Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 123 (1997)
Heft: 15/16

Artikel: Charmilles - EPFL: les étincelles d'une collaboration fructueuse
Autor: Altpeter, Friedhelm / Longchamp, Roland / Kaestli, Françoise
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79137

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 05.08.2025

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

Charmilles – EPFL: les étincelles d'une collaboration fructueuse

Par Friedhelm Altpeter et Roland Longchamp, Institut d'automatique, EPFL et Françoise Kaestli, IAS

L'automatisation d'un processus, par exemple la commande des axes d'une machine-outil, relève d'un défi ardu. Pour l'industriel, il s'agit de piloter des installations présentant un comportement non linéaire auquel s'ajoutent les aléas des facteurs de production; le scientifique, lui, cherche à modéliser une réalité aux paramètres aussi complexes que multiples. Avec l'accroissement des spécifications techniques et l'augmentation des exigences en termes de précision, de vitesse et de qualité, les difficultés rencontrées ne permettent plus une résolution par des méthodes empiriques.

En mettant en commun leurs compétences, une entreprise, Charmilles Technologies S.A., *et un laboratoire de recherche, l'Institut d'automatique de l'EPFL, ont acquis ensemble une meilleure maîtrise de la commande des machines à électro-érosion.*

L'entreprise et ses marchés

Entreprise plus que centenaire et anciennement connue sous le nom « Ateliers des Charmilles », *Charmilles Technologies S.A.* s'est positionnée en tête d'une nouvelle technique d'usinage, l'électro-érosion. Cette compétence a été introduite en 1952. Elle reprenait et développait les travaux sur l'usure des contacts électriques, faits par Mme et M. Lazarenko pour le gouvernement soviétique.

C'est en 1983, lors de son rachat par le groupe *Georg Fischer*, que l'entreprise a endossé sa raison sociale actuelle. En 1996, la société tessinoise *Agie*, unique concurrent suisse de *Charmilles*, a également rejoint le groupe *Georg Fischer*.

Charmilles Technologies produit et commercialise une gamme complète de machines à électro-érosion, dans le monde entier. Les prestations liées à l'installation et à la mise en service des machines sont également proposées aux clients. Ces dernières années, la société a intensifié sa présence sur les marchés internationaux, à travers des filiales et des agents en Europe, sur le continent américain et dans la zone Asie-Pacifique, les centres de production étant implantés en Suisse, aux Etats-Unis, en Chine et au Japon. Anciennement spécialisée dans le haut de gamme, elle s'est diversifiée et offre aussi bien des produits de base, ou standards, que des solutions de pointe, afin de couvrir tous les marchés de l'électro-érosion. Enfin, elle poursuit un effort important de recherche pour garder une avance technologique sur ses concurrents.

Les principaux produits fabriqués avec les machines *Charmilles* sont des matrices de découpage en carbure et en acier, (pour l'étincelage par fil), des moules d'injection de plastique et de composites (pour l'enfonçage), utilisés dans les secteurs de l'industrie automobile (25 %), de l'industrie électrique (15 %), et de l'électroménager (18 %).

