

N° 1783

ASSEMBLÉE NATIONALE

CONSTITUTION DU 4 OCTOBRE 1958

DIXIÈME LÉGISLATURE

N° 130

SÉNAT

PREMIÈRE SESSION ORDINAIRE DE 1994-1995.

Enregistré à la Présidence de l'Assemblée nationale
le 8 décembre 1994.

Annexe au procès-verbal de la séance du 8 décembre 1994.

**OFFICE PARLEMENTAIRE D'ÉVALUATION
DES CHOIX SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES**

RAPPORT

sur l'évolution du secteur des semi-conducteurs et de la microélectronique,

PAR M. CHARLES DESCOURS,

Sénateur.

Déposé sur le Bureau de l'Assemblée nationale

par M. ROBERT GALLEY

Vice-Président de l'Office,

Déposé sur le Bureau du Sénat

par M. JACQUES MOSSION

Président de l'Office

SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCTION : RAPPEL DE LA SAISINE DE L'OFFICE | 5 |
| 2. LES SEMICONDUCTEURS ET L'ELECTRONIQUE | 7 |
| 2.1 L'industrie de l'électronique : première industrie en l'an 2000 | 7 |
| 2.2 Les composants et dispositifs pour l'industrie de l'électronique | 8 |
| 2.3 Les composants semiconducteurs | 10 |
| 2.3.1 Des matériaux semiconducteurs aux technologies | 11 |
| 2.3.2 Les différentes catégories de composants semiconducteurs | 12 |
| 2.3.3 Les circuits intégrés monolithiques | 13 |
| 2.3.4 Les semiconducteurs et les systèmes électroniques | 15 |
| 2.4 Les semiconducteurs : « le germe d'une industrie compétitive » | 18 |
| 2.5 Les semiconducteurs et la verticalisation | 18 |
| 3. PROBLEMATIQUE DE L'INDUSTRIE DES SEMICONDUCTEURS | 19 |
| 3.1. Croître dans un marché cyclique qui nécessite des investissements très lourds et assurer la rentabilité des entreprises | 19 |
| 3.2 Collaborations horizontales et verticales | 24 |
| 4. L'EUROPE : UN RESULTAT EN DEMI-TEINTE | 27 |
| 4.1 Les entreprises européennes sont redevenues bénéficiaires mais elles perdent des parts de marché | 27 |
| 4.2 Les investissements | 35 |
| 4.3 Les industriels en Europe | 38 |
| 4.4 La recherche-développement en Europe | 43 |
| 4.5 L'intégration en Europe entre producteurs et consommateurs de semiconducteurs | 48 |

| | |
|---|-----------|
| 5. LA FRANCE : REUSSITES ET INTERROGATIONS | 50 |
| 5.1 Les industriels implantés en France | 50 |
| 5.1.1 Producteurs sous contrôle français | 50 |
| 5.1.2 Les producteurs étrangers implantés en France | 52 |
| 5.2 La recherche et le développement en France | 56 |
| 5.2.1 Le Centre commun de Crolles ST-CNET : recherche appliquée et transfert | 56 |
| 5.2.2 GRESSI | 56 |
| 6. LE JAPON : VERS UN NOUVEAU DEFI ? | 59 |
| 6.1 Présentation générale | 59 |
| 6.1.1 Une industrie essentielle pour le Japon | 59 |
| 6.1.2 L'investissement au Japon | 64 |
| 6.2 La Recherche et le Développement | 65 |
| 6.2.1 Des aides à la recherche fondamentale aux grands programmes du MITI | 65 |
| 6.2.2 Des instituts qui préparent l'avenir | 67 |
| 6.3 Verticalisation et intégration : de fortes alliances industrielles | 68 |
| 6.4 Conclusion : retour à la croissance et coopération | 70 |
| 7. LES ETATS-UNIS : LA PRIMAUTE RECONQUISE | 72 |
| 7.1 La reconquête des parts de marché et les accords commerciaux de 1991 | 72 |
| 7.1.1 Le premier producteur du monde | 72 |
| 7.1.2 Les accords commerciaux de 1986 et 1991 | 75 |
| 7.2 Recherche et développement : un libéralisme tempéré | 77 |
| 7.2.1 SEMATECH | 77 |
| 7.2.2 Centres d'excellence et aides aux universités : la Semiconductor Research Corporation (SRC) | 79 |
| 7.2.3 La reconversion des laboratoires du DOD vers les applications civiles | 80 |
| 7.2.4 De grands programmes publics orientés vers les applications | 81 |
| 7.3 Equipements et matériaux : une nette amélioration | 81 |

| | |
|--|------------|
| 7.4 Conclusion | 82 |
| 8. LES NOUVEAUX PAYS INDUSTRIALISES : OU S'ARRETERA LA CROISSANCE ? | 83 |
| 8.1 La Corée | 83 |
| 8.1.1 Une percée remarquable | 83 |
| 8.1.2 Recherche et Développement | 88 |
| 8.2 Taïwan | 89 |
| 9. SYNTHÈSE ET PERSPECTIVES | 92 |
| 9.1 Quel rôle pour les pouvoirs publics ? | 92 |
| 9.1.1 Typologie des aides | 93 |
| 9.1.2 L'efficacité des différentes aides | 95 |
| 9.2 Intégration et alliances | 96 |
| 9.2.1 Les alliances | 96 |
| 9.2.2 L'intégration | 99 |
| 9.3 Taille des usines et investissements | 101 |
| 9.4 Les nouveaux besoins des fabricants de systèmes électroniques | 102 |
| 9.5 Éléments de réponse aux besoins futurs des fabricants de systèmes électroniques | 103 |
| 9.5.1 De plus en plus d'intégration | 103 |
| 9.5.2 Une réduction de la consommation | 105 |
| 9.5.3 Tenue en ambiance industrielle et circuit de puissance | 105 |
| 9.5.4 L'amplification haute fréquence et la transmission : le domaine d'excellence de l'arséniure de gallium | 106 |
| 9.5.5 La visualisation et l'interface homme - machine : "de l'écran plat au clavier sans contact" | 107 |
| 9.5.6 La connectique | 107 |
| 10. RECOMMANDATIONS | 109 |
| 10.1 Se spécialiser dans des secteurs d'avenir à haute valeur ajoutée | 109 |
| 10.2 Favoriser l'investissement | 109 |
| 10.3 Les semiconducteurs militaires | 110 |
| 10.4 Favoriser la recherche précompétitive et coopérative | 110 |

| | |
|---|------------|
| 10.5 Réduire la dépendance de l'Europe en équipements | 112 |
| 11. ANNEXES | 113 |
| 11.1 Annexe 1 : Eléments techniques et glossaire | 113 |
| 11.1.1 L'origine d'un semiconducteur. | 113 |
| 11.1.2 Glossaire de la micro-électronique | 116 |
| 11.2 :Annexe 2 : Bibliographie | 124 |
| 11.3 Annexe 3 : Liste des personnes auditionnées | 131 |

1. Introduction : rappel de la saisine de l'Office

L'Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques a été saisi le 4 avril 1991 par le bureau de l'Assemblée nationale d'une demande d'actualisation du rapport¹ sur les semiconducteurs remis par Monsieur Louis MEXANDEAU au mois de décembre 1989.

Monsieur MEXANDEAU, puis Madame Marie Noëlle LIENEMANN, furent successivement désignés rapporteurs par l'Office, avant d'être appelés à d'autres fonctions, si bien qu'ils ne purent entreprendre cette tâche.

Pourtant les transformations survenues dans le secteur des composants rendaient nécessaire l'actualisation de l'étude faite en 1989.

A la fin de son rapport, Monsieur MEXANDEAU recommandait tout d'abord de faire en sorte que les semiconducteurs occupent une place essentielle dans le 3ème PCRD (programme cadre pour la recherche et le développement) européen. En second lieu, il souhaitait voir se développer le soutien au programme JESSI. Enfin le rapporteur estimait nécessaire d'accroître les moyens financiers alloués à SGS-Thomson, pour favoriser son développement.

En décembre 1989, les analystes s'accordaient à penser que le déclin des producteurs américains était quasi inéluctable, que les Japonais allaient poursuivre leurs conquêtes, et que les Européens étaient gravement menacés. De 1989 à 1994, la situation a assurément changé. Le retournement de la conjoncture au Japon a affecté les fabricants de ce pays, tandis que les entreprises américaines ont repris des parts de marché, retrouvant la première place dans le monde en termes de chiffre d'affaires. Quant aux sociétés européennes, elles réussissent de nouveau à dégager des bénéfices : peuvent-elles se satisfaire, et les pouvoirs publics avec elles, de ce succès ?

L'arrivée de nouveaux pays d'Asie, en tête desquels se trouvent la Corée et Taïwan, qui affichent des résultats remarquables, met en perspective la « survie » d'une industrie européenne qui ne parvient pas à atteindre une taille comparable à celle de ses concurrents d'Amérique du nord et d'Extrême-Orient. Quelle est la part, dans les succès des nouveaux pays industrialisés,

¹ Rapport de M. Louis MEXANDEAU député, n°1181 Assemblée nationale, Sénat, n°180 IXe législature, p.140.

d'investissements colossaux, d'avantages comparatifs en terme de coûts, de l'aptitude à suivre la variation conjoncturelle de la demande ?

La production mondiale de semiconducteurs est passé de 38,2 à 85,6 milliards de dollars² de 1987 à 1993, soit une croissance moyenne annuelle de 14,4 %. Selon certains experts, la production pourrait doubler dans les cinq prochaines années, et atteindre 200 à 220 milliards de dollars en l'an 2000.

Depuis 1987, la répartition du marché s'est modifiée et la suprématie japonaise (51 % du chiffre d'affaires mondial en 1988) a été mise à mal en raison de la spectaculaire remontée des Etats-Unis de 36,5 % à 43,4 % et de la croissance de la part de l'Asie pacifique d'un peu moins de 2 % à plus de 7 % du total.

La situation de l'Europe reste, en revanche, médiocre puisque sa production décroît de 11 % en 1987 à 9 % du total mondial en 1993. Cette dégradation ininterrompue est d'autant plus préoccupante qu'elle s'est poursuivie depuis la fin des années 70, alors que les "dragons" d'Asie ont réussi à créer, à compter des années 80, une industrie de toutes pièces. Comparée à ses concurrents, l'Europe n'a pas su aussi bien développer son industrie.

De l'avis unanime des experts consultés durant l'élaboration de la présente étude, la maîtrise des semiconducteurs constitue à l'ère de l'électronique un facteur fondamental de la compétitivité industrielle. En conséquence, c'est plus sur les modalités que sur les fins que l'on s'interrogera dans ce rapport. L'industrie des semiconducteurs est indispensable pour la France et pour l'Europe, reste à savoir comment les pouvoirs publics peuvent l'aider à se développer et à se fortifier. Le recours aux aides publiques, la collaboration étroite entre opérateurs publics et privés sont des constantes dans tous les pays industrialisés dont l'industrie microélectronique est robuste et florissante.

Quelle stratégie la France et l'Europe peuvent-elles choisir dans ce contexte ?

²Les prix sont, dans l'industrie électronique, le plus souvent exprimés en dollars. Par commodité, on a retenu, dans les cas où des conversions s'avéraient nécessaires, le cours moyen de la devise américaine en 1993. Ce parti est apparu cohérent car la plupart des statistiques utilisées sont relatives à cette année. Le cours moyen du dollar en 1993 par rapport aux monnaies s'élève à : 111,2 yens ; 1,858 florins ; 1,654 Deutsche Mark ; 5,654 francs français ; enfin 1,503 dollar pour une livre sterling.

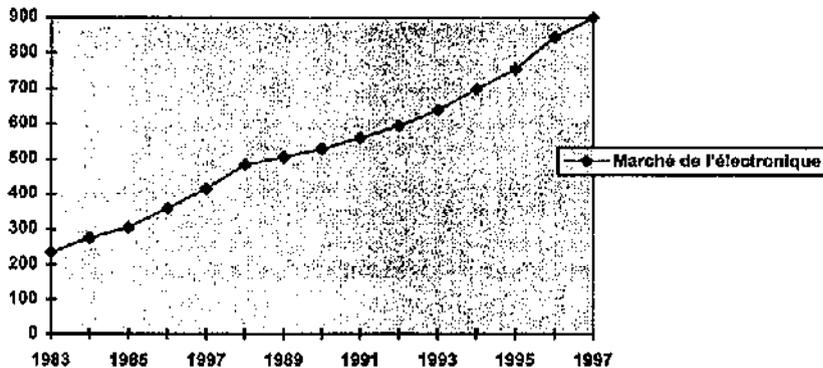
2. Les semiconducteurs et l'électronique

2.1 L'industrie de l'électronique : première industrie en l'an 2000

Le secteur des équipements ou systèmes bénéficie d'une vive croissance. Son chiffre d'affaires représente plus de 700 milliards de dollars en 1994. Dans les années à venir, ce secteur connaîtra vraisemblablement une croissance voisine de 10 % par an.

Evolution des ventes mondiales d'électronique

Milliards de dollars



Ce secteur est en passe de devenir le premier segment industriel.

Le secteur « systèmes électroniques » consommateur de composants semiconducteurs peut être décomposé en cinq segments :

1) L'informatique et les systèmes de traitement de l'information

Ce secteur industriel regroupe les calculateurs, les outils de stockage de l'information, les périphériques (terminaux pour l'acquisition ou la visualisation d'information), les systèmes dédiés (cartes à puces, calculatrices...) et une grande variété de dispositifs de traitement de données.

2) Les télécommunications

Ce segment regroupe tous les équipements tels que les centraux téléphoniques, les téléphones portables et les dispositifs de transfert d'information, données, son, image...

3) L'électronique grand public (« Consumer »)

Ce segment regroupe les équipements audio-vidéo, les jeux électroniques, les montres, les caméras et tous les systèmes électroniques intervenant dans les appareils électroménagers (les équipements domestiques).

4) L'électronique « industrielle »

Ce marché regroupe les systèmes électroniques intervenant dans les systèmes de sécurité et de surveillance, dans la production et le contrôle de l'énergie, dans le contrôle des machines et des procédés, les robots. L'électronique médicale pour le diagnostic, le traitement et les systèmes de chirurgie. Les systèmes de « monétique », de contrôle de trafic se classent également dans cette catégorie.

5) L'électronique militaire et spatiale

Ce segment regroupe les systèmes électroniques pour les radars radio, sonars, systèmes de navigation et de repérage, système de pilotage des avions...

6) L'électronique pour l'automobile et les transports

Les systèmes électroniques prennent une place de plus en plus importante dans les outils de transport (automobile, train...), aussi bien pour le contrôle de la sécurité que pour l'aide au pilotage.

2.2 Les composants et dispositifs pour l'industrie de l'électronique

Une très grande variété de composants et de dispositifs sont nécessaires pour réaliser les fonctions électroniques. Le contrôle de l'ensemble de ces composants est un élément clé dans la maîtrise et l'indépendance de l'industrie des systèmes électroniques.

Les composants et les dispositifs pour l'électronique peuvent être décomposés en deux grandes catégories :

1) **Les composants pour l'électronique, dits statiques**, regroupent les composants passifs, les capteurs, les composants destinés à la connectique :

Les composants pour l'électronique dits statiques

| Composants passifs | Capteurs | Composants pour la connectique |
|---------------------------|----------------------|---------------------------------------|
| - résistances | - électroacoustiques | - connecteurs |
| - capacités | - têtes magnétiques | - interrupteurs |
| - transformateurs | - micromoteurs | - relais |
| | | - circuits imprimés |

2) **Les dispositifs actifs** regroupent les tubes électroniques, les semiconducteurs discrets, les circuits intégrés et les écrans plats :

Les composants actifs

| Tubes électroniques | Composants discrets | Circuits intégrés | Ecrans à cristaux liquides |
|----------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| - tubes micro-ondes | - diodes silicium | Monolithiques : | |
| - rayons cathodiques | - rectifieurs | - linéaires | |
| - indicateurs | - transistors | - digitaux : | |
| - rayons X | - thermistors | - bipolaires : | |
| | - varistors | -- logiques | |
| | - thyristors | -- mémoires | |
| | - optoélectroniques | - MOS : | |
| | | -- logiques : | |
| | | microordinateurs | |
| | | microcontrôleurs | |
| | | micropériphériques | |
| | | -- mémoires | |
| | | Hybrides | |

Il est intéressant de noter la répartition de la production japonaise sur ces différentes catégories, car le Japon est autosuffisant sur l'ensemble de ses besoins :

Production du Japon en 1993

| | Milliards de dollars | Variation 1992 / 1993 |
|---|----------------------|--------------------------|
| Composants pour l'électronique (1) | 33,25 | - 5,5% |
| Passifs | 11,28 | - 2,9 % |
| Transducteurs | 3,63 | - 13,0 % |
| Connectique | 12,2 | - 3,0 % |
| Divers | 6,14 | - 9,0 % |
| Dispositifs actifs (2) | 46,24 | 4,8 % |
| Tubes électroniques | 6,73 | - 4,1 % |
| Discrets | 6,70 | 0,3 % |
| Circuits intégrés | 28,78 | 4,6 % |
| Ecrans plats | 4,03 | 24 % |
| Total (1+2) | 79,29 % | |

Source : Dataquest

Les semiconducteurs (circuits intégrés et semiconducteurs discrets) ne représentent que 45 % de l'ensemble des composants nécessaires pour réaliser les fonctions électroniques des systèmes électroniques.

La seule maîtrise des composants semiconducteurs est donc insuffisante pour garantir l'indépendance de ces approvisionnements de composants pour son secteur électronique.

2.3 Les composants semiconducteurs

Comme on l'a vu, les semiconducteurs appartiennent à la catégorie des composants « actifs » qui peuvent « moduler » les signaux qui les traversent (commutation, amplification, mémorisation...).

Les composants passifs sont ainsi appelés parce qu'ils ne peuvent modifier que les caractéristiques physiques des signaux électriques (atténuation, déphasage).

L'expression « **semiconducteur** » désigne, par analogie, des dispositifs réalisés à base de matériaux semiconducteurs.

2.3.1 Des matériaux semiconducteurs aux technologies

Les semiconducteurs sont des matériaux dont la résistivité se situe entre les métaux et les isolants. Le plus connu est le silicium, mais d'autres matériaux comme le germanium, l'arséniure de gallium (AsGa), l'antimoniure d'indium (InSb) ou le phosphore de gallium (GaP) possèdent aussi cette caractéristique physique. Parmi les caractéristiques les plus intéressantes de ces corps, on relève une résistivité qui décroît avec la température, la possibilité de convertir de la lumière (des photons) en courant ou, à l'inverse, de convertir du courant en photons.

