

Les technologies appropriées pour la mutation de l'industrie et les possibilités offertes pour l'avenir

Autor(en): **Mooser, E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Revue économique et sociale : bulletin de la Société d'Etudes Economiques et Sociales**

Band (Jahr): **37 (1979)**

Heft 2

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-138330>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Les technologies appropriées pour la mutation de l'industrie et les possibilités offertes pour l'avenir

E. Mooser,
*Laboratoire de physique appliquée, EPFL,
Lausanne*

1. INTRODUCTION

Nul ne peut l'ignorer! Les indices d'une évolution rapide de l'industrie vers des technologies nouvelles — d'aucun parlent d'une nouvelle révolution industrielle — ne sont devenus que trop visibles. L'apparition sur le marché de la montre-bracelet à quartz à bas prix et souvent d'origine étrangère, les restructurations d'entreprises horlogères et microtechniques, et les pertes d'emploi qui en résultent, la popularité toujours croissante de l'ordinateur de poche et, dernier-né des «gadgets», le jouet électronique, ne sont que les signes les plus voyants d'un développement qui touche presque tous les domaines de la technique moderne. Nul besoin d'être détective pour déceler au centre de ce développement la microélectronique, domaine de l'électronique qui s'occupe de la conception et de la fabrication d'éléments et de circuits électroniques fortement miniaturisés.

C'est l'invention en 1948 du transistor — amplificateur à base de cristal semiconducteur — qui, en rendant possible l'intégration dans un même substrat cristallin des différents éléments d'un circuit électronique, est à l'origine de la microélectronique. Depuis la conception des circuits intégrés en 1954 et leur apparition sur le marché cinq années plus tard, la microélectronique a eu une expansion jusqu'à présent inégalée dans la technique. Pour juger de l'ampleur de cette expansion, il suffit de citer quelques chiffres:

- la production mondiale de transistors — 200 millions de pièces en 1960 — a atteint le nombre impressionnant de 1 million de millions en 1978.
- Depuis dix-huit ans déjà, le nombre de fonctions électroniques produites annuellement — par fonction on entend un étage d'amplification, une porte logique ou encore un état de mémoire — a doublé tous les dix-huit mois¹ et on peut s'attendre à ce que ce développement se poursuive dans les années 80.
- Avec le développement de nouvelles technologies et avec leur perfectionnement, la complexité des circuits intégrés s'est accrue rapidement pour prendre des formes inouïes: en 1978, on a réussi à réunir 65 000 fonctions sur un seul substrat de silicium¹ et on prévoit d'arriver au million au début de la prochaine décennie.

Il serait évidemment intéressant de savoir dans quelle mesure l'industrie suisse et l'économie du pays entier pourront participer à cette évolution et de quelle manière elles arriveront à en tirer le plus de bénéfices. Pour aborder ce problème difficile, il y a lieu, avant tout, de s'interroger sur les motifs qui ont provoqué l'essor en flèche de la microélectronique, et sur les raisons qui poussent les fabricants de circuits intégrés vers une miniaturisation toujours plus prononcée et la réalisation de structures de plus en plus complexes.

2. LES MOTIFS DE L'ESSOR DE LA MICROÉLECTRONIQUE ET LA TENDANCE VERS LA MINIATURISATION

Le succès de la microélectronique est dû au fait qu'elle a su pénétrer simultanément non seulement tous les domaines d'application de l'électronique classique (amplification, mesures, réglage, communication, automatisation, etc.) mais aussi certains domaines de l'électromécanique et de la mécanique pure qui, jusqu'alors, étaient fermés à l'électronique. Plus important encore, elle a permis la réalisation de toute une série de produits nouveaux qui se sont très rapidement créés des marchés importants.

Sur le plan technique, le transistor et surtout le circuit intégré sont supérieurs au tube à vide qu'ils remplacent dans l'électronique à cause de

- leurs petites dimensions;
- leur petite consommation d'énergie (pas de cathode chauffée!);
- leur très grande fiabilité et
- leur rapidité.