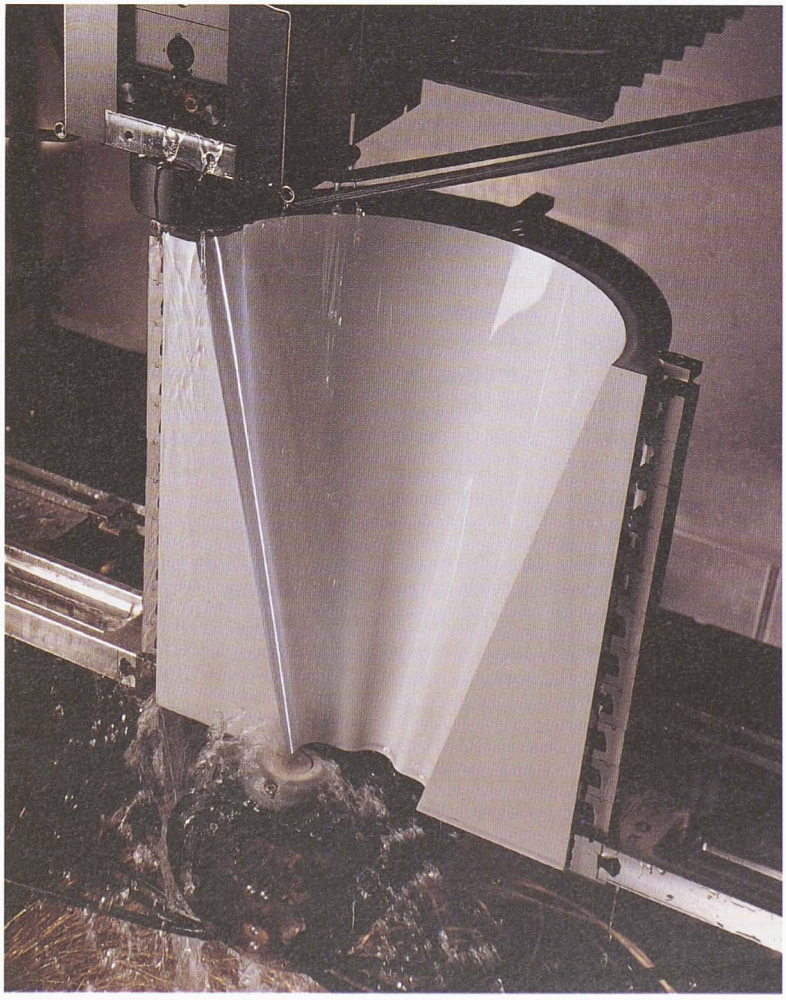

Fig. 1 – Machine à électro-érosion par fil de Charmilles Technologies

L'électro-érosion

Traditionnellement, les composants durcis ou recuits nécessitent plusieurs opérations d'usinage, mais certains ne peuvent être produits que par électro-érosion. Or cette technique permet souvent de diminuer le nombre des opérations de fabrication, et d'obtenir un état de surface très fin. De plus, les éléments de fixation de la pièce sont plus légers et simples et les temps de préparation réduits, ce qui raccourcit le délai de mise sur le marché d'une pièce. L'électro-érosion est un procédé d'enlèvement de matière par décharges électriques, idéal pour la fabrica-

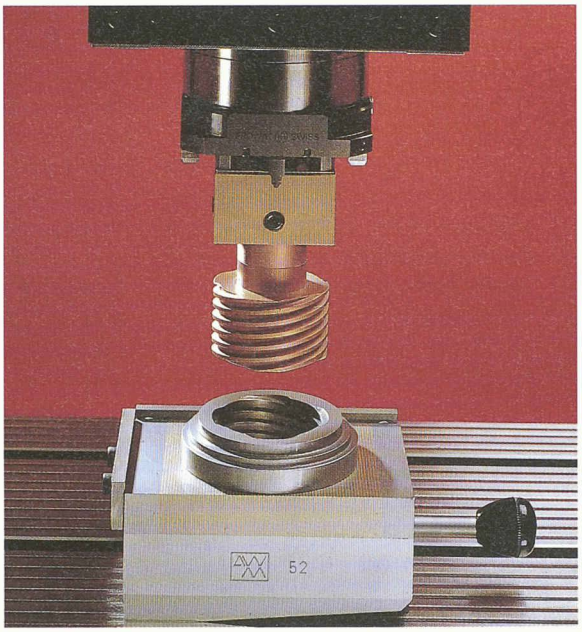

Fig. 2 – Machine à électro-érosion par enfonçage

Le concept de commande automatique

La commande est présente dans la vie de tous les jours. En effet, il importe très souvent de garantir le fonctionnement d'un procédé conforme à un objectif en imposant des ajustements dès qu'un écart par rapport à cet objectif est décelé. De plus, il faut rendre automatique l'exécution de certaines opérations trop fastidieuses, ou difficiles, voire même dangereuses pour un opérateur humain.

Le travail de l'ingénieur en automatique se résume donc aux étapes suivantes.

- Modélisation du processus à régler. Il en résulte une description mathématique sous la forme d'équations différentielles représentant le comportement dynamique de l'installation.
- Identification des paramètres du modèle. Cette étape permet de caler le modèle à l'installation particulière.
- Synthèse d'une commande qui remplit les spécifications nécessaires au bon fonctionnement de l'installation (fig. 3). Il s'agit d'en définir la structure en fonction du processus à commander et d'ajuster la valeur numérique des paramètres pour répondre aux spécifications.
- Implantation de la commande, sous forme analogique ou numérique. Si l'installation fonctionne correctement, les opérateurs peuvent alors assurer la production. Dans le cas contraire, les étapes précédentes doivent être répétées.

tion de moules et de pièces de forme complexe, dans des métaux ou alliages durs (pour des poinçons par exemple) ou réfractaires. Ces matériaux doivent, bien entendu, être conducteurs d'électricité.

