

NOTE DE PRESSE

MICROÉLECTRONIQUE ET NANOTECHNOLOGIES : UNE CHANCE À SAISIR

La microélectronique : une révolution tranquille mais décisive

Depuis 1960, la taille des composants a été réduite d'un facteur dix mille¹ et leur prix s'est effondré (le prix d'un gigabits de mémoire était de 75 000 € en 1970, il est aujourd'hui de 5 centimes d'euro²).

Cette avancée scientifique et technologique a été à la source d'une **révolution tranquille mais décisive** qui a porté une grande part de la croissance de l'économie mondiale.

La microélectronique est devenue un secteur central de l'économie :

- elle est **omniprésente dans notre vie quotidienne**, ce dont témoigne la multiplicité de produits qui ont créé autant d'usages nouveaux (ordinateurs, radios-réveils, téléphones portables, magnétoscopes, lecteurs DVD, etc.) ;

- elle **contribue** fortement au **développement durable dans le domaine vital des économies d'énergie** grâce à l'électronique de puissance dont les progrès ont permis de répondre à la croissance de la consommation alors que celle de la production est inférieure de moitié à celle-ci ;

- **son poids est croissant dans le PNB mondial** : en 2000, 200 milliards d'euros de chiffre d'affaires de la microélectronique ont généré 1 000 milliards d'euros de chiffre d'affaires dans les industries électriques et 5 000 milliards d'euros de chiffre d'affaires dans les services (sur un PNB mondial de 28 000 milliards d'euros).

¹ Actuellement 9 nanomètre (soit 9 milliardièmes de mètre) en laboratoire et entre 130 et 90 nanomètres en milieu industriel.

² C'est comme si on avait réussi à intégrer les fonctionnalités du paquebot France dans sa réplique de collection de poche, pour le même prix.

La place de cette industrie est encore appelée à s'accroître :

- du fait de la « **pervasion croissante du silicium** » qui conduit les objets quotidiens à incorporer de plus en plus de microélectronique (il y a vingt ans, la valeur d'un ordinateur n'incorporait que 15 % de semi-conducteurs, aujourd'hui 40 % ; actuellement, ce pourcentage atteint près de 40 % dans les automobiles de luxe),

- **grâce aux microsystèmes**, c'est-à-dire au couplage de la microélectronique avec des capteurs (thermiques, magnétiques, biologiques, chimiques, etc) et des transpondeurs,

- en raison de **la montée progressive des nanotechnologies qui irrigueront notre quotidien d'ici dix à quinze ans.**

*

* *

La microélectronique et les nanotechnologies constitueront donc un secteur vital pour l'avenir économique de notre pays, et donc **une chance à saisir.**

Mais cette industrie est soumise à **un double défi, technologique et économique.**

I. UN DOUBLE DÉFI TECHNOLOGIQUE ET ÉCONOMIQUE

A. LES PERSPECTIVES SCIENTIFIQUES DES QUINZE PROCHAINES ANNÉES : VERTIGE ET RÉALITÉ

1. La miniaturisation des composants se poursuivra au rythme prévu par la loi de Moore¹

➤ *Cette miniaturisation est-elle toujours aussi utile ?*

Est-il nécessaire de fabriquer des composants de plus en plus petits et de plus en plus puissants ?

Les spécialistes considèrent que la tendance à la miniaturisation est inéluctable.

Les traitements numériques de l'image et du son exigent de plus en plus de puissance de calcul et les futurs processeurs permettront le dialogue homme-machine et machine-machine, modifiant radicalement notre environnement et nos usages.

➤ *La miniaturisation est-elle possible ?*

L'objectif est, d'ici dix à quinze ans, de produire industriellement des transistors de 20 nm de section (**10 milliards sur une puce, soit l'équivalent d'un cheveu sur un terrain de football**) pour atteindre une vitesse d'horloge de 100 GHz, contre 2 GHz actuellement (c'est-à-dire capables de traiter **100 milliards d'opérations par seconde**).

Mais, en-deçà de 50 nm, on se heurte à des **phénomènes quantiques** – qui ne sont pas encore contrôlés scientifiquement et encore moins industriellement.

