels sont les intervenants qui assument respectivement les fonctions études, préparation du travail (ou méthodes), fabrication, contrôle et enfin, qui prend la décision d'usiner un produit par électro-érosion. Cette analyse permettra de délimiter le champ d'intervention de l'opérateur, champ d'intervention qui délimite également fortement le contenu de l'emploi.

1 - Le champ fonctionnel d'intervention de l'opérateur dans les établissements de type I (tableau n° IV)

Les établissements qui fabriquent de l'outillage en "sous-traitance" sont caractérisés, on l'a vu, par une absence des services annexes à la fabrication : Bureau d'études, Bureau des méthodes, service contrôle (ces services n'existent pas en tant que tels, mais les fonctions sont néanmoins assumées). Ceci entraîne au niveau de l'opérateur une confusion des rôles de préparation, fabrication et contrôle.

Dans ces établissements de sous-traitance et de petite taille les plans émanent des donneurs d'ordres (dans quatre établissements sur six), la préparation du travail est peu formalisée, car les opérateurs sont très qualifiés, et c'est une fabrication d'outillage ; elle consiste essentiellement à donner l'ordre des opérations à exécuter, ce qui correspond à une gamme d'usinage très simplifiée. Cette préparation du travail est effectuée dans tous les cas, sauf deux, par l'opérateur, assisté quelquefois par un dessinateur et quelquefois par le patron. Les opérateurs font partie de la maîtrise (contremaître, chef d'équipe, chef d'atelier) dans trois cas sur six et sont des ouvriers professionnels ; dans les trois derniers cas, ils exécutent en plus de l'opération d'électro-érosion proprement dite, des opérations mécaniques relatives à la fabrication d'électrodes et au calcul de sous-dimensionnement et des opérations de la mécanique traditionnelle.

Champ fonctionnel d'intervention de l'opérateur
dans les établissements du type I

Tableau n° IV

Observations	Fonction Etude		Fonction Méthodes		Fonction Fabrication		Fonction Contrôle		Qui prend la décision d'usiner par E.E.
	Intervenant	Interventions	Intervenant	Interventions	Intervenant	Interventions complémentaires	Intervenant	Type de contrôle	
1003	<u>Externe</u> Donneur d'ordre	Réalisation des plans	Contremaître	Préparation du travail	Contremaître	Réalise l'électrode Supervise les autres compagnons de l'atelier	Contremaître	dimensionnel	Contremaître
1006	<u>Externe</u> Donneur d'ordre Bureau d'études extérieur	Réalisation des plans de la pièce —— plan du moule	Chef d'équipe et Directeur	Réalisent en commun la gamme d'usinage	Chef d'équipe	Réalise l'électrode opérations mécaniques traditionnelles	Chef d'équipe	dimensionnel	Directeur
1008	<u>Externe</u> Donneur d'ordre <u>Interne</u> Dessinateur	Plans Plans	Chef d'atelier et Dessinateur	Déterminent les phases	Chef d'atelier	Réalisation de devis " et calcul des électrodes	Chef d'atelier	dimensionnel	Dessinateur Chef d'atelier
1009	<u>Interne</u> Bureau d'études	Plans Devis	Dessinateur	Gamme d'usinage	Opérateur P3	Préparation du trav. machine, exécution d'électrodes	Opérateur	dimensionnel	Directeur technique
1012	<u>Externe</u> Donneur d'ordre	Plans	Outilleur	Préparation du travail	Outilleur P2	Exécution des élect. Autres opérations mécaniques	Opérateur	dimensionnel	Patron + opérateur
1014	<u>Interne</u> Agent techn. Direct. techn. gérant	Etudes Plans	Chef d'atelier	Gammes	Fraiseur	Fabrication d'électr. Autres opérations mécaniques	Opérateur	dimensionnel	Agent techn. de fabrication

Note : L'observation n° 0003 ne comporte pas d'étude d'emploi d'opérateur

Le contrôle est toujours effectué par l'opérateur. La décision d'usiner par électro-érosion est prise à un niveau assez élevé (le directeur ou le patron) en collaboration parfois avec l'opérateur.

En conclusion, il semble que l'organisation de la production des établissements de ce type soit caractérisée par une très faible division du travail et par une confusion des rôles de fabrication, méthode et contrôle assumés par une même personne, l'opérateur.

2 - Le champ fonctionnel d'intervention de l'opérateur dans les établissements du type II (tableau n° V)

L'organisation de la production dans les établissements de grande et de moyenne taille qui fabriquent leur propre outillage, est caractérisée par une plus grande division des tâches entre les différents intervenants et par la présence de services annexes à la fabrication. En effet, un Bureau d'études apparaît dans quatre entreprises sur sept, dans deux autres entreprises, c'est le Bureau des méthodes qui assume la fonction du Bureau d'études. Il apparaît également un service contrôle dans quatre cas sur sept.

Le Bureau d'études ou le Bureau des méthodes délivre les plans et quelquefois le dessin de l'électrode ou de la pièce à réaliser.

La préparation du travail est réalisée par le préparateur dans trois entreprises et par le responsable de la production qui établissent des gammes.

La fabrication est assumée soit, par la maîtrise (4 cas), soit par des ouvriers professionnels : P2, P3 (3 cas). Les opérateurs exécutent en plus de l'opération d'électro-érosion elle-même, quelques opérations simples d'usinage : fabrication ou modification des électrodes. L'opérateur chargé d'une machine à découpe par fil, prépare lui même son programme.

Le contrôle est effectué en premier lieu par l'opérateur éventuellement assisté par le service contrôle (4 cas). La décision d'usiner par électro-érosion est prise soit, par le B.E., soit par le B.M., soit enfin par le chef d'atelier.

Champ fonctionnel d'intervention de l'opérateur
dans les établissements du type II

Tableau n° V

Observations	Fonction Etude		Fonction Méthodes		Fonction Fabrication		Fonction Contrôle		Qui prend la décision d'usiner par E.E.
	Intervenant	Interventions	Intervenant	Interventions	Intervenant	Interventions complémentaires	Intervenant	Type de contrôle	
0001	Dessinateur du B. M.	Dessine les électrodes	Dessinateur préparateur	établissent les gammes	Opérateur P3	Perçage de l'électrode	Opérateur Chef d'équipe + Serv. contrôle →	dimensionnel électrode	B. M. (dessinateur)
0005 (découpage par fil)	Dessinateur du B. E.	Plans	Préparateur du B. E.	Gammes	Technicien	Tournage d'électrodes programmes	Serv. général de contrôle	dimensionnel	Chef du B. E.
1002	B. E.	Détermine l'électrode Exécute les plans	Préparateur + chef d'atel. + opérateur	Organisation (gamme) fixe le temps prévu d'usinage	Pointeur P3		Opérateur	dimensionnel (projection de profil)	Chef d'atelier B. E. au moment de l'établiss. des devis
1004	B. E.	Plans	Chef d'équipe de fabricat.	Préparation du travail	Fraiseur P2	Fraisage + réalisat. d'électrodes simples	Contrôleur du service contrôle	dimensionnel	Chef d'atelier
1010	Directeur technique	Plans	Directeur technique	Ordre de fabrication	Chef d'atelier	Finition de la pièce Fabrication de l'électrode	Opérateur + Directeur technique	dimensionnel	Directeur techn. + Chef d'atelier
1011	B. M.	Plans	Chef d'atelier	Planning gamme de préparat.	Chef d'équipe	Modification d'électrodes	Chef d'équipe + contrôleur volant	dimensionnel	B. Méthodes
1016	B.E. outillage	Plan de la pièce à réaliser	pas de fonction assumée		Agnt techn. de product. (P3)	Dessine l'électrode Réalise " Prépare son travail	Opérateur	dimensionnel	Chef d'atel. lors de l'élaboration du prix de rev.

L'organisation de la production dominante apparaît peut-être moins clairement que dans le type I, elle est néanmoins caractérisée par une plus grande division du travail et par la présence d'un plus grand nombre de services annexes à la fabrication.

3 - Le champ fonctionnel d'intervention de l'opérateur dans les établissements du type III (tableau n° VI)

Dans les établissements associant à une production diversifiée une fabrication d'outillage en sous-traitance ou non, la fonction études est toujours assumée par le Bureau d'Etudes qu'il soit spécifique au service outillage qu'il se trouve au siège ou encore au sein même de l'établissement. La fonction méthodes est assurée dans deux cas seulement par le préparateur du service méthodes, dans deux cas par le chef d'atelier et dans un dernier cas par le préparateur du Bureau d'Etudes, la préparation du travail est peu élaborée, elle consiste à donner l'ordre de passage sur machine et les temps de base.

La fabrication est assurée exclusivement par des ouvriers professionnels (P2 - P3) qui en plus de l'opération d'électro-érosion peuvent fabriquer ou retoucher des électrodes simples.

Le contrôle est effectué par l'opérateur et le Service Contrôle, dans un cas le Service Contrôle est remplacé par un technicien du Bureau d'Etudes.

La décision d'usiner par électro-érosion est prise comme dans le type précédent par le Bureau d'Etudes ou le Bureau des Méthodes ou le chef d'atelier.

L'organisation de la production dominante semble être ici caractérisée comme dans le type précédent par une division du travail plus grande que dans le type I et par le fait que les opérateurs sont tous des ouvriers professionnels.

Champ fonctionnel d'intervention de l'opérateur
dans les établissements du type III

Tableau n° VI

Observations	Fonction Etude		Fonction Méthodes		Fonction Fabrication		Fonction Contrôle		Qui prend la décision d'usiner par E.E.
	Intervenant	Interventions	Intervenant	Interventions	Intervenant	Interventions complémentaires	Intervenant	Type de contrôle	
0002 Découpe par fil	B. E. Dessinateur	Plans Programme	B. E.	Ordre de passage machine	Opérateur OHQ	Aucune	Service contrôle	dimensionnel	Bureau d'études
1001	Préparateur + B. E.	Dessin d'électrodes Réalisation d'élect. Préparat. du trav. Conseille l'opérat.	CA	Planning Charge machines	Fraiseur P3	Aucune	Opérateur Technicien du B.E.	dimensionnel	CA + Préparateur
1005	<u>Externe</u> B. E. siège	Plans	Préparateur	Ordre de passage Fixe un temps de base	Ajusteur P3	Ajustage et fabric. d'électr. simples	Opérateur puis CM.	dimensionnel	Chef de Fabrication
1007	B. E.	Plans Devis	B. M. Préparateur	Gamme Temps d'usinage	NSP	Réalisation ou retouche d'électr. simples	Service contrôle	dimensionnel	Bureau Méthodes
1017	B. E. d'outillage	Plans	Chef d'atelier	Ordre de réalisat.	Opérateur P2	Aucune (exceptionnel. fabric. d'électr.)	Contrôleur	dimensionnel	Chef d'atelier

4 - Le champ fonctionnel d'intervention de l'opérateur dans les établissements du type IV (tableau n° VII)

La classification des opérateurs (Pl) est plus faible dans les établissements de grande taille fabriquant des produits divers (sauf dans un cas). Ces établissements sont également caractérisés par une plus forte préparation du travail ce qui peut s'expliquer par le fait que l'on se trouve en production et non plus en outillage.

La fonction Etudes est assumée par un Bureau d'Etudes (sauf dans un cas), la fonction Méthodes par le Bureau des Méthodes (sauf dans un cas où c'est le chef d'équipe qui fait la préparation du travail et qui est opérateur). Ces établissements produisent tous en petite série et à l'unité, l'un d'entre eux confie la préparation du travail pour une production en petite série au Bureau des Méthodes et à l'opérateur pour une production unitaire.

Les opérateurs sont tous des ouvriers professionnels Pl sauf un qui est chef d'équipe. A une exception près, ils n'effectuent aucune opération autre que l'opération d'électro-érosion.

Le contrôle final est exécuté par un service spécialisé sauf dans un cas.

La décision d'usiner est prise au niveau du Bureau d'Etudes ou du responsable de fabrication.

L'organisation de la production dominante de ce type d'établissement se différencie bien des autres organisations rencontrées essentiellement parce que l'on se trouve dans un milieu de production et non plus d'outillage où la qualification des opérateurs est un peu moins élevée que dans le milieu des outilleurs et où la préparation du travail est plus formalisée : gammes précises avec des temps impartis à chaque opération.

Champ fonctionnel d'intervention de l'opérateur
dans les établissements du type IV

Tableau n° VII

Observations	Fonction Etude		Fonction Méthodes		Fonction Fabrication		Fonction contrôle		Qui prend la décision d'usiner par E.E.
	Intervenant	Interventions	Intervenant	Interventions	Intervenant	Interventions complémentaires	Intervenant	Type de contrôle	
0004	B. E.	Examen métallurgique de l'usinage	Technicien des méthodes (spécialiste en E. E.)	Etablissement des gammes et des réglages machines par essais	"Compagnon" P1	Aucune	Opérateur service contrôle	dimensionnel	Méthodes avec accord du B. d'études
1013	B. E.	Dessin de la pièce " " l'électr.	Méthodes	Forte préparation du travail gammes	P1	Aucune	Contrôleur et CA.	dimensionnel	Bureau d'études et chef d'atelier
1015	Extérieur à l'établissement. situation de groupe	Plan de la pièce	Chef d'équipe	dessin de l'électr. préparat. du trav.	Chef d'équipe	Fonction d'encadrement	Chef d'équipe Service contrôle	dimensionnel	Chef d'unité mécanique + opérateur
1018	B. E.	Dessin de la pièce	Méthodes opérateur	Intervention en cas de petite série seul. préparation trav. pour les pièces unitaires	Opérateur T. A.	Fabrication d'électr. Tournage de pièces diverses	Opérateur	dimensionnel	Chef de service dépendant de la fabrication

52

Conclusion

L'absence de Bureau d'études et du Bureau des Méthodes, la prise en charge par l'opérateur de la préparation du travail, de la fabrication et du contrôle dans l'organisation de la production du type I ne sont pas consécutives à l'introduction d'une nouvelle technique d'usinage d'électro-érosion, mais sont relatives à un certain type de marché (sous-traitance) et à un certain potentiel de fabrication (organisation, personnel très qualifié de l'outillage).

Quand les services annexes à la fabrication existent en tant que tels, on n'observe notamment dans les services de préparation du travail aucune modification de structure ou de niveau de qualification du personnel après introduction de l'électro-érosion.