Il existe trois types d'électro-érosion (ou étincelage):

- l'étincelage par fil qui utilise un fil comme électrode. Ce procédé permet le découpage de n'importe quelle courbe, selon un programme déterminé (fig.1);
- l'étincelage par enfonçage qui consiste à prendre une électrode de forme et à usiner la cavité complémentaire (fig. 2);
- l'étincelage par fraisage; cette technique permet un usinage de formes complexes au moyen d'électrodes cylindriques simples, en rotation.

Ces trois procédés se déclinent en gammes de machines, adaptées à la taille des pièces à usiner, aux caractéristiques des commandes numériques et aux spécialités demandées.

Synthèse de la commande

Lors de l'usinage, des décharges électriques à haute fréquence sont tirées entre une électrode et la pièce à usiner, placées dans un milieu diélectrique. *La distance entre l'électrode et la pièce, appelée* gap, *est un paramètre clé du procédé d'enlèvement de matière.*

Le problème de commande est alors un problème d'asservissement du *gap* à une valeur de consigne constante, spécifique au régime d'usinage choisi.

Dans le cadre de la collaboration entre *Charmilles Technologies* et l'Institut d'automatique, la commande de l'axe vertical d'une machine d'électro-érosion par enfonçage est étudiée. Il s'agit de synthétiser (voir encadré sur le concept de commande automatique) une commande d'axe performante, qui incorpore un modèle du procédé d'usinage, afin d'obtenir un régulateur de *gap* satisfaisant les spécifications imposées par l'électro-érosion. Ce régulateur permet le maintien d'un usinage précis et d'un *gap* minime, sur de petites pièces. Ce régime spécifique d'enlèvement de matière, appelé micro-usinage, est actuellement difficile à réaliser car les différents organes de machine (vis à billes, transmission, moteur, etc.), ainsi que les commandes d'axes et de procédés, n'ont pas été optimisés pour cette tâche.

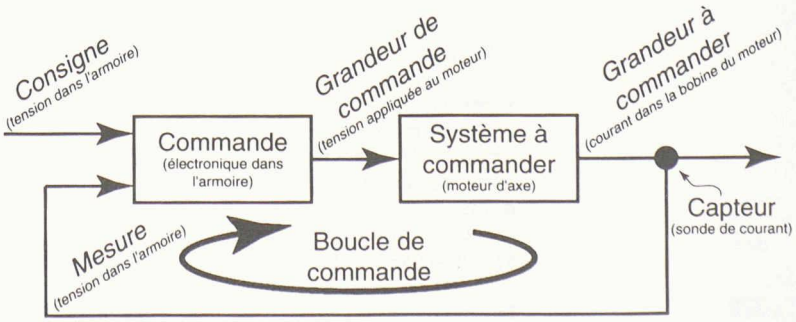

Fig. 3 – Schéma d'une commande automatique (exemple de la commande du courant d'un moteur d'axe)

Déroulement et gestion du projet

L'idée d'un projet de collaboration a germé lors de contacts informels, dans le cadre d'un cours organisé par l'Institut d'automatique. Y participait un collaborateur de *Charmilles*, responsable actuel de la collaboration, qui a librement exposé son problème et rencontré un écho favorable à l'intérieur de l'Institut.

Un projet a été esquissé, un dossier élaboré puis déposé auprès de la Commission pour la Technologie et l'Innovation (CTI), pour une demande de financement public. Formé après acceptation du projet par la CTI, le groupe de travail est constitué, du côté de *Charmilles Technologies*, d'un scientifique en traitement du signal et d'un ingénieur mécanicien EPF, tandis qu'à l'Institut d'automatique, le projet est porté par un ingénieur en microtechnique et dirigé par un scientifique doté d'une formation mathématique solide. D'autres personnes interviennent, de part et d'autre, pour la réalisation, le suivi du projet et les essais.

Dès le départ, il était clair qu'un tel projet nécessitait des compétences pluridisciplinaires. En effet, diverses branches scientifiques, telles que la physique pour la modélisation, le traitement du signal pour l'identification des paramètres du modèle et les mathématiques pour la synthèse de la commande se trouvent impliquées. La réalisation de la commande nécessite quant à elle des connaissances techniques, en électronique et électromécanique pour la génération des étincelles et l'entraînement des axes, en mécanique pour la conception de la machine, et en informatique pour l'implantation de la commande numérique en *temps réel*. De par la vocation pluridisciplinaire de l'Institut d'automatique, cette intégration de compétences dans le projet a été possible.