Les difficultés identifiées sont aujourd'hui insurmontables :

- à partir de 50 nm, la couche d'isolant sur le silicium ne contient plus que **3 à 4 atomes, ce qui est insuffisant pour assurer la conduction du courant** ;

¹ Selon laquelle la puissance des composants double tous les dix-huit mois.

- plus la taille des interconnexions qui relient les transistors entre eux diminue, plus leur vitesse et leur fiabilité de transmission décroissent ;

- **plus la vitesse d'horloge augmente, plus la chaleur augmente.** Sur une puce commutant plusieurs dizaines de milliards de fois par seconde, **cet effet thermique volatiliserait le silicium ;**

- les difficultés de la conception assistée par ordinateur (la prémodélisation des composants qui consiste à prévoir l'architecture des boîtiers et des fluides de microprocesseurs 10 000 000 de fois plus petits que la ville de Paris) s'accroissent plus que proportionnellement à la taille des transistors.

Les efforts scientifiques et technologiques actuellement développés permettront progressivement de surmonter l'ensemble de ces obstacles, en particulier avec l'utilisation progressive des nanotechnologies.

2. Microsystèmes et nanotechnologies : une nouvelle révolution numérique

Au-delà des usages actuels, les progrès technologiques ouvrent de nouvelles perspectives et de nouveaux marchés.

➤ *Les microsystèmes*

Dérivés de la microélectronique, les microsystèmes sont en plein développement et représentent dès à présent un marché mondial de plusieurs dizaines de milliards d'euros. Ils sont très présents dans plusieurs industries (automobile, espace, télécommunications, aéronautique, médecine, agroalimentaire).

➤ *Les nanotechnologies*

En complément de la miniaturisation de la microélectronique, les nanotechnologies regroupent des procédés fondés sur l'auto-organisation de la matière à l'échelle atomique.

Mais les futurs nanosystèmes seront très différents des microsystèmes :

- **l'horizon de temps** n'est pas le même : les microsystèmes sont actuellement disponibles, les nanosystèmes ne seront pas sur le marché avant dix à quinze ans,

• le **changement d'échelle**, de l'ordre d'un facteur 100, offre des possibilités d'applications économiques et sociales beaucoup plus importantes,

On peut, sans crainte, affirmer que les nanosystèmes vont irriguer le tissu industriel. Certains de leurs domaines d'application sont, dès à présent, connus :

- **les nanosystèmes dédiés à la santé et à la compensation des handicaps liés au vieillissement de la population** (techniques de diagnostic *in vivo* et systèmes d'alertes liés, thérapies cellulaires ciblées, domotique reposant sur des annonces vocales pour les personnes âgées) ;

- **les nanosystèmes dédiés au développement durable :**

Ils permettront la mise au point des processus industriels beaucoup plus économes (pour caricaturer, éviter d'abattre un arbre pour fabriquer un cure-dent).

Mais des applications plus spécifiques sont envisageables :

- **les télévisions à laser, qui permettront d'économiser 5 % de la consommation électrique d'un pays ;**
- **l'amélioration de 30 à 40 % de l'efficacité des piles photovoltaïques est envisageable;**

- **les nanosystèmes dédiés à la sécurité**, comme par exemple les réseaux de nanocapteurs pour la sécurité des aéroports ou des zones militaires ou encore les systèmes de détection du gaz par des nanotubes de carbone.

B. LES INTERROGATIONS ÉCONOMIQUES

Au-delà des prouesses technologiques, des interrogations économiques se posent.

1. La croissance exponentielle des coûts de recherche-développement et de production

➤ *Les coûts de recherche-développement*

La microélectronique a réussi 7 sauts technologiques majeurs en 30 ans (rappelons que les transports n'en ont accompli que 3 – le train, l'auto, l'avion – en un siècle), mais **au prix d'investissements en recherche et en développement considérables, bien supérieurs à ceux du programme Apollo.**

Ces coûts atteignent aujourd'hui 15 % des chiffres d'affaires du secteur (de 22 à 30 milliards d'euros), et au fur et à mesure que la miniaturisation progresse la pente se raidit. Ainsi, **en quinze ans, les investissements en recherche et développement des trois principaux producteurs européens ont été multipliés par dix.**

➤ *Les coûts de production*

Pour fabriquer un disque de 300 mm sur lequel sont imprimés près de deux milliards de transistors sur 250 microprocesseurs, **700 opérations différentes sont nécessaires**, les tolérances de planité sont de l'ordre d'un Angström (10^{-10} m), les taux d'impureté admissibles sont de l'ordre du milliardième.