Ainsi, un circuit intégré moderne, dont la partie active de silicium — la «puce» — mesure environ $5 \times 5 \times 0,3 \text{ mm}^3$, peut incorporer plus de composants que l'équipement électronique le plus complexe fabriqué en 1950. Aujourd'hui, un miniordinateur comptant quelques circuits intégrés seulement, remplirait facilement les tâches d'ENIAC, le premier ordinateur électronique, devenu pièce de musée depuis longtemps. Avec un prix inférieur à 1000 francs suisses, le miniordinateur coûte 1/10 000 d'ENIAC et occupe 1/30 000 de son volume. Il est 20 fois plus rapide, il a une mémoire plus grande et il consomme l'énergie d'une ampoule électrique plutôt que celle d'une locomotive.

La très grande fiabilité et les petites dimensions du circuit intégré lui ont ouvert toutes grandes les portes des centrales téléphoniques où il remplace progressivement les relais électromécaniques. Comme les systèmes de communication sont conçus pour une durée de vie de plusieurs décennies, le seul remplacement des relais constituera un marché important pour au moins vingt-cinq ans encore. En même temps, l'expansion rapide dans le monde entier des systèmes de communication utilisant dès leurs débuts les dispositifs à semi-conducteurs est en train de créer un vaste domaine d'application de la microélectronique.

Notons en passant que la longue durée de vie exigée de tout système de communication influence le choix des composants: la fiabilité l'emporte sur la technologie poussée, l'accessibilité à l'inspection et à la réparation l'emportent sur la complexité des circuits. C'est là, peut-être, une chance pour le génie suisse qui tend vers la perfection plutôt que vers la haute voltige technologique!

Ajoutons que les systèmes continentaux et intercontinentaux de communication faisant appel à la satellisation de stations de transmission n'auraient jamais pu être réalisés sans la réduction de volume et de consommation d'énergie que les technologies de la microélectronique ont rendues possible. Il en est de même des systèmes de transmission à fibres optiques^{2, 3}: grâce au développement de la microélectronique, la diode luminescente, la diode laser et la photodiode ont atteint la maturité technique. Elles sont très certainement destinées à un brillant futur et ouvriront de nouveaux horizons aux

fabricants de composants semi-conducteurs, et plus particulièrement à notre industrie de communication.

Dans l'industrie des machines où il remplace la logique mécanique des automates et des systèmes de réglage, le circuit intégré, grâce à ses caractéristiques, a fait une entrée retentissante. Il faut cependant remarquer que les problèmes présentés par le réglage et l'automatisation des machines sont aussi variés que la nature de ces machines et que, pour les résoudre, il faut monter sur cartes imprimées des circuits intégrés standards en nombres relativement importants. Actuellement, une alternative en rapide développement consiste à fabriquer des circuits intégrés spécialement conçus. A partir de séries d'environ 1000 pièces, cette alternative devient rentable et la production de circuits intégrés «sur mesure» représente une entreprise intéressante, même sur un marché restreint comme le marché intérieur suisse.

Les problèmes de réglage et d'automatisation de machines font surgir en toute clarté la question suivante: la microélectronique va-t-elle finir par éliminer toute la mécanique des boucles de réglage et de commande? La question revêt une importance très grande pour l'industrie suisse qui a une longue tradition dans la microtechnique et dans la mécanique fine, et leur substitution complète par la microélectronique aurait des conséquences très graves pour toute l'économie. Heureusement, la réponse à cette question est non! Il sera toujours nécessaire de placer à l'entrée d'une boucle de contrôle un ou plusieurs capteurs qui transforment en signaux électriques les paramètres caractérisant l'état momentané de la machine et de ses mouvements. Ces signaux, après traitement par les parties microélectroniques de la boucle — le microprocesseur — seront retransmis à la machine à travers des actionneurs. Dans la majorité des cas, ces capteurs et actionneurs combinent des composantes mécaniques et électroniques, et constituent donc des exemples types de la nouvelle génération de produits microtechniques, qui sont caractérisés par le mariage d'éléments mécaniques, électroniques et optiques. Cependant, pour exploiter à fond les possibilités offertes par les microprocesseurs, les capteurs et actionneurs devraient assimiler les caractéristiques des circuits intégrés: ils devraient être plus petits, plus fiables et plus rapides. Il y a ici des possibilités alléchantes pour notre industrie.