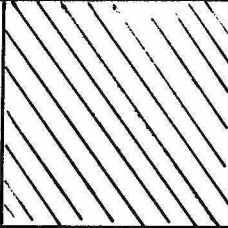
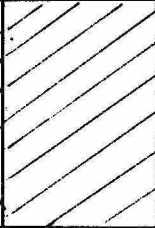
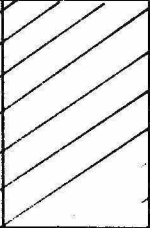





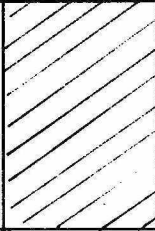




Seule une entreprise déclare avoir spécialisé un dessinateur dans le dessin des électrodes et une autre dans la programmation (pour une machine à découpe par fil).

Le contrôle d'une pièce usinée par électro-érosion est un contrôle dimensionnel, laissé à l'initiative de l'opérateur dans la majorité des cas. Quand il existe dans l'entreprise un service contrôle (c'est le cas des entreprises de plus de 200 salariés), c'est lui qui effectue le contrôle dimensionnel en "association" parfois avec l'opérateur. Dans deux cas seulement on trouve un opérateur chargé du contrôle dans des entreprises où le service contrôle existe en tant que tel. Dans l'une d'elle il est mentionné que c'est toujours l'opérateur qui contrôle sa pièce quel que soit le type d'usinage, dans l'autre, seule peut-être la plus grande qualification de l'opérateur permet d'expliquer son autonomie, c'est un technicien.

Il semble donc que le contrôle d'une pièce usinée par électro-érosion soit consécutif à l'organisation des entreprises et non au type d'usinage de la pièce, ce qui est confirmé par les réponses des entreprises qui déclarent toutes que le contrôle n'est pas différent de celui effectué au niveau des autres opérations d'usinage.

Tableau n° VIII

Champ fonctionnel d'intervention dominant
des opérateurs sur machine d'électro-érosion

Type d'établissement	Etudes	Méthodes Préparation du travail	Fabrication		Contrôle	Prise de décision d'usiner par électro-érosion
			Tâches électro-éros.	Tâches annexes		
I						
II						
III						
IV						

La surface grisée indique le degré d'intervention de l'opérateur dans les différentes fonctions

La décision d'usiner un produit par électro-érosion relève le plus souvent d'un responsable hiérarchique assumant la fonction méthodes ; fonction qui est attribuée selon l'organisation de l'entreprise soit au Bureau des méthodes, soit au chef d'atelier, soit au directeur technique, soit au patron ; le critère principal retenu pour justifier ce choix était la complexité de la pièce.

En résumé, on peut dresser un tableau du champ fonctionnel d'intervention de l'opérateur dominant pour chacun des types d'établissements. Quel que soit le type d'établissements, les opérateurs sur machine d'électro-érosion n'interviennent jamais dans les études.

Seuls ceux des établissements du type I interviennent de façon importante dans la fonction méthode , certains opérateurs (peu nombreux) des établissements des types II et IV intervenant également sur cette dernière fonction.

Quand au contrôle, il est assumé par tous les opérateurs dans les établissements du type I et par quelques opérateurs seulement dans le type II.

De la même façon, seuls les opérateurs des établissements du type I prennent la décision (ou y sont associés) d'usiner un produit par électro-érosion ou par une méthode traditionnelle.

Le champ fonctionnel d'intervention des opérateurs des établissements du type I est le plus étendu, il concerne la préparation du travail, la fabrication, le contrôle et enfin, la prise de décision d'usiner un produit par électro-érosion. A l'inverse, les opérateurs des établissements des types III et IV possèdent le champ d'intervention le plus étroit, il est le plus souvent limité à l'opération d'électro-érosion et à quelques tâches annexes de fabrication.

CHAPITRE V

Le contenu de l'emploi de l'opérateur

Le chapitre précédent nous a permis de dégager le champ d'intervention dominant de l'opérateur pour chacun des types d'établissements étudiés. Des champs fonctionnels d'intervention comparables peuvent conduire à des contenus d'emplois sensiblement différents pour chacun des opérateurs. Par exemple, deux opérateurs peuvent se trouver dans des situations comparables par rapport à la préparation du travail et au contrôle et compte tenu de leur charge de travail différente, l'un d'eux peut réaliser l'électrode ou d'autres opérations mécaniques. Ils auront donc des contenus de travail différents.

On examinera successivement :

- les tâches directement liées à l'utilisation d'une machine d'électro-érosion et parmi celles-ci, quelles sont celles qui ne sont pas laissées à l'initiative de l'opérateur ;
- les tâches annexes que certains opérateurs réalisent et dans quelle situation,

1 - Les tâches nécessaires à la conduite d'une machine d'électro-érosion

Deux cas sont à distinguer selon qu'il s'agit d'une machine à découpe par fil avec commande numérique ou d'une machine universelle à enfonçage.

Les listes de tâches qui suivent peuvent être considérées comme étant les tâches "standard" nécessaires à l'utilisation des différentes machines à électro-érosion indiquées. Il s'agit d'une machine universelle AGIE BQ (à enfonçage) et de deux machines à découpe par fil dont les systèmes de programmation diffèrent, la CHARMILLE F 40 DCNC avec commande numérique directe et mini ordinateur incorporé pour l'établissement des bandes programme, et l'AGIECUT DEM 25 équipée d'une commande numérique de contournage biaxiale (1).

1) Les bandes programmes nécessaires au fonctionnement de cette machine doivent être exécutées à l'aide d'un centre de calcul extérieur à la machine

On peut considérer que les tâches nécessaires à la conduite d'une AGIE BQ restent valables sous réserve de modifications de détails pour tous les modèles et toutes les marques.

1-1 Liste des tâches à exécuter pour la mise en oeuvre d'une machine à électro-érosion universelle AGIE BQ

- 1 - lecture des plans
- 2 - bridage de la pièce sur la table
- 3 - montage de l'électrode d'ébauche sur la tête de la machine
- 4 - réglage du positionnement de l'électrode par rapport à la pièce (lecteurs optiques ou verniers)
- 5 - branchement des fiches sur l'électrode
- 6 - vérification de l'isolement des différents morceaux de l'électrode, les uns par rapport aux autres
- 7 - Réglage du générateur à l'intensité voulue
- 8 - Réglage du comparateur pour limiter la descente de l'empreinte
- 9 - branchement des circuits d'aspiration ou d'injection du diélectrique sur les électrodes
- 10 - blocage de la table et remplissage
- 11 - démarrage
- 12 - Au fur et à mesure de la descente, il change les réglages électriques jusqu'au maximum de débit et les réglages de pression du diélectrique
- 13 - contrôle visuel en cours d'opération
- 14 - vidange du bac et lavage de la pièce ou endroits où il y a charbonnage
- 15 - avant d'arriver à la cote finale, diminue l'intensité graduellement
- 16 - à la cote la machine s'arrête
- 17 - démontage de l'électrode d'ébauche
- 18 - montage de l'électrode de finition

19 - nouveau cycle de tâches identiques aux précédentes (4 à 17)

Avec l'électrode de finition on ne touche pas aux réglages du générateur en cours d'usinage.

Note : Certaines machines possèdent un système de visualisation des incidents d'usinage, ce qui facilite le contrôle de l'opérateur

1-2 Listes des tâches à exécuter pour la mise en oeuvre des deux machines à découpe par fil et commande numérique : CHARMILLES F 40 DCNC et AGIECUT DEM 25

CHARMILLES F 40 DCNC	AGIECUT DEM 25
Prendre possession de la pièce et du dessin	Prendre possession de la pièce du dessin et du programme La pièce possède un trou de référence
Examen de la conformité de la pièce à cet instant	
Exécution du programme à partir du dessin	
Vérification de la conformité du programme à l'aide du lecteur de la machine (programme passé rapidement)	
Affichage des réglages du générateur - puissance du générateur - vitesse de défilement du fil	
Bridage de la pièce sur la table	
Mise en place du fil	
Réalisation du point zéro : soit au comparateur, soit par le système des touches électriques	

	Réglage de générateur (tension) et paramètre de défilement du fil
	Exécution d'un carré de 2 mm de côté, prise des cotes et affichage des corrections des cotes que la machine doit effectuer. Ces corrections dépendent de la hauteur de la coupe et de la nature de l'acier
Remplissage du bac	Mise en fonctionnement du circuit de diélectrique
Lancement du programme de découpe	
A 2 mm de la fin de découpe la machine s'arrête. Collage d'un petit morceau de métal pour éviter la chute de la pièce découpée (ou simplement mise en place d'un petit aimant)	
Finition de la découpe en relançant le programme	
Vidage du bac	Arrêt de la circulation du diélectrique
Vérification des cotes	
Démontage de la pièce de sur la table	

1-3 Instructions fournies aux opérateurs

Parmi les tâches qui viennent d'être citées, la majorité d'entre elles sont laissées à l'initiative de l'opérateur. Celui-ci détermine alors son mode opératoire comme ses homologues "outilleurs" (1).

(1) Cf. document 23-7 - Les emplois d'ouvriers qualifiés de fabrication dans la Mécanique CEREQ - avril 1975

Il existe toutefois deux tâches : le réglage du générateur et le montage et bridage de la pièce sur la table de la machine qui peuvent faire l'objet de consignes précises, soit de la part du Bureau des Méthodes, soit de la part de la maîtrise d'atelier.

Parmi les données fournies à l'opérateur, on trouve dans tous les cas le plan avec les cotes. Ensuite, l'opérateur dispose de la "technologie constructeur" pour établir les réglages du générateur, opération délicate qui a une incidence importante sur la rapidité d'exécution du travail, sur la qualité de surface de la pièce finie et sur les incidents d'usinage qui peuvent se produire.

Généralement, l'opérateur effectue lui-même les montages et bridages nécessaires au maintien de la pièce sur la table.

Contrairement à ce qui vient d'être dit, qui représente l'opérateur disposant de la plus grande autonomie dans son travail, on trouve trois opérateurs (observations 0004, 1004, 1013) qui sont soumis à une préparation du travail plus importante. Le cas de l'observation 0004 est particulier : il s'agit d'usiner des pièces pour l'industrie aéronautique en petite série. Pour des raisons de résistance des matériaux, le réglage du générateur ne doit pas être changé par rapport à l'usinage de la première pièce qui a été sévèrement contrôlée sur les plans dimensionnels et métallurgiques (1). Les conditions d'usinage doivent donc être reproduites précisément pour toute la série de pièces.

Les deux autres observations diffèrent des conditions les plus fréquemment rencontrées, la première, par le fait que les réglages sont indiqués à l'opérateur par le chef d'équipe, la deuxième, par le fait que le montage de la pièce sur la table de la machine est indiqué à l'opérateur.

On remarquera que ces trois opérateurs possèdent les classifications professionnelles les plus basses dans notre échantillon (2 P1 + 1 P2), ce qui peut être rapproché de leur niveau d'autonomie qui se révèle être le plus faible.

(1) L'usinage par électro-érosion effectue une "trempe" superficielle du métal qui modifie sa structure métallographique

En conclusion, parmi les tâches directement liées à la conduite d'une machine à électro-érosion, la plupart sont laissées à l'initiative de l'opérateur, mais dans certains cas les données de deux d'entre elles peuvent être fixées par d'autres personnes de l'établissement.

2 - Les tâches annexes effectuées par les opérateurs

Certains opérateurs effectuent en marge des tâches principales qui viennent d'être citées, des tâches annexes qui relèvent le plus souvent de la préparation des électrodes ou d'opérations mécaniques traditionnelles.

Le tableau n° IX ci-après, fait apparaître pour chacun des types d'établissements les tâches annexes qui incombent à chacun des opérateurs étudiés.

Ainsi, on remarquera que tous les opérateurs des établissements du type I (sous-traitance d'outillage) réalisent tous des tâches annexes. Il s'agit de fabrication d'électrodes, d'opérations mécaniques diverses, de préparation du travail ou de tâches d'encadrement.

Les opérateurs des établissements du type II (fabrication d'outillage "interne") effectuent sensiblement le même type de tâches annexes que ceux du type I, à l'exception d'un opérateur qui n'en effectue aucune.

Dans les établissements du type III et IV, les opérateurs qui n'effectuent aucune tâche annexe, sont plus nombreux (plus de 50 %). La fabrication d'électrodes et des fonctions d'encadrement sont les seules tâches annexes effectuées par les autres opérateurs.

En conclusion, on peut dire que les situations de travail dominantes mises à jour au chapitre précédent se retrouvent au niveau des contenus de travail bien que ceux-ci présentent quelques variantes à l'intérieur d'un type. Les critères retenues pour la construction des différents types d'établissements, paraissent donc déterminant au niveau des contenus d'emplois. La dimension du contenu de l'emploi d'opérateur s'établit essentiellement sur l'existence ou non des tâches annexes parallèlement aux tâches principales liées à la conduite d'une

Tableau n° IX

Tâches annexes exécutées
par les opérateurs

Type d'établiss.	N° d'enq.	Tâches - Types	Tâches annexes	Classification de l'opérateur
I	1003	enfouçage	Réalisation de l'électrode - Supervise l'atelier	A M Contremaître
	1006	"	Fraisage, perçage, polissage, pointage -	CE OHQ
	1008	"	Calcul et réalisation d'électrode (tournage fraisage)	CA P3
	1009	"	Préparation du travail - Exécution d'électrodes	P3
	1012	"	Toutes opérations mécanique à 50 % du temps	P2
	1014	"	Réalisation d'électrodes - Fraisage rectif. - Tournage	P3
II	0001	enfouçage	Perçage d'électrodes	P3
	0005	fil	Programme - Tournage d'électrodes	Technicien
	1002	enfouçage	Pointage à 30 % du temps	P3
	1004	"	Fraisage - Réalisation d'électrodes	P2
	1010	"	Finition de la pièce - Fabrication d'électrodes	CA P3
	1011	"	- Encadrement	CE AM
III	1016	"	Dessin et réalisation d'électrodes	AT de production
	0002	fil	Aucune	OHQ
	1001	enfouçage	Aucune	P3
	1005	"	Fabrication d'électrodes simples - Ajustage	P3
	1007	"	Réalisation ou retouches d'électrodes simples	NSP
IV	1017	"	Aucune	P2
	0004	enfouçage	Aucune	P1
	1013	"	Aucune	P1
	1015	"	Fonctions d'encadrement	CE AM
	1018	"	Fabrication d'électrodes simples + Tournage	Technicien d'atelier

machine d'électro-érosion. Ces tâches sont sensiblement constantes à l'exception, pour un type d'établissement particulier (type IV), des tâches de réglage et de montage des pièces à usiner dont les données sont consignées aux opérateurs.