Les charges de production de l'infiniment petit augmentent avec la réduction de la taille des composants : **les coûts des équipements sont à l'échelle des défis technologiques qu'ils sont destinés à surmonter.**

Une fabrique de disques de 200 mm coûtait 1,5 milliard de \$ en 2000. En 2003, pour des disques de 300 mm, le coût correspondant est de 2,5 milliards de \$, et en 2010, pour des unités de 450 mm, il sera de l'ordre de 6 milliards de \$. **Soit, dans ce dernier cas, le coût de quatre centrales nucléaires.**

2. Le goulet d'étranglement de la formation

La baisse des vocations scientifiques dans les grandes nations occidentales est très préoccupante pour le secteur car la microélectronique a de plus en plus besoin de chercheurs et d'ingénieurs formés à cette discipline.

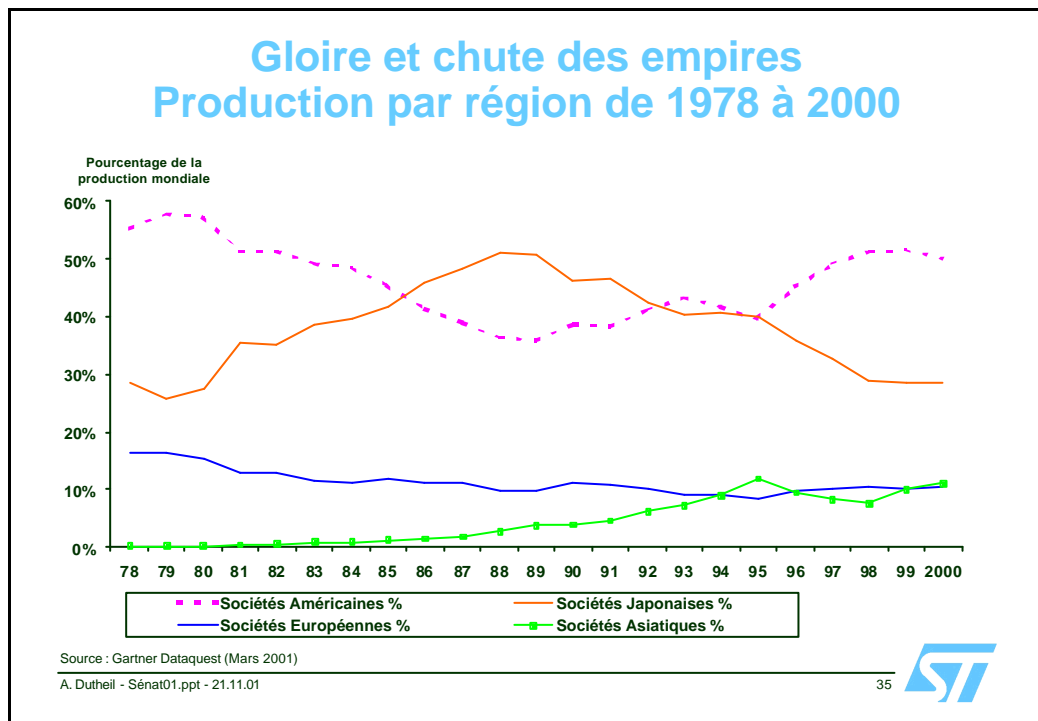
3. Une industrie aux hiérarchies volatiles et en phase de concentration

Depuis deux ans, la microélectronique a subi de plein fouet la crise des nouvelles technologies, ce qui renforce la volatilité des hiérarchies et pousse à la concentration.

➤ *La volatilité des hiérarchies*

Lorsque l'on examine sur une longue période l'évolution du secteur, on s'aperçoit qu'aucune situation n'est acquise.

