

**Zeitschrift:** Ingénieurs et architectes suisses  
**Band:** 125 (1999)  
**Heft:** 13/14

**Artikel:** Bientôt, l'usine de poche!  
**Autor:** Kaestli, Françoise  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-79633>

#### **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:** 13.01.2026

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

# Bientôt, l'usine de poche!

Françoise Kaestli,  
rédactrice

Pourquoi l'industrie des machines ne subirait-elle pas la même tendance à la miniaturisation que l'industrie informatique? Les producteurs de microsystèmes appellent à une telle évolution. La prise en compte des critères de développement durable voudrait également que l'on s'oriente vers un outil de production moins vorace en énergie, moins volumineux et moins lourd aussi.

Depuis le début des années 1990, les termes de micro-factory (micro-usine), desktop factory (usine de table), micro-lab (microlaboratoire) émergent. Au-delà de la miniaturisation, un nouveau concept de production se dessine. A la suite du premier congrès mondial sur ce sujet qui s'est tenu en décembre 1998 à Tsukuba au Japon, IAS fait le point avec le professeur Reymond Clavel et M. Jean-Marc Breguet, de l'Institut de systèmes robotiques (ISR) de l'Ecole polytechnique Fédérale de Lausanne.

**IAS : Vous parlez d'usine de table, de micro-usine, faut-il voir pour l'outil de production la même évolution que celle subie par l'ordinateur?**

ISR: Imaginez une lentille de 250 microns, plus petite qu'un grain de sucre, qu'il faut positionner de façon exacte devant une fibre optique de 200 microns de diamètre! A cette échelle, les problèmes diffèrent de ceux rencontrés habituellement en mécanique. La fragilité de l'objet manipulé ne lui permet pas d'entrer en contact avec la fibre, ce qui implique d'atteindre une résolution dans le positionnement de quelques dizaines de nanomètres. Réaliser une telle opération d'assemblage avec des machines conventionnelles n'est plus envisageable pour plusieurs raisons. D'une part, il devient toujours plus difficile et coûteux d'atteindre les résolutions demandées sur de grosses installations. D'autre part, le coût de fonctionnement d'une telle machine et le contrôle de son environnement sont totalement disproportionnés par rapport au coût des pièces produites, aussitôt que de petites ou moyennes séries sont envisagées.

Le potentiel technique et économique d'un système de production miniaturisé est énorme. Mais le concept de micro-usine va plus loin que les seules considérations financières. Il accorde la priorité à l'adaptabilité de la ligne de production plus encore qu'à sa miniaturisation. La chaîne de fabrication du futur sera formée d'un assemblage de

modules dédiés à certaines tâches, dont les interfaces seront normalisées et faciles à mettre en œuvre (*Plug and Produce*). Ce concept est comparable au *Plug and Play* connu dans le milieu informatique. Le concepteur de la ligne, grâce aux blocs normalisés dont il dispose, à l'image des briques Lego, simulera l'entreprise virtuelle avant de la construire. Parmi les modules possibles, citons les éléments d'assemblage, d'attachement, de contrôle de qualité, de micro-usinage. Un gain de temps considérable de réalisation de l'outil de production et une facilité de reconfiguration au gré de la demande du marché sont attendus. A ces avantages s'ajoute le fait que le passage à l'échelle microscopique apporte des solutions complètement nouvelles par l'utilisation de phénomènes inconnus à l'échelle macroscopique.

**IAS: Pouvez-vous nous présenter quelques exemples?**

ISR: Au niveau mondial, seules quelques équipes de recherche, dans les laboratoires comme dans les entreprises à haute technologie, planchent sur le concept global de micro-usine. En revanche, pour le développement de modules, la compétition est déjà rude. Des manipulateurs, comprenant des moteurs et des capteurs, de quelques centimètres cubes existent déjà. Les derniers robots conçus par l'Institut de systèmes robotiques sont plus petits qu'une pièce de deux francs. Ils permettent, par exemple, de monter un microrotor sur un axe du diamètre d'un cheveu (fig 1) ou, à terme, de manipuler des structures aussi infimes que des molécules d'ADN.