3 - La formation des opérateurs et leurs conditions de travail

On examinera successivement quelles sont les formations des différents opérateurs ou leur passé professionnel et enfin quelles sont les conditions de travail et éventuellement les nuisances inhérentes à cette innovation.

3 - 1 La formation des conducteurs de machines d'électro-érosion

On distinguera deux types de formation. D'une part, la formation de base du conducteur de machine d'électro-érosion et d'autre part, la formation complémentaire qu'il a suivie lors de l'implantation de cette nouvelle technique dans l'entreprise.

La formation de base, l'expérience professionnelle acquise des conducteurs relèvent dans tous les cas de la mécanique. Le niveau CAP de diverses spécialités est le plus fréquent (11 observations). On trouve ensuite des ouvriers possédant le BP, BI ou BT de mécanique (5 observations) et enfin six ouvriers pour lesquels l'expérience professionnelle seule a été indiquée ; expérience acquise en mécanique dans tous les cas et en outillage le plus fréquemment.

En ce qui concerne la formation complémentaire, différentes possibilités s'offrent aux industriels acquéreurs de machines d'électro-érosion.

- Les constructeurs organisent périodiquement des stages de formation d'opérateurs d'une durée d'une semaine environ.
- Certains organismes professionnels tels le CETIM (1) organisent également des stages de formation pour opérateur.
- Enfin, lors de la mise en route de la machine chez le client, le "monteur" de la société qui a vendu l'équipement assiste l'opérateur pendant une semaine environ. Cette action correspondant d'ailleurs plus à une mise au courant de l'opérateur qu'à une action de formation proprement dite.

(1) CETIM : Centre technique des industries mécaniques

Les deux premières actions de formation soumises à la volonté du chef d'entreprise, n'ont été suivies que par huit opérateurs. Les quatorze autres ont été mis au courant par le monteur ou ont été formé sur le tas par leur prédécesseur à ce poste dans l'atelier.

3-2 Les conditions de travail

Dans le terme général de conditions de travail, on intégrera deux dimensions : la première, les opérateurs sur machine d'électro-érosion sont-ils soumis à des normes de rendement ? ; la deuxième, quels sont les horaires de travail pratiqués dans la profession ou à ce poste ?

Généralement, l'opérateur n'est pas soumis à une contrainte de temps pour l'exécution des pièces qu'il doit réaliser. En effet, quatorze opérateurs sur vingt-et-un répondent n'être soumis à aucun délai d'usinage. Par contre trois opérateurs sont soumis à une contrainte de temps et enfin, quatre opérateurs doivent "faire le plus vite possible" ou bien ont communication du temps de base.

Il existe donc une autonomie importante dans les délais d'usinage que l'on ne manquera pas de rapprocher des pratiques courantes des ateliers d'outillage où règne une très forte professionnalisation et une très grande autonomie.

Les horaires de travail des opérateurs sur machines d'électro-érosion, sont identiques à ceux de leurs collègues qui utilisent des procédés d'usinage traditionnels. Il s'agit généralement de journées de huit heures et parfois des horaires en deux postes de 2 x 8 heures ; ce système s'appliquant surtout dans les grandes entreprises (observations 0001 et 0004)

Un horaire de travail particulier a été observé pour un opérateur sur machine à découpe par fil. La machine fonctionnant sans surveillance pendant la découpe et en particulier la nuit, l'opérateur n'est pas soumis à une contrainte d'horaire, il doit organiser son travail de façon à ce que la machine fonctionne le nombre d'heures maximum. Pour cela il doit par exemple l'approvisionner en dehors des heures ouvrables ou par exemple le samedi matin et passer de temps à autre

surveiller si elle ne s'est pas arrêtée par suite d'une anomalie de fonctionnement. L'utilisation de ce type d'équipement au maximum de sa capacité de production peut donc entraîner une modification de la répartition entre temps de travail et temps de repos de l'opérateur.

Parmi les nuisances provoquées par ce type d'équipement, les plus souvent citées sont, d'une part, les fumées émises par la décomposition du diélectrique sous l'effet de l'arc électrique et d'autre part, le contact du diélectrique sur les mains. Pour certaines machines fonctionnant sous une forte intensité de courant, la captation des fumées et leur évacuation s'avèrent nécessaires.

CONCLUSION

Le but de cette étude était double, d'une part, faire le point sur le développement d'une technique nouvelle et sur les modifications qu'elle entraîne dans le processus productif ; d'autre part, mettre à jour les tâches nouvelles qui incombent aux opérateurs ainsi que ses effets sur les qualifications des emplois dans l'industrie mécanique.

Les informations traitées procédaient de 23 enquêtes effectuées en région Rhône-Alpes et en Région Parisienne.

Au plan du développement de la technique, il est bon de rappeler que depuis la commercialisation de la première machine, aux alentours de 1952, toutes les améliorations, qu'elles portent sur la partie mécanique des machines ou sur les générateurs, ont contribué à amener ce procédé d'usinage à un degré de fiabilité tout à fait acceptable. Parallèlement à son amélioration, la diffusion du procédé s'est accrue. Cette technique, utilisée au départ en dépannage (extraction de forets cassés) est devenue une technique de production à part entière, d'abord dans le secteur de la production d'outillage qui est encore à l'heure actuelle son champ d'application essentiel, et ensuite, dans la fabrication de produits divers pour la réalisation d'usinages particuliers, principalement à l'unité ou en petites séries.

On peut d'ailleurs considérer que dans ce secteur l'électro-érosion n'est qu'au début de son implantation possible. D'ailleurs, le nombre de plus en plus important de fabricants ou d'importateurs de machines-outils qui mettent à leur catalogue ce matériel, semble prouver qu'il existe bien un marché potentiel important pour ce type d'équipements.

L'usinage par électro-érosion introduit dans un processus d'usinage mécanique traditionnel, entraîne une modification dans l'ordre des séquences d'usinage, de même qu'une réduction des temps d'usinages conventionnels. Ainsi, dans le cas, par exemple de la fabrication d'un outil, l'opération de traitement thermique qui avait lieu après le fraisage et avant la rectification, se trouve effectuée avant l'opération d'électro-érosion. Celle-ci se substitue en partie à l'opération de fraisage ; le

traitement thermique de l'outil ayant eu lieu avant la mise en forme de la pièce, ses déformations éventuelles ont été "effacées" et il n'est plus nécessaire d'effectuer une opération de rectification. Les gains de temps d'usinage pour un même produit sont parfois importants ; il existe des exemples où ils peuvent atteindre 50 % du temps par rapport à un usinage traditionnel.

Parmi les avantages liés à cette technique, on retiendra particulièrement le fait que la difficulté d'usinage n'est pas liée à la dureté du métal contrairement aux techniques d'usinage par enlèvement de matière. Cet avantage, lié à la facilité d'usinage des électrodes, à l'absence de contraintes mécaniques sur la pièce usinée, à l'usage de la commande numérique dans la machine à découpe par fil, etc... permet dans un grand nombre de cas de donner la préférence à l'usinage par électro-érosion. A l'inverse, les inconvénients qui ont longtemps constitué un frein au développement de cette technique, surtout au plan psychologique, abstraction des réglages, fini non traditionnel, ou au plan économique, usure des électrodes, paraissent s'estomper ou être maîtrisés.

Au plan des répercussions de l'utilisation d'une nouvelle technique sur le contenu des emplois d'opérateurs, on a vu qu'il était, au préalable, nécessaire d'opérer une classification des établissements en fonction du marché ou de la destination du produit et du potentiel de fabrication.

Ainsi, on a été amené à distinguer quatre types d'établissements :

- les petits établissements qui fabriquent de l'outillage en sous-traitance

- les établissements qui fabriquent leur propre outillage

- les établissements qui fabriquent divers produits dont de l'outillage

- les établissements qui utilisent l'électro-érosion dans la fabrication de produits divers autres que de l'outillage

A chacun de ces types d'établissements correspond un champ d'intervention de l'opérateur bien délimité, champ d'intervention qui va de la préparation du travail au contrôle inclus dans les petits établis-

sements de sous-traitance (type 1). Ce champ d'intervention de l'opérateur se trouve d'ailleurs considérablement réduit lorsqu'on se trouve dans des établissements des types III et IV. L'activité des opérateurs se borne alors à des tâches spécifiques à la fabrication, voire uniquement à la conduite de la machine d'électro-érosion.

Dans le cas où l'opérateur possède le champ fonctionnel d'intervention le plus large (type I), il faut souligner que ce dernier est tout à fait comparable à celui d'un ouvrier professionnel outilleur de la même entreprise.

Il est difficile de dire que la délimitation du champ fonctionnel d'intervention de l'opérateur, tout au moins en ce qui concerne les tâches de préparation du travail ou de contrôle, est uniquement le fait de la technique électro-érosion, l'influence de variables telles que l'organisation de l'entreprise, sa taille, ne peut être négligée.

L'activité des opérateurs qui est directement liée à la fabrication est dans de nombreux cas scindée en deux parties d'inégale importance : une série de tâches directement liée à la conduite d'une machine d'électro-érosion et une série de tâches relevant de la mécanique traditionnelle ou d'une fonction d'encadrement du type chef d'équipe, contre-maître, voire même chef d'atelier.

Les outilleurs des petits établissements de sous-traitance sont polyvalents ; ils ont parfois la maîtrise totale de la réalisation de l'outil et pour ce faire utilisent toutes les machines-outils nécessaires à l'exception de la machine d'électro-érosion pour laquelle il existe dans l'atelier un opérateur spécialisé. L'introduction de l'électro-érosion a donc dans ce cas amené un changement dans les pratiques de ce type d'atelier.

Parmi les tâches nouvelles directement liées à la machine d'électro-érosion, certaines relèvent des pratiques habituelles de la mécanique (positionnement de la table, bridage de l'outil, etc...) d'autres sont nouvelles (réglages de générateurs, circulation de fluides etc...).

Actuellement, les opérateurs sur machine d'électro-érosion sont des ouvriers professionnels de haut niveau à l'exception de ceux qui opèrent dans certains établissements du type IV (fabrication de produits divers).

A l'heure actuelle, on peut penser qu'il n'est pas concevable, compte tenu de la diversité des situations d'emplois existants et du faible nombre de machines en service, que soit créée une formation spécifique au niveau V.

Par contre, il est tout à fait envisageable qu'une telle formation soit dispensée dans le cadre de la loi sur la formation continue aux professionnels de la mécanique et en particulier de l'outillage qui le souhaitent.

A N N E X E I

D O S S I E R T E C H N I Q U E

L ' U S I N A G E P A R E L E C T R O - E R O S I O N

C. THINARD
I.N.S.A.

- I - HISTORIQUE

- II - PRINCIPE

- III - DESCRIPTION TECHNIQUE DES MACHINES D'USINAGE PAR ELECTRO-EROSION
 - 1 - Le générateur
 - 11 - Rôle
 - 12 - Réalisations pratiques

 - 2 - La partie mécanique
 - 21 - Les machines d'usinage par défonçage
 - 22 - Les machines de découpe par fil
 - 23 - Les électrodes, le liquide diélectrique

- IV - COMPARAISON AVEC LES METHODES TRADITIONNELLES D'USINAGE
 - 1 - Domaine d'application

 - 2 - Les particularités de l'usinage par électro-érosion, ses limites.
 - 21 - La surface obtenue.
 - 22 - Les limites du procédé.
 - 23 - Quelques particularités.

- V - LES FREINS A L'INTRODUCTION DE CETTE TECHNIQUE DANS L'INDUSTRIE

I - HISTORIQUE

=====

L'action érosive des étincelles électriques est connue depuis longtemps puisqu'elle est à l'origine de la détérioration des contacts électriques sous l'effet des arcs se produisant au moment de la coupure des courants de forte intensité. La première constatation d'un tel phénomène d'électro-érosion date de 1768 ; le physicien anglais PRIESTLEY publie la découverte qu'il avait faite de la formation de petits cratères sur les surfaces en regard d'électrodes conductrices soumises à des décharges électriques.

C'est en faisant des recherches pour éliminer cet effet érosif que les savants soviétiques BR et NI LAZARENKO eurent l'idée d'exploiter cette action destructrice à des fins d'usinage des métaux. En 1943, leurs recherches aboutirent et ils mirent au point un premier dispositif d'enlèvement de matière par étincelage. Les décharges électriques s'opèrent alors entre deux conducteurs immergés dans un liquide diélectrique, l'outil et la pièce.

Vers les années 1948 - 1950, les premières machines d'usinage par électro-érosion apparaissent ; ce sont des perceuses conventionnelles adaptées par adjonction d'un bac, d'un générateur et de divers autres équipements. Peu avant 1955, nous voyons apparaître les premières machines spécialement conçues pour l'usinage par électro-érosion.

Après des débuts relativement longs et difficiles, ce procédé s'impose peu à peu car il complète avantageusement et parfois même remplace certaines techniques d'enlèvement de matière. Cette progression continue est due à une évolution des connaissances de la technologie du procédé ainsi qu'aux perfectionnements constants apportés aux machines, et aux générateurs en particulier. Nous pouvons citer, à cet égard, l'apparition des transistors de puissance, le développement des servo-mécanismes ainsi que l'adaptation de la commande numérique à de telles machines.

II - PRINCIPE

=====

En usinage par électro-érosion, l'enlèvement de matière est obtenu par une succession de décharges électriques intermittentes qui éclatent entre une électrode-outil et la pièce à usiner, le tout étant immergé dans un liquide diélectrique.