- Par grandes régions géographiques

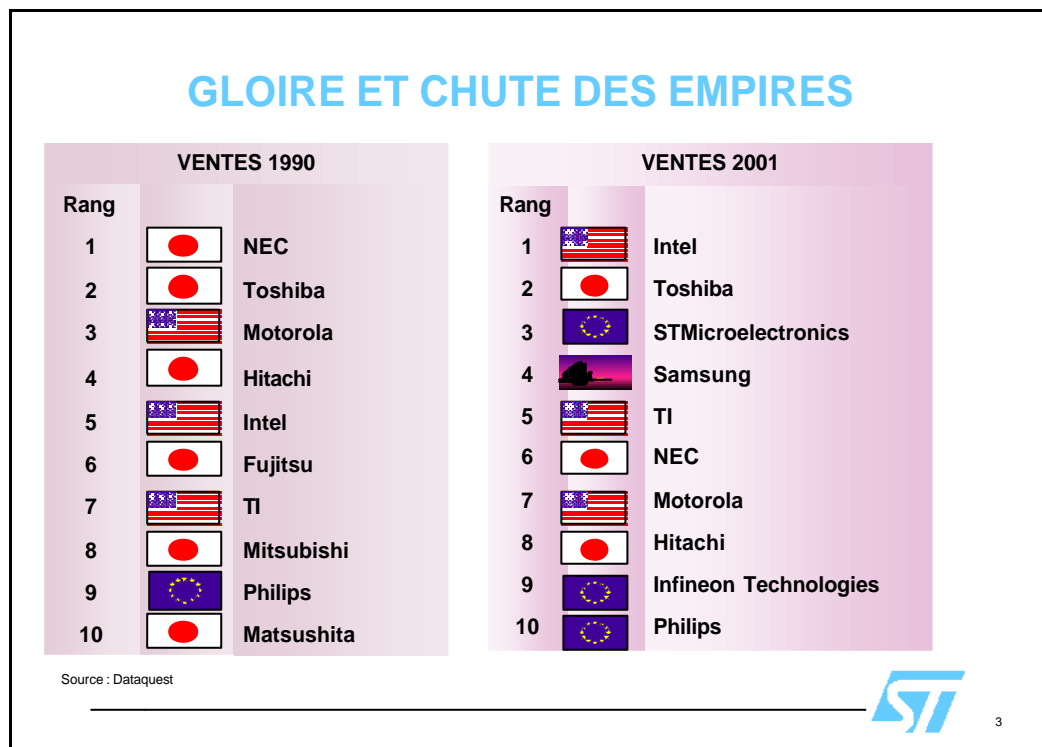


Ainsi, les États-Unis, qui assuraient 55 % de la production mondiale en 1978, n'en fournissaient plus que 37 % dix ans plus tard, pour recouvrer aujourd'hui une grande partie de leur position perdue.

A l'opposé, le Japon assurait 30 % de cette production en 1978, 50 % dix ans plus tard, et moins de 30 % en 2000.

- Par entreprises

Les fluctuations de situation entre les grandes zones géographiques sont doublées d'allées et venues du même ordre entre entreprises :



Au total, dans un marché largement dominé par Intel, dont le chiffre d'affaires en 2001 (25 milliards de \$) est à peine inférieur à celui des quatre sociétés suivantes, les **trois sociétés européennes occupent un rang plus qu'honorable** (le franco-italien STMicroelectronics est 3e, l'allemand Infineon 9e et le néerlandais Philips 10e).

A elles seules, **ces sociétés européennes détiennent 10 % du marché mondial.**

Encore doit-on souligner que ces **sociétés occupent des positions significatives dans des secteurs à forte croissance potentielle** (téléphonie mobile, cartes à puces, décodeurs, applications industrielles automobiles, etc.).

➤ *La poussée à la concentration*

La concentration est le fait dominant. Elle va se poursuivre. Elle s'explique par la crise, mais surtout par la montée des coûts de recherche, de développement et de production. Aujourd'hui, seuls les cinq premiers producteurs mondiaux possèdent la surface financière nécessaire à la construction d'un centre de production de disques de 300 mm.