Si le remplacement des tubes à vide dans l'électronique classique et celui des parties mécaniques dans le réglage et l'automatisation ont donné de très fortes impulsions à la révolution microélectronique, c'est certainement l'ordinateur qui en est la cause principale. En effet, l'ordinateur digital programmable et le transistor ont vu le jour presque simultanément, et les techniciens qui s'occupaient de leur développement ont réalisé immédiatement que l'ordinateur constituait un vaste champ d'application pour le transistor. La synergie naissant ainsi du mariage du nouveau composant et de la nouvelle application rendait explosive l'expansion des deux domaines.

L'ordinateur fut un marché idéal pour le transistor et les circuits intégrés, dont le volume dépassa de très loin le marché de remplacement des composantes classiques. La raison en est que les systèmes digitaux emploient un très grand nombre de circuits actifs. En effet, en réponse à un signal d'entrée, un élément de circuit digital ne peut que produire l'un ou l'autre des deux signaux de sortie, «0» ou «1». Même si un grand nombre de tels éléments sont connectés en série, ils ne peuvent que donner «0» ou «1» à la sortie: le gain de chaque étage est unité et le gain de toute la chaîne l'est aussi. Par contre, les circuits analogiques font appel à une amplification avec gain plus grand que 1, et peu d'étages

peuvent être montés en cascade, avant que la tension limite des microcircuits ne soit atteinte. Les systèmes analogiques ne sont donc pas à même d'incorporer un nombre important de microcircuits, tandis que les systèmes digitaux en ont besoin: une calculatrice de poche contient 100 fois plus de transistors qu'un appareil radio!

L'avidité des grands ordinateurs pour les portes logiques, ainsi que la réduction du temps d'accès à l'information stockée dans une quelconque de ces portes, constituent aujourd'hui encore les arguments les plus puissants en faveur de la miniaturisation et de l'intégration de multiples fonctions dans un même circuit. Et cela d'autant plus que la miniaturisation et l'intégration à très grande échelle ont fait baisser le prix par fonction d'un facteur de 100 à 1000 pendant les dix dernières années¹.

Si la baisse des prix fournit un motif économique très intéressant pour le développement continu de la microélectronique, il n'est pas le seul. En effet, du point de vue de l'économie, il faut constater que tout le long de son développement, la microélectronique n'a pas cessé d'ouvrir de nouveaux marchés en permettant à l'industrie la réalisation de nouveaux produits. La montre-bracelet électronique, la calculatrice de poche, les jouets électroniques et les jeux sur écrans de téléviseur en sont des exemples convaincants. A noter que ces produits sont rapidement devenus des biens de consommation, de sorte que le volume des marchés correspondants est très important.

Aux motifs techniques et économiques énumérés ici s'ajoutent des motifs politiques et militaires. La course vers la lune, compétition impitoyable entre les prestiges nationaux de deux super-puissances, a libéré des sommes énormes, permettant à leur industrie de développer la microélectronique à une vitesse extraordinaire. Comme le lancement et le téléguidage d'engins spatiaux, ainsi que l'établissement et le maintien de systèmes de communication avec ces engins ont des implications militaires évidentes, des fractions toujours croissantes de crédits militaires sont destinées à la microélectronique et accélèrent encore son développement.

Il est utile d'évoquer ces motifs non techniques dans le contexte du présent article, parce qu'il est impensable qu'une subvention massive de la microélectronique soit accordée en Suisse pour des raisons militaires ou de prestige national. Il s'ensuit que l'industrie suisse supporte les frais de développement à elle seule et, de ce fait, elle doit se limiter à quelques axes de développement bien choisis. C'est pour réunir des éléments d'appréciation concernant ce choix que nous nous pencherons, dans la section suivante, sur les technologies spécifiques de la microélectronique et, dans une certaine mesure, de toute la microtechnique.

