

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 68 (1977)

**Heft:** 22

**Artikel:** L'Electronique dans l'Electro-érosion

**Autor:** Rhyner, H.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-915086>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 01.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# L'Électronique dans l'Electro-érosion

Par H. Rhyner

621.9.048.4: 621.38.026;

Après un rappel des différents modes d'usinage par étincelage, on commente les particularités des installations d'usinage, qui font appel à quatre domaines de la technique et de la science: la mécanique, la physique, l'électronique informatique et l'électronique de puissance. C'est à l'aide d'une réalisation récente qu'est décrit la part de l'électronique qui intervient dans les générateurs de décharges électriques.

Einleitend werden die verschiedenen Arten der Elektro-Erosion kurz erwähnt. Dann werden die Besonderheiten dieser Bearbeitungsmethode erklärt, die auf vier Bereichen der Technik und der Wissenschaft beruht: Mechanik, Physik, Steuerelektronik und Leistungselektronik. Anhand einer neueren Ausführung wird die Elektronik des Entladungsgenerators beschrieben.

## 1. Les modes d'usinage par étincelage

L'électro-érosion (usinage par étincelage, electrical discharge machining, EDM) est un procédé d'usinage de matériaux conducteurs d'électricité, travaillant par enlèvement de copeaux discrets. Comme le nom l'indique, «l'outil de coupe» est une série d'étincelles qu'on fait éclater entre la pièce à usiner et une électrode-outil de forme appropriée, à travers d'un liquide diélectrique. Ces étincelles se suivent à des fréquences élevées (entre 0,5 kHz et 500 kHz), et chacune d'elles enlève une quantité bien déterminée de matière sur la pièce à usiner ainsi que sur l'électrode-outil.

Le procédé a été développé et perfectionné de manière à obtenir un enlèvement de matière maximal sur la pièce à usiner, et un enlèvement de matière minimal, voire nul, sur l'électrode-outil. Chaque étincelle (décharge) fond et évapore du métal dans une zone bien délimitée. Une partie du métal fondu est éjectée et refroidie par le liquide diélectrique présent dans l'espace électrode-pièce. La quantité de métal enlevé par décharge est de 0,02 à 0,1 mm<sup>3</sup>/J, la gamme des énergies par décharge pouvant se situer entre 20 µJ et 5 J.

La précision obtenue dépend de la distance d'étincelage, qui est de l'ordre de 1/100 mm en finition pour atteindre quelques 1/10 mm en ébauche. Le meilleur état de surface qu'on puisse obtenir en finition est de l'ordre de 0,4 µm Ra, mais la vitesse d'érosion est alors très faible, de l'ordre de 1 mm<sup>3</sup>/min ou moins. L'enlèvement de matière se situe entre 2 et 10 mm<sup>3</sup>/min · A.

Selon la forme de l'électrode-outil et la cinématique du mouvement dont elle est animée, on distingue essentiellement trois modes d'usinage:

– *L'usinage tridimensionnel ou enfonçage.* L'électrode a la forme complémentaire de la pièce à usiner. Le seul mouvement de l'électrode-outil est celui qui l'approche ou l'éloigne de la pièce à usiner, généralement sur une ligne droite. Ce mouvement est asservi à la progression de l'usinage (fig. 1).

– *Le rectifiage par étincelage.* Dans la plupart des applications de ce procédé, l'électrode-outil est constituée par un

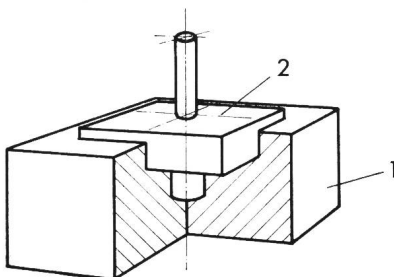


Fig. 1 Principe de l'usinage tridimensionnel

1 Pièce à usiner  
2 Electrode-outil

disque dont le profil est complémentaire au profil à usiner. Le disque est animé d'un mouvement de rotation et d'un mouvement de translation généralement linéaire. Ce dernier mouvement est asservi à la progression de l'usinage. La pièce est ainsi générée à l'aide d'une électrode de forme, mais de forme différente, et du mouvement de translation du disque-électrode (fig. 2).

– *Le découpage par fil.* Ici l'électrode est constituée par un fil métallique constamment renouvelé. La forme de la pièce à confectionner est générée par translation du fil sur une trajectoire pré-établie, aujourd'hui par une commande numérique de contournage. Le mouvement de translation sur cette trajectoire est asservi à la progression de l'usinage (fig. 3 et 4).