Si nous appliquons entre ces électrodes une tension électrique qui est plus grande que la tension de claquage fixée par la distance inter-électrodes et la nature du liquide diélectrique, une décharge va s'amorcer. A l'endroit du plus fort champ électrique, donc au lieu où l'espace inter-électrodes est le plus faible, le liquide va s'ioniser. Il va en résulter la création d'un canal de conductibilité élevée entre les deux électrodes. Lorsque l'ionisation du diélectrique est suffisante, le courant passe massivement dans le canal ainsi formé. Il en résulte des densités de courant très élevées (de l'ordre de 10^6 A/cm²) qui engendrent des températures considérables (8.000 à 10.000°C) tant à la surface des électrodes qu'au sein du diélectrique. Le métal des électrodes est alors vaporisé et le diélectrique se dégrade en formant des gaz et des résidus carbonneux. En fin de décharge, la pression chute brutalement dans la bulle de gaz. Il s'en suit une éjection du métal fondu et vaporisé hors de la zone de décharge. Sous l'influence de la vitesse d'éjection et de la température du liquide environnant, il se recondense et se solidifie rapidement sous forme de sphérules.

En fait, et compte tenue des recherches effectuées jusqu'à l'heure actuelle, le mécanisme d'enlèvement de matière peut être décrit en distinguant :

- Une phase préparatoire correspondant à l'ionisation du diélectrique débouchant sur la formation d'un canal conducteur entre anode et cathode.

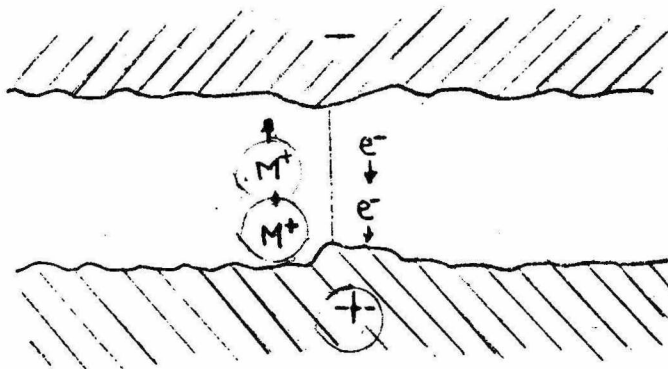


Fig. 1 - Ionisation du diélectrique

- Une phase active où il y a passage massif de courant avec des effets thermiques importants permettant la vaporisation de la matière.

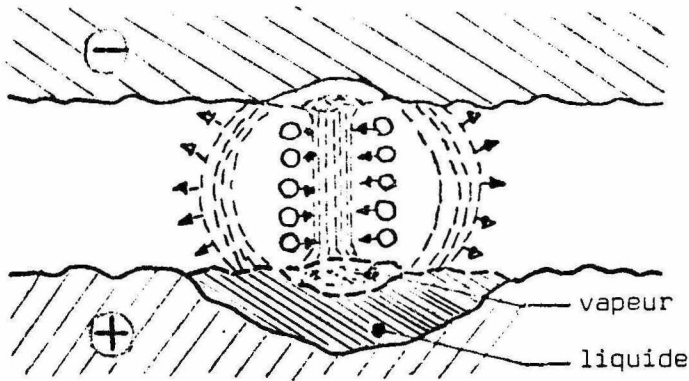


Fig. 2 - Phase active : expansion de la balle de gaz.

- Une dernière phase marquée par la prédominance des effets dynamiques et correspondant à l'éjection du métal vaporisé hors de la zone de décharge. L'érosion sur les électrodes est dissymétrique. Cela

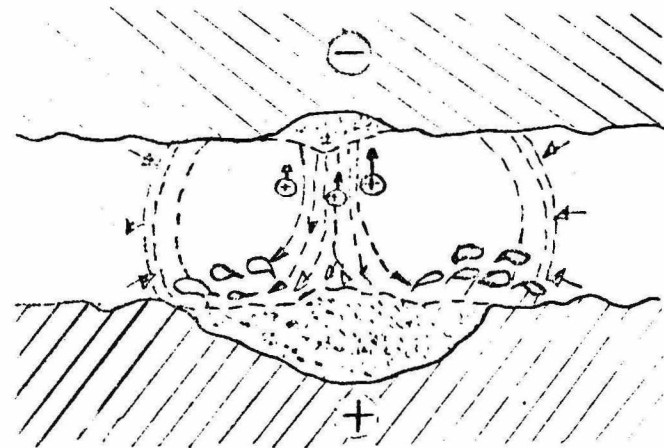


Fig. 3 - Enlèvement de matière

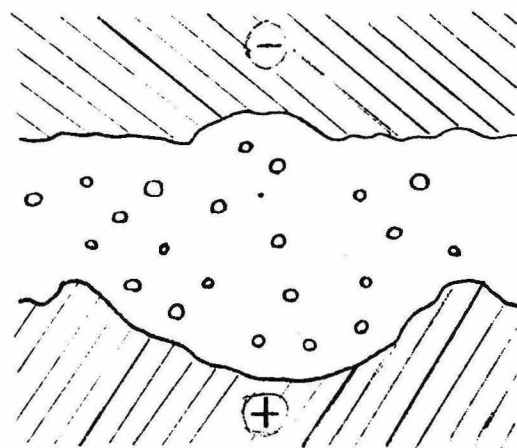


Fig. 4 - Etat final

dépend notamment du choix de la polarité, de la conductibilité thermique et de la température de fusion des matériaux, de la durée et de l'intensité de la décharge. En choisissant des matériaux appropriés et en influençant correctement la décharge, l'utilisateur arrive alors à une dissymétrie d'usure très importante afin d'éviter que l'électrode outil ne se dégrade trop rapidement.

La forme de l'outil est donc reproduite négativement sur la pièce à la valeur de l'intervalle inter-électrodes près (gap) et sans qu'il y ait contact entre les deux électrodes.

III - DESCRIPTION TECHNIQUE DES MACHINES D'USINAGE PAR ELECTRO-EROSION

Sommairement décrite, une machine classique d'usinage par électro-érosion comporte les éléments suivants :

- Un circuit électrique composé d'une batterie de condensateurs alimentée par une source de courant continu ; les électrodes (outil et pièce) sont branchées en parallèle avec la batterie de condensateurs.

- Une partie mécanique apparentée à un bâti de machine-outil classique et destinée à supporter le bac d'usinage ainsi que la tête porte-électrodes.

- Un système de circulation avec filtrage du liquide diélectrique.

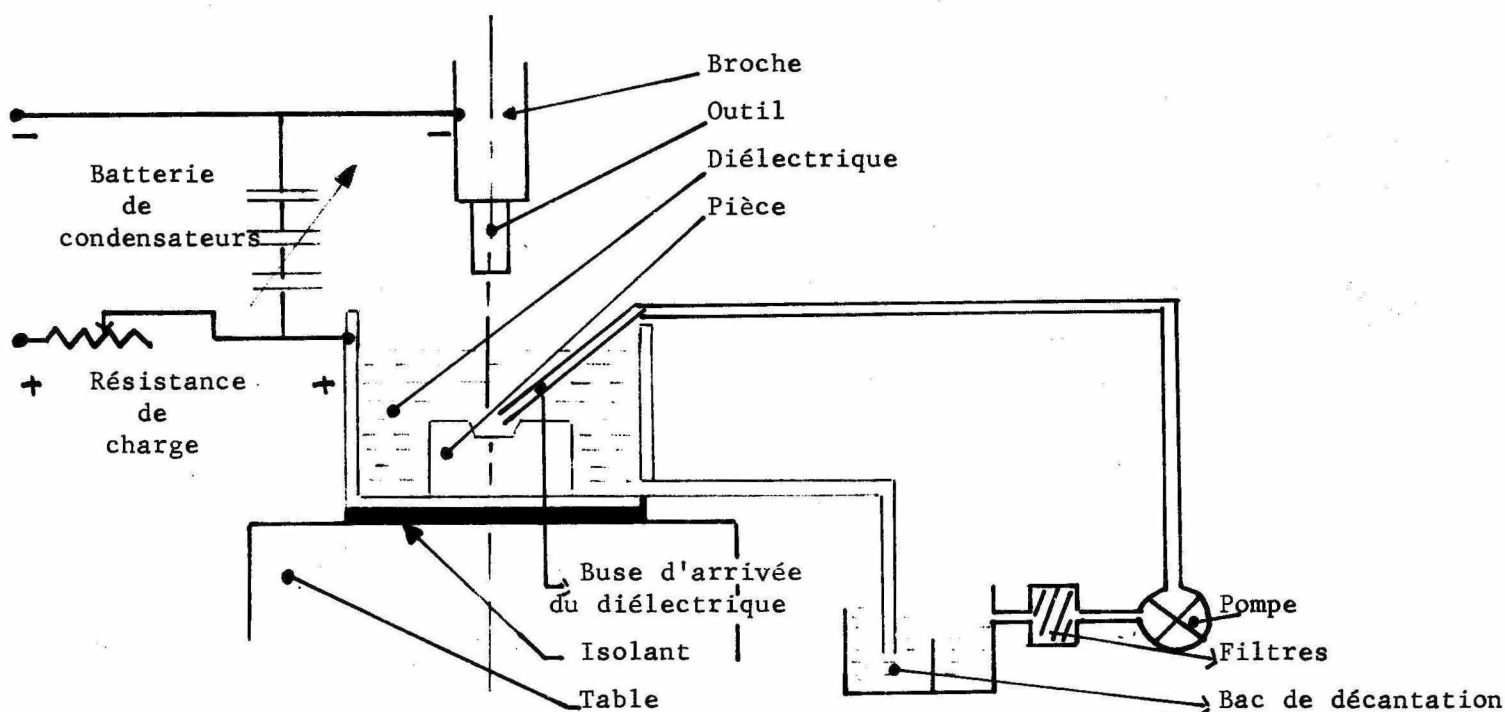


Fig. 5 - Principe d'une machine d'usinage par Electro-Erosion

La distance entre l'outil et la pièce conditionne la continuité de l'usinage. Sa valeur optimum est fonction de divers paramètres tels les conditions de travail, la nature des électrodes, l'état de la surface à usiner, etc... Du fait que toute variation de la distance inter-électrodes se traduit par une variation dans le même sens de la tension moyenne des décharges, les constructeurs ont eu recours à une servo-commande d'usinage pour asservir l'avance de l'outil.

1 - Le Générateur

11 - Son rôle

Les fonctions essentielles d'un générateur sont :

- Mettre à disposition une tension suffisante pour l'amorçage et le maintien de la décharge électrique (tension de claquage du diélectrique).
- Limiter le courant et la durée de décharge pour contrôler son énergie et par voie de conséquence l'érosion résultante.
- Imposer la fréquence de répétition des décharges selon un rythme approprié au genre d'usinage à effectuer.

12 - Les réalisations pratiques

Au fur et à mesure des recherches effectuées par divers constructeurs, différents systèmes de générateurs ont été commercialisés et cela, dans le but d'accroître, sinon la capacité, tout au moins le rendement d'un usinage donné. Malgré la diversité des modèles, il est possible de les grouper en 2 catégories :

- Les générateurs à relaxation
- Les générateurs à impulsion

121 - Les générateurs à relaxation ; du circuit Lazarenko jusqu'à nos jours.

Celui-ci est de conception simple. Il se compose d'une source de courant continu qui charge, à travers une résistance, une batterie de condensateurs reliée aux électrodes (outil et pièce). Quand la tension du condensateur atteint la tension de claquage du diélectrique contenu dans l'espace inter électrodes, il se décharge brusquement à travers le circuit ainsi formé.

Ceci est la description du premier circuit utilisé en électro-érosion, le circuit Lazarenko.

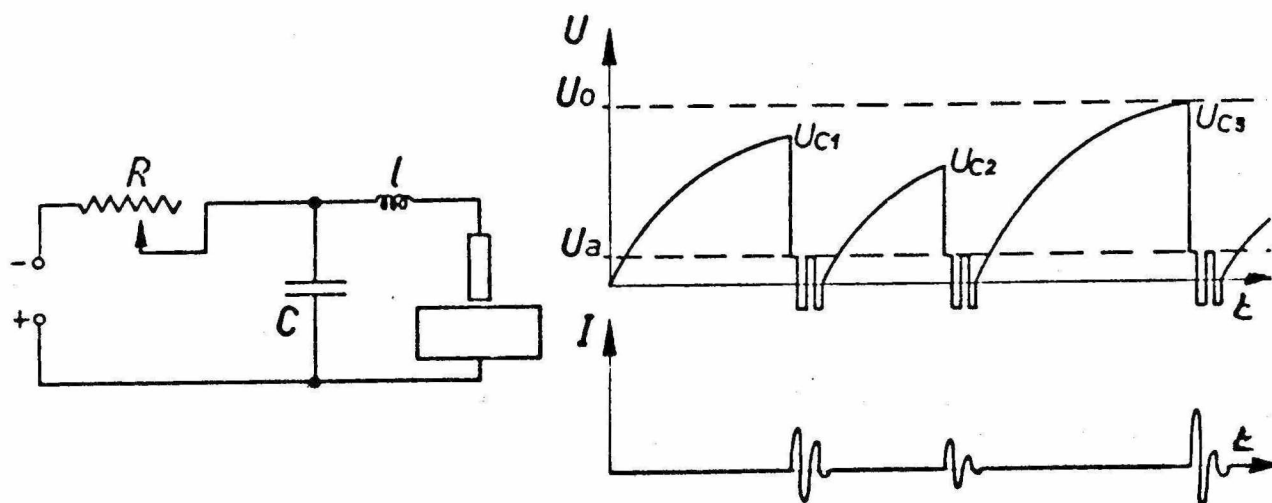


Fig. 6 - Circuit LAZARENKO

La combinaison des éléments du circuit de décharge (condensateur, espace inter-électrodes, câble de décharge se comportant comme une self) forme un circuit oscillant. La décharge est de ce fait oscillante. Tension et courant s'inversent périodiquement jusqu'à épuisement de l'énergie emmagasinée dans le condensateur.

Dans ce montage, le courant de décharge, sa durée et son énergie sont liés et ne peuvent être choisis indépendamment. Le fait que la décharge soit oscillante restreint aussi le champ d'application car certaines combinaisons d'électrodes demandent l'une ou l'autre des polarités.

Ce circuit a été beaucoup remanié dans les années 1950 et cela dans le but d'en augmenter ses possibilités.

Les premiers travaux se sont attachés à l'augmentation de la fréquence des décharges. En introduisant une self induction de forte inductance dans le circuit, la charge du condensateur est linéarisée et la fréquence maximum des décharges peut être doublée sans ennui.