3. LES TECHNOLOGIES MICROÉLECTRONIQUES ET MICROTECHNIQUES

Le premier transistor se composait d'un monocristal de germanium. Mais les chercheurs et ingénieurs, chargés du développement des circuits intégrés, réalisèrent rapidement que le silicium était mieux adapté à leurs exigences, car il résiste mieux aux effets de la température. Ainsi, la technologie des circuits intégrés est devenue presque exclusivement une technologie du silicium.

Pour faire un circuit intégré, un cristal de silicium doit avoir une concentration contrôlée d'impuretés. Derrière cette phrase banale se cachent des dizaines d'années de

développement de méthodes de purification des matières premières et de méthodes de fabrication de monocristaux sans défauts structuraux. Les résultats atteints sont impressionnants: sur 10 millions d'atomes de silicium, il y a un atome d'impureté seulement, et des défauts structuraux tels que lacune et atome interstitiel.

Aujourd'hui, des cristaux de silicium cylindriques de plus de 4 pouces de diamètre et pesant plusieurs dizaines de kilos sont devenus des produits courants, et l'intégration à très grande échelle pousse les producteurs vers les diamètres de 6 pouces. Les cristaux sont d'abord meulés à un diamètre précis et ensuite découpés en rondelles d'une épaisseur variant entre 0,5 à 1 mm. Ces disques rectifiés et polis sont enfin recouverts d'une couche d'oxyde et sont livrés aux producteurs de circuits intégrés dans cette forme.

La production de rondelles monocristallines de silicium est actuellement la spécialité de quelques grandes entreprises seulement. Elles satisfont aisément aux besoins du marché mondial, et il n'y a certes pas lieu à ce que l'industrie suisse participe directement à cette production. Par contre, comme les fabricants construisent normalement leurs propres chaînes de production, elle peut fournir des éléments d'équipement, comme des pompes à vide, des fours à induction, des appareils de mesure et de contrôle, des systèmes d'automatisation, etc. Evidemment, elle peut aussi fournir des machines pour le découpage et le polissage des cristaux. Le marché pour ces équipements est d'une certaine importance, car le développement de la microélectronique exige que le producteur de monocristaux renouvelle son parc de machines tous les cinq à sept ans.

Par ailleurs, il existe actuellement un besoin aigu d'une technologie bon marché du silicium polycristallin ou amorphe et qui permet la fabrication à bas prix de cellules solaires de grandes surfaces. Comme le montrent les premiers efforts entrepris à l'étranger, une telle technologie sera suffisamment différente de celle du silicium cristallin pour laisser leur chance aux non-initiés: l'industrie suisse aurait peut-être intérêt à participer à ce développement.

Les technologies du silicium — cristallin ou non — sont du domaine de la science des matériaux, science qui est en pleine évolution dans tous les pays industrialisés. L'actuelle mise en train d'un programme national de recherche sur les matériaux par le Fonds National Suisse est donc bienvenue. Les contacts pris à cette occasion entre industrie et universités ont mis en évidence l'existence dans nos laboratoires d'équipes d'ingénieurs, de chimistes et de physiciens très à l'aise dans les disciplines de la science des matériaux. Ils disposent d'un équipement moderne et représentent un potentiel puissant et efficace en recherche et en développement. Mentionnons quelques projets qui touchent aux problèmes de la microtechnique et qui sont actuellement poursuivis par ces équipes. Ce sont entre autres les développements de:

- nouveaux matériaux optoélectroniques (affichages digitaux à cristaux liquides ou à matériaux électroniques);
- nouveaux aimants permanents (affichages analogiques, moteurs pas à pas, actuateurs);
- câbles à fibres optiques pour lignes de communications optiques;
- matériaux supraconducteurs pour courants élevés;
- matériaux semiconducteurs pour cellules solaires, capteurs optiques, etc.;
- nouveaux polymères photosensibles pour la photolithographie et la lithographie à faisceaux électroniques.