Dans la première phase du programme, de 1995 à 1997, un modèle de frottement des axes d'une machine d'enfonçage (fig. 4) a été déterminé. Cette représentation décrit le comportement dynamique de la machine, plus particulièrement la position verticale de l'électrode, en fonction du couple appliqué. Elle a permis la synthèse d'un régulateur classique, capable d'asservir la position et la vitesse des axes.

Dans une deuxième étape, de 1997 à 1999, il est prévu de synthétiser une commande plus performante, puis d'y incorporer un modèle du procédé afin de d'obtenir un régulateur de *gap* satisfaisant aux spécifications imposées par l'électro-érosion. Cet objectif pourra être atteint en utilisant les apports des modèles du frottement et du procédé, en modélisant également la transmission par vis à billes et en intégrant des méthodes de prototypage rapide d'applications en *temps réel*.

Durant ce projet, un transfert soutenu de connaissances et de technologies est réalisé entre l'Institut d'automatique et *Charmilles Technologies*. La direction scientifique des travaux est prise en charge par les responsables de l'Institut d'automatique. L'application des concepts et leur transfert aux produits sont gérés chez *Charmilles Technologies* par des personnes capables d'assimiler les nouveaux acquis. Outre le suivi hebdomadaire, des présentations et discussions de synthèse sur l'avancement du projet sont organisées tous les quatre mois dans l'entreprise. Les résultats sont consignés dans des publications (conférences et revues scientifiques).

Les attentes de l'entreprise

A court terme, ce projet a débouché sur une meilleure compréhension des phénomènes de frottement qui a permis une amélioration de la commande des axes. Les méthodes de travail de l'équipe de

L'Institut d'automatique: ouverture et compétences

L'Institut d'automatique fait partie du département de génie mécanique de l'EPFL. Dirigé par les professeurs Dominique Bonvin et Roland Longchamp, il comprend environ vingt-cinq collaborateurs, dont un maître d'enseignement et de recherche, des docteurs, des doctorants et du personnel technique et administratif. La première mission de l'Institut est l'enseignement de l'automatique à toutes les sections de l'EPFL intéressées à ce domaine, à savoir le génie mécanique, la microtechnique, l'électricité, l'informatique et la chimie. L'enseignement dispensé se fonde sur des cours *ex cathedra*, de l'enseignement assisté par ordinateur et des travaux pratiques en laboratoire. L'approche adoptée est multidisciplinaire, afin de répondre aux différentes formations des étudiants.

La seconde mission de l'Institut est la recherche. Des synergies se développent de façon naturelle entre les activités d'enseignement et de recherche. On peut distinguer la recherche fondamentale en automatique, plutôt méthodologique et dont les résultats sont confrontés au niveau international, de la recherche plus appliquée, généralement effectuée avec des partenaires industriels. Ces collaborations revêtent une grande importance pour l'Institut, certains problèmes soumis par des entreprises suscitant de nouvelles directions de recherche. Par ailleurs, des recherches de base peuvent déboucher sur de nouveaux produits très performants. Le projet avec *Charmilles Technologies*, décrit dans le présent article, illustre une telle collaboration.

L'Institut d'automatique développe ses contacts avec l'industrie de plusieurs façons. Tout d'abord, les doctorants qui effectuent un travail de thèse sur une application industrielle ou les étudiants qui souhaitent élaborer des projets de semestre ou de diplôme pratiques permettent des échanges réguliers et intenses. Ensuite, par des activités ouvertes au monde économique (cours et séminaires) et une information sur les projets en cours (rapport d'activité), l'Institut s'est créé un réseau de collaborations qui contribue à orienter ses recherches vers les problèmes actuels du monde industriel, tout en faisant avancer les connaissances de base du domaine de l'automatique. Enfin, des contacts sont également établis avec les écoles d'ingénieurs, dans le but de coordonner certains projets.