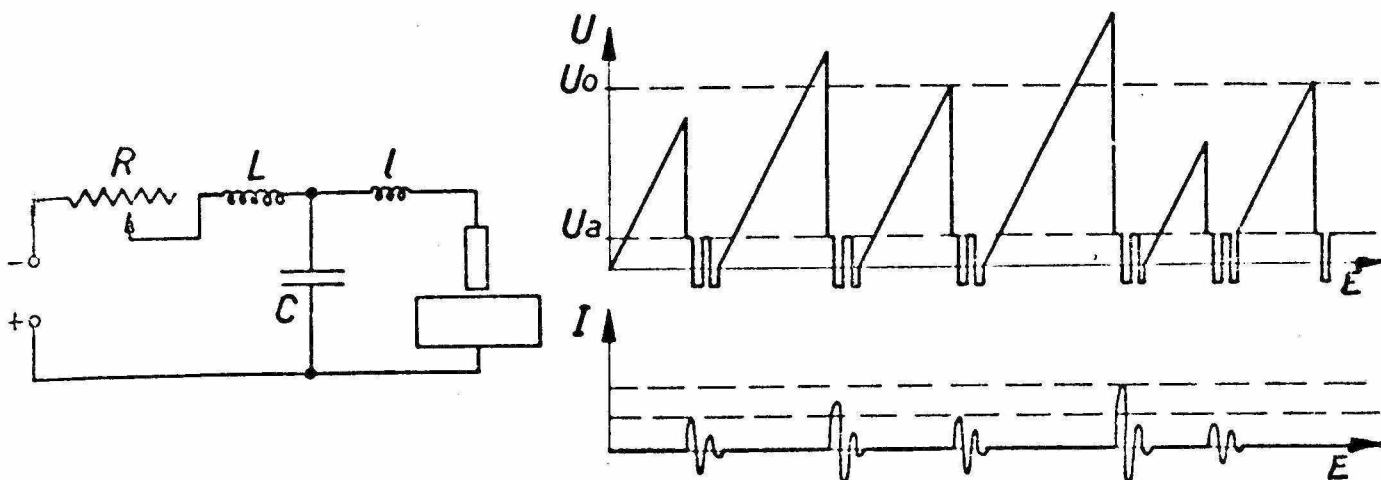


Fig. 7 - Circuit à relaxation à courant de charge linéarisé

Comme la tension aux bornes du condensateur varie constamment en fonction du moment où a lieu la décharge, cela entraîne des variations de la distance d'étincelage et de la qualité de l'usinage. Pour remédier à cela, les circuits ont été équipés d'une diode permettant d'écrêter la tension de charge du condensateur et garantir ainsi une charge maximale constante.

Pour les décharges se produisant à un niveau de tension inférieur, leur influence ne peut apparaître tant sur la distance d'étincelage que sur l'état de surface car leur énergie est plus faible.

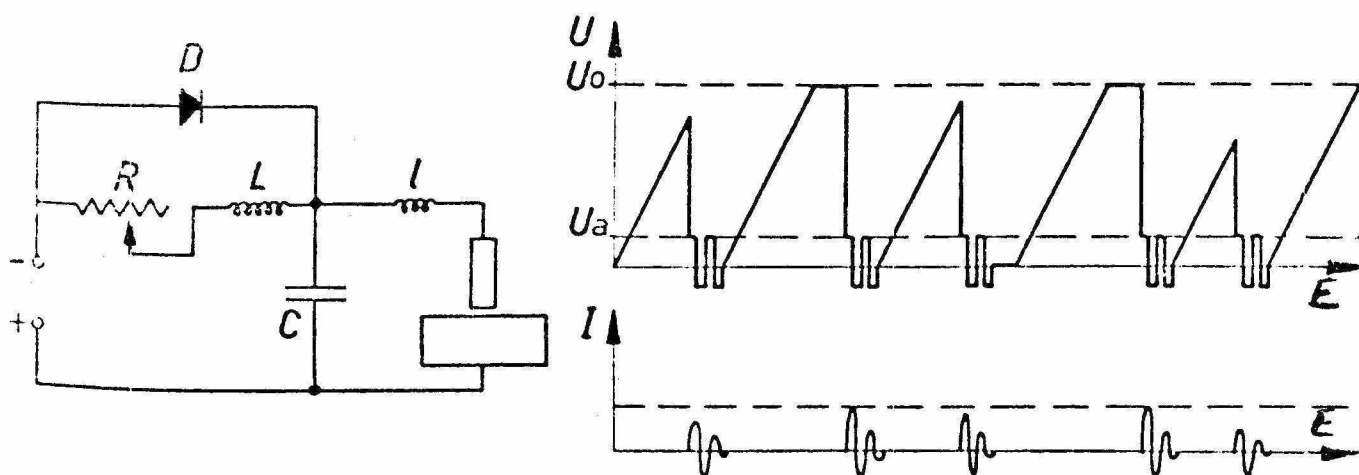


Fig. 8 - Circuit à relaxation à tension de charge limitée.

Les avantages fondamentaux des circuits à relaxation sont leur simplicité, leur robustesse et leur gamme relativement étendue d'énergies de décharge. Actuellement, ils restent le meilleur outil dans le domaine de la superfinition et de certains micro-usinages qui réclament des énergies de décharge très faibles avec de très hautes fréquences.

Parmi ses inconvénients, il faut noter le très haut degré d'usure des électrodes, l'interdépendance de certains paramètres (courant, durée et énergie de la décharge) et la restriction dans l'emploi de certaines matières d'électrodes. Tout cela confère au système un manque de souplesse évident.

122 - Des générateurs à courant pulsé jusqu'aux générateurs à impulsions actuels.

Dans un circuit à relaxation, si nous augmentons la vitesse d'usinage en faisant varier l'intensité du courant de charge du condensateur, nous atteignons une valeur maximale au delà de laquelle le phénomène de relaxation disparaît et où un arc continu se produit entre les électrodes.

Ce phénomène a conduit à l'idée d'interrompre le courant de charge par des moyens extérieurs de façon à assurer, après chaque décharge, une désionisation du canal. Ainsi apparut l'idée de pulser le courant de charge des circuits à relaxation en utilisant des tubes à vide.

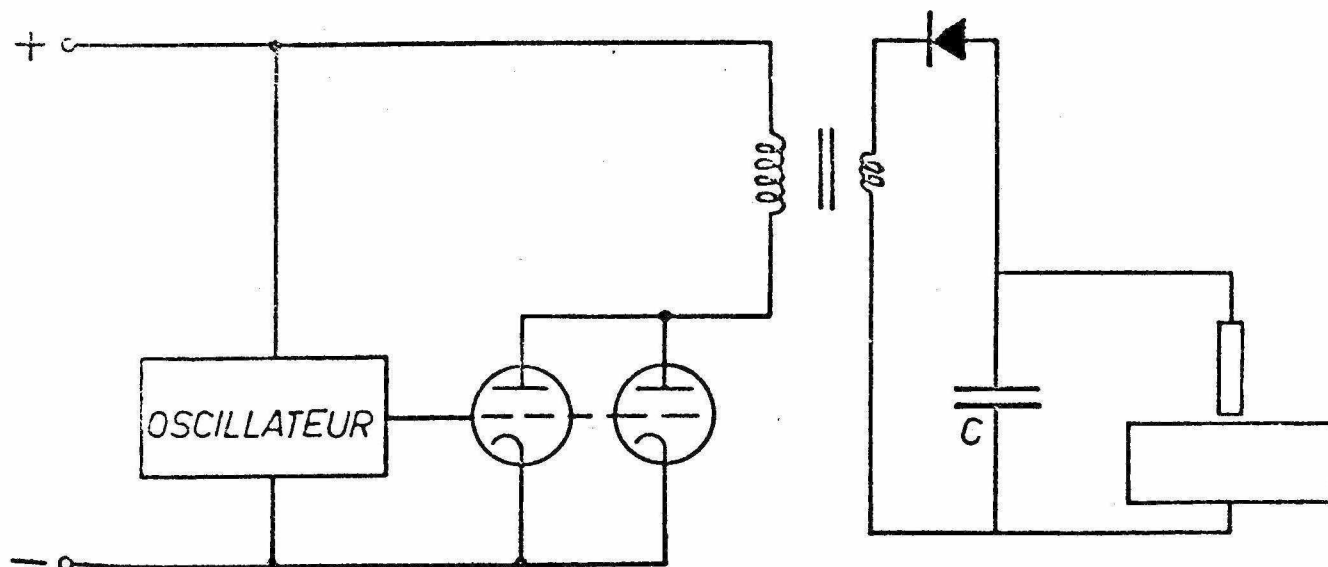


Fig. 9 - Générateur à relaxation à courant de charge pulsé.

Pour rendre l'instant d'amorçage et l'énergie de chaque décharge indépendants des modifications au niveau de l'espace inter-électrodes, des chercheurs russes eurent l'idée d'utiliser des générateurs rotatifs. Leur application est limitée à des usinages grossiers car la fréquence et la durée des décharges sont fixes. Ils peuvent avoir une grande puissance et du fait de la durée des décharges à intensité relativement basse, l'usure des outils est considérablement réduite.

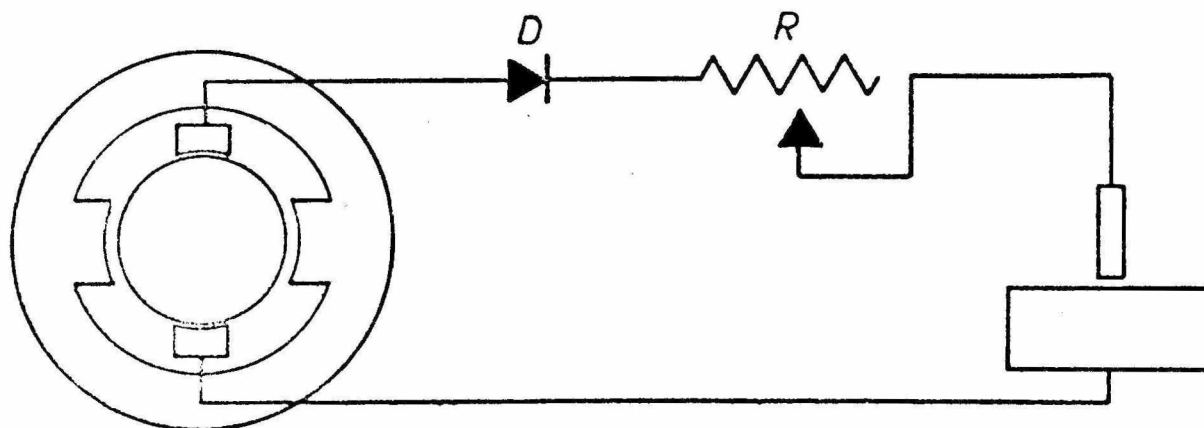


Fig. 10 - Générateur rotatif à impulsions unipolaires.

Au milieu des années cinquante, les travaux ont porté vers la mise au point d'un générateur à impulsions commandées permettant d'engendrer des décharges dont la durée, la fréquence et l'intensité peuvent être choisies sur de très larges plages grâce à l'utilisation d'éléments électroniques.

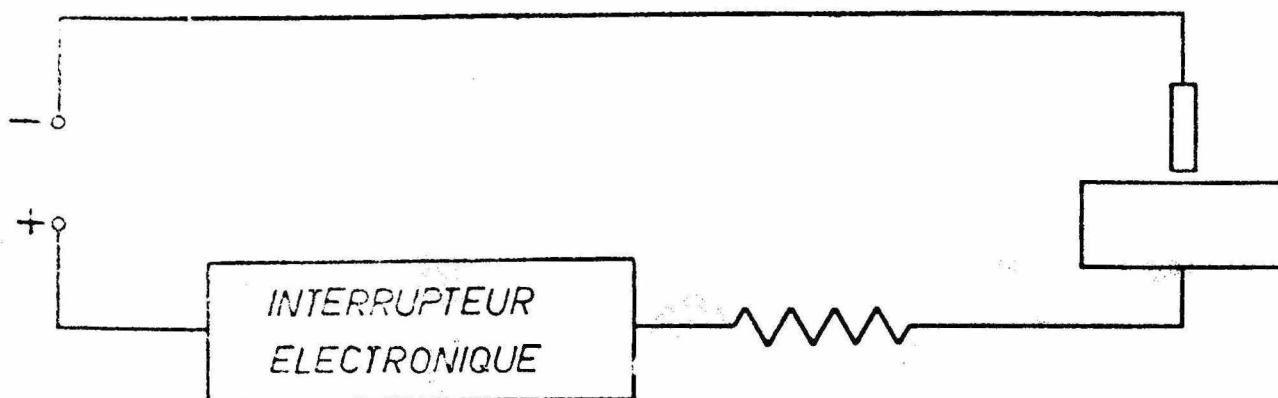


Fig. 11 - Générateur à impulsions commandées électroniquement.

Le développement de ces générateurs a été étroitement lié à celui de l'électronique et, en particulier, à l'apparition des transistors de puissance qui permettent le contrôle du passage de courants intenses. Les premiers générateurs de ce type adoptèrent simplement un interrupteur électronique à deux bases de temps ; l'une détermine la durée en position fermé, l'autre en position ouvert. De ce fait, la durée effective des décharges varie constamment. L'état de surface et la distance d'étincelage varient car l'énergie des décharges n'est pas constante.

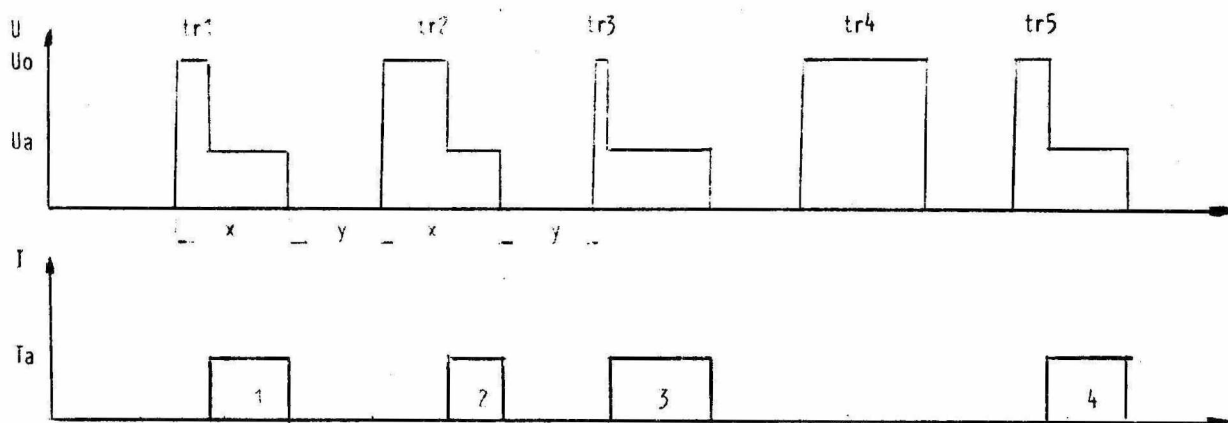


Fig. 12 - Courbes de tension et d'intensité pour un générateur à impulsions courant.