Bien qu'incomplète, la liste de ces activités montre bien l'importance que l'industrie suisse attache à la science des matériaux, et plus particulièrement à l'élaboration de nouveaux matériaux susceptibles d'apporter de nouvelles solutions aux problèmes de la microtechnique.

Mais revenons, après cette brève incursion dans la recherche des matériaux, à nos rondelles de silicium. La fabrication de circuits intégrés demande la diffusion ou l'implantation répétée de quantités contrôlées d'impuretés dans des régions spécifiques de la rondelle, suivie de la déposition de connections électriques entre ces régions. L'ensemble de ces procédés est connu sous le nom de «technologie planar»^{4, 5}. Chaque rondelle peut comporter plusieurs centaines de circuits et chaque circuit plusieurs milliers de régions diffusées — elles deviendront les éléments du circuit — et de connections électriques entre elles. Régions diffusées et connections doivent donc être définies avec une précision extrême qui est réalisée grâce à la méthode dite photolithographie⁵.

Le processus photolithographique commence avec la déposition sur la surface oxydée de la rondelle d'un film de polymère photosensible — le «photoresist». Ce film est ensuite exposé à une source de lumière ultra-violette à travers un masque comportant des régions claires de la forme exacte des régions à diffuser. Par l'action de la lumière, les endroits exposés du film sont rendus solubles à un «révélateur», de sorte qu'après «révélation», le film porte une image positive du masque, où la couche d'oxyde de la rondelle est découverte. Un second processus de révélation, une attaque chimique cette fois, enlève l'oxyde des régions découvertes et, après l'élimination du photoresist non développé, la rondelle porte la réplique du masque inscrit dans sa couche d'oxyde. Les fenêtres ainsi pratiquées dans l'oxyde permettent la diffusion d'impuretés dans le silicium. Cette procédure est répétée autant de fois que les structures électroniques désirées (transistors, capacités, résistances) l'exigent. Pour lier électriquement ces éléments les uns aux autres, une couche métallique est évaporée sur toute la plaquette; le métal ainsi déposé est ensuite enlevé sélectivement par une dernière opération de photolithographie partout, sauf aux endroits où l'on veut établir une liaison électrique.

Le processus photolithographique fait appel à plusieurs opérations de haute précision. A partir de l'arrangement prévu des éléments de circuit sur la puce de silicium, c'est-à-dire à partir du «lay-out», des «réticules» sont produits sur plaques photographiques, comportant à l'échelle 10:1 les structures nécessaires à une opération photolithographique particulière. Il y a quelques années, ces réticules étaient obtenus par réduction photographique de dessins effectués sur table coordinatographe à l'échelle 200:1. Aujourd'hui, le lay-out d'un circuit intégré est normalement obtenu à l'aide d'un ordinateur qui, simultanément, analyse les structures électriques prévues en termes des opérations photolithographiques nécessaires à leur réalisation. Ainsi, l'ordinateur fournit l'information nécessaire à l'élaboration d'un réticule à un équipement optique; ce dernier consiste essentiellement en un rayon lumineux modulable par l'ordinateur et qui, en balayant une plaque photographique, y inscrit le dessin du masque désiré.

L'image réduite (1:10) du réticule est alors projetée sur une couche de chrome déposée sur un substrat de verre et recouvert d'un film de photoresist. Un processus appelé «step and repeat» permet de déplacer l'image réduite du réticule sur le film de photoresist par pas successifs, de sorte qu'une matrice régulière comportant des centaines d'images latentes du réticule y est formée. Après révélation du photoresist et après une attaque

chimique du chrome aux endroits dénudés du photoresist, on obtient finalement le masque correspondant à une opération photolithographique particulière.

Pour fabriquer un circuit intégré, il faut jusqu'à 10 opérations successives photolithographiques, chacune nécessitant son propre masque. Elles sont toutes suivies d'une diffusion ou d'une implantation d'impuretés, après laquelle le masque correspondant à l'opération suivante doit être exactement aligné sur les structures qui se trouvent déjà sur la rondelle. Tout comme les masques eux-mêmes, l'alignement n'admet qu'une tolérance de moins d'un micromètre, et cette exigence de précision des procédés de fabrication des circuits intégrés va croissant avec le niveau d'intégration.