A l'exception d'Intel, qui a seul une masse critique suffisante, les principaux producteurs mondiaux regroupent leurs activités de recherche et de production (comme STMicroelectronics, Philips et Motorola le font sur le pôle de Crolles – en liaison avec le CEA-LETI à Grenoble). **Le secteur est ainsi constitué d'oligopoles de fait de moins en moins nombreux.**

II. LE RETARD FRANÇAIS ET EUROPÉEN DANS LA COMPÉTITION MONDIALE

A. LE VOLONTARISME D'ÉTAT DES CONCURRENTS

Les pays qui tiennent les discours les plus libéraux sont ceux qui mènent les politiques publiques les plus volontaristes dans les secteurs stratégiques de la microélectronique et des nanotechnologies.

Depuis trois ou quatre ans, les soutiens américain et japonais à ces secteurs ont évolué :

- ils s'inscrivent dans des **stratégies lisibles à terme** qui privilégient certains domaines,
- ils sont devenus **beaucoup plus massifs**,
- ils s'efforcent de **renforcer les liens entre le développement technologique et l'aval industriel de la filière.**

1. Les Etats-Unis

➤ *Les politiques fédérales*

Le **département de la défense** a un budget de recherche de 56 milliards de \$ pour 2003, dont 2,7 milliards pour la DARPA, qui développe des recherches duales (à applications civiles directes) et consacre 1,3 milliard de \$ aux secteurs de la microélectronique avancée et aux nanotechnologies.

La **fondation nationale pour la science** (5 milliards de \$ de budget annuel) **dédie 220 millions de \$ par an** aux interfaces recherche fondamentale-développement technologique de base du secteur.

On mentionnera également, de façon non limitative, **d'autres programmes transversaux** à plusieurs départements ministériels et à plusieurs agences :

- l'« **initiative nanotechnologique** », dont le budget total est de **700 millions de \$** pour 2003,

- et le SBIR (soutien à la recherche dans les PME), qui mobilise **300 millions de \$** pour les applications microélectroniques.

Outre ces soutiens directs, les entreprises américaines bénéficient **d'un crédit d'impôt-recherche fédéral dont l'assiette est très large puisqu'elle porte sur 20 % des dépenses exposées au cours de l'exercice fiscal considéré.**

➤ *Les États*

Les grands États soutiennent massivement les filières de haute technologie. Par exemple :

- la Californie a créé un centre dédié aux nanotechnologies, doté de 300 millions de \$ sur quatre ans et ayant vocation à lever des fonds privés de l'ordre de 600 millions de dollars sur cette période ;

- **l'État de New York a constitué à Albany un centre de recherche et de formation en nanotechnologies dont le budget d'équipement est estimé à 1,5 milliard de \$ (dont la moitié de fonds publics).**

2. Le Japon

En 1988, les entreprises japonaises détenaient plus de la moitié du marché des composants, aujourd'hui à peine un quart.

Le Japon a mis en œuvre depuis 2001 une politique visant à redresser cette situation :

- création d'un « **Conseil pour la politique scientifique et technologique** » auprès du Premier ministre qui fixe les priorités dans le terme et arbitre entre les différents ministères,

- **allocation de fonds très importants : 240 milliards d'euros sur cinq ans** (dont 1,3 milliard d'euros par an pour la microélectronique et les nanotechnologies),

- renforcement des agences de moyens (comme le NEDO, installé auprès du ministère de l'économie), dans **le but de compenser une des faiblesses du Japon, la relative coupure entre l'université et l'industrie.**

3. Taïwan (Voir annotation M. Saunier)

Les pages 96 à 99 du rapport expliquent avec quels moyens massifs Taïwan a créé une industrie microélectronique de niveau mondial en partant de rien (constitution de parcs technologiques où les implantations sont gratuites, exemption quasi-permanente d'impôt sur les sociétés, crédit d'impôt-recherche surdimensionné).

B. LA TIMIDITÉ DES RÉPONSES DE LA FRANCE ET DE L'EUROPE

1. La politique allemande

Au-delà d'une architecture de gestion de la recherche assez complexe imputable à son système institutionnel fédéral, l'Allemagne se distingue par :

- une **allocation de moyens** à la microélectronique et aux nanotechnologies **relativement importante à l'échelle européenne** (153 millions d'euros en 2001),

- et une attention particulière portée aux applications industrielles, dont le support est le réseau des sociétés Fraunhofer (900 millions d'euros, 11 000 personnes, dont 6 instituts consacrés à la microélectronique).