## 2. Eléments du procédé

Le procédé d'usinage par étincelage fait appel à quatre domaines de la science:

- la mécanique (machine et mouvements),
- la physique (procédé),
- l'électronique informatique et de courant faible (commande et asservissement des mouvements, surveillance et optimisation du processus),
- l'électronique de puissance (génération des étincelles).

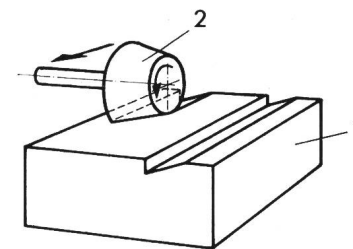


Fig. 2 Principe du rectifiage de forme

1 Pièce à usiner  
2 Electrode-outil

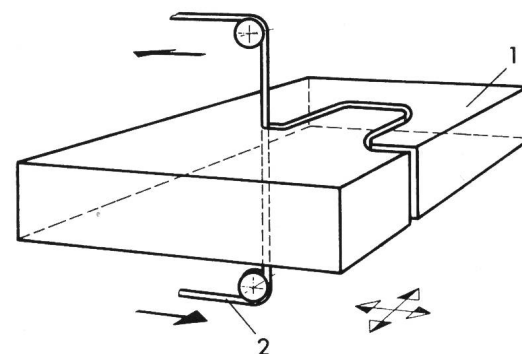


Fig. 3 Principe du découpage par fil

1 Pièce à usiner  
2 Fil-outil

La mécanique sert, comme dans chaque machine-outil, à mettre l'outil en contact avec la pièce à l'endroit où la pièce doit être usinée. La particularité des machines d'électro-érosion réside dans le fait que la précision du positionnement de l'électrode par rapport à la pièce doit être très grande, même si la précision de la pièce finie peut être nettement inférieure. En effet, pour que le processus d'érosion puisse se dérouler d'une manière satisfaisante, la position de l'électrode par rapport à la pièce doit être maintenue à l'intérieur de 2 à 3  $\mu\text{m}$ , et ceci pour une distance électrode-pièce de 20 à 30  $\mu\text{m}$ . Le mouvement servocommandé d'avance de l'électrode caractérise en effet, la qualité de la machine. Par le fait que l'usinage par étincelage ne produit pas de forces appréciables de coupe, on a par le passé souvent négligé les forces hydrodynamiques et hydrostatiques, qui peuvent être considérables (plusieurs tonnes!). Les machines et leurs systèmes de mouvements servocommandés doivent être d'une très grande rigidité pour absorber ces forces, provenant du mouvement de l'électrode.

La physique nous fournit les bases pour la compréhension du procédé. L'usinage par étincelage tel que nous le connaissons aujourd'hui est issu d'efforts infructueux des époux Lazarenko de vouloir protéger des contacts de relais contre l'érosion électrique. Ils ont alors constaté qu'en mouillant les contacts avec une huile minérale l'usure des contacts devenait plus forte mais bien régulière et reproductible.

L'idée d'utiliser le pouvoir d'une étincelle pour l'usinage de pièces était alors, en 1943, une idée de génie. Depuis, les physiciens essaient d'expliquer le mécanisme d'érosion. Les recherches en cours, aujourd'hui, sont consacrées à l'explication du phénomène d'amorçage des décharges d'une part et au mécanisme d'enlèvement de matière d'autre part.

Une valeur bien caractéristique de l'étincelage est la tension des décharges. Elle se situe autour de 20 V, est pratiquement

indépendante du courant, et ne peut être influencée par des moyens extérieurs.

Jusqu'à il y a quelques années, on distinguait entre les court-circuits (contacts mécaniques entre électrode et pièce), les décharges érosives ayant une tension de 20 V, et les coups à vide (électrode trop éloignée de la pièce). Aujourd'hui, on distingue au moins deux catégories de court-circuits et au moins six catégories de décharges, qui se distinguent entre elles dans des détails de l'allure de la tension à peine visibles. Par l'enregistrement, décharge par décharge, et le tri selon type de décharge reconnue, on peut établir des corrélations entre la distribution des différents types de décharges et la qualité de l'usinage. Ceci permet alors de chercher des moyens à faire disparaître les types de décharges jugés défavorables et de favoriser les décharges donnant les meilleurs résultats. Ces moyens sont par exemple: changement de la distance entre électrode et pièce en changeant la valeur de consigne de l'asservissement de position, création de trains de décharges avec ou sans retrait simultané de l'électrode, etc.