En utilisant des techniques similaires à celles expérimentées dans les microscopes électroniques à balayage, on peut aujourd'hui déjà supprimer les réticules et leur reproduction par le procédé «step and repeat»: avec un faisceau électronique contrôlé par ordinateur, on dessine les structures voulues directement sur le film de photoresist recouvrant le futur masque. Comme le faisceau électronique permet une résolution beaucoup plus grande que la lumière ultra-violette, les masques ainsi produits sont beaucoup plus fins que les masques «classiques».

De toute évidence, il serait intéressant de supprimer complètement les masques et de dessiner les structures directement sur les rondelles de silicium à l'aide d'un faisceau électronique. Mais une telle lithographie à faisceau électronique implique une exposition point par point de la couche de photoresist et nécessite un temps beaucoup plus long (des heures pour des structures d'une résolution de $0,1 \mu$) que la photolithographie où toute la rondelle est exposée en une seule fois. Néanmoins, des progrès rapides sont faits dans ce domaine, comme dans le domaine de la photolithographie à rayons X qui permet, elle aussi, une très haute résolution. De ces progrès, ainsi que du développement de nouveaux matériaux photoresist de sensibilité accrue et répondant aux exigences de la haute résolution, dépendra le succès de la nouvelle étape vers une intégration encore plus forte: on s'apprête à réunir 1 million de fonctions dans un seul circuit intégré — sur une seule puce — à partir de 1980!

Ce bref exposé des technologies microélectroniques peut suffire, malgré ses limites, à tirer certaines conclusions sur les perspectives s'ouvrant à notre industrie au travers du développement de la microélectronique en particulier, et de la microtechnique en général. Ces conclusions forment le sujet de la section suivante.

4. LES PERSPECTIVES QUI S'OUVRENT A NOTRE INDUSTRIE

La précision et le soin exigés par les procédés de fabrication des circuits intégrés conviendraient évidemment très bien aux standards de perfection de notre industrie. Malgré cela, la production de circuits intégrés est restée à un niveau très modeste en Suisse, et il en va de même de la fabrication des machines et des instruments de précision exigés pour cette production. La raison principale de cette situation est la faible ampleur du marché interne suisse pour des composants microélectroniques. Une population limitée et l'absence des grandes sommes libérées dans d'autres pays pour des motifs de prestige national et de puissance militaire, font que ce marché reste très limité et ne justifie pas l'installation en Suisse de capacités de production importantes. En effet, sans grand

marché interne, il paraît difficile de rester compétitif sur le marché mondial avec un produit de masse tels que les circuits intégrés. Une grande entreprise suisse en fait l'expérience actuellement avec cet autre produit de masse du domaine de la microtechnique qu'est l'affichage digital à cristaux liquides: malgré l'excellente qualité et l'originalité du produit, et malgré sa protection par brevet, l'entreprise est forcée de déplacer une bonne partie de sa production à l'étranger.

Il semble donc que, face au défi microélectronique, l'industrie suisse ne devrait pas tenter d'augmenter sa capacité de production de circuits intégrés à tout prix, et cela en face d'une concurrence internationale toujours plus poussée. D'autre part, on peut s'attendre, à l'avenir, à une certaine stabilisation du marché⁶ des composants jusqu'ici en pleine expansion, tandis que l'incidence du support logiciel pour l'utilisation des microprocesseurs deviendra de plus en plus importante. *Le produit à vendre ne devrait donc pas être le circuit intégré lui-même, mais plutôt le circuit incorporé dans un instrument, une montre, un appareil ou une machine.* De plus en plus, notre industrie de machines mécaniques et électriques devrait produire des machines où les systèmes de réglage et de commande utilisent le microprocesseur et le circuit intégré. Tout comme dans l'horlogerie, pareil développement devrait se faire jour dans l'industrie des appareils et des instruments. Nos fabricants d'équipements de communication devraient provoquer la substitution complète des systèmes électromécaniques, encore en usage aujourd'hui, par des systèmes microélectroniques, voire optoélectroniques. Il résulterait de tels changements des demandes très diverses pour nombre d'applications spécifiques. Même si le nombre de circuits intégrés ou de microprocesseurs par application reste limité, le tout présenterait un marché intéressant pour un producteur de composants qui peut adapter sa production aux besoins spéciaux.