Une autre propriété est à l'origine de tous les développements : « le dopage ». En effet, l'introduction dans le réseau cristallin du matériau semiconducteur, d'atomes de certains composants comme le bore ou le phosphore, désignés sous le nom d'« atomes d'impuretés », modifie la structure électronique du matériau, en le rendant « avide » d'électrons ou « excédentaire » en électrons (semiconducteur de type P, ou semiconducteur de type N). Il ne reste plus qu'à associer un semiconducteur de type P avec un semiconducteur de type N pour réaliser une « jonction P-N » (ou diode) qui a la remarquable propriété de laisser passer le courant dans un sens et de le bloquer dans l'autre sens. Cette propriété permet de transformer le courant alternatif en courant continu. L'association de deux jonctions, un semiconducteur de type P en sandwich entre deux lames de semiconducteurs de type N, le transistor NPN, offre d'autres possibilités.

Un courant électrique appliqué à la lame centrale (appelée base) permet soit de bloquer le courant entre les deux faces externes, appelées respectivement émetteur et collecteur, soit au contraire, de le laisse passer, créant ainsi un commutateur électronique. De très faibles variations de courant appliquées sur la base provoquent de fortes variations du courant entre les deux faces externes constituant ainsi un amplificateur électronique.

Cette technologie désignée sous le nom de « BIPOLAIRE » s'est développée dans une multitude de technologies³. Cette course à l'intégration du plus grand nombre de transistors au cm² se poursuit depuis lors.

En 1964, un nouveau type de transistor révolutionna les semiconducteurs : « le transistor à effet de champ ». Un champ électrique y

³ TTL (Transistor Transistor Logic), I²L(Integrated Injection Logic), ECL (Emitter Compléted Logic).

remplace le courant électronique nécessaire à la commande des circuits bipolaires. La technologie MOS (Metal, Oxyde, Semiconducteur) était née. Cette technologie a permis une plus forte intégration que la technologie bipolaire et surtout une réduction de la consommation électrique des circuits. Sur ces bases, différentes technologies allaient voir le jour : NMOS, PMOS et CMOS (Complementary Metal Oxyde Semiconductor), la plus utilisée aujourd'hui.

Une nouvelle technologie a été récemment introduite pour associer sur un même substrat les avantages des technologies bipolaires et CMOS : le BiCMOS.

2.3.2 Les différentes catégories de composants semiconducteurs

Les composants semiconducteurs peuvent être regroupés en quatre grandes catégories :

1) Les « discrets »

Ces composants semiconducteurs réalisent une seule fonction par composant : ce sont des diodes, des transistors ou des thyristors. Plusieurs composants de ce type peuvent exister dans le même boîtier, mais ils ne sont pas connectés les uns aux autres.

2) Les composants optoélectroniques

Ces composants sont désignés ainsi car ils réalisent une interaction électricité-photons. On trouve essentiellement dans cette catégorie les diodes et les écrans électroluminescents, les optocoupleurs, les caméras CCD (Charge Coupled Device), les diodes lasers et les photo capteurs.

3) Les circuits intégrés hybrides

Ces composants regroupent sur un même substrat différents types de composants : passifs et actifs. On trouve également dans cette catégorie des composants réalisés par association de plusieurs circuits intégrés « monolithiques » sur un substrat (MCM Multi Chip Module).

4) Les circuits intégrés « monolithiques »

Le terme « monolithique » désigne les circuits intégrés dans lesquels toute la fonction électronique est contenue sur la structure élémentaire de répétition ou « puce ». L'étude entreprise porte principalement sur cette catégorie de composant.

Il est également possible de classer les composants électroniques selon l'usage auquel ils sont destinés.

On distingue :

- a) les semiconducteurs **d'usage général**, composants multi applications-multi clients. Ce sont tous les produits que l'on trouve en standard dans les différents catalogues des fournisseurs. Ils sont réalisés en très grandes quantités.
- b) les semiconducteurs **d'usage spécifique** pour lesquels on distingue trois familles de produits dans cette rubrique :
 - les circuits standards « configurables » : « gate arrays » (réseaux de portes), PLD (Circuits logiques programmables).
 - les circuits « full custom » réalisés pour une application et un client
 - les circuits dédiés ou « semicustom » réalisés pour une application (exemple: l'automobile), mais pouvant convenir pour plusieurs clients (PSA, Renault...)

2.3.3 Les circuits intégrés monolithiques

Naturellement dérivés des différentes technologies citées dans le paragraphe (2.3.1.), les circuits intégrés monolithiques peuvent être regroupés en trois catégories :

2.3.3.1 Circuits intégrés « bipolaire-digital »

Ces circuits réalisent uniquement des fonctions digitales (données représentées sous forme binaire) en technologie bipolaire. On réalise dans cette technologie des mémoires, des ASICs (circuits pour applications spécifiques).

2.3.3.2 Circuits « MOS digital »

Ces circuits réalisent uniquement des fonctions digitales en technologie MOS.

Il est possible de scinder cette catégorie en trois parties :

2.3.3.2.1 Les mémoires MOS

On trouve dans cette partie : les **mémoires volatiles** (qui perdent leur information en l'absence d'alimentation électrique), parmi lesquelles les mémoires dynamiques DRAMs, les mémoires statiques SRAMs.

Les **mémoires non volatiles** (qui conservent l'information même en l'absence d'alimentation), parmi lesquelles les EPROMs (erasable programmable read only memory), mémoires effaçables par exposition à un rayonnement ultraviolet, les EEPROMs electrically erasable programmable read only memory), mémoires effaçables par un courant électrique, les mémoires Flash qui associent les possibilités des EEPROM à des possibilités d'effacement de l'information comparables aux mémoires volatiles et, enfin, les mémoires dites « MASK ROMs » dont la programmation est faite au cours de la réalisation par un niveau de masquage spécial.

2.3.3.2.2 Les microcomposants MOS

On trouve essentiellement dans cette catégorie :

- Les **microprocesseurs** (MPU) intégrant une unité de calcul à 8, 16 ou 32 bits, un décodeur d'instruction... C'est l'élément de base des calculateurs.
- Les **microcontrôleurs** (MCU)

En plus des microprocesseurs, ils incluent de la mémoire et un programme spécifique.

- les **contrôleurs de périphériques** (MPR)

2.3.3.2.3 Les circuits MOS digital logique

Cette catégorie regroupe un ensemble de circuits réalisant des **fonctions « multi application »**. Elle réunit les **ASICs** (Application Specific Integrated Circuits), les réseaux de portes (Gate Arrays)..

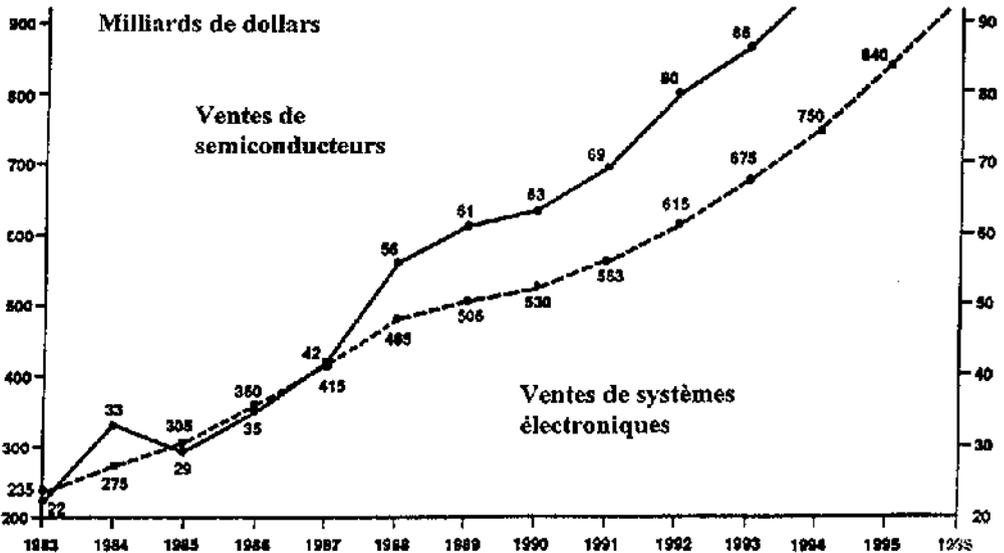
2.3.3.3 Les circuits intégrés analogiques

Ces circuits interviennent pour toutes les fonctions de **traitement de signal, contrôle de puissance**. Différentes technologies peuvent être utilisées et associées, le bipolaire, le MOS ou le BiCMOS. Un circuit intégré analogique réalise 100 % des opérations analogiques entre les entrées et les sorties. On trouve de plus en plus des circuits « MIXED » qui associent dans le même circuit des fonctions analogiques et numériques.

2.3.4 Les semiconducteurs et les systèmes électroniques

Les semiconducteurs interviennent dans tous les systèmes électroniques. On constate une **corrélation évidente** entre la progression du marché des systèmes électroniques et celle des **semiconducteurs**.

Evolution comparée du marché des semiconducteurs et du marché des équipements électroniques dans le monde



Source : Dataquest

Lequel des deux marchés « tire » l'autre ?

Il est difficile de répondre à cette question. Il semble qu'alternativement, du fait de l'effet « **push pull** » :

- le besoin tire de nouveaux composants,
- de nouveaux composants permettent d'accéder ou de rendre réalisables certains produits.

La répartition du marché des composants semiconducteurs entre les différents secteurs d'application est la suivante :

| | | |
|---------------------|---|------|
| Informatique | : | 45 % |
| Télécommunications | : | 16 % |
| Industrie | : | 10 % |
| Grand public | : | 20 % |
| Automobile | : | 6 % |
| Militaire / spatial | : | 3 % |

Le marché total des semiconducteurs en 1994 est de l'ordre de 86 milliards de dollars.

Chaque segment fait appel de façon différente aux différentes technologies. Le tableau (cf. page suivante) illustre cette répartition.

| | Informatique | Télécoms | Industrie | Grand public | Militaire | Automobile | Total* | % |
|-----------------------|--------------|----------|-----------|--------------|-----------|------------|--------------------|--------|
| Bipolaire digital | 1.837 | 433 | 280 | 174 | 288 | 82 | 3.093 | 3,6 % |
| Mémoire MOS | 15.941 | 2.843 | 1.377 | 2.327 | 467 | 360 | 23.316 | 27,2 % |
| Micro MOS | 11.100 | 2.756 | 1.676 | 2.898 | 344 | 1.196 | 19.970 | 23,3 % |
| MOS logiques | 5.565 | 3.142 | 1.283 | 2.139 | 531 | 656 | 13.317 | 15,5 % |
| Analogiques | 2.309 | 2.601 | 1.681 | 5.549 | 548 | 1.149 | 13.838 | 16,1 % |
| Discrets | 1.179 | 1.455 | 1.985 | 3.181 | 413 | 888 | 9.101 | 10,6 % |
| Optoélectroniques | 498 | 557 | 459 | 1.190 | 92 | 210 | 3.006 | 3,5 % |
| Total* | 38.429 | 13.787 | 8.741 | 17.458 | 2.683 | 4.541 | 85.641 | |
| % | 44,8 % | 16,1 % | 10,2 % | 20,3 % | 3,1 % | 5,3 % | | |
| * millions de dollars | | | | | | | Source : Dataquest | |

2.4 Les semiconducteurs : « le germe d'une Industrie compétitive »

Le German Federal Statistics Office a publié en 1992 un impressionnant document qui montre bien l'effet « bras de levier » des semiconducteurs sur l'économie d'un pays.

Cette étude montre que les **3,5 milliards de Marks de semiconducteurs** utilisés par l'industrie allemande en 1992 ont contribué à **70 milliards de Marks de systèmes électroniques**. Ceux-ci, intégrés dans les applications (automobiles, télécommunications...), ont **induit un chiffre d'affaires d'environ 700 milliards de Marks**.

2.5 Les semiconducteurs et la verticalisation

Les semiconducteurs sont **intégrés à une chaîne** qui va des matériaux jusqu'aux produits finis (systèmes électroniques). D'aval en amont, on trouve successivement :

- les **matériaux** qui représentent un marché d'environ 10 milliards de dollars,
- les **équipements de production** (8,3 milliards de dollars),
- les **semiconducteurs** (86 milliards de dollars),
- les **systèmes électroniques** (produits finis pour plus de 700 milliards).

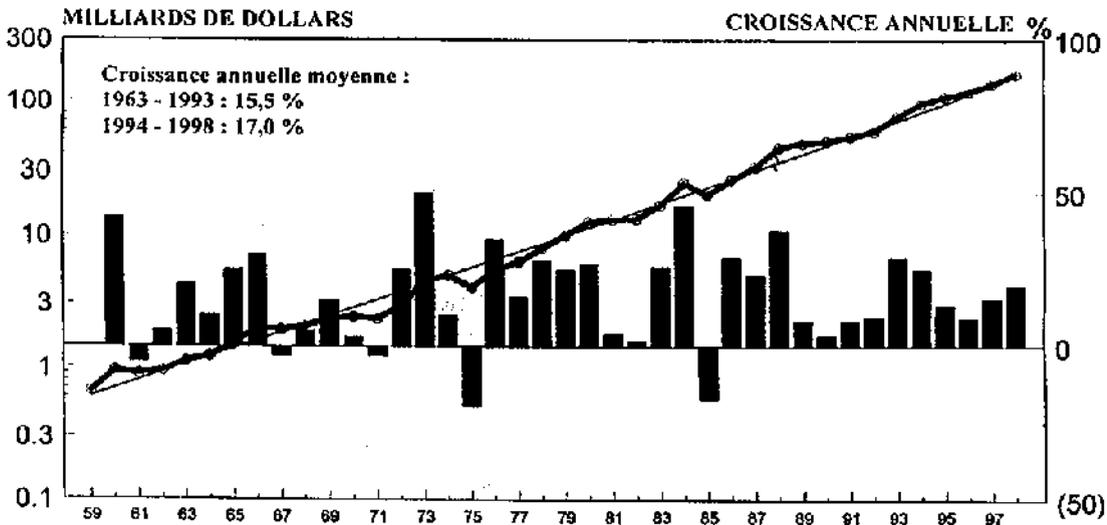
3. Problématique de l'industrie des semiconducteurs

3.1.1 Croître dans un marché cyclique qui nécessite des investissements très lourds et assurer la rentabilité des entreprises

L'industrie des semiconducteurs repose sur un **progrès technologique** constamment renouvelé, qui nécessite d'importantes dépenses en recherche et développement. Cependant la recherche et le progrès technique ne suffisent pas à assurer la rentabilité des industriels : ceux-ci doivent, en effet, faire face à des contraintes spécifiques.

Le volume de leurs investissements (environ un milliard de dollars pour une usine en 1995) et les **mouvements violemment cycliques de la demande** se conjuguent pour rendre leur rentabilité très aléatoire : le principal problème industriel est de réunir les volumes de financement nécessaires à l'investissement qui détermine lui-même l'ampleur des parts de marché et le bénéfice.

Les variations du marché des semiconducteurs



Source : SGS-Thomson.

Le marché des composants croît à un rythme moyen d'environ 15 % par an, tout en subissant des cycles dont certains analystes relèvent qu'ils

tendent à s'allonger, le cycle en cours a été plus long que les précédents. La relative faiblesse des investissements dans les années 1992-1993 (par rapport à ceux réalisés à la fin des années 80) explique que les produits les plus innovants soient les plus recherchés et, par conséquent, les moins sensibles aux mouvements du marché.

La difficulté pour les industriels est donc de parvenir à faire coïncider leurs énormes investissements avec la variation de la demande dans les diverses zones de consommation. En effet l'évolution de la demande est parfois divergente en Amérique du Nord, en Europe, en Asie du Sud-Est et au Japon.

Les divers segments du marché des semi-conducteurs sont animés de mouvements cycliques plus ou moins réguliers : les produits standards ou "*commodities*" sont les plus touchés, à la hausse comme à la baisse, tandis les produits « dédiés », réalisés pour un client donné "sur mesure", sont moins sensibles aux variations de la conjoncture. Les fluctuations du marché des composants ne suivent pas le mouvement global du reste de l'économie. Le ratio "BB" "*book to bill*", issu du rapport entre les commandes de composants et les facturations, indique la tendance haussière ou baissière. Cet indicateur est d'autant plus utile que les prix pratiqués ne sont pas le meilleur indicateur de la tendance. Ils sont, en effet, très sensibles aux modifications des technologies.

Les paramètres principaux du modèle explicatif du marché proposé par J. Ph. Dauvin⁴ sont :

- la croissance des industries clientes (électronique, automobile...),
- un facteur de "*pervasion*", fonction de l'incorporation des semi-conducteurs dans de nouveaux produits,
- l'évolution des prix qui accélère la tendance positive ou négative du marché,
- la contribution du mouvement de stocks.

Le cycle de vie des composants est exceptionnellement court, puisque chaque nouvelle génération apparaît tous les trois à quatre ans et requiert de nouvelles usines. **Il n'est pas possible aux industriels de financer les unités de production les plus modernes grâce à l'excédent des profits réalisés sur les produits plus anciens.** Une course de vitesse est donc engagée entre les producteurs. Chacun tente de développer le premier une production de masse qui justifie seule l'énormité d'investissements qui atteignent environ 20 à 30 %

4 DAUVIN Jean-Philippe, Les semi-conducteurs, *Economica*, 1990, p.20-23.

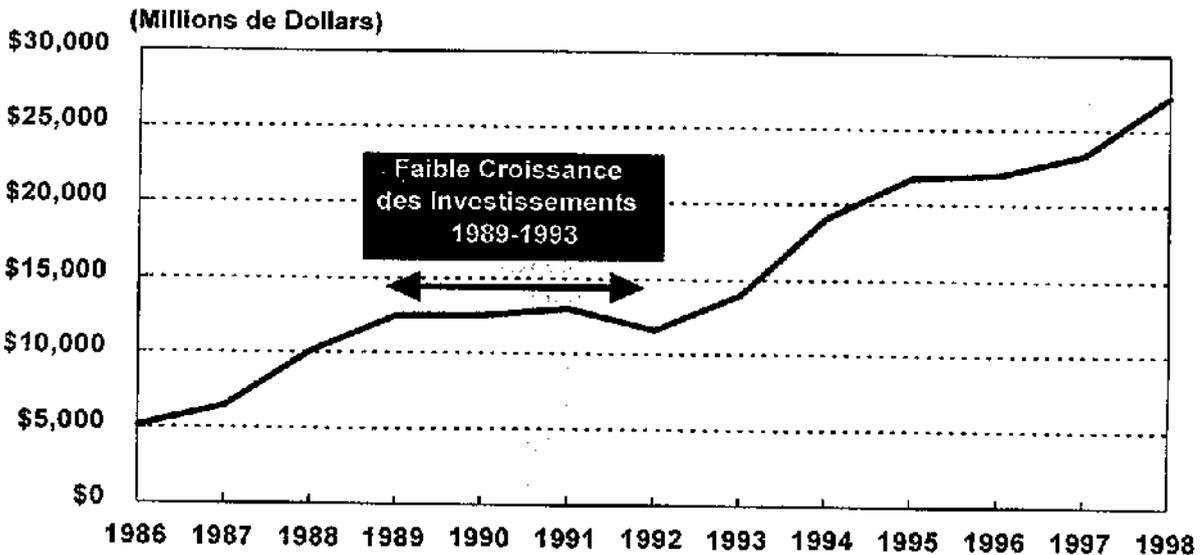
du chiffre d'affaires et sont renouvelés tous les quatre ans. Les producteurs tentent donc de conquérir les premiers les nouveaux marchés pour bénéficier des prix les plus élevés tandis que leurs produits n'ont pas de concurrents.