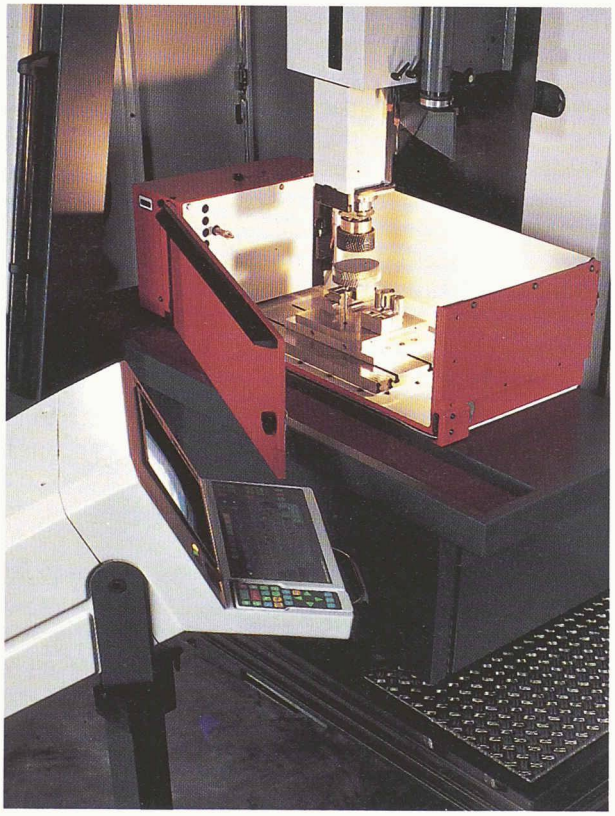

Fig. 4 – Type de machine analysée dans le projet de collaboration avec l'Institut d'automatique

développement se sont également modifiées par le biais des échanges qui se sont établis avec l'Institut d'automatique. A plus long terme, lorsque le projet sera terminé, la commande optimisée sera installée sur de nouvelles machines et offrira aux utilisateurs des possibilités d'usinage sur des pièces plus petites. Pour ses clients, *Charmilles Technologies* en espère des retombées économiques sous plusieurs formes: un accroissement de la qualité des pièces usinées (précision, état de surface, etc.) et une réduction des coûts de production (il est en effet prévu que la nouvelle commande abaisse le temps de réalisation de la pièce et limite l'usure des électrodes).

Pour le partenaire industriel, une condition nécessaire au succès d'un tel projet est l'aptitude du scientifique à comprendre les problèmes pratiques qui se posent tous les jours dans le monde de la production. La personne de contact doit donc être bien enracinée dans la réalité et pouvoir présenter aux praticiens, de façon compréhensible, l'essentiel de la théorie développée.

Les attentes de l'Institut d'automatique

L'une des missions de l'Institut d'automatique est la réalisation de recherches en relation avec la réalité industrielle, cela afin de préparer ses collaborateurs au jour où ils quitteront le domaine académique. Dans cette perspective, les capacités de l'interlocuteur industriel sont cruciales: en plus des techniciens indispensables pour aboutir à des réalisations concrètes, il est nécessaire d'impliquer une personne au bénéfice d'une solide formation générale, qui assure la mise en valeur des résultats fournis par le partenaire académique, et qui gère le projet.

L'Institut d'automatique étant souvent contacté trop tardivement pour apporter une solution à des problèmes de commande, la collaboration avec *Charmilles Technologies* s'est révélée exemplaire à ce titre, des ressources suffisantes et adéquates ayant été attribuées au projet.

Conclusion

La collaboration entre industrie et Haute école, dont un exemple est présenté dans cet article, est un véritable moteur pour l'innovation chez les deux partenaires. Elle est d'ailleurs encouragée par la Commission pour la technologie et l'innovation, et soutenue par un apport de fonds au partenaire académique qui effectue la recherche. Au-delà des difficultés «culturelles» (délai, priorités, langage) rencontrées lors de la mise sur pied d'un tel projet, les enrichissements mutuels stimulent les collaborateurs et génèrent, de part et d'autre, une ouverture plus grande sur ces deux mondes complémentaires que sont l'industrie et l'EPFL.

Bibliographie

[1] *CTnews,* éd. Charmilles Technologies, Meyrin, 1996

[2] «Profil de Charmilles Technologies en 1996» Charmilles Technologies, Meyrin, 1996

[3] «Activity Report 1994-1995» Institut d'automatique, EPFL, Lausanne, 1996

[4] Armstrong-Helouvry B., Canudas de Wit C.: «Friction Modeling and Compensation» *in* «The Control Handbook», éd. William S. Lévine, CRC Press, pp. 1369-1382, 1996

[5] Bianchi L., et Rigal E.: «Usinage par électro-érosion» *in Techniques de l'ingénieur,* volume B7I, pp. B7310: 1-24, 1987

[6] Longchamp R.: «Commande numérique de systèmes dynamiques», éd. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1995

[7] Shin Y. C.: «Machine Tools and Processes» *in* «The Engineering Handbook», éd. Richard C. Dorf, CRC Press, pp. 1749-1799, 1995

[8] «Usinage par électro-érosion», Norme Suisse SN 237550: 1-1980, 2-1980 et 3-1983, éd. Verein Schweizerischer Maschinen-Industrieller, Normenbüro