Nous avons développé, pour ces micromanipulateurs, un concept de structure flexible taillée directement dans un bloc monolithique de céramique piézoélectrique. Ces microrobots allient une précision de quelques nanomètres, à des déplacements de plusieurs centimètres, ceci pour des vitesses pouvant aller jusqu'à plusieurs millimètres par seconde. L'actionneur «stick and slip», conçu à l'ISR, vient d'ailleurs de remporter le Grand Prix européen de l'Innovation et des Technologies, à Monaco. Ce système (fig. 2) joue à la fois sur les

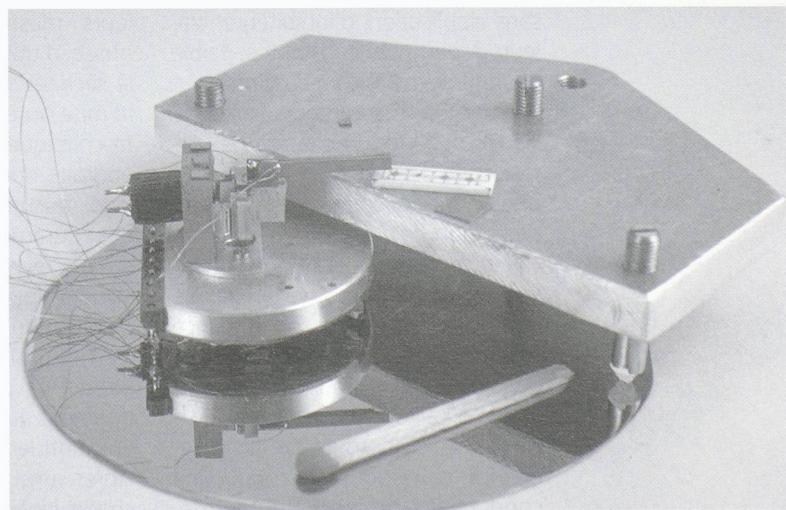


Figure 1. Micro-robot «stick and slip» utilisé pour l'assemblage d'un micro-moteur

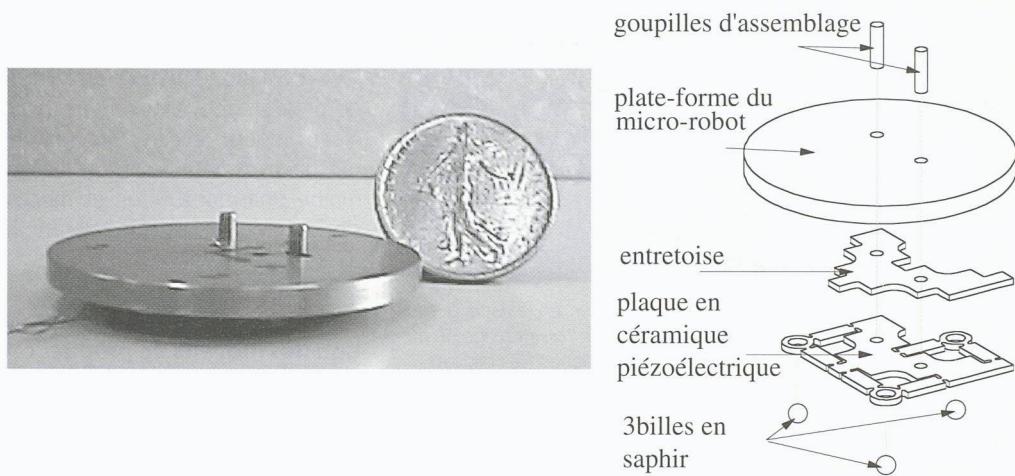


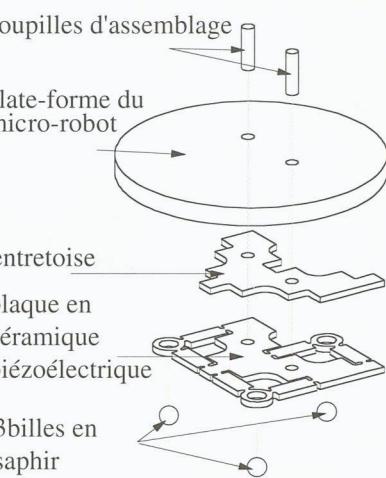
Figure 2. Micro-robot «stick and slip» à trois degrés de liberté. La vue éclatée met en évidence la simplicité du mécanisme obtenue grâce au concept de structure flexible monolithique en céramique piezoélectrique

forces de friction et sur l'inertie pour déplacer une masse posée sur des pattes flexibles. En nous appuyant sur les forces de friction, nous développons une approche totalement nouvelle de la mécanique. Ce robot pourrait en outre être employé pour la télé-manipulation d'échantillons biologiques.