Aussi les fabricants de composants doivent simultanément :

- obtenir une **technologie très coûteuse** (qu'elle soit achetée ou qu'elle résulte d'une recherche interne),
- **financer son industrialisation massive** (afin de bénéficier de l'effet d'apprentissage avant leurs concurrents),
- **vendre leurs premières puces lorsque les prix sont élevés** et que les procédés ne sont pas maîtrisés par leurs concurrents.

Les composants microélectroniques sont produits dans des environnements ultrapropres (salles blanches), en utilisant des produits coûteux (plaques de silicium, gaz et liquides purs...). En effet les impuretés qui contaminent les plaques de silicium diminuent le rendement des installations. Selon la SIA, (Semiconductor Industry Association), le nombre de défauts au cm^2 ne devrait pas dépasser 0,03 par cm^2 en 1998 contre 0,1 défaut aujourd'hui. Ces conditions de production nécessitent des investissements importants.

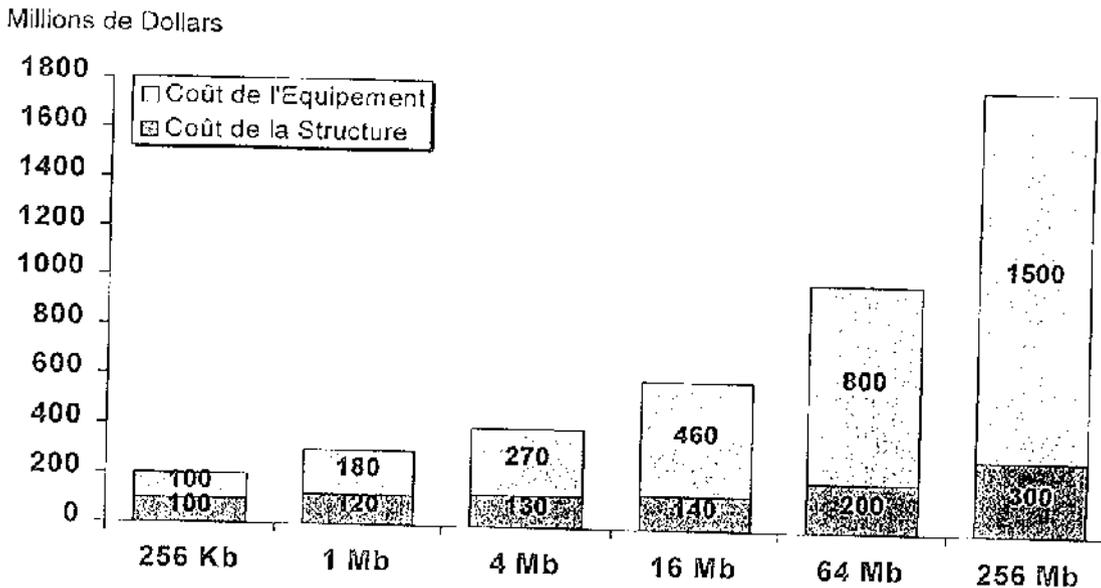
Evolution des dépenses mondiales d'investissements.



Source : Dataquest.

Cette augmentation globale des investissements s'explique par l'accroissement de la qualité des machines et des installations pour chaque génération d'usine.

Evolution du coût des investissements pour chaque génération d'usine



Source : Dataquest.

Comme le montre le tableau ci-dessus, chaque nouvelle génération de semiconducteurs nécessite des investissements qui représentent environ le double de ceux réalisés pour la technologie antérieure.

Ainsi, le coût d'une unité de production 16 Mégabits, 0,5 μ 8 pouces (« wafers » de 200 mm gravés avec des traits d'une largeur d'un demi-micron) était de 700 millions de dollars en 1992, alors que le coût d'une usine destinée à la production de circuits intégrés 64 Mégabits, 8 pouces, 0,35 mm est évalué à plus d'un milliard de dollars en 1995. On peut penser que, si l'on suit la pente actuelle, les usines de la prochaine génération coûteront de 1,5 à 2 milliards de dollars.

3.1.1.1 Conserver des coûts de production compétitifs, parvenir à une production rentable et commercialiser des produits à forte valeur ajoutée

Les coûts de fabrication augmentent, pour les générations les plus récentes à un rythme vertigineux, aussi est-il nécessaire de disposer d'un **volume d'affaires important** car l'augmentation du volume de production accroît le rendement et abaisse le coût unitaire des puces. Le coût du cm² de silicium devrait passer de 4 dollars en 1994 à 3,80 dollars en 1998, voire à 3,5 dollars en 2007. Cette baisse du prix de revient du cm² ne sera possible qu'au prix d'efforts sévères pour limiter les coûts et accroître la productivité. Les producteurs sont donc enclins à produire des **puces à forte valeur ajoutée**.

3.1.1.2 Maintenir un niveau de R & D suffisant

Les industriels doivent, pour rester au bon niveau technologique, introduire de nouvelles technologies tous les trois ou quatre ans. Or, s'il est possible de créer une industrie des semiconducteurs en achetant des licences, le développement d'une production de puces jusqu'à un niveau de compétitivité internationale n'est pas concevable sans **une forte activité de recherche et développement**.

La recherche porte simultanément :

- sur la **technologie**,
- sur la **conception des dispositifs** électroniques,
- sur les **filières** qui permettent de les produire (selon des évaluations concordantes, le coût du développement d'une filière 0,5 serait de 300 à 400 millions de francs soit 50 à 70 millions de dollars),
- sur le **processus de production** : pour transférer la R & D sur des lignes pilotes et optimiser son industrialisation.

Mais les sommes en cause sont telles qu'il est nécessaire de procéder à des choix.

Le partage des ressources financières entre les investissements de productions et les budgets de R & D est l'une des questions les plus délicates à laquelle cette industrie en vive croissance soit confrontée.

Dans l'industrie des semiconducteurs, seuls les moyens de financement les industriels qui sont parvenus à repousser les frontières

technologiques, sans qu'il soit possible aujourd'hui d'envisager le terme de ces avancées.

Ainsi l'Office of Technology Assessment des Etats-Unis note:

« [...] il est devenu de plus en plus difficile pour l'industrie de trouver des fonds pour financer à la fois des dépenses de capital qui se gonflent et des coûts de R & D qui s'accroissent rapidement »⁵⁵.

3.1.2 Collaborations horizontales et verticales

Les producteurs de composants **gèrent des relations** avec :

- leurs **clients** qui consomment des puces pour les intégrer à des systèmes (ordinateurs, téléphones, automobiles),
- de leurs **fournisseurs de matériaux et d'équipements de production**,
- leurs **concurrents** avec lesquels ils concluent des alliances.

3.1.2.1 Producteurs et clients

Pour de nombreux groupes industriels, la production de composants est commandée par un **impératif d'indépendance stratégique**. Aussi ne cherchent-ils pas à réaliser à tout prix un profit sur la vente de leurs puces, mais consentent parfois à supporter les pertes momentanées de leur division composants.

Telle est à l'évidence la politique conduite par les grands groupes japonais qui choisissent de conserver une activité semiconducteurs transitoirement déficitaire, en n'évaluant sa rentabilité que dans une perspective de long terme.

Les semiconducteurs sont produits afin d'être intégrés dans des systèmes (ordinateurs automobiles, téléphones) dont la vente crée du profit. Aussi nombre de producteurs de systèmes ont-ils choisi de créer ou de conserver une division produisant des semiconducteurs. Celle-ci est plus ou moins liée avec

⁵⁵U.S. Congress, Office of Technology Assessment, « Contribution of DOE weapons labs and NIST labs to semiconductor technology, Washington », 1993, p.2. : « [...] it is becoming increasingly difficult for the industry to find funds to support both ballooning capital expenditures and rapidly rising R & D costs ».

les autres sociétés du groupe en fonction de la part du « marché captif » qu'elle détient.

L'intégration d'un producteur de semiconducteurs dans un groupe industriel a pour avantages :

- de donner une « **masse critique** » pour le lancement d'un produit nouveau ou stratégique et de **progresser** sur la courbe d'apprentissage,
- d'**offrir un marché captif** en période de récession,
- de permettre des **ventes à perte en début de cycle** en escomptant des bénéfices futurs,
- de favoriser une **diffusion du savoir faire technologique** à l'intérieur du groupe.

Compte tenu des contraintes auxquelles sont exposés les producteurs de composants, leur rentabilité globale peut provenir soit d'une forte compétitivité-produit, soit d'une bonne intégration.

Pour un producteur appartenant à un groupe industriel qui consomme une part importante de ses composants, la rentabilité totale des opérations productives doit être calculée au niveau du produit fini commercialisé (ordinateur, téléphone...). Une telle stratégie suppose que le groupe considère les éventuels résultats déficitaires de sa filiale composants, comme le coût inévitable de son indépendance technologique. Quant à l'ouverture à d'autres fournisseurs, elle permet au groupe industriel de faire pression sur sa filiale spécialisée en composants, afin qu'elle reste compétitive par rapport aux prix de marché.

Une autre possibilité consiste, pour une entreprise, à tenter de conserver le monopole d'un produit, ce qui lui assure une indépendance durable.

Intel offre l'exemple d'une telle spécialisation-produit : la société détient un quasi-monopole sur le marché des microprocesseurs. Pour accroître son avance, Intel collabore avec ses clients et effectue des développements en avance de phase pour ces derniers.

Les producteurs japonais qui appartiennent à des groupes intégrés à la fois verticalement et horizontalement peuvent, quant à eux, à la fois disposer d'un marché captif qui leur assure une base de clientèle stable et profiter d'alliances durables qui les rendent moins sensibles aux fluctuations de leurs résultats.

Enfin, certains producteurs de composants choisissent de nouer des alliances "virtuelles" avec des sociétés afin de développer conjointement des systèmes et de bénéficier d'avantages analogues à ceux des sociétés intégrées.

3.1.2.2 Fabricants d'équipements de production et producteurs de semiconducteurs

Les producteurs japonais et américains se trouvent dans une situation de duopole sur le marché des équipements qui connaît une croissance rapide. Deux stratégies s'opposent parmi les nations : certaines considèrent que le marché des équipements de production est suffisamment ouvert pour qu'il soit toujours possible de s'approvisionner sur le marché mondial. Telle est la stratégie des fabricants européens de circuits intégrés.

Pour d'autres producteurs, en revanche, une industrie des semiconducteurs n'est pas viable sans la maîtrise des équipements et des matériaux de production.

La menace d'une rétention des équipements par les producteurs japonais - que certains producteurs américains ont en leur temps dénoncée⁶ - n'a pas totalement disparu.

⁶National Research Council, « US-Japan strategic alliances in the semiconductor industry », 1992, p.61, note 33, renvoie à une étude du General Accounting Office : « International trade : U S Business access to certain foreign-state-of-the-art technology », Washington DC, september 1991.

4. L'Europe : Un résultat en demi-teinte

Les Européens se trouvent comme les autres producteurs de semiconducteurs confrontés à des choix stratégiques, car la réalisation de circuits intégrés passe par :

- la maîtrise d'un savoir faire technologique - sur ce point l'Europe est désormais au niveau de ses concurrents -,
- l'aptitude à dégager d'énormes volumes de financement, afin de réaliser des investissements très coûteux tout en conservant un potentiel de recherche,
- la capacité de produire des circuits intégrés à des coûts concurrentiels,
- l'utilisation des équipements de production les plus performants.

En fonction de ces diverses contraintes, chaque producteur définit une stratégie qui doit tenir compte de la globalisation du marché mondial des composants.

4.1.1 Les entreprises européennes sont redevenues bénéficiaires mais elles perdent des parts de marché

4.1.1.1 *Les entreprises européennes profitent d'un marché en croissance*

Les entreprises européennes réalisent de nouveau des bénéfices mais une appréciation trop optimiste de ces résultats doit être pondérée, compte tenu de la très vive croissance de la demande sur le marché des semiconducteurs. En effet, comme on l'a vu, la part relative de l'Europe dans la production mondiale décroît depuis 1988 et les producteurs européens réalisent leurs meilleures performances essentiellement sur des « marchés de niche ». Ils ne sont pas significativement présents sur les marchés les plus importants en volume, tels que les mémoires DRAMs ou les microprocesseurs, ni, semble-t-il, sur les marchés en forte croissance.

4.1.1.2 *Classement des entreprises d'après leur chiffre d'affaires*

L'indicateur le plus couramment utilisé pour mesurer la taille des sociétés qui interviennent sur le marché des semiconducteurs est le chiffre d'affaires. Cet indicateur est sensible aux mouvements de prix qui affectent régulièrement le marché lorsqu'une filière technologique entre en phase de

production de masse. Ainsi, la baisse du prix de certaines mémoires a directement affecté la position des Japonais, spécialisés sur ce type de produit.

Le classement des producteurs par produit comporte lui aussi des limites : il est toujours possible à une société de taille moyenne d'occuper la première (et parfois unique !) place sur un « marché de niche », qui se réduit à quelques centaines de composants fabriqués sur mesure.

Le chiffre d'affaires mondial du marché des semiconducteurs était en 1993 de 85,6 milliards de dollars, il se répartissait entre un nombre relativement limité d'industriels parmi lesquels les Européens se classent aux 12^e, 14^e et 18^e rangs mondiaux grâce à Philips, SGS-Thomson et Siemens.

Classement des 20 premiers industriels d'après leur chiffre d'affaires

| Classement | Société | Chiffre d'affaires* 1993, en milliards de dollars |
|------------|------------------------|--|
| 1 | Intel | 7,970 |
| 2 | NEC | 6,141 |
| 3 | Motorola | 5,957 |
| 4 | Toshiba | 5,727 |
| 5 | Hitachi | 5,015 |
| 6 | Texas Instruments | 4,083 |
| 7 | Samsung | 3,044 |
| 8 | Fujitsu | 2,928 |
| 9 | Mitsubishi | 2,823 |
| 10 | IBM | 2,510 |
| 11 | Matsushita | 2,344 |
| 12 | Philips | 2,300, soit 2,68 % |
| 13 | National Semiconductor | 2,132 |
| 14 | SGS-Thomson | 2,088, soit 2,43 % |
| 15 | Sanyo | 1,843 |
| 16 | Sharp | 1,760 |
| 17 | Advanced Micro Devices | 1,660 |
| 18 | Siemens | 1,510, soit 1,76 % |
| 19 | Sony | 1,398 |
| 20 | Oki | 1,187 |

* Total de la production mondiale : 85,641 milliards

Source : Dataquest.

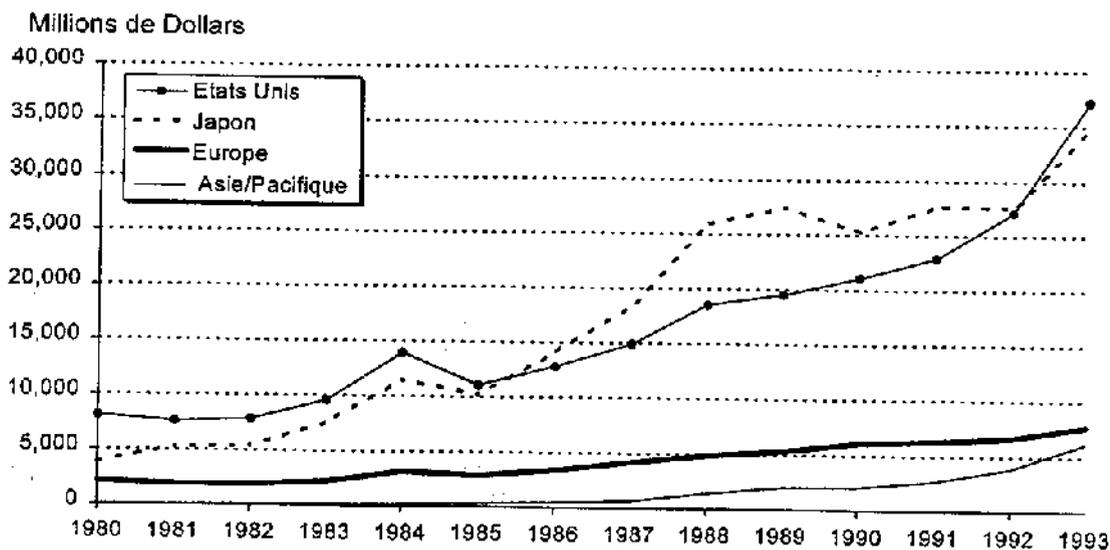
Le classement mondial des industriels producteurs de semiconducteurs fait apparaître la très forte concentration de l'offre.

4.1.1.3 *Cependant les Européens perdent des parts de marché*

Malgré l'essor très rapide de la production mondiale, la part relative de l'Europe par rapport au marché mondial tend à diminuer lentement car le taux de croissance de la demande en Asie et en Amérique du Nord, est bien supérieur celui de la demande en Europe.