L'électronique informatique et de courant faible est utilisée à grande échelle dans les machines d'électro-érosion: D'une manière évidente, on la trouve dans la commande numérique de contournage des machines à découpe par fil, où les techniques les plus modernes du circuit intégré au microprocesseur sont utilisées. D'une manière beaucoup plus discrète, l'électronique s'est implantée dans les générateurs de décharge où elle remplit des fonctions de plus en plus variées. C'est à l'aide de la description d'un développement récent que seront expliquées ces fonctions en détail, qui sont groupées dans le module de commande.

En ce qui concerne l'électronique de puissance, les fabricants de générateurs pour l'électro-érosion étaient les premiers à brancher en parallèle un nombre considérable de transistors de



Fig. 4 Machine pour la mise en œuvre du principe du découpage par fil

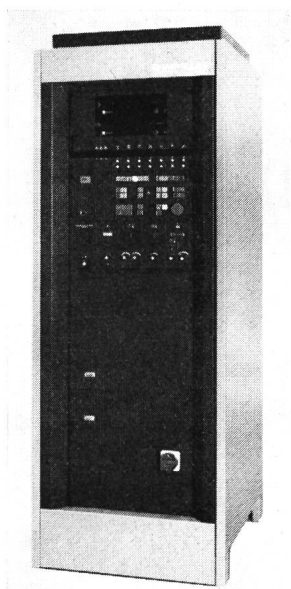


Fig. 5  
Générateur ISOPULSE 80

puissance. En 1959 le premier générateur du monde entièrement transistorisé de 1000 A de courant pulsé a été exposé à Paris. Depuis, un long chemin a été parcouru et aujourd'hui, les réalisations modernes n'ont que peu en commun avec les réalisations du début. Les problèmes relatifs à cette partie d'un générateur pour l'électro-érosion sont également décrits à l'aide de la présentation du système de générateurs modulaires dont le développement vient de se terminer (fig. 5).

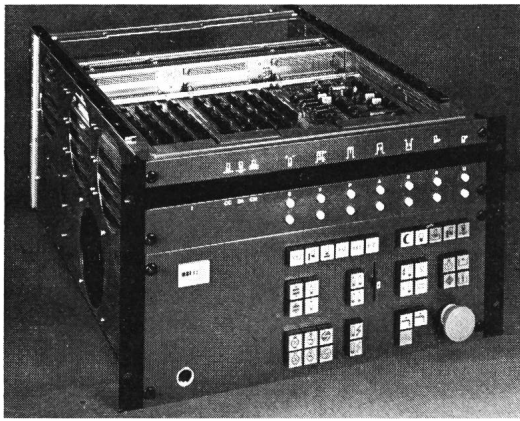


Fig. 6 Module de commande

### 3. Le module de commande

Les fonctions essentielles que le module de commande (fig. 6) doit remplir peuvent être divisées en cinq groupes principaux: commande des fonctions «Machine», commande des impulsions de courant d'usinage, surveillance de l'usinage et adaptation des paramètres libres aux conditions d'usinage, pour la maximisation du rendement, ainsi que le calcul du courant d'usinage «propre».

Le panneau de commande «Machine» réunit toutes les commandes pour l'enclenchement des pompes des circuits hydrauliques et de l'alimentation en liquide diélectrique, la sélection des modes d'usinage, les déplacements manuels du piston porte-électrodes et du charriot, l'enclenchement de l'usinage avec son cycle automatique d'enclenchement, etc. Les fonctions sont entrées par pression sur un bouton à effet Hall, donc entièrement électronique, et sont traitées ensuite dans le circuit «Commande logique machine». A la sortie, les signaux logiques sont amplifiés par des relais statiques à triacs qui commandent alors les électrovalves ou contacteurs logés sur la machine.

Le circuit «Horloges» délivre, à partir d'un oscillateur à quartz de 8 MHz, les fréquences-pilotes pour la détermination de la durée des décharges (de  $0,75 \mu\text{s}$  à  $3200 \mu\text{s}$ ) des intervalles entre les décharges (de  $1 \mu\text{s}$  à  $1600 \mu\text{s}$ ), les interruptions périodiques ou commandées de l'usinage en cas d'apparition de décharges dégénérées.