Pour atteindre la flexibilité de la production prônée ici, il faut payer un prix. Il faut notamment:

- rester à la pointe du développement technique en suivant de près la création des nouvelles technologies, en les adaptant à nos besoins et en y contribuant avec des développements originaux admettant la flexibilité voulue;
- créer les capacités de recherche des matériaux nécessaires au développement de nouveaux dispositifs à semiconducteurs;
- réunir les compétences nécessaires à la conception de nouveaux dispositifs microélectroniques et
- former le personnel technique et scientifique pour accomplir ces tâches.

De toute évidence, ce prix est trop élevé pour être payé par une seule entreprise ou même par l'industrie tout entière. C'est pourquoi les milieux industriels intéressés, par l'intermédiaire de leurs laboratoires communautaires (Centre électronique horloger, Laboratoire suisse de recherche horlogère), et les milieux politiques, par l'intermédiaire de l'Université de Neuchâtel et les deux Ecoles polytechniques fédérales, ont pris l'initiative de créer la *Fondation suisse pour la recherche en microtechnique*. Tout en répondant aux exigences énoncées ci-dessus, la Fondation a un but plus large couvrant non seulement la microélectronique, mais la *microtechnique* tout entière. Citons quelques-uns de ses statuts:

« Article 3 »

« Dans le domaine de la microtechnique, et notamment de la microélectronique, la fondation a pour but :

- de rechercher de nouvelles technologies ;
- de diffuser et, au besoin, d'adapter les technologies inventées ou développées ailleurs ;
- de promouvoir l'emploi de la microtechnique dans l'industrie.

A cette fin, ... »

« Article 4 »

« La fondation concentre à Neuchâtel la recherche en microélectronique de nature technologique, nécessitant des équipements lourds.

Elle favorise, au surplus, la coordination des recherches inhérentes à *tous les autres domaines de la microtechnique.* »

« Article 5 »

« La fondation a notamment pour tâches :

- a) de réaliser un plan général de recherche qui serve aux besoins du pays et à l'avancement de la science ;
- b) de créer un centre d'information ;
- c) de contribuer à la formation du personnel scientifique et technique nécessaire ;
- d) de promouvoir une collaboration efficace des chercheurs dans les domaines d'activité de la fondation ;
- e) de réunir les moyens financiers nécessaires à la réalisation des buts de la fondation (investissement et frais d'exploitation) et de les utiliser de manière rationnelle.

La fondation se préoccupe, au surplus, de la formation universitaire des ingénieurs en microtechnique, assumée par l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, en collaboration avec l'Université de Neuchâtel. »

Ces articles montrent bien que, si la recherche en microélectronique prend une place centrale parmi les buts de la fondation, les autres branches de la microtechnique ne sont pas négligées pour autant. Ainsi, au vu des compétences réunies dans les laboratoires participants, les domaines de recherche suivants pourront être pris en considération dans les futurs travaux de la fondation :

- Matériaux spécifiques pour une utilisation
 - a) en micromécanique ;
 - b) dans les milieux biologiques et
 - c) dans les environnements « hostiles ».
- Revêtements de surfaces en vue de réduire
 - a) l'usure et
 - b) la corrosion

- Sources et détecteurs optiques tels que
 - a) lasers et détecteurs à semiconducteurs pour lignes de transmission à fibres optiques;
 - b) sources incohérentes et affichages;
 - c) cellules photoélectriques.
- Capteurs et actionneurs, comportant le développement
 - a) de capteurs miniaturisés,
 - b) de systèmes modulaires capteurs—microprocesseurs—actionneurs et
 - c) de logiciels adaptés.
- Optique appliquée avec l'élaboration
 - a) de techniques de mesure de précision par interférométrie et holographie,
 - b) de techniques de traitement des images et
 - c) de systèmes de télécommunications par fibres optiques.