La production européenne a augmenté depuis 1987, comme on le voit sur le tableau ci-dessous, mais le rythme de cette augmentation a été beaucoup moins rapide en Europe qu'en Amérique du Nord ou en Asie :

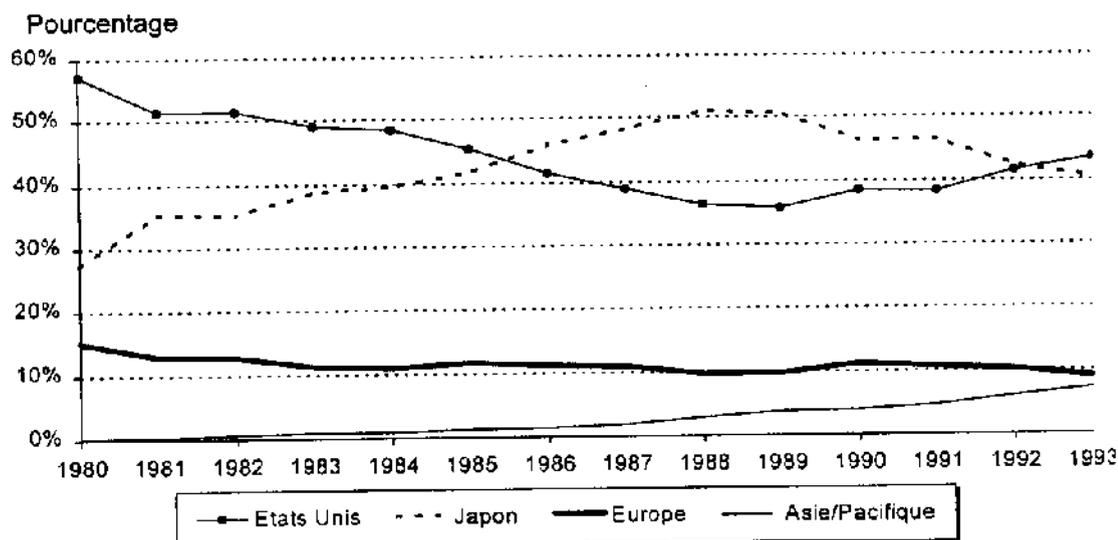
Evolution de la production des différentes zones en valeur absolue



Source : Dataquest

La divergence notable des taux de croissance entre l'Europe et les autres zones explique la diminution de la part relative de l'Europe dans le monde de 11 % à 9 % de 1987 à 1993, tandis que Taïwan et la Corée produisent environ 7 % des puces du monde contre moins de 2 % en 1987 :

Evolution de part relative de la production des différentes zones

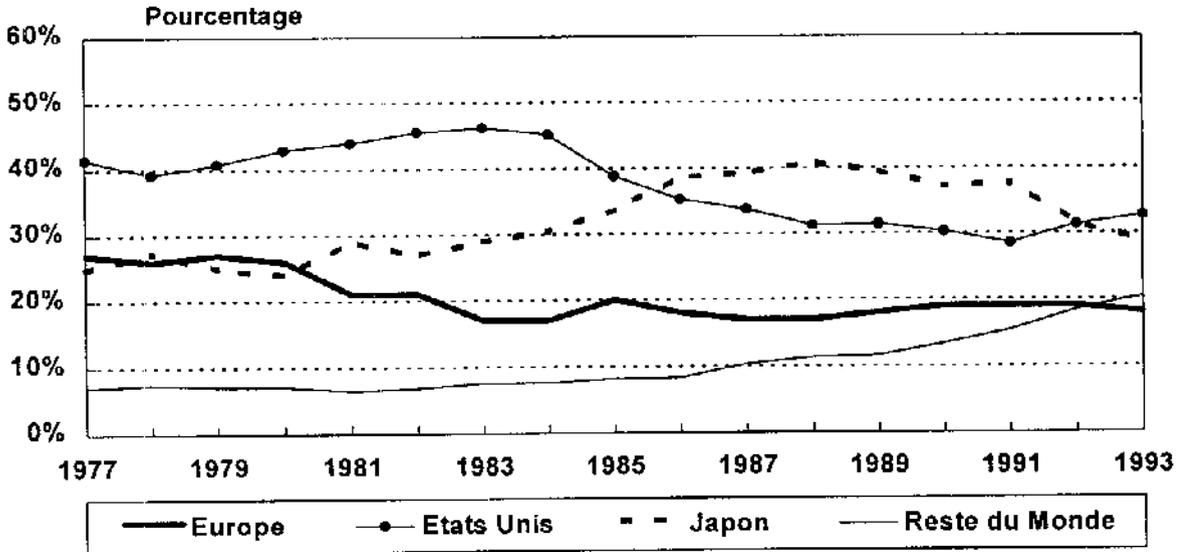


Source : Dataquest.

En revanche la part relative de la consommation de l'Europe par rapport au monde reste stable, autour d'1/5è du total.

L'Europe reste donc un marché important, tandis que sa production tend malheureusement à diminuer de plus en plus.

Part relative de la consommation de semiconducteurs par zones



Source : Dataquest.

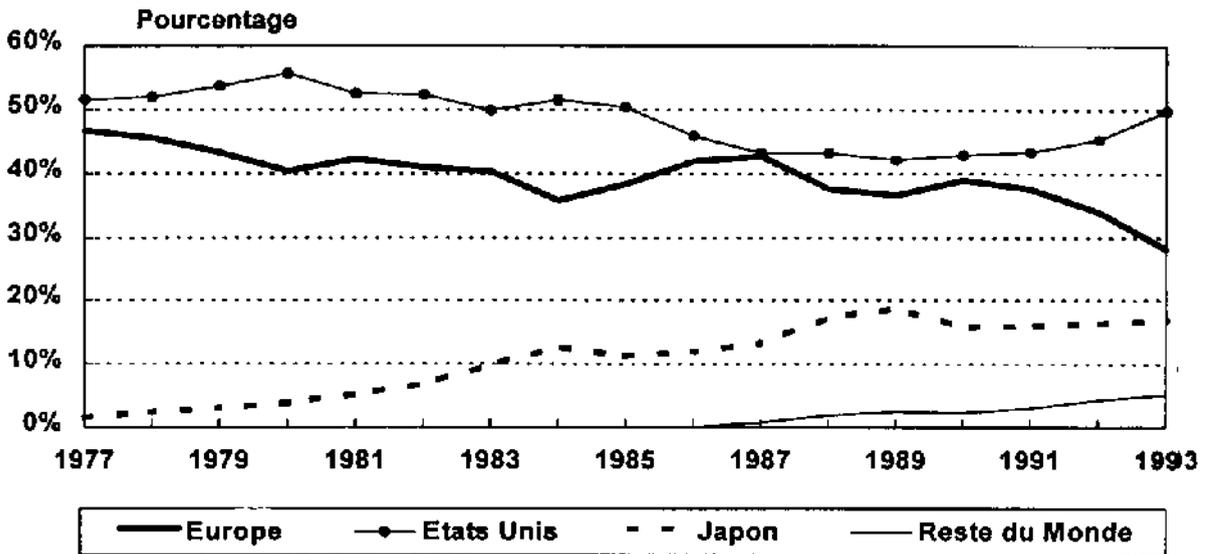
Le marché européen représente 18 % du marché mondial ; cette part est en légère décroissance.

En outre, le taux de pénétration des producteurs étrangers de semiconducteurs augmente sur le marché européen. Proche de 40 % en 1989, la part du marché intérieur de l'Union détenue par les Européens a diminué de dix point en cinq ans.

Ce mouvement limite la contribution des producteurs européens au chiffre d'affaires réalisé en Europe par la production de semiconducteurs : il est d'autant plus difficile aux industriels d'amortir sur les systèmes le coût des composants en cas de retournement du marché.

Le taux de couverture du marché européen s'élève à 28 % aujourd'hui.

Parts du marché européen détenues par les divers producteurs



Source : Dataquest

On notera cependant qu'Intel, Motorola, Hitachi et Fujitsu ont des usines en Europe, ce qui conduit à relativiser les données exprimées en chiffre d'affaires mondial consolidé.

Au surplus, la décomposition statistique par pays et par aire géographique est entachée d'imprécisions car les études se fondent le plus souvent sur les livraisons et ne prennent pas en compte les décisions d'achat. Ce sont, en effet, les maisons mères des grandes sociétés transnationales qui décident des achats de leurs usines pour le monde entier et les statistiques prennent souvent en compte la situation de la maison mère sans désagréger la commande entre les différentes filiales.⁷

⁷ Cf. *Electronique internationale*, 17 novembre 1994, n°159 p. 40

4.1.1.4 Les Européens ne sont pas assez spécialisés sur les produits les plus consommés

L'Europe gagne des parts de marché sur les marchés qui augmentent le moins vite et ne sont pas des « moteurs technologiques »

Structure de la production européenne par produits

| Types de produits | Croissance 1987 /1993 | Part de chaque type de produit dans la production mondiale en 1993 | Part de la production européenne dans la production mondiale en 1993 |
|-------------------------|--------------------------|--|--|
| Bipolaire | - 6,9 % | 3,6 % | 7,6 % |
| Mémoires MOS | 25,2 % | 27,2 % | 5 % |
| Micro MOS | 25,5 % | 23,3 % | 3 % |
| MOS logiques | 13,3 % | 15,5 % | 8 % |
| Analogiques Hybrides | 10,4 % | 16,2 % | 19 % |
| Discrets | 5,4 % | 10,6 % | 20 % |

Source : Dataquest.

L'Europe conserve une forte production de produits analogiques et hybrides dont la croissance est relativement faible par rapport à la moyenne, en revanche le Vieux Continent produit une part très faible des produits pour lesquels la demande est la plus forte, tels que les mémoires MOS et les microprocesseurs.

La spécialisation de la production européenne ne suit donc pas au plus près les orientations du marché.

Depuis 1987, les Européens n'ont amélioré leur position relative, comme le montre le tableau ci-dessous, que sur les composants analogiques-hybrides et sur les composants discrets : or, sur ces produits, le taux de croissance de la demande a été plus faible que sur les mémoires MOS ou les microprocesseurs domaines dans lesquels Japonais et Américains sont

spécialisés. Cette spécialisation explique que le prix moyen des composants produits par les Européens soit nettement inférieur à celui des produits de leurs concurrents. Le problème tient donc à ce qu'hormis des « produits de niche », l'Europe gagne des parts de marché sur les composants dont la demande croît le moins vite et dont le volume de vente est le plus limité.

Structure des débouchés de la production européenne de semiconducteurs

| Types de produits nécessitant des semiconducteurs | Structure des débouchés mondiaux 1993 | Taux* de croissance 1993 /1998 | % du marché européen** 1993 |
|---|---------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Informatique | 44,9 % | 14,8 % | 38,2 % |
| Télécommunications | 16,1 % | 14,3 % | 20,5 % |
| Grand public | 20,4 % | 13,1 % | 15,9 % |
| Industrie | 10,2 % | 13,8 % | 1,6 % |
| Militaire / Spatial | 3,1 % | 4,3 % | 1,6 % |
| Automobile | 5,3 % | 10,3 % | 7,8 % |

* Evaluation Dataquest
 ** Part de chaque type de produit dans la consommation de semiconducteurs en Europe

Sources : Dataquest et EIAJ⁸

En termes de consommation de semiconducteurs par les systèmes électroniques, l'Europe est structurellement moins bien placée que ses concurrents du fait de la relative étroitesse de son marché intérieur. Les produits finis réalisés en Europe ne sont pas actuellement ceux qui, en valeur, consomment le plus de semiconducteurs. Ainsi l'Europe est beaucoup moins bien classée que ses concurrents sur le marché de l'informatique ou des produits de grande consommation. L'Europe ne produit pas d'ordinateurs personnels, alors que ceux-ci nécessitent de nombreux composants.

En revanche, la part relative des semiconducteurs consommés en Europe par l'automobile et les communications est plus élevée que dans les autres zones : cet état de fait traduit l'importance de la construction automobile et des communications dans l'industrie européenne.

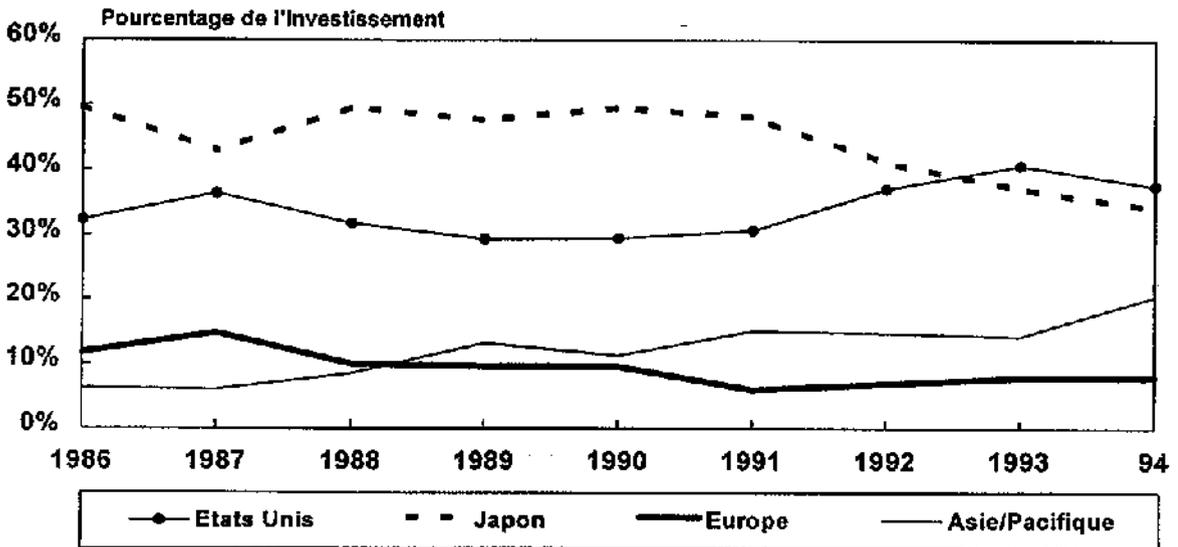
⁸ Electronic Industries Association of Japan, « Facts & Figures on the Japanese Electronic Industry », 1994, p.78.

4.1.2 Les investissements

4.1.2.1.1 Une reprise des investissements à laquelle l'Europe fait face avec difficulté

L'Europe investit moins que ses concurrents. De 1989 à 1993, la croissance des investissements a été très ralentie après le sommet atteint en 1988. On a même observé une baisse de l'investissement en 1992. Pourtant, la course aux investissements a repris en 1993 et 1994, avec un taux de croissance annuel d'environ 20 %.

Part de chaque région dans l'investissement total du monde

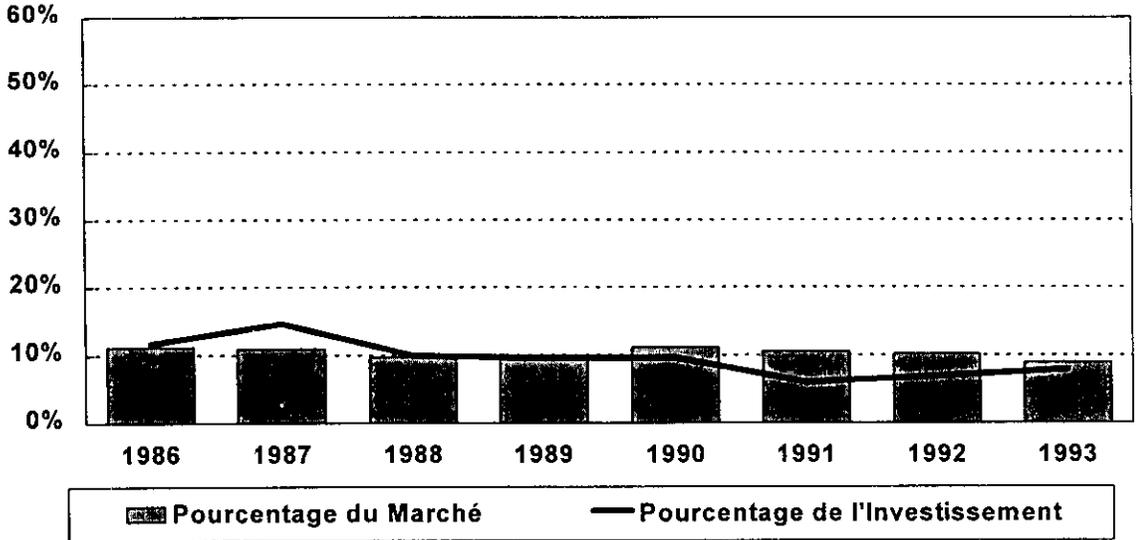


Source : Dataquest

La croissance de la part relative de l'Europe par rapport au reste du monde passe par un développement des investissements que les résultats actuels ne permettent pas de prévoir à court terme. **L'Europe est prise dans un cercle vicieux entre la faiblesse de ses investissements, l'étroitesse de sa part de marché.**

L'investissement reste bien le moteur de la croissance : le déclin de la part de marché mondiale de l'Europe a des conséquences directes sur la capacité des constructeurs européens à investir suffisamment, tandis que le déclin des parts de marché entraîne une réduction des profits et un sous-investissement.

Part de marché et investissement des sociétés européennes



Source : Dataquest

L'Europe est donc triplement désavantagée :

- son marché est relativement étroit par rapport à ceux des Etats-Unis, de l'Asie et du Japon.
- ses producteurs sont spécialisés dans des produits dont la croissance est plus lente.
- la production des Européens est trop faible pour qu'ils dégagent des bénéfices suffisants pour gagner des parts de marché.

L'Europe dispose d'une technologie de pointe, mais elle doit résoudre des problèmes financiers et industriels pour investir et gagner des parts de marché.

4.1.2.2 *Les Européens et l'implantation de fabricants non européens*

Si les producteurs européens n'investissent pas assez pour conquérir des parts du marché mondial, les pouvoirs publics des Etats membres de la communauté parviennent à se faire concurrence pour attirer des investissements étrangers !

Ainsi dans les années récentes, des aides conséquentes ont-elles été attribuées aux sociétés multinationales afin d'encourager l'installation des sites de production dans l'Union :

- Texas Instruments a reçu 130 millions de dollars,
- NEC, 50 millions de dollars,
- Intel, 86 millions de dollars,
- Fujitsu, 100 millions de dollars,
- et Samsung a obtenu 58 millions de livres sterling (soit 87 millions de dollars) pour un investissement au Royaume Uni⁹.

Les investissements étrangers sont, dans une économie globale, un facteur de développement. Il est souhaitable qu'en Europe, l'attribution d'aides substantielles ne s'effectue pas au détriment de celles consenties à des producteurs européens qui souhaitent développer leurs capacités de production, ni au détriment de « start ups », qui ont les plus grandes difficultés à trouver des moyens de financement.