#### IAS : quels sont les défis à relever?

ISR: Une condition sine qua non, pour le succès commercial des microsystèmes est d'arriver à les produire d'une façon économique.

En Suisse, plusieurs instituts, dont le Département microtechnique de l'EPFL, l'Institut de microtechnique de l'Université de Neuchâtel et le CSEM SA poussent toujours plus loin les limites de la miniaturisation. L'industrie suisse est bien positionnée dans le secteur microtechnique, notamment pour la fabrication de petites pièces de haute précision. Nous espérons qu'elle s'engouffrera dans le créneau de la *micro- ou nano-factory*. Car si les composants électroniques et optiques intégrés dans la plupart de nos instruments ou des capteurs atteignent actuellement des tailles inférieures au millimètre, les machines qui les produisent restent sur-dimensionnées. Lorsque l'on se concentre sur la précision, sur un produit adapté au client, la ré-



A l'institut, nous abordons les projets avec des équipes pluridisciplinaires et faisons appel à nos collègues des autres départements. Nous intégrons des connaissances d'optique, de physique, d'électronique, d'informatique, de sciences des matériaux et de chimie. Il est important d'acquérir cette culture large afin de n'avoir aucun a priori quand aux solutions, qui peuvent être mécaniques ou optiques, ou autres encore.

#### IAS : Quels avantages apporte la miniaturisation?

ISR: En misant sur des machines de petite taille, nettement inférieures au 1 m<sup>3</sup>, on baisse drastiquement les coûts d'investissement et d'exploitation et, ce faisant, on peut envisager une production décentralisée. La micro-usine permet un gain d'énergie et d'espace considérable. Le coût énergétique d'une machine inclut la consommation électrique, même en l'absence de production, et les dispositifs de conditionnement, pour le contrôle de la température, de la pureté de l'air, de l'humidité, ces derniers facteurs étant cruciaux pour garantir la fiabilité et la qualité des produits. L'intervention

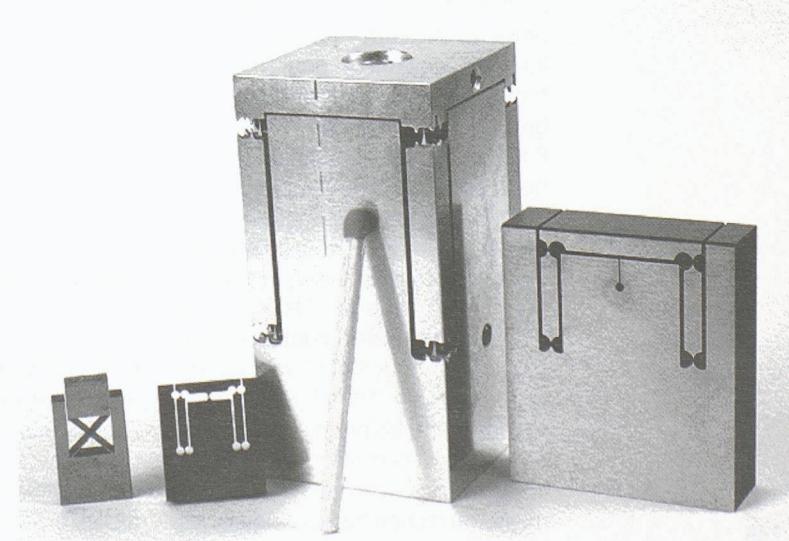


Figure 3. Exemples de structures flexibles monolithiques pour systèmes de guidages à plusieurs degrés de liberté

humaine est quant à elle limitée aux opérations de transfert entre micro-usines.

Qui dit machine plus petite, dit aussi confinement plus facile et impact environnemental moins grand. Lorsqu'un robot tient sous une cloche de verre, il est plus facile de l'isoler de toutes les influences extérieures ou de le mettre sous atmosphère contrôlée. Pas de masse inutile, des déplacements réduits, un recyclage allégé comptent parmi les autres avantages des micro-usines. Les problèmes vibratoires diminuent également.

A l'option de miniaturiser l'outil de production se joint l'idée d'être plus proche du besoin réel du client, tant par les variantes qu'il peut choisir, que dans le rapprochement possible du lieu de production. La fabrication de petites séries est envisagée. Cette technologie devient accessible aux petites entreprises.