Parmi les technologies et techniques résultant de la recherche et du développement dans les domaines précités, il y a celles qui permettraient de contribuer au marché de l'outillage et de l'instrumentation à l'intention des fabricants de dispositifs microélectroniques. On pourrait donc, en principe, remédier à la faible participation mentionnée plus haut de l'industrie suisse à ce marché. Mais une telle entreprise nous paraît peu profitable. En effet, les procédés inhérents à la fabrication de circuits intégrés sont très délicats et se modifient au rythme rapide du développement technologique. Les fournisseurs d'instruments et de machines-outils pour la microélectronique doivent, de ce fait, rester en contact étroit avec les producteurs de circuits. Seul ce contact leur permet d'adapter leurs produits à l'évolution des besoins, et on comprend facilement pourquoi fournisseurs et producteurs doivent vivre côte-à-côte, l'exemple type de cette symbiose étant le «Siliconvalley» en Californie.

Ainsi, l'industrie suisse ne peut que rester très marginalement active dans ce domaine, en produisant des équipements dont la spécialisation n'est pas très poussée: microscopes de montage, micromanipulateurs, machines pour façonnage de cristaux (scies, polisseuses), fours et systèmes de réglage de température, systèmes de transport pour petites pièces, machines d'emballage, etc.

Mais l'encouragement de la microtechnique par la Fondation et son développement dans notre industrie va permettre à celle-ci d'élaborer le produit qui nous paraît le plus à même de donner un nouvel essor à notre économie: *la machine, l'appareil, l'instrument incorporant le microprocesseur*. Aujourd'hui, les possibilités offertes à l'industrie des machines et des instruments par le microprocesseur ne sont que très partiellement exploitées. Ce sont surtout les interfaces homme \longleftrightarrow microprocesseur, machine \longleftrightarrow microprocesseur et environnement \longleftrightarrow microprocesseur qui font défaut. Il manque des capteurs et des senseurs qui mesurent toute sorte de paramètres physiques, chimiques et biologiques, et qui les traduisent en signaux électriques lisibles par un microprocesseur; il manque des affichages de tout genre, il manque des actionneurs compatibles avec les microprocesseurs, et qui permettent de fermer les boucles de réglage dans les systèmes de contrôle et d'automatisation; il manque les matériaux de propriétés physiques et chimiques spéciales, qui rendent possible la réalisation de nouveaux senseurs, actionneurs et affichages. Si l'industrie suisse arrive à combler l'une ou l'autre de ces lacunes par des produits judicieusement choisis, elle trouvera un marché qui ira croissant pendant de

longues années encore. Si, au surplus, elle réussit à fabriquer ses propres microprocesseurs avec la technologie adaptable dont nous nous sommes fait l'avocat, et si, finalement, elle parvient à promouvoir en son sein l'emploi généralisé de la microtechnique, elle deviendra la bénéficiaire de la synergie qui résulte du développement simultané des différentes branches de la microtechnique. Pour mûrir le fruit de la synergie, il est cependant nécessaire qu'un effort plus important que dans le passé soit fourni pour établir la coordination et la coopération entre différentes entreprises et entre l'industrie et les laboratoires de nos hautes écoles. En encourageant et en appuyant cet effort, la Fondation suisse pour la recherche en microtechnique assumera pleinement son rôle et contribuera à ouvrir de nouvelles perspectives à notre économie.

¹ R. N. Noyce, *Scientific American* 237 (3), 63 (1977) et tout le volume 237 de ce journal.

² H. Melchior, *Physics Today* 30 (11), 32, 1977.

³ Volume 29 (5), 1976, *Physics Today*.

⁴ M. Fogiel, *Modern Electronics*, Research and Education Assoc., New York, 1972.

⁵ E. I. Gordon et D. R. Herriot, *IEEE Trans. Electron Devices*, 22 (7), 371, 1975.

⁶ M. Ilegems, *La microélectronique: développement technologique*. Journées électroniques EPFL, 1978, p. 103.