Les pouvoirs publics ne devraient encourager que les sociétés étrangères qui tendent à resserrer leur collaboration avec les producteurs européens, ou à développer des activités de recherche et développement en Europe. A défaut, les producteurs étrangers ne s'implanteront dans l'Union que pour profiter de subventions et d'aides publiques, accordées moins libéralement

⁹ Cf. Financial Times du mardi 18 octobre 1994.

aux entreprises nationales. En outre, on peut se demander si les Européens bénéficient des mêmes facilités lorsqu'ils s'implantent à l'étranger.

4.1.3 Les industriels en Europe

Trois grands groupes industriels réunissent l'essentiel de la capacité de production de semiconducteurs en Europe : Philips, SGS-Thomson et Siemens. Ces sociétés ne produisent qu'une part relativement modeste des semiconducteurs du monde. Aucune d'entre elles ne se place parmi les dix premières mondiales sur des secteurs aussi essentiels que l'informatique ou les communications, comme on le voit dans le tableau ci-dessous :

Classement des sociétés européennes productrices de composants

| Type de produit nécessitant des semiconducteurs | % de la consommation totale en 1993 | Rang | Nom de la société | Chiffre d'affaires (millions de dollars) | % de la production totale |
|---|-------------------------------------|-------------------|-------------------|--|---------------------------|
| Informatique | 44,9 % | - | - | - | - |
| Télécommunications | 16,1 % | - | - | - | - |
| Grand public | 20,4 % | 4 ^{ème} | Philips | 1.081 | 6,19 % |
| Industrie | 10,2 % | 7 ^{ème} | SGS-Thomson | 441 | 5,05 % |
| Militaire / Spatial | 3,1 % | 8 ^{ème} | GEC-Plessey | 97 | 3,6 % |
| | | 9 ^{ème} | SGS-Thomson | 87 | 3,25 % |
| Automobile | 5,3 % | 2 nd | SGS-Thomson | 252 | 5,56 % |
| | | 9 ^{ème} | Siemens | 182 | 4,00 % |
| | | 10 ^{ème} | Philips | 138 | 3,04 % |

Source : Dataquest.

4.1.3.1 Philips

Le groupe Philips a réalisé un chiffre d'affaires de 58,8 milliards de florins (y compris la consolidation de Grunding) en 1993, soit 31,6 milliards de dollars¹⁰. Le résultat d'exploitation de la société s'élevait à 2,9 milliards de florins (1,56 milliard de dollars). Le groupe Philips emploie environ 252.000 personnes.

¹⁰ Philips en 1992, principales données.

Les différentes divisions couvrent respectivement les secteurs de l'éclairage (7,8 milliards de florins de chiffre d'affaires en 1992, soit 4,19 milliards de dollars), de l'électronique domestique (21,3 milliards de florins de chiffre d'affaires soit 11,46 milliards de dollars) et des autres produits grand public, tels que les appareils ménagers (rasoirs, fers à repasser, aspirateurs). Une division du groupe produit également des appareils et systèmes professionnels, tels que les systèmes de communication ou les systèmes médicaux (9,2 milliards de florins de chiffre d'affaires soit 4,95 milliards de dollars).

Enfin, la branche semiconducteurs du groupe a réalisé un chiffre d'affaires de 2,245 milliards de dollars en 1993. La structure de ses produits ne la distingue pas spécifiquement des autres producteurs européens, compte tenu de la forte part qu'y prennent les composants discrets et analogiques.

Tout comme les autres producteurs européens, Philips a noué des alliances stratégiques. Ainsi avec Intel sur les microprocesseurs 16 bits, avec SGS-Thomson sur le développement d'une technologie submicronique CMOS.

4.1.3.2 *SGS-Thomson*

La société franco-italienne SGS-Thomson est née en 1987 de la fusion de SGS Microelettronica, filiale de I.R.I. Finmeccanica et de Thomson-Semiconducteurs. Les principaux actionnaires de SGS-Thomson sont le CEA, France Télécom, Thomson-CSF, l'IRI et Finmeccanica.

L'objectif affiché par les créateurs de SGS-Thomson était « d'offrir une indépendance stratégique à ses partenaires mondiaux, comme un producteur de semiconducteurs viable et bénéficiaire », en tirant parti des points forts de chacune des deux sociétés.¹¹

Le plan stratégique de SGS-Thomson prévoyait trois phases :

- 1987-1988 : restructuration et rationalisation,
- 1988-1992 : création de secteurs d'excellence et accroissement des parts de marché,

¹¹ « To offer strategic independence to our partners worldwide, as a profitable, viable, broad range semi-conductor supplier » cf. Dataquest : « S.G.S.-Thomson Microelectronics NV, Vendor profile », novembre 1993, p.12.

- 1992 : ... poursuite de l'accroissement des parts de marché et augmentation de la profitabilité.

Après sept ans d'existence, on constate que ces objectifs sont réalisés : SGS-Thomson est bénéficiaire. Ses investissements importants (480 millions de dollars en 1993, environ 700 millions de dollars¹² en 1994), placent la société au niveau des 9^e ou 10^e producteurs mondiaux en termes d'investissements, alors qu'elle occupe actuellement la 14^e place au classement des producteurs en termes de chiffre d'affaires. En outre, le taux de croissance du chiffre d'affaires de la société est supérieur au taux de croissance du marché : SGS-Thomson gagne des parts de marché et réalise 90% de ses ventes hors de France, et 52 % de ses vente hors d'Europe.

SGS-Thomson s'est notamment spécialisée sur le créneau des mémoires Flash dont les ventes ont connu un fort développement, lui assurant de substantiels bénéfices.

Tout comme ses concurrents, SGS-Thomson s'est engagée dans une politique mondiale, elle fournit ainsi des semiconducteurs à Northern Telecom. Des alliances ont été conclues :

- avec Mitsubishi sur les flash EPROMs,
- avec Philips, pour trouver des procédés de fabrication dans la filière de 0,5 μ , en technologie CMOS VLSI,
- avec Mitsubishi sur les mémoires Flash EPROMs,
- avec Alcatel Mietec auquel SGS-Thomson transfère la technologie qu'il développe.

Afin d'accroître les moyens de la société, on a procédé, voici quelques jours, à l'ouverture et à l'augmentation du capital de SGS-Thomson.

L'ouverture du capital permettra de donner une évaluation effective de la société par des partenaires privés, en d'autres termes une « référence financière », et de manifester clairement que SGS-Thomson est une société concurrentielle et bénéficiaire. Tous les fonds disponibles seront affectés au financement de la croissance de la société qui ne prévoit pas de distribution de dividendes dans un futur proche.

¹² L'usine nouvelle, n° 2478 du 10.11.1994, p. 18.

Compte tenu des fluctuations de la conjoncture, il est souhaitable que l'actionnariat public conserve une certaine part de la société.

4.1.3.3 Siemens

Le Groupe Siemens a réalisé un chiffre d'affaires de 81,6 milliards de DM en 1993 (49,6 milliards de dollars) et un résultat de l'ordre de 1,95 milliard de DM (1,17 milliard de dollars). Ce groupe offre l'exemple d'une intégration verticale puisque ses dirigeants ont choisi de conserver une division composants, malgré le coût de celle-ci.

Siemens Halbleiter, la branche semiconducteurs de Siemens, représente 2 % du chiffre d'affaires total du groupe dont 65 % des activités industrielles utilisent des composants microélectroniques. La part des semiconducteurs consommés et produits par Siemens est comprise entre 10 et 20 % du total.

L'intégration permet à Siemens de conserver un haut niveau technologique. Selon ses dirigeants, la division semiconducteurs supporte intégralement le coût de ses recherches, ce qui explique des résultats déficitaires de cette division ; cependant la direction de la société a annoncé qu'elle entendait mieux intégrer la R & D du groupe au sein d'un processus global de production proche du marché.

Compte tenu des coûts importants de recherche et développement, Siemens a choisi de s'associer :

- avec IBM pour le développement d'une puce 64 Mégabits (1990-1995) et pour la production d'une mémoire DRAM 16 Mégabits à Corbeil,
- avec IBM et Toshiba pour la conception et développement d'une puce 256 Mégabits (1992-2000),
- avec NEC, Toshiba et MIPS pour développer une nouvelle génération de microprocesseur RISC.

Au total, le chiffre d'affaires de la division semiconducteurs de Siemens s'élevait à 1,5 milliard de dollars en 1993. Des estimations permettent de penser que les pertes enregistrées en 1992 et 1993 par la société étaient respectivement de 300 et 150 millions de dollars (500 et 250 millions de DM). Un retour à l'équilibre est envisagé pour la fin de l'exercice 1994-95 et Siemens a réalisé d'importants investissements à Dresde en 1993.

La construction de l'usine de Dresde (pour un montant total évalué à 2,4 milliards de DM sur dix ans, soit 1,45 milliard de dollars) permettra au groupe de disposer d'une source interne d'approvisionnement en composants stratégiques, tels que les mémoires DRAMs nécessaires aux autres divisions (informatique, et télécommunications notamment). Les travaux commencés en juin 1994 permettraient l'entrée en service dès le 1er trimestre 1996 d'une ligne de production de DRAM, de 16 Mégabits, à laquelle s'ajouterait ultérieurement une ligne de fabrication de puces de 64 Mégabits.

Siemens disposera alors de toute la chaîne des générations de mémoires les plus modernes.

Les dirigeants souhaitent que la conception des installations soit inspirée du concept de production flexible, aussi un centre de R&D serait adjoint à l'usine. En tout, 1200 emplois hautement qualifiés seraient créés¹³. Siemens reste le seul maître d'oeuvre du projet avec ZMD, Zentrum Mikroelektronik Dresden, (on avait initialement annoncé la participation d'autres sociétés). Le coût de l'usine serait réduit par le recours à des éléments modulables destinés à la production de circuits logiques spécifiques (ASICs) pour des industriels des télécommunications et de l'automobile.

Malgré le libéralisme affiché par les autorités de Bonn, les aides publiques consacrées au projet se monteraient à environ 800 millions de DM (485 millions de dollars) sur 10 ans, versées il est vrai au titre de l'aide au développement des territoires de l'ex RDA.

Trois raisons semblent expliquer le choix de Siemens :

- les subventions importantes dont le projet bénéficiait,
- le danger que représentait l'éventuelle installation d'un constructeur étranger à Dresde,
- le désir de ne pas être écarté de la compétition internationale dans un secteur où la société était relativement faible.

¹³ Franckfurter Allgemeine Zeitung, 18 février 1994.

4.1.4 La recherche-développement en Europe

4.1.4.1 Quelle part de leur chiffre d'affaires les industriels peuvent-ils consacrer à la recherche ?

Le soutien des pouvoirs publics à la recherche revêt en Europe deux modalités particulières. En premier lieu, l'Union aide la recherche par une action institutionnelle : elle lance de grands programmes dont les résultats se diffusent dans l'industrie.

En second lieu, des actions spécifiques sont conduites par les industriels et financés en partie par les gouvernements, tels EURÉKA ou JESSI.

4.1.4.2 JESSI

Devant la menace de voir l'Europe perdre une compétence technologique essentielle, les industriels et les Etats membres de l'Union ont tenté de mettre en oeuvre un grand programme coopératif, en vue de développer les filières semiconducteurs submicroniques, dont les fabricants de systèmes électroniques européens auront besoin. Le Joint European Submicron Silicon Initiative. JESSI a été lancé en 1989. Sa vocation n'est pas de réunir toutes les entreprises européennes en un seul groupe, mais de faire collaborer des entreprises concurrentes sur des programmes européens précompétitifs.

JESSI couvre tout le champ du silicium submicronique à l'exclusion d'autres supports. Le programme permet une coopération verticale des divers producteurs d'équipements, de composants, de systèmes, de laboratoires et d'universités.

JESSI ne tend pas à se substituer à une politique industrielle, il reste précompétitif et ne vise pas à définir des produits. Les membres de chaque projet conservent chacun le droit de développer individuellement les produits issus de leur recherche commune.

Créé à l'initiative des industriels, avec le soutien des pouvoirs publics, JESSI a reçu le label EURÉKA en juin 1989. A ce titre, le programme réunit des entreprises de 17 Etats, dont certains n'appartiennent pas à l'Union européenne. JESSI est cependant, compte tenu de l'importance des moyens qu'il nécessite, beaucoup plus vaste que les autres programmes EURÉKA. Outre 150 industriels, JESSI associe 40 universités et instituts de recherche.

4.1.4.2.1 Organisation de JESSI

Pour coordonner les efforts des industriels, on a créé une structure souple, qui réunit les responsables publics et privés au plus haut niveau : le JESSI Board, responsable de la stratégie et de la cohérence de l'ensemble du programme. Quant au JESSI Committee, il coordonne la stratégie des pouvoirs publics. Le Board Support Group réunit les directeurs des principales entreprises et traite les questions opérationnelles. Le pendant du Board Support Group du côté des administrations est le Government Action Team qui assure la liaison régulière entre les industriels et les autorités publiques des différents Etats contributeurs. Le JESSI Office, installé à Munich, est une structure légère qui constitue le support permanent du programme.

JESSI comprend quatre sous-programmes, eux-mêmes divisés en plusieurs agrégats de projets ou "*clusters*". Ces sous-programmes couvrent les différents secteurs du silicium submicronique, soit :

- la technologie,
- les équipements et matériaux,
- les applications,
- la recherche de base.

4.1.4.2.2 Les moyens de JESSI

Le budget total prévisionnel du Programme JESSI s'élevait, selon les données du rapport MEXANDEAU, à 27 milliards de francs¹⁴, dont la moitié devait être pris en charge par les industriels et l'autre par les pouvoirs publics (Communauté européenne et différents Etats).

En pratique, les financements publics ne transitent pas par le JESSI Office, ils sont directement attribués à des industriels par les pouvoirs publics des seuls Etats concernés ou la Communauté. Dans notre pays, la participation de l'Etat est versée par le ministère de l'Industrie.

La part de la Communauté s'élève à 21 % des financements publics. Les industriels auraient souhaité que la contribution de l'Union européenne atteignît

¹⁴ Rapport de M. Louis MEXANDEAU député, n°1181 Assemblée nationale, Sénat, n°180 IXe législature, p.140.

la moitié du total des financements publics. Au total, de 1990 à 1995, les pouvoirs publics auront déboursé environ 1 milliard d'ECU pour le programme.

Oùtre un certain nombre de projets labellisés par JESSI, la Communauté finance des projets dont les objectifs sont voisins de ceux de JESSI.

4.1.4.2.3 Les résultats de JESSI

JESSI a démontré qu'une recherche précompétitive était possible en Europe. Après quelques difficultés initiales, le programme fonctionne de mieux en mieux.

Des résultats techniques importants sont au crédit du programme. La technologie dite « 0,5 micron » est aujourd'hui disponible en Europe, ce qui n'était pas assuré voici 5 ans. A la fin 1993, les résultats les plus importants de JESSI tenaient notamment à :

- la réalisation d'échantillons de mémoire EPROM 16 Mégabits.
- la version industrielle du logiciel « CAD FRAME »,
- la réalisation de photorépéteurs « *1 line* » en production,
- la réalisation de testeurs analogique / numérique.

Au total, les industriels et les pouvoirs publics et la Commission européenne sont satisfaits des résultats de JESSI.

4.1.4.2.4 L'évaluation des résultats de JESSI

Les industriels ont assuré la première évaluation par une revue technique bisannuelle des programmes. Le JESSI Committee reçoit, pour sa part, un rapport du JESSI-Board sur l'état d'avancement du programme. Enfin, des rapports sont réalisés par des experts indépendants. Une évaluation globale a commencé en 1994. Elle sera analogue à celles réalisées pour les programmes EUREKA. Les conclusions de cette étude seront disponibles courant 1995.

Vu l'importance des sommes en jeu, il est indispensable de procéder à des évaluations régulières, conduites par des experts indépendants.

4.1.4.3 Les III^e et IV^e Programmes Cadres européens pour la Recherche et le Développement et la microélectronique.

ESPRIT est le nom du programme spécifique aux technologies de l'information du III^e PCRD.

Le programme, qui a débuté en 1990, se termine en 1994. Cinq secteurs ont été couverts : la microélectronique, le traitement de l'information et les logiciels, la domotique et les périphériques, la production assistée par ordinateur et la recherche de base.¹⁵

En deux phases successives, ESPRIT III a sélectionné des projets par voie d'appels d'offres. De 1992 à 1994, le montant des sommes engagées au titre des appels d'offres a été le suivant :

| (millions d'Ecus) | Total | dont microélectronique |
|---------------------|-------|------------------------|
| ESPRIT III-1 | 1815 | 235 |
| ESPRIT III-2 | 409,5 | 101,1 |

Source : SERICS

4.1.4.4 Les semiconducteurs dans le IV^e PCRD

Par une décision¹⁶ du 26 avril 1994, le Parlement européen et le Conseil ont décidé la création d'un nouveau programme cadre pluriannuel destiné à soutenir des actions de R & D technologique et de démonstration. De 1994 à 1998, la contribution de la Communauté au titre du IV^e P.C.R.D. s'élèverait à 11.046 millions d'écus. Sur ce montant maximal, la répartition des thèmes et de leurs financements pour le secteur des technologies de l'information et des télécommunications (qui comprennent les semiconducteurs et la microélectronique) sera la suivante :

Budget total Technologie de l'Information (TI) : 3405 millions d'écus, dont :

¹⁵ Cf Décision du conseil du 8 juillet 1991, adoptant un programme spécifique de recherche et développement dans les secteur des technologies de l'information (1990-1994) annexe 2, J.O.C.E. n°L.218/25 du 6 août 1991.

¹⁶ Décision n°1110/94/CE du Parlement européen et du Conseil du 26 avril 1994, relative au quatrième programme cadre de la Communauté européenne pour les actions de recherche et de développement technologique et de démonstration (1994-1998), J.O.C.E. N° L.126, du 18 mai 1994.

- télématique : 843 millions d'écus,
- technologie des télécommunications : 630 millions d'écus,
- technologie de l'information : 1.932 millions d'écus, (dont environ 25 %, soit 483 millions d'écus seront consacrés aux semiconducteurs).

Le programme « Technologies de l'information » (T.I.) du 4^e P.C.R.D. prendra la suite d'ESPRIT III à compter de la fin 1994.

Le programme T.I. serait réparti entre des secteurs suivants¹⁷:

- recherche à long terme,
- technologie des logiciels,
- technologie des composants et sous-systèmes,
- systèmes multimédia,
- faisceaux d'activités ciblés :
 - initiative des systèmes de microprocesseurs ouverts,
 - calcul et réseaux à haute performance,
 - technologies destinées aux processus d'entreprise,
 - intégration dans la fabrication.

La proposition initiale de la Commission tendait à consacrer 23 % du programme « Technologies de l'Information » aux composants et sous-systèmes, portée à 25,5 %.