Pour pallier à ce défaut et trouver un système de pilotage de la décharge dépendant des conditions réelles d'usinage, des chercheurs eurent l'idée d'adjoindre à l'interrupteur un détecteur électronique. Celui-ci détermine le moment où le courant commence à circuler entre l'électrode et la pièce, de ce fait, à l'aide d'une base de temps, il est alors possible d'obtenir des impulsions isoénergétiques donc de travailler dans des conditions optimales. A chaque décharge, une quantité constante de matière est enlevée ; la surface usinée est plus régulière et sa qualité, à vitesse d'usinage donnée, est meilleure que celle obtenue à l'aide d'un générateur à impulsions courant.

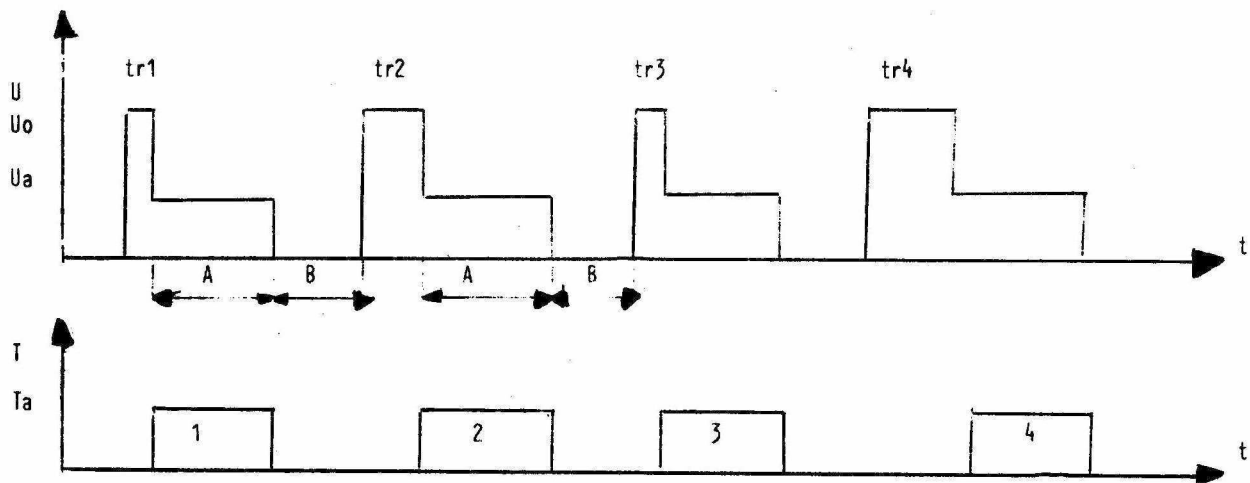


Fig. 13 - Courbes de tension et d'intensité d'un générateur à impulsions isoénergétiques.

En résumé, le générateur à impulsions se prête à toutes les combinaisons possibles de durée, d'espacement et d'intensité des décharges. La polarité peut être conservée tout au long de l'usinage, ce qui accroît le champ d'application quant aux matériaux d'électrodes (graphite, cuivre, cupro, tungstène, alliages d'aluminium, acier, laiton, tungstène pure, etc...).

Lors du développement des générateurs et du fait que la décharge est unitaire, les constructeurs se sont orientés vers la mise au point de générateurs multi-sorties. Dans ce cas, et en considérant les diverses électrodes alimentées séparément, une décharge se produira simultanément sur chaque outil. Il s'en suit, soit une augmentation de finesse d'usinage à débit égal, soit une augmentation de débit d'usinage pour un état de surface donné.

2 - La partie mécanique

En différenciant les machines par leur conception et leurs possibilités, on peut tout de même les regrouper sous deux catégories en distinguant les machines d'usinage par défonçage d'une part et celles à découpe par fil d'autre part.

21 - Les machines d'usinage

Les premiers dispositifs d'usinage furent réalisés à partir de perceuses conventionnelles adaptées aux exigences de l'électro-érosion en ayant recours à des bricolages. Leur champ d'application était assez limité ; hormis le perçage d'orifices dans des matériaux durs, elles étaient utilisées presque exclusivement pour l'extraction des outils cassés au coeur des pièces en cours d'usinage.

Vers le début des années cinquante, les machines furent spécialement étudiées pour l'usinage par électro-érosion mais leur conception restait simple.

Les améliorations apportées sur ces machines ont connues un développement constant et cela dans le but de rendre la machine plus performante, plus rentable.

A ce sujet, on peut mentionner l'adoption de servo mécanismes pour le contrôle du déplacement vertical de la tête porte-outils, puis l'adaptation de ceux-ci aux conditions d'usinage afin de respecter un espace inter électrodes rigoureusement constant dans le but d'assurer la continuité des décharges, donc la constance de l'usinage.

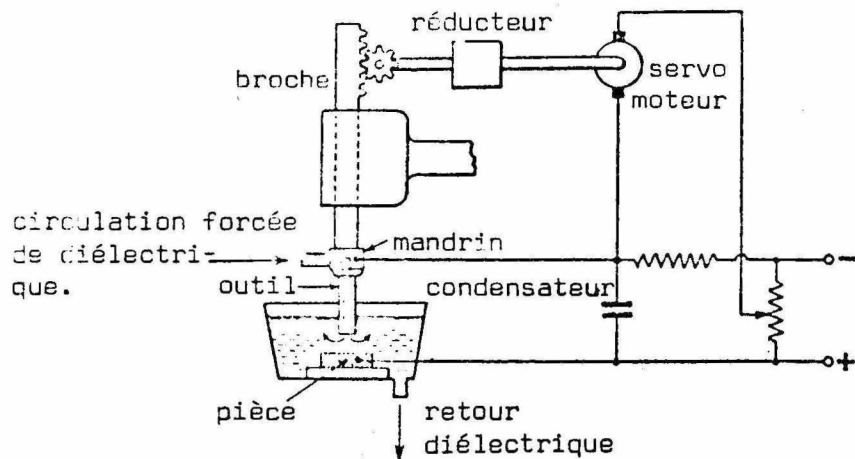


Fig. 14 - Servo-mécanisme à commande électro-mécanique

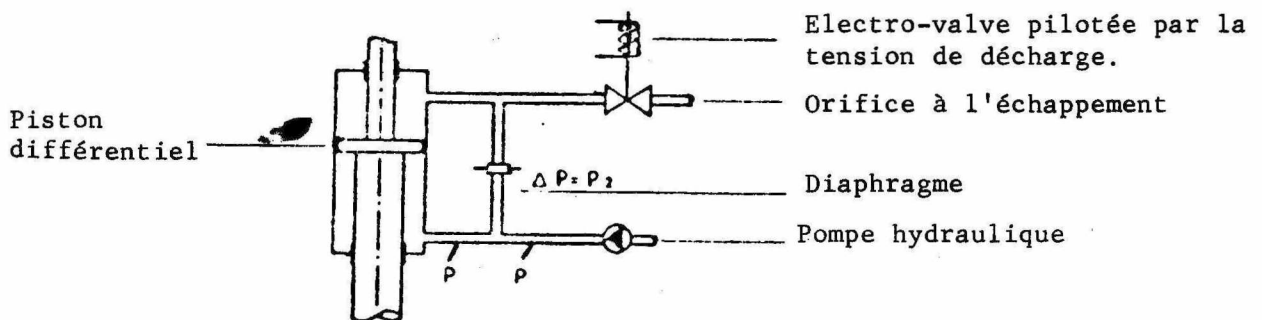


Fig. 15 - Servo-mécanisme à commande électro-hydraulique

Il en va de même pour la mise au point du système dit "Usinage latéral tous profils". Par l'adoption d'un dispositif de déplacement de l'électrode en tous sens, on peut ainsi réaliser une forme de l'ébauche jusqu'à la finition avec une seule électrode.

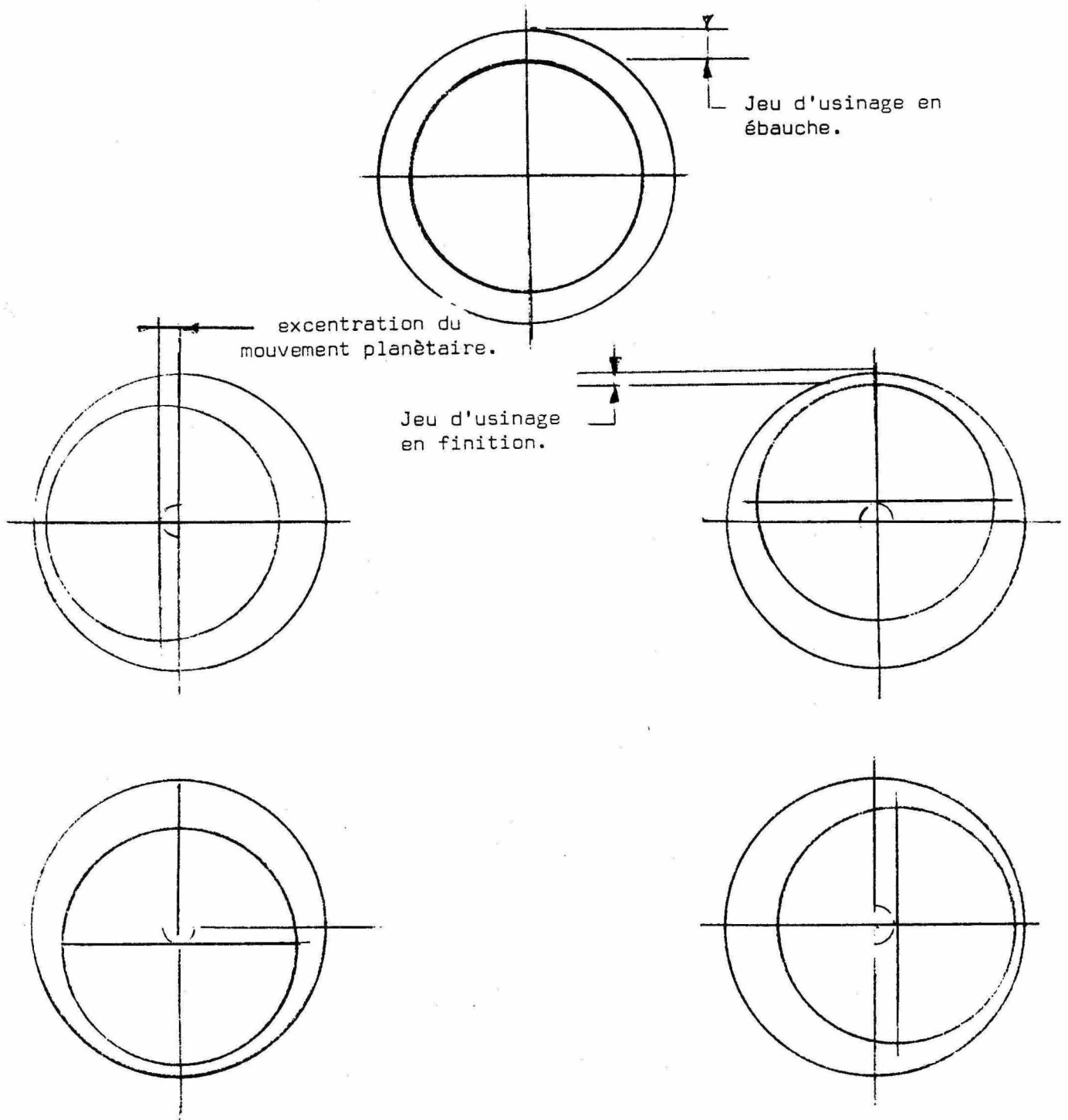


Fig. 16 - Schéma de principe du système dit "Usinage latéral tous profils" ; l'électrode, lors de la finition, recevant un mouvement planétaire.

Au fur et à mesure du développement de la technologie et de la maîtrise du processus d'usinage, les pièces qu'il est alors possible de réaliser deviennent relativement complexes. La machine d'usinage par électro-érosion est alors introduite dans le processus d'usinage des moules, matrices et filières. Elle reporte ainsi l'usinage par procédés conventionnels (usinage par coupe) sur les électrodes. Celles-ci, du fait de leur forme "en relief" et de la nature du matériau qui les compose (bien souvent un matériau tendre tel que le graphite) sont plus "facilement réalisables par des procédés conventionnels que leur forme complémentaire souvent inscrite dans un matériau très dur.

