

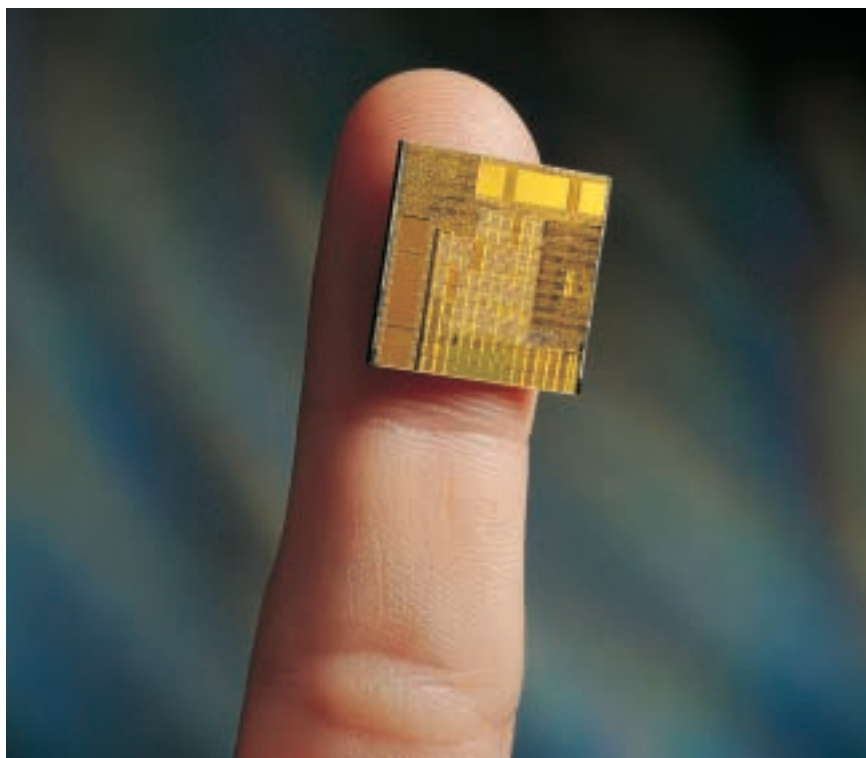
son bruit. Tous deux correspondaient à des limites ; leur échec relatif démontra que la technique ne pouvait pas offrir, de façon réaliste, plus de capacité de transport ou de vitesse. Néanmoins, l'aéronautique n'a pas... décroché. Elle est entrée dans une deuxième phase, les constructeurs mettant au point des avions plus petits, mais variés, adaptés à des marchés plus spécifiques. Les ingénieurs ont surtout cherché des avions qui consomment moins et dont le confort est accru.

Dans l'industrie ferroviaire, l'évolution fut analogue. Du XIX^e siècle jusqu'au milieu des années 1970, les ingénieurs ont continuellement augmenté la puissance des locomotives, afin de réduire les coûts du transport de marchandises. Le coût des locomotives était important, mais il augmentait moins vite que la puissance de traction. Finalement le coût de mise au point des locomotives a tant augmenté que les constructeurs et les exploitants se sont groupés. La plus grande compagnie ferroviaire américaine de l'époque, l'Union ferroviaire du Pacifique, s'est associée à la division ferroviaire de la *General Motors*, afin de construire la locomotive *EMD DD-40*, un monstre énorme qui ne put être utilisé qu'à transporter des marchandises à travers les États-Unis. Cette faillite a conduit l'industrie ferroviaire à la réutilisation d'engins plus petits et plus flexibles.

Aujourd'hui, la micro-électronique est dans une situation analogue à celle des compagnies ferroviaires américaines juste avant la locomotive *EMD DD-40*. La construction des fonderies de puces des générations futures est si coûteuse que les industriels ont commencé à s'associer en différents groupes, chacun attaquant, par sa propre méthode, l'immense problème posé par la fabrication rentable de ces puces denses.

Des grandes usines, mais peu de choix

L'histoire de l'industrie automobile est également riche en enseignements. Dans les années 1920, Henry Ford a construit une série d'usines dont chacune avait un meilleur rendement que les précédentes. L'aboutissement fut l'immense usine de Rouge, d'où les premiers exemplaires du *Modèle A* sortirent en 1928. Cette installation par-



5. LE MICROPROCESSEUR Power PC 620 de la Société Motorola contient sept millions de transistors. Abrité par un boîtier en céramique, il sera utilisé principalement par les stations de travail et les serveurs de fichiers.

tait du minerai de fer, fondait la plupart des pièces nécessaires aux automobiles et assemblait ces dernières. Cependant l'industrie automobile avait déjà évolué, et les efforts de Ford pour diminuer le prix de revient en construisant des usines plus grandes et plus rentables se faisaient aux dépens de la variété des produits : ses adversaires se moquaient de lui, disant que les clients pouvaient choisir une voiture de n'importe quelle couleur, pourvu qu'elle soit noire.