2. Les politiques européennes

➤ *L'initiative Eurêka*

Le programme Eurêka-Medea+ fédère les entreprises et les centres de recherche européens et doit couvrir la période 2001-2008 avec des dotations annuelles des États de l'ordre de 500 millions d'euros par an.

Il se concentre, notamment, sur l'application de technologies-clés permettant de faire sauter certains verrous qui ralentissent le processus de miniaturisation des composants.

➤ *L'Union européenne*

• Le 6^e programme-cadre de développement et de recherche de l'Union européenne

Doté, sur la période 2002-2006 d'un budget de 17,5 milliards d'euros (dont 3,6 milliards d'euros pour les technologies de la société de l'information et 1,3 milliard d'euros pour les nanosciences et les nanotechnologies), il traduit la nécessité de créer **un espace européen de la recherche**, concentré sur **des pôles d'excellence** et **met en œuvre des programmes intégrés destinés à unir l'industrie et les laboratoires de recherche sur des objectifs prioritaires**.

Si son architecture est satisfaisante, des interrogations subsistent sur son application et, en particulier :

- sur la **définition des pôles d'excellence** qui doivent être peu nombreux pour conserver une masse critique à l'échelle mondiale ,

- sur les **masses financières des programmes intégrés** qui ne joueront pas un rôle fédérateur si les volumes financiers des grands projets sont insuffisants.

• **En revanche, le cadre concurrentiel européen n'apparaît plus adapté à la réalité du marché mondial :**

- **éligibilité trop restreinte des aides à la recherche,**

- **définition et application de règles de concurrence** qui n'ont plus de sens lorsque les principaux industriels européens coopèrent en matière de recherche et mettent en commun certaines de leurs lignes de production.

Les traités européens ne sont pas des pactes suicidaires.

Si la Commission européenne souhaite mettre en œuvre une politique industrielle, elle doit s'en donner les moyens.

3. Le dispositif français

Le dispositif français repose principalement :

- D'abord **sur un réseau de grandes centrales technologiques** installées sur 5 sites :

- CEA-LETI à Grenoble (centrale également liée au pôle Minatec en voie de constitution),
- Laboratoire d'Analyses et d'Architectures des Systèmes à Toulouse,
- Laboratoire de Photonique et de Nanostructures à Marcoussis,
- Institut d'Électronique Fondamentale à Orsay,
- Institut d'Électronique et de Microélectronique du Nord à Lille.

La constitution de ce réseau doit faire l'objet d'une dotation totale de 100 millions d'euros de 2003 à 2005. Ces centrales ont pour but de donner un nouvel élan au développement technologique de la filière en activant les interfaces avec la recherche fondamentale en amont et la recherche appliquée en aval.

- Ensuite, sur **l'établissement des priorités de recherche technologique de base** menée en commun par le CNRS et le CEA, qui feront l'objet d'un soutien supplémentaire de l'ordre de 25 millions d'euros.

Si cette architecture est satisfaisante, **l'effort français demeure encore insuffisant** :

- **les moyens opérationnels ne sont pas à la hauteur des enjeux** (ils sont, par exemple, trois fois inférieurs aux soutiens allemands).

Sur ce point, la suppression du CNET et la réorientation de l'activité de recherche de France Telecom, qui ont soustrait du soutien public à la recherche-développement 600 millions d'euros, **n'ont pas été compensées par la création de réseaux qui n'allouent, tous secteurs confondus, que 50 millions d'euros par an** ;

- **le degré d'irrigation du tissu industriel est insuffisant.**

Si la mise en œuvre de plates-formes constituera un pôle d'attraction des industriels de la microélectronique comme le montre l'exemple du pôle de Crolles, près de Grenoble), **la France ne possède pas de structures, comme les Fraunhofer en Allemagne, qui relie directement des centres de recherches aux entreprises industrielles utilisatrices de ces composants.**

*

* *

Au total, au regard du volontarisme des politiques de soutien public du Japon et des Etats-Unis, les réponses des États et de l'Union européenne sont trop timides.

Celle de la France l'est encore plus que celle de l'Allemagne.

Il est donc urgent que la France définisse et mette à niveau **une politique de soutien aux filières de haute technologie**. A défaut, elle ne participera qu'à la marge à la révolution industrielle qui se prépare.