Le programme de travail de la Commission prévoit de développer l'action de la Communauté autour de quatre thèmes, parmi lesquels on trouve, en ce qui concerne la technologie des composants et des sous-systèmes¹⁸ :

- les semiconducteurs
- les microsystèmes
- les périphériques

On constate donc que ni le programme JESSI, ni le programme qui lui succédera ne sont explicitement visés dans le programme spécifique « Technologies de l'Information » du 4^e P.C.R.D. Les nouveaux projets, mis en

¹⁷ Proposition modifiée de décision du Conseil arrêtant un programme spécifique de Recherche et Développement technologique dans le domaine des technologies de l'information, J.O.C.E. n°C262126 du 20 septembre 1994.

¹⁸ European Commission, Information technology programme (1994-1998), Work programme 1994, p.18-22.

oeuvre par les promoteurs de JESSI après le terme de celui-ci, devront être soumis à la procédure d'appel d'offres communautaire qui commencera en décembre 1994. **Il est souhaitable que la Communauté ne relâche pas son intérêt pour un programme coopératif consacré spécifiquement aux semiconducteurs.**

4.1.5 L'intégration en Europe entre producteurs et consommateurs de semiconducteurs

L'intégration entre la recherche, le développement, et la production de puces et de systèmes électroniques n'est pas d'une égale intensité.

Au plan de la recherche, l'Europe a fait un grand progrès en développant la collaboration entre les industriels grâce à JESSI. Quant à Philips et SGS-Thomson, ils ont mené une collaboration précompétitive. Mais en matière de production, l'intégration horizontale des firmes européennes est faible, voire nulle : ainsi Siemens collabore-t-il avec IBM sur les DRAMs et non avec un producteur européen.

Les relations entre les producteurs de puces et les fabricants d'équipements de production ne sont donc pas non plus très étroites. Cette situation est dommageable aussi bien aux uns et aux autres.

4.1.5.1 Les équipements : vers une dépendance accrue de l'Europe ?

Du point de vue des équipements, les Européens sont parvenus à conserver une part du marché mondial très conséquente 26 % du marché des plaques de silicium.

En ce qui concerne les matériaux, les Européens sont parvenus à une part de marché significative. L'Europe détient 26 % du marché des « wafers » grâce à Wacker et MEMC.

Quant à la fourniture des gaz purs, l'Air Liquide y utilise son savoir-faire, profitant également d'une implantation très ancienne au Japon où l'une de ses filiales fournit une part importante du marché.

Dans le domaine de la chimie, Merck figure parmi les dix premiers mondiaux.

Malheureusement les producteurs européens de circuits intégrés sont de plus en plus dépendants des fabricants d'équipements de production non européens.

Les fabricants de circuits intégrés européens parviennent à développer des technologies de pointe grâce à des équipements dont l'origine est principalement japonaise ou américaine. Malgré les efforts des partenaires du sous-programme « équipement et matériaux » de JESSI et la réalisation d'un photorépéteur européen grâce au programme, l'Europe n'est pas parvenue à renforcer la position de ses équipementiers ; leur part de marché dans le monde reste durablement inférieure à 10 %, et le taux de couverture des besoins européens est inférieur à 20 %.

L'Europe conserve avec ASM Lithographie (3^e mondial dans le domaine des « steppers ») l'un des rares producteurs de photorépéteurs du monde.

Quant à ASM International, une société également originaire des Pays-Bas, elle produit notamment des machines destinées au dépôt chimique en phase vapeur.

Compte tenu de sa faiblesse en matière d'équipements de production, l'Union européenne court le risque, au cas où ceux-ci viendraient à disparaître, de subir une rétention des machines.

Or la livraison différée des équipements peut avoir des conséquences très dommageables pour les producteurs de composants.

La perpétuation d'un duopole américano-japonais est donc un pis-aller pour l'Europe, un moindre mal qui atténue le risque de dépendance technologique.

L'Europe consacre un effort de recherche équivalent à celui des meilleurs, mais elle ne parvient pas à le transformer en résultats industriels à la mesure de son savoir-faire. La structure de consommation et les modalités de financement de l'industrie des semiconducteurs ne permettent pas le développement optimal de cette industrie.

5. La France : réussites et interrogations

5.1 Les industriels implantés en France

Pour la commodité de l'exposé on distinguera, parmi les producteurs implantés sur le territoire français, ceux contrôlés par des actionnaires français et ceux contrôlés par des actionnaires principalement étrangers.

5.1.1 Producteurs sous contrôle français

5.1.1.1 SGS-Thomson

On a vu, dans le chapitre sur l'Europe, des éléments généraux relatifs à SGS-Thomson.

La société dispose de plusieurs sites de recherche et de production dans notre pays.

SGS-Thomson possède des sites de production en France, notamment à Tours, au Rousset, et près de Grenoble, où a été construite l'usine de Crolles.

L'usine de Crolles permettra l'assemblage de technologies depuis 0,5 micron jusqu'à 0,2 micron, sur des plaques de silicium de 200 mm de diamètre. A terme, 3.400 m² de salles blanches de classe 1 permettront une production mensuelle de plus de 20.000 plaques.

5.1.1.2 Matra MHS

Matra MHS est née en 1980 de la coopération du français Matra-Hachette et de Temic, filiale spécialisée dans la micro-électronique de Daimler Benz. Son usine, installée à Nantes, emploie 900 personnes et dispose de 3.200 m² de salles blanches de classe 10, permettant la production de 130.000 plaques de 125 mm/an. Le chiffre d'affaires de 638 millions de francs en 1992 et de 700 millions de francs en 1993 est exporté pour les 2/3.

Une augmentation de la capacité des installations de Nantes est prévue pour 1994-1996, elle conduirait à l'implantation de 1.000 m² de salles blanches

de classe I et à l'augmentation de la capacité de production annuelle à 180.000 plaques par an pour des géométries de 0,5, puis 0,35 micron.

5.1.1.3 ES2

Créée en 1985, la société ES2, installée au Rousset, est spécialisée dans le développement d'ASICs CMOS. Son capital est actuellement réparti entre des industriels (Philips, Aérospatiale société nouvelle industrie, Olivetti, Saab-Scania, Combitech, Siemens) pour environ 60 %. Le solde provient des fondateurs (8 %) et de sociétés capital-risque. ES2 permet à des fabricants de systèmes, qui utilisent la micro-électronique, de développer des ASICs précaractérisés ("*Cell Based ASICs*") dans des délais courts, pour des prototypes ou de petites séries. Le temps de fabrication, actuellement de 25 jours, pourrait être réduit, notamment du fait des résultats de recherches conduites dans le cadre du programme JESSI. ES2 emploie actuellement 235 personnes dont 30 hors de France ; son résultat prévisionnel s'élève en 1994 à un peu plus de 15 millions de francs pour un chiffre d'affaires d'environ 209 millions de francs.

5.1.1.4 MIETEC

Alcatel a choisi de se doter d'une compétence propre en matière de semiconducteurs, afin d'assurer son indépendance.

Alcatel-Mietec a été fondée, en 1984, par Alcatel, associé à Bell Téléphone, filiale de ITT à 100 %, avec l'aide du fonds flamand d'investissement GIMV (dont la présence dénote l'intérêt des pouvoirs publics belges pour les composants). Aujourd'hui, Alcatel détient, via les six filiales de son groupe, la totalité du capital de Mietec.

Mietec fabrique des ASICs pour sa maison mère et vend le reste de sa production, notamment à PSA, SAGEM, Télémécanique. Le chiffre d'affaires réalisé en 1993 était d'environ 650 millions de francs français. Le site de production de la société, situé en Belgique, à Oudenaarde près de Gand, collabore avec le laboratoire belge IMEC qui dépend de l'Université de Louvain.

5.1.2 Les producteurs étrangers implantés en France

5.1.2.1 *I.B.M*

IBM possède une usine à Corbeil Essonne qui dispose de quatre lignes de fabrication, dont deux lignes CMOS (logique et 16 Mégabits 0,5 μ , cette dernière étant partagée avec Siemens) et deux de produits bipolaires. Ces installations représentent 40.000 m² de salles blanches.

L'usine qui emploie 3.000 personnes dispose d'un laboratoire de développement et de conception de circuits intégrés VLSI (microcontrôleurs, convertisseurs digitaux, contrôleurs de communication...). Elle fabrique également des ASICs, des microprocesseurs et des mémoires DRAMs et SRAMs.

5.1.2.2 *MOTOROLA*

Le groupe Motorola a réalisé en 1993 un chiffre d'affaires de 17 milliards de dollars, soit 96,7 milliards de francs, ses activités en Europe représentant 1/5^è du total. La marge nette réalisée par le groupe s'est élevée à un milliard de dollars, les dépenses mondiales de R & D avoisinaient 1,52 milliard de dollars (8,7 milliards de francs), soit environ 9 % du chiffre d'affaires, et ses investissements s'élevaient à 2,13 milliards de dollars. La société a un portefeuille de produits très large, destiné aux radiocommunications, à la téléphonie cellulaire, aux systèmes d'information et à l'électronique automobile.

Motorola emploie 11.000 personnes dans dix usines. L'usine de semiconducteurs, située à Toulouse depuis 1967, emploie 1.900 personnes. Un centre de conception y a été installé en 1988 qui travaille sur les circuits analogiques et les composants de puissance. Motorola collabore avec les laboratoires toulousains du LAAS. Une autre usine, située à Angers, emploie 400 personnes et produit des modules électroniques pour l'automobile. La production réalisée en France est de 3,7 milliards de Francs, dont 53 % sont exportés.

Motorola a investi 250 millions de francs sur son site de Toulouse en 1993, afin de créer une ligne de production de circuits intégrés, BiCMOS, de puissance intelligente, destinés à l'automobile, à l'informatique, aux

télécommunications. L'investissement a nécessité la réalisation d'une nouvelle unité de 2.000 m² de salles blanches de classe 10, ayant une capacité de 12.000 "wafers" de 150 mm/mois.

5.1.2.3 Philips

Les effectifs de l'usine Philips Composants de Caen s'élèvent à 910 personnes en 1994, les surfaces de salles blanches (5.000 m²) permettent de fabriquer un million de puces par jour. 20 % du chiffre d'affaires sont consacrés à la recherche. Les composants produits à Caen sont, d'une part, des circuits intégrés (destinés au tuner/tuning des téléviseurs, aux convertisseurs vidéo ou au contrôle moteur) et, d'autre part, des composants discrets (transistors bipolaires destinés à des radars, ou à la retransmission par satellite).

Plus de la moitié de la production est désormais exportée, principalement vers l'Extrême-Orient et les Etats-Unis.

Un projet d'agrandissement du centre de Caen a pour objet de doubler sa capacité grâce à l'extension de capacité de l'actuelle ligne 5 pouces et la création d'une nouvelle ligne 6 pouces. Cette opération nécessite un investissement de plusieurs centaines de millions de francs qui couvre le coût des équipements et du développement et les frais de formation du personnel.

L'industrie française souffre, comme l'industrie européenne, d'un manque de coopération entre les fabricants de composants et les fabricants de systèmes électroniques.

Peut-être serait-il utile pour notre pays de favoriser le rapprochement de producteurs de composants et de leurs clients dans les secteurs des télécommunications et de l'automobile, où la France dispose de fortes compétences.

5.1.2.4 TCS et l'industrie des composants militaires

Les fabricants français de semiconducteurs militaires sont dans une situation préoccupante.

Or les pouvoirs publics considèrent unanimement que l'approvisionnement de la Délégation générale pour l'armement en composants est une préoccupation durable et stratégique. Si certains composants comme les mémoires sont largement accessibles à des prix de marché, il n'en va pas de même pour des composants sophistiqués (microprocesseurs), dont certains Etats ont le monopole. Aussi la D.G.A. a-t-elle choisi de recourir au marché lorsque les produits qu'il offre satisfont ses besoins et de limiter le danger représenté par le risque de livraisons différées, en conservant, sur le sol national, les compétences nécessaires à la réalisation de certains composants militairement stratégiques.

Un problème spécifique reste d'ailleurs posé par les composants produits sous licence dans notre pays, puisque les conditions d'octroi de la licence disposent souvent que ces produits pourront être utilisés en France seulement et excluent toute exportation.

La Délégation Générale pour l'Armement a lancé un programme pluriannuel destiné au maintien, sur le territoire français, de la capacité technologique absolument indispensable à l'industrie d'armement. Ce programme constitue donc une « assurance », puisque le seul fait de savoir développer une technologie de pointe suffit à convaincre les fournisseurs étrangers de vendre à notre pays les composants nécessaires : la France assume seulement le coût du développement d'un produit et non son industrialisation.

Les industriels de l'armement français doivent, compte tenu de la réduction des marchés militaires, revoir leurs prévisions de chiffre d'affaires à la baisse : aussi est-il nécessaire d'approfondir la collaboration avec des partenaires, notamment européens, telle qu'elle a été engagée avec le programme EUCLIDE. L'utilisation de catalogues de composants complémentaires, sous réserve d'engagements de ventes réciproques, permettrait une meilleure utilisation des avantages comparatifs de ces producteurs.

Le marché des composants militaires représente environ 3 % du marché civil mondial des composants micro-électroniques : les produits sont concentrés dans des « marchés de niche » très spécifiques, ils sont par conséquent chers car

leur coût de R. & D. ne peut être amorti sur de grandes séries. La situation préoccupante du principal producteur français de composants militaires nécessitera des décisions dont la portée est lourde de conséquences pour l'avenir.

T.C.S., est la filiale de Thomson-C.S.F. Son chiffre d'affaires de 670 millions de francs ne lui a pas permis d'éviter une perte importante en 1993. On a dû procéder à des réductions de personnel, sur les sites de Corbeil et de Sainte-Egrève près de Grenoble. T.C.S. produit des composants nécessitant des technologies spécifiques :

- S.O.I. (produits durcis),
- CCD (senseurs d'images),
- Arséniure de gallium (hyperfréquence),
- SC III / V OPTO (Diodes lasers et modules).

Certains de ces composants sont nécessaires à la production de systèmes d'armes, tels que les radars à antenne active ou les applications du système de contre-mesures du Rafale. T.C.S. fournit également des services de longue durée pour des matériels militaires dont les durées de vie sont sans commune mesure avec celles des technologies civiles. Enfin, T.C.S. teste les composants militaires qui doivent répondre à des conditions de température, de résistance aux chocs et aux vibrations, d'étanchéité beaucoup plus sévères que les produits destinés à l'usage civil. Quand des produits civils peuvent être utilisés à des fins militaires, ils nécessitent, en effet, des tests de fiabilité spécifiques (tests de vieillissement, de résistance aux conditions extrêmes d'utilisation que l'entreprise réalise elle même).

Il est indispensable de conserver en France une compétence dans le domaine des composants militaires, dans la mesure où les approvisionnements extérieurs ne sont pas assurés : ainsi, une société étrangère peut-elle décider souverainement d'abandonner une technologie qu'utilisent des armes françaises, entraînant une rupture dans l'approvisionnement et la maintenance. Les refus d'exportation, auxquels la France peut se trouver confrontée, même de la part de pays amis, prouvent l'acuité de ces questions.

Or la diminution des budgets militaires a des conséquences très dommageables sur la production française de composants militaires.

Il faut donc définir en France, à l'exemple des Etats-Unis¹⁹, les modalités d'une meilleure collaboration entre les secteurs civils et militaires dans le domaine des composants.

5.2 La recherche et le développement en France

5.2.1 Le Centre commun de Crolles ST-CNET : recherche appliquée et transfert

En 1990, SGS-Thomson et le CNET ont créé un GIE, dénommé « centre commun ». Les filières mises au point et utilisées à Crolles sont CMOS et BiCMOS logiques et analogiques :

- CMOS logique haute vitesse et haute densité : 0,7, 0,5, puis 0,35 micron
- CMOS logique-analogique : 0,7, puis 0,5 micron
- BiCMOS logique-analogique

Le GIE permet l'utilisation en commun de matériels et le transfert de la recherche appliquée vers la production, moyennant une redevance.

L'essentiel de la recherche française en matière de semiconducteurs est menée au LETI et au CNET qui constituent les deux piliers du « pôle grenoblois » de la micro-électronique française. Les industriels et les laboratoires se sont engagés dans une collaboration durable

5.2.2 GRESSI

Le Commissariat à l'Energie Atomique et France Télécom, soucieux d'améliorer la collaboration entre leurs deux laboratoires, ont créé, en 1991, le groupement d'intérêt économique : Grenoble Submicronic Silicium. GRESSI résulte de la constitution progressive d'équipes mixtes, de la mise en commun de moyens matériels, issus tant du LETI que du Centre Norbert Segard. Le GIE, qui participe à JESSI, visait à l'origine à approfondir les recherches sur les technologies d'intégration des circuits CMOS sur silicium, en 0,35 et en

¹⁹Cf sur ce point : Congrès des Etats-Unis, Office of Technologie Assessment : « Contributions of DOE Weapons Labs and WIST to semiconductor Technology », Washington, Government printing Office, 1993, VII - 79 p.

0,25 micron sur des plaques de silicium de 200 mm. GRESSI a pour but de développer les modules de base pour la technologie 0,35 micron et de les transférer à des industriels, tels SGS-Thomson, ou MATRA MHS, un « joint program » est signé avec SGS-Thomson, mais GRESSI se réserve le droit de travailler avec d'autres industriels intéressés.

L'objectif de transfert et de validation sur des plaques de 200 mm des technologies 0,35 micron est désormais atteint. Plusieurs lots de plaques étant produits en technologie 0,35 micron, on envisage désormais l'étape suivante, prévue en 1996, avec la mise au point des procédés en 0,25 micron. Les résultats obtenus sont le fruit de l'utilisation de techniques nouvelles (photolithographie en ultraviolet profond, et polissage mécano-chimique...).

Le GIE CEA/CNET est donc parvenu à de très remarquables résultats, puisque ses chercheurs ont démontré la faisabilité de la technologie 0,35 micron. Cet élément est d'autant plus important qu'il est utile pour les industriels de ne pas être en retard par rapport à leurs concurrents, afin de pouvoir vendre leurs produits dans les meilleures conditions de marché. La recherche française est donc au même niveau que celle des pays les plus avancés.

Les résultats obtenus par GRESSI permettent d'envisager, après validation, la création d'une filière 0,35 micron sur le site de Crolles dès 1995.

Le G.I.E. a donc démontré qu'il était opérationnel en obtenant de très bons résultats.