Le circuit «Servo et acquisition» (fig. 7) est le cœur du nouveau système. La section acquisition surveille impulsion par impulsion, enregistre l'allure de la tension entre l'électrode et la pièce en fonction du temps par la mesure de la tension à différents instants pendant la décharge, mémorise ces valeurs et les compare aux valeurs correspondantes des décharges précédentes, classe ces décharges en catégories selon la combinaison des valeurs mesurées et l'évolution de ces valeurs au cours du temps. Selon le résultat de ce classement, des mesures sont prises automatiquement pour augmenter le nombre de bonnes décharges et avec cela améliorer la qualité et la vitesse de l'usinage: le positionnement de l'électrode par rapport à la pièce ainsi que la formation de trains de décharges.

Les résultats de l'acquisition servent également au calcul du courant «propre» d'usinage: la valeur du courant affiché correspond au courant moyen d'usinage, duquel on a soustrait le courant des décharges anormales (court-circuits, arcs, etc.). Cette indication est particulièrement intéressante, car elle permet de maximiser manuellement le rendement de l'installation par des mesures qui n'ont pas encore été automatisées.

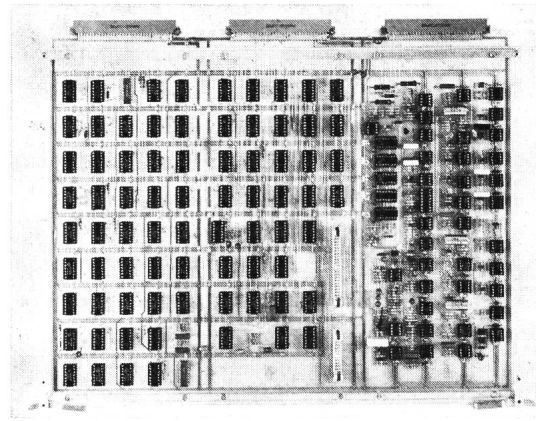


Fig. 7 Circuit «Servo et acquisition»

### 4. Le module de puissance

La physique du procédé d'usinage par étincelage veut que, une fois une décharge amorcée, le courant n'est limité que par des éléments extérieurs, c'est-à-dire la résistance interne de la source de tension. Par le passé, cette limitation se faisait à l'aide de résistances de puissance. La dissipation est considérable: La tension de la source doit être de 60 à 100 V, et la tension de la décharge se situe aux alentours de 20 V. Cet état de chose a incité Charmilles en 1961 à développer, pour les générateurs de puissance de 100 A et plus, un système à limitation magnétique, qui est utilisé encore aujourd'hui. Pour la

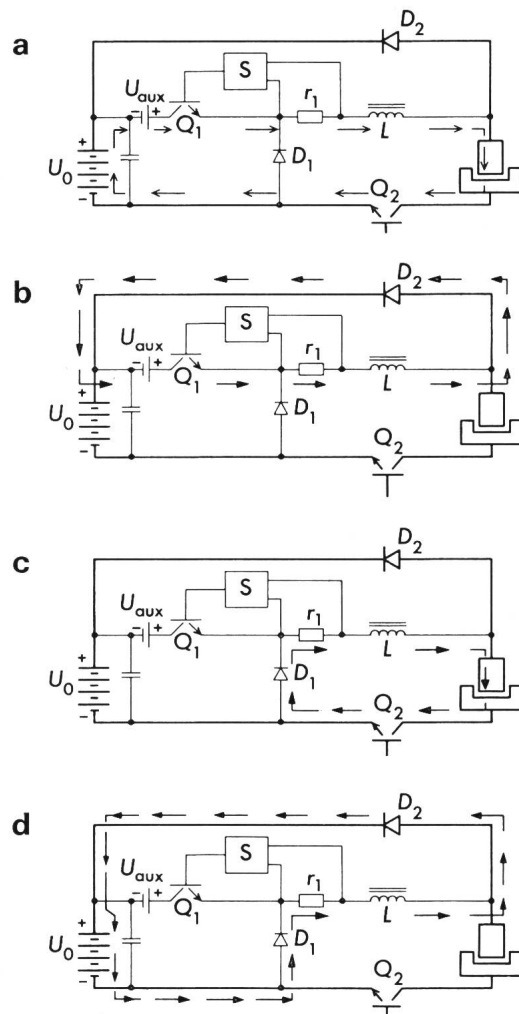


Fig. 8 Principe du circuit de puissance avec limiteur de courant (pour les phases a...d voir tableau I)