#### **IAS : Quel rôle la Suisse peut-elle jouer?**

ISR : Plusieurs concepts de micro-manipulateurs destinés à des micro-usines ont été développés dans le cadre du programme MINAST<sup>1</sup>. L'Institut de systèmes robotiques de l'EPFL est d'ailleurs le co-ordinateur d'un module de ce programme dédié à la microrobotique. Un des projets a conduit à la réalisation de plusieurs structures flexibles monolithiques novatrices pour des systèmes de guidage à plusieurs degrés de liberté (fig. 3).

Pour la fabrication de micro-usines, nous espérons beaucoup que l'industrie suisse, avec la maîtrise de la précision et de la miniaturisation qui la caractérise, saisira la chance qui lui est offerte. Nous avons d'ailleurs déjà des contacts avec plusieurs entreprises. L'évolution de la technologie est telle que nous voyons naître les premières applications. Nous constatons une forte présence des Japonais dans ce domaine de recherche, les Anglais, les

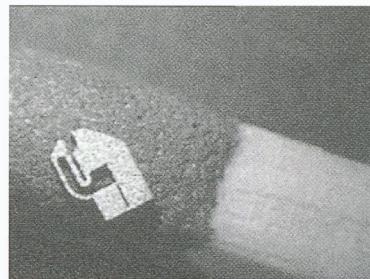


Figure 4. Prélèvement en alliage à mémoire de forme pour l'assemblage de micro-composants optiques très délicats.

Américains et les Allemands s'y intéressent aussi. L'Ecole polytechnique de Zurich aborde ce thème à travers les biotechnologies et les nanotechnologies.

#### **IAS: A quels problèmes êtes-vous confrontés?**

ISR : Aux tailles auxquelles nous travaillons, de nouveaux problèmes surgissent. Nous devons réduire les forces de frottement. Pour ce faire nous explorons des systèmes originaux: articulations flexibles, paliers magnétiques, ou à air. Les mesures de position sont prises directement sur les pièces à assembler et non plus sur le référentiel de l'outil. Nous sommes plus sensibles à l'humidité; la fragilité des pièces oblige à repenser leur manipulation et le problème d'élimination des copeaux ou poussières éventuellement générées par l'usinage. Enfin, dispenser d'infimes doses d'adhésif en des points déterminés est une opération également délicate, à quoi s'ajoute le fait que, pour une pièce de taille inférieure au dixième de millimètre, les forces de gravité sont largement supplantes par les forces de capillarité, ce qui augmente encore les difficultés de manipulation (fig. 4).

#### **IAS: Qui s'intéresse aujourd'hui au concept de micro-usine?**

ISR : L'industrie spatiale est directement concernée par des systèmes plus légers, mieux confinés et plus faciles à protéger des vibrations et des poussières: les microlaboratoires embarqués. Quand aux entreprises impliquées dans une pro-

duction à risques ou en zones protégées, notamment en microbiologie où il faut diminuer les dangers de prolifération, ainsi qu'en microélectronique, elles y voient des perspectives intéressantes. Le domaine pharmaceutique et médical s'oriente aussi vers une telle miniaturisation.

#### **IAS : Va-t-on vers une révolution des moyens de production?**

ISR : Le métier évolue. On doit cependant aller vers une plus grande précision, ce qui nous oblige à connaître davantage la structure interne des matériaux. On peut de moins en moins dissocier la partie purement mécanique des aspects de commande et de gestion du système, d'interaction à distance et de télémanipulation. De plus, nous devons proposer des solutions simples, flexibles et peu coûteuses à des problèmes complexes. Le chemin pour y arriver est passionnant et passe par un effort renouvelé d'innovation.

Ce thème est un sujet fédérateur pour les centres de recherches et les entreprises suisses. Il demandera un développement des connaissances en matériaux, en mécanique de précision, en techniques de fabrication, ainsi qu'en contrôle et méthodes de conception. Une collaboration avec les biologistes et les chimistes sera également nécessaire.□

#### **Institut de systèmes robotiques**

Cet Institut (ISR) fait partie du département de microtechnique de l'EPFL. Dans le cadre de la recherche multidisciplinaire qui y est effectuée sur le microassemblage, la microrobotique et l'instrumentation de haute précision, l'ISR se spécialise dans l'étude des robots parallèles, le développement d'outils permettant de définir un robot de la façon la plus intuitive possible (génération de nouveaux mécanismes complexes, sériels, parallèles ou hybrides) ainsi que le développement de concepts de commandes modulaires pour robots.