Cette coopération entre le CEA et le CNET doit être encouragée. Compte tenu de l'importance des investissements et de la nécessité d'éviter toute duplication des recherches²⁰, les pouvoirs publics doivent favoriser la collaboration entre le LETI et le Centre Norbert Segard, telle qu'elle a été engagée au sein de GRESSI. S'il est prématuré d'envisager la création d'un centre unique, il faut vivement encourager le rapprochement mutuellement avantageux des deux centres d'excellence de la recherche française sur les semi-conducteurs, tel qu'il a été amorcé, ainsi que sa collaboration avec l'industrie.

²⁰Cet impératif s'est également fait sentir aux Pays Bas où l'on a entamé la rationalisation de l'organisation de certains laboratoires de recherche en 1990. Cf Ministère de l'Education et de la Science, Ministère de l'Economie des Pays-Bas : « Netherlands microelectronics policy study », rapport de M.M. B. Oackley, P. Mackintosh et R. Morland, janvier 1991, 67p.

A l'avenir, le problème qui se posera à la recherche découlera de l'apparition des plaques de 300 mm : le changement du diamètre du support de silicium nécessitera de nouvelles structures. Pourra-t-on parvenir au développement de technologies 300 mm dans des installations prévues pour le 200 mm et, dans la négative, où trouvera-t-on les moyens de financer les nouveaux investissements nécessaires ?

6. Le Japon : vers un nouveau défi ?

6.1 *Présentation générale*

6.1.1 Une industrie essentielle pour le Japon

Le Japon a manifesté très tôt son intérêt pour le secteur des semiconducteurs, les pouvoirs publics y ont mené une politique active et protectionniste dans les années 60 et 70. Les producteurs étrangers ont d'ailleurs longtemps subi des restrictions sur le marché japonais, telles que :

- **le contrôle des licences croisées** par le MITI,
- **les limitations imposées aux investissements étrangers** (jusqu'en 1974), et l'obligation de transférer de la technologie pour s'installer dans l'archipel,
- **des barrières douanières** (les importations faisaient l'objet de quotas).

Avant 1980, les Japonais se sont principalement spécialisés sur les circuits intégrés analogiques grand public, essentiellement consommés par l'important marché domestique japonais de petit électroménager.

Partant du principe que le Japon allait perdre son avantage concurrentiel avec la montée en puissance de constructeurs du Sud-Est asiatique, le MITI a décidé de coordonner l'entrée des plus grandes sociétés japonaises d'électronique sur le marché de l'électronique professionnelle (matériel de bureau, ordinateurs, télécommunications). L'un des composants principaux de ce marché était la mémoire DRAM. Sous la houlette du MITI, les constructeurs japonais ont beaucoup investi (50 % du capital investi dans les semiconducteurs dans le monde de 1988 à 1990) dans le secteur des DRAMs.

Lorsque le marché était en plein essor en 1984/85, les Japonais se taillèrent la part du lion. Puis, lorsque le marché déclina, ils pratiquèrent un « dumping » qui entraîna de graves pertes pour les fabricants européens et américains, dont la plupart produisaient alors des DRAMs.

En conséquence, la part des Japonais sur le marché mondial augmenta, passant à 48 % en 1987, alors que la part des Américains tombait à 37 %.

Le succès japonais est dû aux investissements intensifs que les fabricants ont pratiqué, ainsi qu'à la spécialisation sur le marché des DRAMs. Cette concentration a permis au Japon de pénétrer le marché des EPROMs, SRAMs et microcontrôleurs à moindre coût, une fois que l'équipement mis en place pour la génération précédente de DRAM était amorti.

Les composants occupent une place essentielle dans la production micro-électronique du Japon puisqu'en 1993 le poids relatif des composants par rapport au total de la micro-électronique japonaise était le suivant :

Part des semiconducteurs dans la production microélectronique du Japon

| (en millions de dollars) | Production | Exportations | Importations |
|--|-----------------|-----------------|----------------|
| Total de l'industrie micro-électronique | 189.078 (100 %) | 96.632 (100 %) | 19.586 (100 %) |
| Composants électroniques et dispositifs | 71.487 - | 50.033 - | 11.761 - |
| Semiconducteurs | 31.915 (16,8 %) | 15.339 (15,8 %) | 468 (23,9 %) |

Source : EIAJ²¹.

Le Japon bénéficie d'une bonne spécialisation produits puisqu'il parvient à réaliser 48 % de la production mondiale de produits mémoires MOS, dont le taux de croissance a été de 25,2 % en 1987.

Le Japon garde également de fortes positions sur les segments de marchés en croissance plus lente : 37,4 % de la production mondiale en bipolaire, 43 % en MOS LOGIC et 53 % des discrets.

La spécialisation sur des produits porteurs n'exclut donc nullement une certaine diversification.

²¹Electronic Industries Association of Japan, « Facts & Figures on the Japanese Electronic Industry », 1994, p.6.

Structure de la production japonaise par produits

| Types de produits | Croissance 1987 / 1993 | Part de chaque type de produit dans la production mondiale en 1993 | Part de la production japonaise dans la production mondiale en 1993 |
|-----------------------------|---------------------------|---|---|
| Bipolaire | - 6,9 % | 3,6 % | 37,4 % |
| Mémoires MOS | 25,2 % | 27,2 % | 48 % |
| Micro MOS | 25,5 % | 23,3 % | 23 % |
| MOS logiques | 13,3 % | 15,5 % | 43 % |
| Analogiques Hybrides | 10,4 % | 16,2 % | 35 % |
| Discrets | 5,4 % | 10,6 % | 53 % |

Source : Dataquest.

Le Japon consomme une large part des semiconducteurs qu'il produit ; aussi l'industrie nipponne a ressenti le contrecoup du récent recul du marché domestique.

Le marché intérieur a connu une récession comme l'industrie japonaise dans son ensemble. Or il représente plus du tiers du marché mondial.

Les entreprises japonaises ont subi à la fois ce ralentissement de la demande interne et la réévaluation du yen par rapport aux monnaies des producteurs concurrents.

Structure des débouchés de la production japonaise de semiconducteurs

| Types de produits nécessitant des semiconducteurs | Structure des débouchés mondiaux 1993 | Taux* de croissance 1993 /1998 | % du marché japonais** 1993 |
|--|---------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Informatique | 44,9 % | 14,8 % | 32,9 % |
| Télécommunications | 16,1 % | 14,3 % | 11,2 % |
| Grand public | 20,4 % | 13,1 % | 39,6 % |
| Industrie | 10,2 % | 13,8 % | 11,1 % |
| Militaire / Spatial | 3,1 % | 4,3 % | 0,2 % |
| Automobile | 5,3 % | 10,3 % | 5,0 % |
| * Evaluation Dataquest | | | |
| ** Part de chaque type de produit dans la consommation de semiconducteurs au Japon | | | |

Sources : Dataquest et EIAJ²²

Malgré ces difficultés, les groupes japonais demeurent structurellement très puissants, comme on le voit sur le tableau suivant.

On constate cependant que les producteurs de ce pays conservent une très grande puissance par rapport à leurs concurrents. Le tableau suivant montre ainsi que, parmi les dix premières sociétés produisant des semiconducteurs destinés aux produits grand public, huit sont japonaises.

De même, quatre des dix premières sociétés du monde, sont japonaises sur le créneau de la vente de composants aux télécommunications, à l'industrie et à l'informatique.

Le Japon occupe également de fortes positions dans l'approvisionnement du marché automobile.

²²Electronic Industries Association of Japan, « Facts & Figures on the Japanese Electronic Industry », 1994, p.78.

Classement des sociétés japonaises parmi les dix premières mondiales

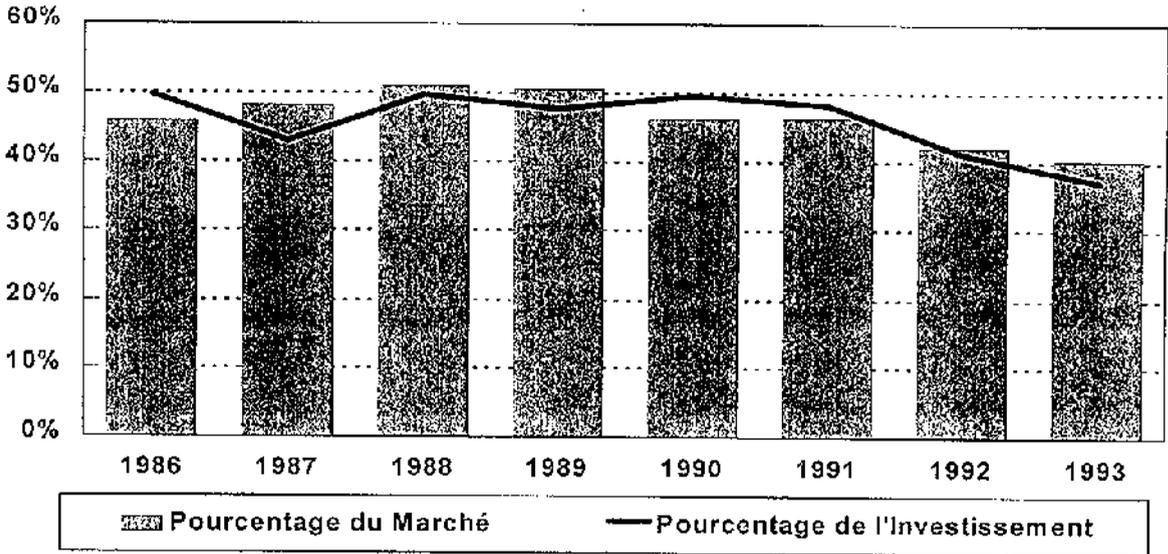
| Type de produit nécessitant des semi-conducteurs | % de la consommation totale de composants en 1993 | Rang de la société | Nom de la société | Chiffre d'affaires (millions de \$) | % de la production mondiale |
|--|---|--------------------|-------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| Informatique | 44,9 % | 2 ^{ème} | NEC | 3.193 | 8,3 % |
| | | 3 ^{ème} | Hitachi | 2.407 | 6,2 % |
| | | 5 ^{ème} | Toshiba | 2.291 | 5,9 % |
| | | 7 ^{ème} | Fujitsu | 1.845 | 4,8 % |
| Télécommunications | 16,1 % | 2 ^{ème} | NEC | 1.412 | 10,2 % |
| | | 3 ^{ème} | Hitachi | 853 | 6,1 % |
| | | 4 ^{ème} | Toshiba | 802 | 5,8 % |
| | | 8 ^{ème} | Fujitsu | 615 | 4,4 % |
| Grand public | 20,4 % | 1 ^{er} | Toshiba | 1.661 | 9,5 % |
| | | 2 ^{ème} | Matsushita | 1.383 | 7,9 % |
| | | 3 ^{ème} | Sanyo | 1.309 | 7,4 % |
| | | 5 ^{ème} | Hitachi | 1.053 | 6,0 % |
| | | 6 ^{ème} | Sharp | 1.021 | 5,8 % |
| | | 7 ^{ème} | NEC | 921 | 5,2 % |
| | | 8 ^{ème} | Sony | 853 | 4,8 % |
| 10 ^{ème} | Mitsubishi | 678 | 3,8 % | | |
| Industrie | 10,2 % | 2 ^{ème} | Toshiba | 745 | 8,5 % |
| | | 3 ^{ème} | Mitsubishi | 706 | 8,0 % |
| | | 6 ^{ème} | Hitachi | 451 | 5,1 % |
| | | 8 ^{ème} | NEC | 368 | 4,2 % |
| Militaire / Spatial | 3,1 % | - | - | - | - |
| Automobile | 5,3 % | 3 ^{ème} | Hitachi | 251 | 5,5 % |
| | | 5 ^{ème} | Toshiba | 229 | 5,0 % |
| | | 8 ^{ème} | NEC | 184 | 4,0 % |

Source : Dataquest.

6.1.2 L'investissement au Japon

Le Japon a également choisi une stratégie de surinvestissement, en R & D et en équipements de production²³.

Part de marché et investissement des sociétés japonaises



Source : Dataquest

Cette stratégie correspond à la volonté de conserver une part de marché importante. Ainsi, le coût du capital fut durablement moins élevé au Japon qu'aux Etats-Unis pour les producteurs de composants, ce qui facilita l'accroissement des capacités de production. Dans les années 70, les établissements bancaires (dont la Japan Development Bank) octroyèrent des prêts à taux préférentiel en fonction des orientations du MITI. Au cours des années 80, on recourut davantage, semble-t-il, à des prêts consentis par des banques appartenant à un même groupe, dans des conditions plus favorables que celles du marché.

Aujourd'hui, des dispositions fiscales avantageuses facilitent, en outre, l'investissement. Le système d'amortissement permet une dépréciation

²³U.S. Congress, Office of Technology Assessment, « Contribution of DOE weapons labs and NIST labs to semiconductor technology », Washington, 1993, p.60.

de 80 % sur les équipements de production la première année (contre un amortissement sur trois ans usuellement). Enfin, des fonds de réserve peuvent être constitués en franchise d'impôt pour pertes et profit ou pour inventaire²⁴.

Les producteurs japonais de semiconducteurs sont intégrés au sein d'immenses groupes industriels diversifiés, réunissant des sociétés liées par des participations croisées, ce qui leur a également permis d'assurer des dépenses en capital et en R & D plus importantes que celles de leurs concurrents, en faisant supporter le coût de la recherche à l'ensemble du groupe.

6.2 La Recherche et le Développement

6.2.1 Des aides à la recherche fondamentale aux grands programmes du MITI

Une part importante de la recherche de base est conduite et financée par de grands programmes de l'Agence pour la Science et la Technologie, dont le budget s'élève à 581,6 milliards de yens (soit 5,23 milliards de dollars).

Ainsi, la recherche de base est prise en compte dans l'« Industrial Science and Technology Frontier Program ». Ce grand programme couvre notamment la supraconductivité, les nouveaux matériaux, les biotechnologies, l'électronique, l'information et les communications.

Le programme « Material science and technology », dont le budget s'élève à 15,3 milliards de yens (137 millions de dollars), tend à améliorer la connaissance de domaines tels que les matériaux supraconducteurs, les métaux, l'ultravide.

La recherche précompétitive s'effectue notamment dans les laboratoires publics appartenant au MITI, sous la direction de l'Agency of Industrial Science and Technology, dont le budget se monte à 284 milliards de yens (2,5 milliards de dollars).

²⁴U.S. Congress, Office of Technology Assessment, « Contribution of DOE weapons labs and NIST labs to semiconductor technology », Washington, 1993, p.75 et suivantes.

Au total, quinze grands laboratoires publics collaborent à la recherche précompétitive. Les industriels effectuent, quant à eux, les recherches qui ne peuvent être traitées par les laboratoires publics dans le cadre des grands programmes du MITI : la recherche industrielle sur les semiconducteurs semble donc très appliquée ; elle est financée par les entreprises.

Le Japon consacre des sommes importantes aux recherches précompétitives, dont les thèmes sont définis en concertation avec les industriels. A cette fin, de nombreuses associations professionnelles participent à la définition des objectifs : ces petites structures tracent des perspectives d'avenir.

Une partie de l'aide publique à la recherche de base provient également d'une structure originale, le **Japan Key Technology Center (JKTS)**, dont les ressources sont issues tout à la fois ²⁵:

- d'investisseurs privés pour 5.054 millions de yens (45 millions de dollars),
- de la Japan Development Bank pour 4.200 millions de yens (38 millions de dollars),
- d'investissement du gouvernement et du produit des intérêts des titres (achetés lors de la privatisation de NTT) pour 10.900 millions de yens (98 millions de dollars).

Le Japan Key Technology Center finance la constitution de petites sociétés destinées à réaliser une recherche de base (dans tous les secteurs industriels reconnus stratégiques : nouveaux matériaux, biotechnologies, électronique, radiocommunications...), par le biais de prises de participation au capital et de prêts bonifiés.

Au total, ces investissements en capital ont atteint 22.000 millions de yens (198 millions de dollars) et les prêts accordés, 6.500 millions de yens en 1992 (58 millions de dollars).

Le taux effectif des prêts du JKTS n'est déterminé qu'au vu des résultats obtenus par l'entreprise créée, quant aux entreprises qui investissent dans les petites structures, créées avec l'aide du JKTS, elles bénéficient d'avantages fiscaux.

²⁵Japan Key Technology Center, Profile.

S'agissant du secteur des semiconducteurs, le JKTS a notamment aidé des projets relatifs à des systèmes ultrapropres et à des méthodes de connexion des circuits électroniques²⁶.

Au total, les pouvoirs publics ont aidé la recherche précompétitive tout en évitant la constitution de groupes monopolistiques. Il en est résulté une émulation entre les participants aux divers plans que le MITI a lancés depuis 1975.

6.2.2 Des instituts qui préparent l'avenir

Outre les liens entre les producteurs de composants et les groupes industriels auxquels ils appartiennent, les fabricants de semiconducteurs participent à des instances de concertation destinées à définir une stratégie commune sur les problèmes industriels, tels que le SIRIJ ou l'OITDA.

6.2.2.1 *Le Semiconductor Industry Research Institute Japan (SIRIJ)*

La création de cette entité²⁷ traduit le souci des pouvoirs publics et des entreprises japonaises de renforcer les collaborations avec l'étranger. L'institut a été fondé en avril 1994 par dix sociétés japonaises : Fujitsu, Hitachi, Matsushita Electronics, Mitsubishi Electric, NEC, Oki Electric, Sanyo Electric, Sharp, Sony, Toshiba.

Le SIRIJ veut être un « réservoir d'idées » et se fixe pour but de contribuer à la revitalisation de l'industrie des semiconducteurs. Ses études porteront tant sur la fiscalité que sur les coûts industriels et la coopération internationale (standards et politiques commerciales). Son budget annuel est d'environ 3 millions de dollars.

6.2.2.2 *L'Optoelectronic Industry Trade and Development Association (OITDA)*

S'intéressant aux secteurs des lasers semiconducteurs, photodétecteurs, diodes d'affichage, batteries solaires, fibres optiques, l'OITDA réunit les plus grandes entreprises intéressées - au sens large - par cette activité. Ces sociétés

²⁶Japan Key Technology Center, « List of investment and loan projects », 1985-1993, p. 41.