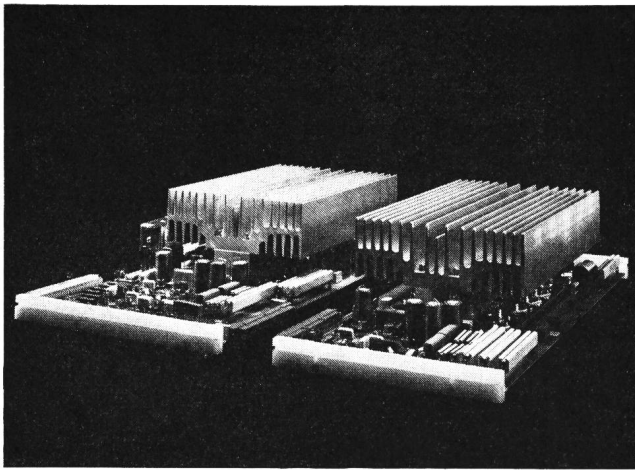


Fig. 9 Circuits «Interrupteur» et «Limiteur»  
Conçus pour un courant de 32 A

nouvelle génération, ce système a pu être considérablement amélioré, de sorte qu'il peut être utilisé dans tous les étages de sortie (modules de puissance), qu'il s'agisse du type à 25 A de courant d'usinage moyen (32 A pointe), du type avec 72 A de courant d'usinage, qui sert à amorcer les décharges et qui est branché en parallèle, à travers un système de blocage par diodes, avec les modules de 80 V de tension de source. Le principe de fonctionnement de ce circuit est donné dans la fig. 8.

Tableau I

Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	E - P	U <sub>E-P</sub>	I <sub>E-P</sub>	Figure
1	1	1	20 V	$\hat{I}$	10a
1	0	1	0	0	10b
1	1	0	0	0	10b
1	0	0	0	0	10b
0	1	1	20 V	$\hat{I}$	10c
0	0	1	0	0	10d
0	1	0	U <sub>0</sub>	0	10d
0	0	0	0	0	10d

Un circuit auxiliaire formé par la source de tension  $U_{aux}$ , le transistor  $Q_1$ , le shunt de mesure  $r_1$ , la self  $L$  et la diode  $D_2$ , a la tâche de maintenir un courant constant dans la self  $L$ , par l'intermédiaire du circuit de réglage  $S$ . Par l'enclenchement du transistor  $Q_2$ , on applique une tension ( $U_0$ ) entre l'électrode et la pièce. La décharge peut alors se produire si l'espace électrode-pièce le permet, et le courant peut s'établir pour atteindre la valeur du courant circulant dans la self  $L$ . Le transistor  $Q_2$  détermine donc la durée des décharges, qui peuvent être choisies entre 1 et 3200  $\mu s$ .

Pour mieux comprendre le fonctionnement de ces circuits, on peut considérer séparément les différentes phases possibles résultant de la combinaison des états de conduction des transistors  $Q_1$  et  $Q_2$  ainsi que de l'espace électrode-pièce, selon le tableau I. La succession des phases n'étant pas toujours la même, on ne peut pas les présenter chronologiquement.

Pour éviter l'échauffement des transistors, la commutation (passage de l'état conducteur à l'état bloqué et inversement) doit se faire rapidement. Les transistors de puissance actuellement disponibles permettent des temps de commutation de 100 à 200 ns pour des courants élevés, ce qui permet de les utiliser jusqu'à des fréquences de répétition de 200 à 300 kHz. Les diodes  $D_1$  et  $D_2$  doivent avoir un temps de recouvrement extrêmement court, de l'ordre de 50 ns, pour que les courants inverses ne prennent pas de grandes amplitudes.

Toutes les inductances parasites doivent être maintenues faibles, ce qui impose une construction compacte, comme on peut le voir dans la fig. 9. Les deux parties, c'est-à-dire l'unité de commutation ( $Q_2$ ) avec son électronique de commande et de surveillance, et le limiteur ( $Q_1$ ) avec son électronique de réglage de courant sont montés sur deux éléments enfichables et enfichables l'un dans l'autre. La puissance absorbée au réseau est de 1,4 kVA pour un courant de sortie de 32 A pointe et une tension de source de 80 V. La durée minimum de l'impulsion de sortie est de 1  $\mu s$ .

**Adresse de l'auteur**

Heinz Rhyner, Ateliers des Charmilles S.A., 109, rue de Lyon, 1211 Genève-3.