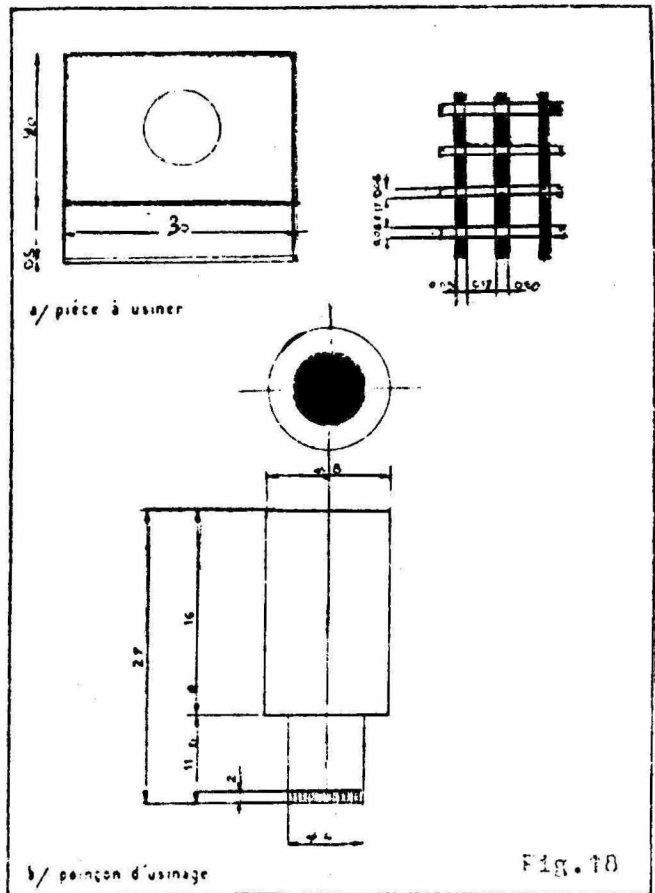
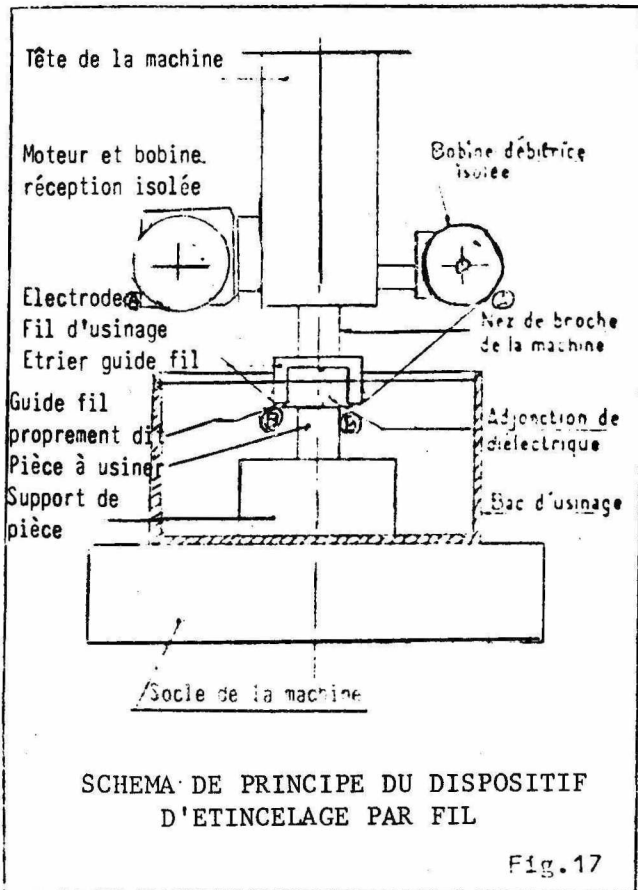
Actuellement, on voit se développer des machines spécialement conçues pour des travaux de production. Celles-ci tendent à être entièrement automatisées. Quelques réalisations à contrôle de positionnement par commande numérique ont déjà vu le jour ne serait-ce que pour le perçage de micro-orifices où la machine remplit à la fois les fonctions pointage et perçage en ayant la possibilité supplémentaire de pouvoir usiner facilement des métaux durs.

22 - Les machines de découpe par fil

L'exécution de fentes fines et profondes dans des matériaux durs pose le problème de réalisation d'électrodes appropriées et leur usure, du fait de leur "finesse" est très rapide.

Face à ce problème, des chercheurs eurent l'idée, aux environs de 1960, d'avoir recours à un fil calibré du commerce servant d'électrode et dont l'usure serait automatiquement compensée par son déroulement. Le taillage s'effectue ainsi en une seule opération sans changement mais aussi sans fabrication d'électrode ; le coût de l'opération est, de ce fait, notablement diminué.

Des machines d'usinage par défonçage furent donc équipées d'un tel dispositif et se transformèrent ainsi, à l'aide d'un accessoire supplémentaire, en machines de découpe par fil.



(Extrait de "MACHINE MODERNE" - Mars 1963)

Cette méthode était très satisfaisante pour réaliser des fentes horizontales fines mais aussi pour débiter soit des métaux durs, soit des métaux dont on ne voulait pas endommager la structure en ne leur faisant subir aucune contrainte mécanique.

Aux environs de 1965, l'idée de placer le fil vertical en adoptant une table à mouvements croisés comme support de pièce permet de réaliser des formes de découpe. La position du fil est, dans la majeure partie des applications, fixe par rapport à la machine. La pièce à découper est bridée sur la table dont les déplacements suivant deux axes orthogonaux permettent de réaliser le contour désiré. Le maintien de la distance inter-électrodes est assuré, comme sur les machines d'usinage par défonçage, par un asservissement commandé par la tension d'usinage. La commande des mouvements nécessaires à la génération du profil à obtenir a tout d'abord été réalisée en ayant recours à des systèmes manuels puis de copiage mécanique ou électrique ; ensuite à des systèmes de commande numérique. Dans ce dernier cas, la commande de contournage associe alors les informations relatives à la trajectoire à suivre et celles données par la servo - commande d'usinage.

23 - Les électrodes, le liquide diélectrique

a - Les électrodes, leur usure.

La forme géométrique de l'outil doit être l'image négative de la forme que l'on veut donner à la pièce à la distance d'étincelage près.

Sa réalisation peut être effectuée soit d'une seule pièce, soit d'éléments assemblés ou non. Cela dépend de la complexité de la forme mais aussi de la possibilité d'usiner en multicanaux.

En principe tout matériau conducteur peut être utilisé pour fabriquer des électrodes. Toutefois, en pratique, il faut tenir compte du rendement et de la corrosion de chaque matériau ainsi que de sa facilité de mise en forme.

Suivant les cas, les électrodes-outils peuvent être réalisées en cuivre électrolytique et ses alliages dérivés, en graphite, en laiton, en aluminium, en matériaux frittés, etc...

Pour les machines équipées d'un générateur à impulsions tous ces matériaux sont utilisés ; en ce qui concerne ceux à relaxation, il faut exclure le graphite qui ne peut s'accommoder de décharges oscillantes.

Jusqu'à l'heure actuelle, de gros progrès ont été faits pour la limite de l'usure des électrodes ; toutefois celle-ci ne peut être nulle. Pour remédier à cela, deux possibilités s'offrent :

- utilisation d'électrodes différentes pour l'ébauche, la finition et bien souvent, une opération intermédiaire, la demi-finition. Cela entraîne des dépenses d'outillage importantes et une augmentation sensible des temps de montage ; toutefois cette méthode permet l'obtention d'états de surface "fins" avec une grande précision.

- emploi d'une électrode unique, donc d'un coût plus faible. L'électrode doit alors être sous dimensionnée latéralement de la valeur du jeu d'usinage ébauche. La finition s'obtient alors à l'aide d'une tête d'alésage latéral tous profils.

b - Le liquide diélectrique

Il concentre la décharge dans l'espace et contribue donc à l'obtention des très fortes densités de courant nécessaires à l'enlèvement de matière. Par conséquent, la quantité d'énergie transférée et la dimension du cratère résultant sont tributaires du fluide utilisé.

La diélectrique entraîne les particules érodées et les boues résultant du craking du liquide dans le canal ionisé hors de la zone de décharge. Pour cela, le liquide doit circuler d'où l'utilisation d'électrodes creuses avec injection ou aspiration. D'autre part, le liquide doit être constant dans sa composition. Il est nécessaire de le filtrer afin de retenir les sphérules métalliques et les boues et éviter ainsi tout risque de court-circuit entre les électrodes du fait de la présence de particules conductrices.

Le dernier rôle du diélectrique est de servir de dissipateur de chaleur pour la pièce et l'électrode afin de conserver la précision d'usinage.

Les liquides généralement utilisés sont des produits organiques à base d'hydrocarbures (hydrocarbures paraffiniques, pétrole, kérosène, white spirit). On trouve aussi des huiles à base de silicones ainsi que de l'eau distillée dont l'emploi tend à se répandre.

IV - COMPARAISON AVEC LES METHODES TRADITIONNELLES D'USINAGE

1 - Domaine d'application

Au départ, l'électro-érosion n'était qu'un moyen accessoire pour résoudre un problème délicat de la fabrication. En fait c'était plutôt une technique de dépannage qui a trouvé son application dans l'extraction des outils cassés (forets, tarauds) par "désintégration" de l'âme de l'outil, sans abimer la pièce en cours d'usinage.

Actuellement les domaines d'application de cette technique sont très divers. En effet ce procédé permet :

- L'usinage des carbures métalliques, des métaux exotiques employés dans les industries aéronautique, spatiale et nucléaire et en général de tous les métaux traités difficilement usinables avec des outils traditionnels.

- L'obtention de pièces ouvrées nécessitant l'absence presque totale de contraintes mécaniques lors de l'usinage pour éviter leur déformation.

- La réalisation d'outillages de tous types :

matrices et poinçons de découpe

matrices d'estampage et de forge

filières d'extrusion et d'étirage

moules pour matières plastiques ou alliages légers.

De plus, l'utilisation de machines à découpe par fil permet la réalisation de tous les profils débouchants pouvant être générés par une droite, et cela, quelle que soit leur complexité.

2 - Les particularités de l'usinage par électro-érosion, ses limites

21 - La surface obtenue

La topographie de la surface n'a rien de commun avec celle obtenue par une technique d'usinage classique ; son aspect est totalement différent.

De ce fait, il est nécessaire de mettre en place une définition particulière de la notion d'état de surface, à qualité mécanique égale. Il faut réviser en conséquence les exigences des bureaux d'études et des services de contrôle quant au fini et à la rugosité des pièces, bien souvent fixés par tradition.

La surface usinée présente de plus une mince couche trempée due à l'effet thermique des décharges et appelée généralement couche blanche. Celle-ci peut occasionner une fragilité excessive dommageable à la durée des outils obtenus par électro-érosion. Toutefois, et contrairement à cela, pour certaines applications et en fonction des conditions d'exploitation, leur longévité peut en être largement accrue.

22 - Les limites du procédé

Du fait qu'il nécessite un passage de courant au sein de la pièce, ce type d'usinage ne s'applique qu'aux corps conducteurs.

D'autre part, il est indispensable que les déchets s'évacuent aisément. Il y a donc nécessité de décomposer les électrodes en éléments juxtaposés que l'on fera travailler successivement ou de prévoir une circulation adéquate du liquide diélectrique. Pour de grandes surfaces et avec une empreinte complexe, les montages d'électrodes peuvent alors être très délicats.

Pour obtenir une empreinte précise, le gap d'usinage doit être connu et parfaitement maîtrisé. L'électrode doit tendre vers une usure nulle sinon il faut avoir recours à un système de rattrapage d'usure. Un tel dispositif a été mis au point ; il permet de réaliser l'usinage d'une empreinte de l'ébauche jusqu'à la finition avec une seule électrode. L'usure de l'outil est compensée par sa translation circulaire en tous sens à partir d'un excentrique.

23 - Quelques particularités

La première est de pouvoir réaliser un usinage après trempe. Les déformations résultant d'un tel traitement ne s'appliquent pas aux surfaces ouvrées du fait que l'usinage n'est exécuté qu'ultérieurement.

La réalisation des angles vifs rentrants, contrairement à l'usinage traditionnel où le rayon de l'outil subsiste, est possible et très aisée. La possibilité de réaliser des pièces en un seul élément supprime les problèmes d'ajustage et de montage des divers composants. La précision finale de la pièce s'en trouve donc améliorée du fait de la suppression des empilages de cotes.

Le polissage, bien que réalisé sur une partie plus dure, est facilité par l'homogénéité de la surface et l'absence de stries d'usinage à direction dominante.

Du fait de la présence d'un espace entre outil et pièce, les parties mécaniques des machines ne subissent que des efforts très modérés en cours d'usinage (poids des montages et pression du diélectrique), leur précision originelle est ainsi longtemps conservée.

V - LES FREINS A L'INTRODUCTION DE CETTE TECHNIQUE DANS L'INDUSTRIE.
=====

De la mise en application du phénomène d'électro-érosion pour l'usinage des métaux jusqu'à la vulgarisation de cette technique, une vingtaine d'années se sont écoulées.

Cette période de gènèse relativement longue est due à un manque de technologie élaborée pour la construction de générateurs pouvant effectuer des travaux d'usinage de façon rentable et de ce fait mettre en concurrence d'autres procédés d'obtention de pièces ouvrées.

L'implantation de cette nouvelle technique dans l'industrie a été difficile car l'électro-érosion a tout d'abord été employée comme dépannage pour l'extraction d'outils cassés en cours d'usinage. De plus, l'aspect granuleux de la surface ouvrée n'était plus en concordance avec les finis traditionnels de l'industrie mécanique.

Les Français sont toujours méfiants vis à vis de cette technique ; cela est tant la faute des vendeurs que des utilisateurs. Bien souvent, les agents commerciaux sont multiscartes et traitent aussi et surtout des marchés portant sur des machines conventionnelles pour lesquelles le terrain est favorable.

En conséquence, comme ils cherchent à faire du chiffre d'affaire, il vaut mieux aborder les terrains potentiels faciles plutôt que d'essayer de placer des machines d'usinage par électro-érosion sur un marché beaucoup plus restreint.

D'autre part, jusqu'aux dix dernières années, il y avait incompréhension totale de certains responsables d'atelier face aux possibilités de l'électro-érosion. Ceux-ci considéraient soit que le procédé ne devait être utilisé qu'exceptionnellement, soit qu'il permettait de tout réaliser.

Depuis quelques années tout de même, de telles machines se sont implantées. Au départ, les industriels étaient hésitants car face à une technique nouvelle, personne n'osait se lancer tant que les preuves de sa fiabilité n'avaient pas été faites.

Maintenant, il semble que ce pas soit franchi par beaucoup d'industriels car ils ont pu juger chez certains de leurs confrères ce dont ces machines sont capables et les améliorations qu'elles apportent au niveau

de la qualité du produit fini et de sa facilité de réalisation. Il est tout de même à noter que les Sociétés d'ingénierie n'ont pas encore fait cette démarche ; lors de leurs études d'installation d'un atelier, elles ne préconisent pas les machines d'usinage par électro-érosion car elles estiment cette technique trop peu fiable pour la prendre en considération et s'en porter garantes.

Dans le domaine de la fabrication, l'usinage par électro-érosion connaît de nombreuses applications. Cette situation résulte des caractéristiques particulières du procédé mais aussi des progrès constants qui ont été réalisés grâce aux travaux de recherche des différents constructeurs.