L'industrie automobile évolua notamment parce qu'elle voulut proposer plus de confort, un plus grand nombre d'options et de modèles. Quand la Société *General Motors* comprit que le rendement n'augmentait plus avec la taille des usines et que les grandes usines étaient surtout utiles pour la fabrication d'un seul produit à un grand nombre d'exemplaires, elle sépara sa société en divisions aux marchés bien définis, desservies par des usines spécialisées. Le plus grand choix de modèles qui en résulta eut les faveurs du public américain et, bientôt, la part de marché de *General Motors* s'accrut aux dépens de celle de *Ford*.

Le même phénomène se retrouve aujourd'hui en micro-électronique.

Alors qu'au début des années 1980 la Société *Intel* proposait trois versions de son microprocesseur *8086* et deux versions de son *8088*, elle propose aujourd'hui plus de 30 variantes du microprocesseur *486*. Les puces mémoires se diversifient également : le nombre de configurations DRAM de quatre mégabits proposées par la Société *Toshiba* est 15 fois supérieur à celui des DRAM de 64 kilobits en 1984.

Les industries, du chemin de fer à la micro-électronique, ont en commun une phase initiale, dominée par des efforts pour améliorer les rendements et diminuer les prix de revient. Dans le cas des trois industries de transport, qui sont beaucoup plus évoluées, la deuxième phase a été caractérisée par le perfectionnement et la diversification des produits ; la micro-électronique semble atteindre ce stade. L'effort technique des entreprises se déplace de la diminution des coûts de fabrication vers l'amélioration des gammes de produits. Notons que toutes ces industries ont continué à prospérer, malgré l'augmentation des coûts de fabrication.

L'industrie micro-électronique arrivera bientôt à un palier. Le rythme de la miniaturisation ralentira, tandis que

les coûts de fabrication grimperont en flèche. Comme l'indique l'histoire des industries aéronautique, ferroviaire et automobile, l'industrie micro-électronique pourrait s'épanouir à la rencontre de barrières économiques et techniques sans précédent et, dans une large mesure, infranchissables : dans une industrie arrivée à maturité, la croissance proviendra à coup sûr des produits perfectionnés dans des gammes plus diversifiées.

Le stockage de l'information continuera de progresser. Un ralentissement de la miniaturisation des composants pourrait avoir des avantages inattendus, en permettant notamment l'assimilation des progrès par des développements en matière d'architecture des ordinateurs ou de programmation. Même dans l'industrie micro-électronique, la maturité peut être un atout merveilleux.

Jerry HUTCHESON a créé en 1976 la Société *VLSI Research*, que son fils, Dan HUTCHESON, a rejointe en 1979. Ce dernier fait partie du Conseil des applications de l'Université de Berkeley.

Laurent BENZONI, *Le rythme de l'innovation : l'anomalie de l'industrie des circuits intégrés*, Communication et Stratégies-IDATE, 1991.

Jean-Philippe DAUVIN, *Les semi-conducteurs*, Collection Cyclope, Éditions Economica, Paris, 1992.

Jerry D. HUTCHESON et G. Dan HUTCHESON, *Is Semiconductor Manufacturing Equipment Still Affordable ?*, in *Proceedings of the 1993 International Symposium on Semiconductor Manufacturing*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, septembre 1993.

SIA 1994 National Technology Roadmap for Semiconductors, Semiconductor Industry Association, 1994.

Gordon E. MOORE, *Lithography and the Future of Moore's Law*, in *SPIE Proceedings on Electron-Beam, X-Ray, EUV, and Ion Beam Lithographies for Manufacturing*, vol. 2437, février 1995.

Gary STIX, *Toward Point One*, in *Scientific American*, vol. 272, n° 2, pp. 90-95, février 1995.

Donald A. HICKS et Steven BROWN, *Affordability Concerns in Advanced Semiconductor Manufacturing : The Nature of Industrial Linkage*, in *Proceedings of the 1995 International Symposium on Semiconductor Manufacturing*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, septembre 1995.