Actuellement, on peut dire que l'usinage par défouçage est devenu un procédé irremplaçable dont les possibilités complètent avantageusement celles des méthodes conventionnelles. Avec le développement de la découpe par fil, les industriels disposent d'autre part d'une technique de grande précision pour la réalisation de pièces particulières qui demandaient l'emploi d'une rectifieuse de profil avec un personnel hautement qualifié.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

=====

- x ALBINSKI - L'usinage des métaux par électro-érosion (Dunod).

- x Atelier des CHARMILLES - Genève :
 - Introduction à l'usinage par électro-érosion
 - Guide pratique d'usinage par étincelage.

- x Centre d'Actualisation Scientifique et Technique de l'I. N. S. A. de Lyon
 - Usinages par procédés non conventionnels
Session de septembre 1969
C. MARTY - (Masson et Cie).

- x MAILLET
 - Usinage par étincelage
Extrait de "Techniques de l'ingénieur (B 2010)

- x L'Industrie Française : Achats et Entretien
 - Usinage par étincelage dans n° 253-4-74

- x Machines Production
 - Guide de l'utilisateur des machines d'usinage par voie électrique
(catalogue des machines sur le marché) 30 nov. 72 et 13 fév. 74.

- x Les Ponts
 - Réalisation des outillages de presse ; leur usinage par électro-érosion - Mars 1974.

- x Machine-Outil
 - L'usinage par électro-érosion - Mars 1958.
 - L'usinage par étincelles - Mai 1967 - Mars 1969.

x La Machine Moderne

- Le calcul des temps sur machine d'usinage par étincelage est désormais possible (Dunod) n° 687 - juin 1966.
- Machine à découper par électro-érosion à commande programmée (ALKINE et ROITTIER) n° 698 - mai 1967.
- L'électro-érosion ; de la naissance à l'expérience. Les questions que posent les utilisateurs ; réponse des constructeurs n° 699 - 705 - 714 - 727.
- Le fil mobile au service de l'étincelage - Mars 1963.

x Mécanique - Matériaux - Electricité

- Nouvelles applications de l'étincelage - Janvier-Février 1975.
- A theoretical and experimental study of the main parameters governing the Electro-Discharge Machining process - Janvier-Février 1975.
- Nouvelle théorie visant à définir le mécanisme de l'enlèvement de matière en électro-érosion - Janvier-Février 1975.
- Futurologie de l'application de l'étincelage - Mars 1975.
- Discrimination et choix des réglages optima en électro-érosion Mars 1975.

x Premier Congrès Mondial sur les Machines-Outils.

- Milan - Octobre 1971 - (Scienza Tecnica - Milano)
- New Developments in the Field of spark érosion machining.
- Important results of EDM research.

ANNEXE II

Caractéristiques des établissements enquêtés

Caractéristiques des établissements enquêtés

N° d'enquête	Effectifs	Principaux produits fabriqués	Produits pour lesquels l'usinage par E.E. intervient	Produits fabriqués pour des donneurs d'ordres	Matières ouvrées	Date d'entrée E.E.
0001	20 000 \surd	Automobiles	Moules de fonderie	-	Acier 235 (130-140)	1965
0002	190	Outils de découpe d'emboutissage Pièces mécaniques de précision	Outils de découpe et d'emboutissage Outils de découpe "interne"	L'ensemble	Acier Z 200 C 12	1974
0003	16	idem \longrightarrow	Matrices de découpe Pièces aéronautiques " énergie atomique	\longleftarrow idem	Tous matér. conducteurs	1965
0004	4 500	Moteurs d'avions	Percement de trous ou découpe dans pièces de tôles pour moteurs	Pièces aéronautiques	Alliages base Ni " CO	1957
0005	3 600	Matériel électrique " de comptage	Prototypes de pièces découpées Matrices de découpes	-	Acier Z 200 C 12	1955
1001	120	Moules Pièces plastiques	Moules	Moules Pièces plastiques	Aciers	1967
1002	60	Petites pièces découpées	Outils de découpe	Petites pièces découpées	Acier au chrome trempé	1962
1003	25	Coquilles - moules - matrices - modèle bois	Moules - coquilles matrices	L'ensemble	Fonte Aciers Alumin.	1973
1004	280	Pièces moulées en aluminium	Moules	Moules	Fonte Acier mi-dur Inox	1973
1005	40	Outillage - Machines spéciales Tôlerie	Outillage	-	Acier Alu	1962
1006	8	Moules Matrices d'extrusion " de frappe	Moules (90 %) Matrices	Moules (90 %) Matrices	Aciers traités	1971

Caractéristiques des établissements enquêtés

(suite)

N° d'enquête	Effectifs	Principaux produits fabriqués	Produits pour lesquels l'usinage par E.E. intervient	Produits fabriqués pour des donneurs d'ordres	Matières ouvrées	Date d'entrée E.E.
1007	900	Machines spéciales Lignes de découpes Moules et outils	Outils de découpes Moulés	Pour un autre établis. du groupe	Aciers alliés	1971
1008	10	idem →	Empreintes traitées Moules	+ outillage et moules (100 %)	Aciers Aciers à ressorts	1962
1009	30	idem →	Empreintes diverses	+ moules et empreintes diverses (100 %)	Acier mi-dur Aciers pré-traités	1968
1010	35	Barres pour profilage Décolletage	Filières pour profilage	Profilés	Aciers alliés	1966
1011	1 200	Matrices en carbure de tungstène Pièces en carbure de tungstène	Matrices	Matrices en carbure de tungstène 1 à 2 %	Carbure et acier	1949
1012	6	Moules Outillage de découpe	Moules Outils de découpe	— idem	Acier pré-traité	1971
1013	1 150	Bennes de camions Vérins Pompes distributeurs	Tiroirs et glaces de distributions	Vérins distributeurs 18 %	Acier Bronze Alu	1969
1014	48	Filières d'étirage Matrices de frappe Filières de tréfilage	Filières d'étirage Matrices-dépannages de perçages	-	Carbure + acier	1969
1015	325	Matériel militaire Combustible nucléaire Oxyde d'uranium frotté	Perçage d'orifices étroits et longs Pièces diverses tête rapsodie	Taille de monocristaux	Uranium graphite	1964
1016	384	Câbles normalisés et câbles à façon Câbles antiparasite	Moules pour pièces plastiques - Matrices et poinçons de découpe (outillage interne)	-	Aciers divers pré-traités	1975
1017	231	Moulages pour cimenterie Filières pour aluminium Outils divers non coupants	Filières	-	Aciers pour traitements thermiques	1960
1018	650	Armes navales Pompes à vides Machines outils (batis de)	Roues à aubes		Béryllium	1967

Annexe III

Etudes effectuées en vue de l'investissement
et motifs avancés

TYPE I

Fabrication d'outillage par Electro-érosion
(le plus souvent en sous-traitance)

N° d'établis.	1	2	3	4	5	Essais chez le constructeur	Etude technique	Etude de rentabilité	Autres	Taille des entreprises
0003		X			X			Non		16
1003		X	X	X				Non	X	25
1006		X		X				Non		8
1008			X	X		X		X		10
1009				X	X	X		Non		30
1012					X		X	Non		6
1014			X	X		X		Non		48

TYPE II

Fabrication d'outillage interne "Grandes Entreprises"

N° d'établis.	1	2	3	4	5	Essais chez le constructeur	Etude technique	Etude de rentabilité	Autres	Taille des entreprises
0001		X		X				X	X	<u>20</u> 000
0005		X	X	X		X	X	X		36 000
1002	X		X	X	X	X	X	Non		60
1004							X	Non		280
1010		X	X	X			X	Non		35
1011						X		NSP		1 200
1016			X			X		Non		384

TYPE III

Fabrication d'outillage (interne ou non)
et d'autres produits

N° d'établis.	1	2	3	4	5	Essais chez le constructeur	Etude technique	Etude de rentabilité	Autres	Taille des entreprises
0002		X	X					X	X	190
1001				X				X		120
1005				X			X	X		40
1007		X	X	X			X	X		900
1017				X				Non		231

TYPE IV

Fabrication de produits divers
(Grandes Entreprises)

N° d'établis.	1	2	3	4	5	Essais chez le constructeur	Etude technique	Etude de rentabilité	Autres	Taille des entreprises
0004		X	X	X		X		X		4 500
1013			X	X			X	Non		1 150
1015							X	Non		325
1018								X		650

Annexe IV

Les opérateurs sur machine
d'électro-érosion

Les opérateurs sur machine d'électro-érosion

N° d'établissement	0001	0002 (1)	0003	0004	0005 (1)	1001	1002	1003	1004	1005
Appellation et classification	Opérateur P3	Opérateur OHQ	Opérateur P3	"Compagnon" P1	Technicien	Fraiseur P3	Pointeur P3	Contremaître AM	Fraiseur P2	Ajusteur P3
Age	54	30	-	-	40	30	27	38	23	50
Instructions strictes	Etat de surf. dimensions	programme	-	Réglages machines établis sur fiche	dessin	Technologie constructeur Dimensions	Technologie constructeur - Plans	Plan	Réglages donnés par le CE.	Dimensions
Délais d'intervention ?	Temps de base	Aucun	Aucun	NSP	Ne pas perdre de temps lors du changt de pièces	Cui mais souples	Temps E.E. contrôlé	Aucun	Aucun	Aucun
Relations de Travail - internes	Autres opérat. dessinateur	CM. dessinateur programmeur	C.A.	CE techniciens des méthodes	Autres opérat. techniciens du bureau d'études	-opérateur -autres ouvr. -dessinat.	Autres outilleurs	-gérant -Autres compagnons	CE CM	CM Ajustage CM Fraisage Chef Atelier
- externes	Non	SAV	-	Non	SAV	Non	SAV	SAV	Non	Sté de contr. électronique p. entretien
Formation - initiale	OS → modeleur bois → fraiseur reproduction	CET mécanique tourneur	Outilleur	Ajusteur outilleur ou soudeur	Ajust-outill. BP de mécanic.	CAP fraiseur	BP	BEPC CAP Ajusteur " Tourneur " Fraiseur	CAP fraiseur	Outilleur
- complémentaire en E.E.	Stage 1 semaine	sur le tas	sur le tas	sur le tas	St. électro-érosion En 1960 sur le tas	sur le tas	Sur le tas av. le mont. Stage constructeur	Stage 1 sem. constructeur	Stage 1 sem. chez le constructeur	sur le tas
Horaires de travail	1x8 et 2x8	libre 8 h.	1x8	2x8	1x8	1x8	1x8	1x8	1x8	9 h. sur 4 jours 1/2
Contraintes de travail	Fumées diélectrique	-	Fumées	Fumées diélectrique	Légères fumées	Aucunes	Monotonie	Fumées diélectriques	Aucunes	Aucunes

(1) : Opérateur travaillant sur une machine à découpe par fil

(2) : Il n'y a pas en d'interview d'opérateur dans l'entreprise 1007

1006	(2) 1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018
Chef d'équipe (OHQ)	Opérateur : chef d'atelier P3	Opérateur P3	Chef Atelier P3	Chef d'équipe AM	Outil. mouf P2	P1	Fraiseur Outilleur P3	Chef d'équipe AM	Agent techni. de production P3	Opérateur Ajusteur P2	Opérateur T.A.
45	49	30	40	40	26	38	35	36	29	26	28
Dimensions	Tolérances fixées par le client	Plans * opérations mécanique Responsable de la pièce	Plans	Plan Gamme	Qualité tableau de réglages maison	Montage donné trav. préparé	dimensions	plans	Technologie constructeur	Technologie constructeur	dessin
Aucun	Aucun	Temps à respecter	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun	Le plus vite possible	Aucun	Indication de temps	Aucun
Pratiquement pas	dessinateur autres "compagnons"	Bureau d'étud. CA	-fraiseur fabrique les électrodes	-Fraisage entretien	Fraiseurs Ajusteurs Autres ouvr.	Contremaître	Agent techni. (spécialiste EE) tourneurs entretien	Responsable de l'unité (ingénieur)	Dessinateur moule Fraiseur	Fraiseur scieur	Ingénieur (chef de service)
Constructeur	Constructeur Clients	Constructeur	SAV	SAV	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Constructeur à l'initiat. de l'ingén.
CAP Tourneur outilleur	CAP Tourneur fraiseur-ajusteur	CAP Tourneur fraiseur	FPA Tourneur	CAP Tourneur	CAP Mécanique générale	Tourneur	3I de mécanique	CEP + CAP mécan. générale	niveau BT	CAP d'ajusteur	BEI de mécanique générale
sur le tas	Stage de 1 semaine	Stage constr. 8 jours Stage CETIM 8 jours	Stage 8 jours	sur le tas	sur le tas	Sur le tas	Sur le tas	Stage constructeur 1 semaine	Sur le tas	Sur le tas	Sur le tas
1x8 46 h. p. sem.	1x8	10 h. p. jour	9h1/2 p. jour 4j1/2	1x8 2x8	10h./jour	1 x 8	1 x 8	1 x 8	1 x 8	6 h. à 16 h ou 9 h à 19 h	1 x 8
-	Fumées	Fumées diélectrique	Fumées	Fumées diélectriques Odeurs	Aucune	Aucune	fumées (faible)	diélectrique	Aucune	répétitivité	fumées

TABLEAUX

	Pages
Tableau n° I : Bilan comparatif d'un essai de réalisation sur un outil combiné.....	19
Tableau n° II : Activité et taille des établissements enquêtés...	28
Tableau n° III : Caractéristiques dominantes des établissements de chacun des types.....	40
Tableau n° IV : Champ fonctionnel d'intervention de l'opérateur dans les établissements du type I.....	46
Tableau n° V : Champ fonctionnel d'intervention de l'opérateur dans les établissements du type II.....	48
Tableau n° VI : Champ fonctionnel d'intervention de l'opérateur dans les établissements du type III.....	50
Tableau n° VII : Champ fonctionnel d'intervention de l'opérateur dans les établissements du type IV.....	52
Tableau n° VIII : Champ fonctionnel d'intervention dominant des opérateurs sur machine d'électro-érosion.....	54
Tableau n° IX : Tâches annexes exécutées par les opérateurs.....	63

Ce document de travail n'étant destiné qu'à une diffusion restreinte, la reproduction totale ou partielle en est interdite.