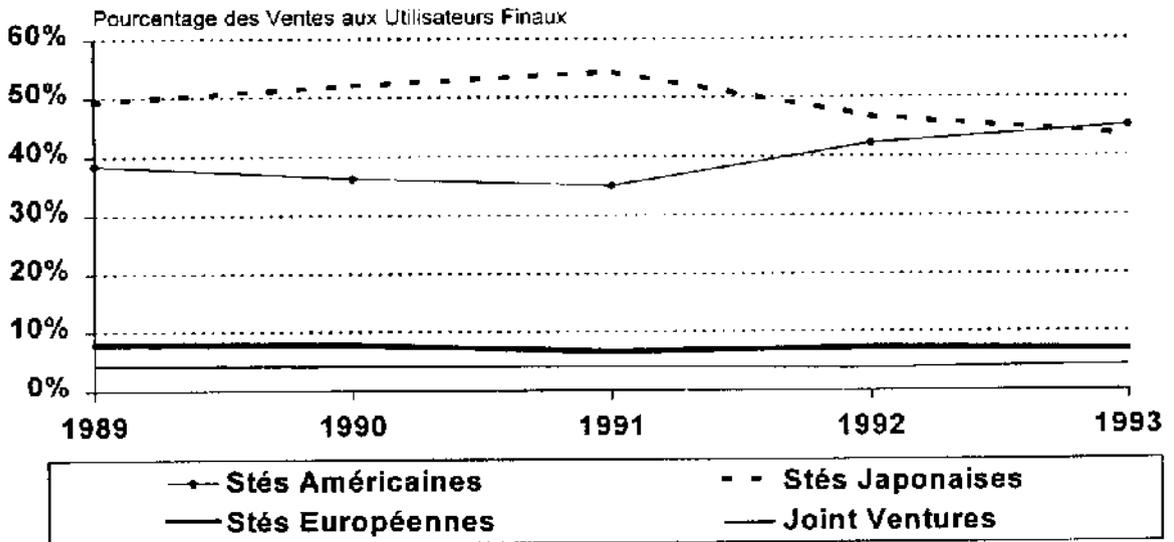
²⁷Profile of the Semiconductor Industry Research Institute Japan.

appartiennent aux secteurs²⁸ de la construction, du textile, de la chimie, du verre et de la céramique, de l'acier et des non-ferreux, des fils électriques, des machines, de l'ingénierie, de l'électronique et des applications électroniques, des instruments de précision, de la vente, de l'électricité et de la banque.

6.3 Verticalisation et intégration : de fortes alliances industrielles

L'industrie japonaise est la seule, dans le monde, qui soit parvenue à une réelle autosuffisance en matière d'équipements de production. Cette situation résulte à la fois de l'importance du marché domestique nippon et de l'intégration des entreprises. Ainsi les fabricants de « wafers » de silicium japonais contrôlent 69 % d'un marché de 3,4 milliards de dollars en 1993. Leur position reste stable par rapport à 1987. Comme le montre le tableau suivant. Le Japon investit d'ailleurs, pour l'avenir, sur la lithographie rayons X et consacrera 62 millions de dollars, de 1986 à 1996, au programme « lithography synchrotron ».

Parts de marché des fabricants d'équipements dans le monde



Source : Dataquest.

²⁸Source : Optoelectronic Industry and Technology Development Association, Profile.

Le Japon est donc parvenu à coordonner le développement de chacun des segments de son industrie des composants, depuis les fabricants d'équipements et de puces, jusqu'aux consommateurs de ces produits.

Cette intégration efficace est facilitée par la taille du marché domestique et les structures du système industriel japonais. Ce dernier permet aux sociétés d'un groupe d'entretenir entre elles des relations privilégiées. Les producteurs japonais de composants sont, d'ailleurs, relativement plus intégrés que leurs concurrents :

Pourcentage du marché captif des sociétés japonaises

| Marché captif en pourcentage du chiffre d'affaires | Société | Chiffre d'affaires* 1993 | Classement |
|--|------------|--------------------------|------------|
| 40 % | Fujitsu | 2,928 | 8 |
| 40 % | Sony | 1,398 | 19 |
| 30 % | Toshiba | 5,727 | 4 |
| 30 % | Sanyo | 1,843 | 15 |
| 25 % | NEC | 6,141 | 2 |
| 25 % | Hitachi | 5,015 | 5 |
| 25 % | Matsushita | 2,344 | 11 |
| 25 % | Sharp | 1,760 | 16 |
| 20 % | Oki | 1,187 | 20 |
| 15 % | Mitsubishi | 2,823 | 9 |

* milliards de dollars

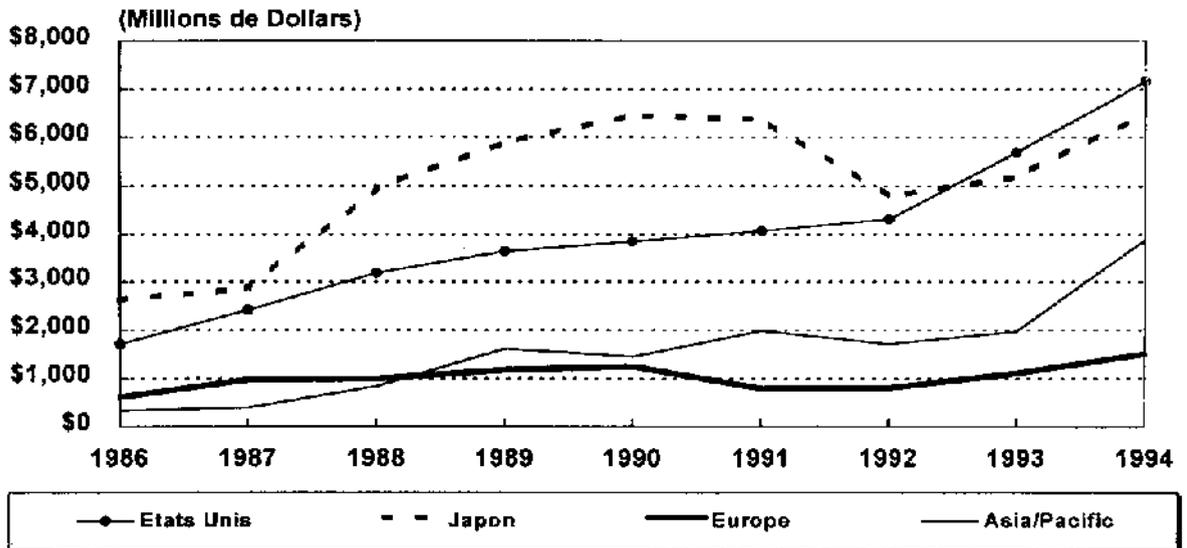
Source : Dataquest.

6.4 Conclusion : retour à la croissance et coopération

Les années 1991, 1992 et 1993 ont été marquées par une baisse, suivie d'une stabilisation des investissements au Japon.

Cependant le marché japonais reste l'un des plus vastes du monde et les sociétés japonaises ont réalisé environ 5 milliards de dollars d'investissement en 1994 :

Evolution des dépenses d'investissement par région



Source : Dataquest.

Cet investissement est le garant de la pérennité de l'industrie japonaise des composants. Au demeurant, après la crise de 1991-1992, les résultats des entreprises du secteur de l'électronique s'améliorent depuis le premier semestre 1994, notamment grâce à des gains de productivité.

Aujourd'hui, elles se concentrent sur la nouvelle génération de mémoire avancée (advanced memory) 16 DRAMs 16 Mégabits et les mémoires flash, ainsi que sur de nouvelles applications comme les téléphones cellulaires, les

jeux électroniques, le petit électroménager haut de gamme et le multimédia. Les constructeurs japonais ont commencé à s'associer à leurs concurrents américains afin de désamorcer les conflits commerciaux et d'implanter la plupart de leurs sites de production hors du Japon.

Le Japon a perdu des parts de marché et connu une récession assez brutale en 1991-1992. Ce mouvement s'explique par la hausse du yen, la baisse de la demande intérieure et l'accord avec les États-Unis : le Japon a vu, en conséquence, le volume de ses investissements fléchir. Pourtant, le potentiel japonais reste très important. Les investissements ont repris en 1994 et un mouvement d'ouverture internationale semble se dessiner.

Le Japon conserve donc une vue de long terme et ses industriels se livrent à une « coopération compétitive » qui lui permettra sans doute de sortir de difficultés transitoires.

7. Les Etats-Unis : la primauté reconquise

7.1 La reconquête des parts de marché et les accords commerciaux de 1991

7.1.1 Le premier producteur du monde

En 1987, la part de marché américaine a atteint 37 % de la production mondiale. Les Etats-Unis ont alors perdu la première place au profit des Japonais (48 % de la production mondiale).

Le portefeuille de produits des sociétés américaines était alors très large. La diminution de leur part de marché résultait tout d'abord de la meilleure qualité, des meilleurs délais de livraison et du meilleur service offert par les sociétés japonaises. Quant au « dumping » pratiqué par les Japonais sur les mémoires DRAMs il a achevé de mettre à mal la suprématie des Etats-Unis.

Six ans plus tard, les Américains ont repris la première place : 43 % de parts de marché, contre 40 % aux Japonais. Ils ont été aidés, dans cette reconquête, par l'abandon du marché de l'EPROM par les Japonais, ainsi que par la croissance du marché des ordinateurs personnels qui nécessitent des microprocesseurs. Les Américains se sont attachés à réduire leur dépendance en DRAMs (il ne reste que deux fournisseurs de ces mémoires aux Etats-Unis) ; sur les ventes d'EPROMs, de mémoires Flash et SRAMs à haute vitesse, destinées aux stations de travail, micro-ordinateurs et télécommunications.

La position des Etats-Unis sur le marché des microprocesseurs a été consolidée grâce aux efforts accomplis pour protéger la propriété intellectuelle et pour améliorer la qualité. En outre, les fabricants américains ont fait campagne pour la réduction des barrières douanières.

L'industrie des semiconducteurs est essentielle pour les Etats-Unis puisqu'elle employait 220.000 personnes au début 1993 et conditionne l'existence d'industries diverses (électronique, automobile, télécommunications) qui emploient 1,8 million de personnes, pour un chiffre d'affaires total de 300 milliards de dollars sur le territoire américain.²⁹

La bonne santé des sociétés américaines se traduit par l'excellent classement de ces dernières en termes de chiffres d'affaires.

²⁹U.S. Congress, Office of Technology Assessment, « Contribution of DOE weapons labs and NIST labs to semiconductor technology », Washington, 1993, p.55.

Classement des sociétés américaines parmi les dix premières mondiales

| Type de produit nécessitant des semi-conducteurs | % de la consommation totale en 1993 | Rang de la société | Nom de la société | Chiffre d'affaires (millions de \$) | % de la production totale |
|--|-------------------------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| Informatique | 44,9 % | 1 ^{er} | Intel | 6.425 | 16,7 % |
| | | 4 ^{ème} | IBM | 2.309 | 6,0 % |
| | | 6 ^{ème} | Texas Instruments | 2.068 | 5,3 % |
| | | 8 ^{ème} | Motorola | 1.742 | 4,5 % |
| | | 10 ^{ème} | AMD | 1.160 | 3,0 % |
| Télécommunications | 16,1 % | 1 ^{er} | Motorola | 1.885 | 11,5 % |
| | | 5 ^{ème} | A T & T | 710 | 5,1 % |
| | | 7 ^{ème} | Texas Instruments | 662 | 4,8 % |
| | | 9 ^{ème} | Intel | 504 | 3,6 % |
| | | 10 ^{ème} | National Semiconductor | 500 | 3,6 % |
| Grand public | 20,4 % | 9 ^{ème} | Motorola | 725 | 4,1 % |
| Industrie | 10,2 % | 1 ^{er} | Motorola | 1.286 | 14,7 % |
| | | 4 ^{ème} | Texas Instruments | 538 | 6,1 % |
| | | 5 ^{ème} | Intel | 529 | 6,0 % |
| Militaire / Spatial | 3,1 % | 1 ^{er} | National Semiconductor | 181 | 6,7 % |
| | | 2 ^{ème} | Texas Instruments | 165 | 6,1 % |
| | | 3 ^{ème} | Harris | 158 | 5,9 % |
| | | 4 ^{ème} | Analog Devices | 142 | 5,2 % |
| | | 5 ^{ème} | Intel | 130 | 4,8 % |
| | | 6 ^{ème} | Motorola | 109 | 4,0 % |
| | | 7 ^{ème} | A M D | 99 | 3,6 % |
| | | 10 ^{ème} | Integrated devices technology | 77 | 2,8 % |
| Automobile | 5,3 % | 1 ^{er} | Motorola | 624 | 13,7 % |
| | | 4 ^{ème} | Texas Instruments | 248 | 5,4 % |
| | | 6 ^{ème} | Intel | 221 | 4,8 % |
| | | 7 ^{ème} | National Semiconductor | 220 | 4,8 % |

Source : Dataquest.

Aujourd'hui, Intel est le premier fabricant mondial en termes de chiffre d'affaires (7,97 milliards de dollars en 1993), tandis que Motorola se situe au troisième rang (5,95 milliards de dollars). Au total, parmi les vingt premiers producteurs mondiaux de composants, on ne dénombre pas moins de six

entreprises américaines et la part de marché des Etats-Unis sur le segment des microprocesseurs, microcontrôleurs, micropériphériques avoisine 72 %. Signe que cette suprématie ne devrait pas être contestée dans les prochaines années, les investissements des sociétés américaines ont fortement repris à compter de 1992, ils ont même dépassé en volume les investissements japonais en 1993.

Dataquest prévoit que l'industrie nord-américaine devrait conserver cette avance en matière d'investissement au moins jusqu'en 1998 : les investissements pourraient alors représenter 8 milliards de dollars par an, contre 6 milliards au Japon.

La réussite de l'industrie américaine provient d'une bonne spécialisation sur les produits les plus porteurs, tels que les MOS micro (selon la classification de Dataquest). Les Etats-Unis réalisent à eux seuls 72 % de ceux-ci.

Structure des débouchés de la production américaine de semiconducteurs

| Types de produits | Croissance 1987 /1993 | Part de chaque type de produit dans la production mondiale en 1993 | Part de la production américaine dans la production mondiale en 1993 |
|-----------------------------|--------------------------|---|---|
| Bipolaire | - 6,9 % | 3,6 % | 53,6 % |
| Mémoires MOS | 25,2 % | 27,2 % | 27 % |
| Micro MOS | 25,5 % | 23,3 % | 72 % |
| MOS logiques | 13,3 % | 15,5 % | 46 % |
| Analogiques Hybrides | 10,4 % | 16,2 % | 44 % |
| Discrets | 5,4 % | 10,6 % | 24 % |

Source : Dataquest.

La production américaine est donc spécialisée sur les marchés qui croissent le plus vite, mais également sur les marchés les plus importants en volume: l'informatique en particulier.

Structure des débouchés de la production américaine de semiconducteurs

| Types de produits nécessitant des semiconducteurs | Structure des débouchés mondiaux 1993 | Taux* de croissance 1993 /1998 | % du marché américain** en 1993 |
|---|---------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Informatique | 44,9 % | 14,8 % | 62,2 % |
| Télécommunications | 16,1 % | 14,3 % | 12,3 % |
| Grand public | 20,4 % | 13,1 % | 4,7 % |
| Industrie | 10,2 % | 13,8 % | 11,4 % |
| Militaire / Spatial | 3,1 % | 4,3 % | 3,3 % |
| Automobile | 5,3 % | 10,3 % | 6,1 % |
| * Estimation Dataquest | | | |
| ** Part de chaque type de produit dans la consommation de semiconducteurs aux Etats-Unis. | | | |

Sources : Dataquest et EIAJ³⁰.

L'amélioration de la situation des producteurs américains est due à la collaboration des industriels et des pouvoirs publics, lesquels ont pris d'ingénieuses mesures en faveur des producteurs américains, tant en matière commerciale qu'en matière de R & D.

7.1.2 Les accords commerciaux de 1986 et 1991

Les producteurs américains engagèrent en 1985 des procédures contre le « dumping » pratiqué par les sociétés japonaises qui vendaient notamment des DRAMs à la moitié du coût de production. Les pouvoirs publics américains décidèrent de protéger leurs nationaux et entamèrent les négociations qui ont débouché sur les accords commerciaux américano-japonais.³¹

Les deux accords signés en 1986 et 1991 tendaient à ouvrir le marché nippon à la compétition étrangère, et à empêcher l'utilisation du « dumping » par les Japonais.

³⁰Electronic Industries Association of Japan, « Facts & Figures on the Japanese Electronic Industry », 1994, p.78.

³¹Cf, Semiconductor Industry Association, « Status Report & Industry Directory », 1994-1995, p.18-24.

En 1986, les autorités japonaises s'engageaient à ouvrir le marché japonais des composants à hauteur de 20 % du total consommé dans l'archipel³². L'accord commercial prévoyait de surcroît que le Japon rendrait publics les prix des semiconducteurs exportés, qu'ils prendraient des dispositions légales contre les exportations non concurrentielles et coopéreraient avec les autorités américaines, si des produits faisaient l'objet d'une procédure anti-dumping.

Malgré l'arrêt du « dumping » aux Etats-Unis, plusieurs sociétés nippones continuèrent de procéder à des ventes à perte sur des marchés tiers, aussi le président Reagan décida en avril 1987 d'instituer un droit de 100 % sur 300 millions de dollars d'exportations japonaises aux Etats-Unis.

Fin 1988, Tokyo organisa la libéralisation des importations dans l'archipel en créant trois structures :

- la SIAJ, Semiconductor Industry Association Japan, comprenant les fournisseurs américains au Japon,
- la DAFS, Distributors Association of Foreign Semiconductors, associant les distributeurs,
- la EIAJ/UCOM, Electronics Industries Association of Japan / Users Committee of Foreign Semiconductors, qui réunit les consommateurs japonais de composants étrangers.

Les efforts de ces instances tendirent notamment à accroître la part des Etats-Unis sur le marché japonais en matière de produits grand public, de TVIID, d'automobiles, et de télécommunications.

Au total, de 1986 à la fin 1990, les Etats-Unis accrurent leur part de marché japonais de 6 à 8,5 %. Manifestement, les dispositions de l'accord de 1986 n'étaient toujours pas respectées.

En 1990, la SIA et le Computer Systems Policy Project (CSPP) concentrèrent leurs efforts afin d'obtenir la négociation d'un nouvel accord de cinq ans, qui fut signé en juin 1991. Le texte donnait 18 mois aux Japonais pour se conformer aux dispositions de l'accord de 1986. Les mesures de rétorsion imposées en 1987 pour non respect de l'accord de 1986 étaient également levées.

³²Cf, Semiconductor industry association, « Status report & industry directory », 1994-1995, p.20.

Finalement, en 1993, les Américains parvenaient à occuper 20 % du marché nippon, ce qui, selon la SIA, constitua l'un des facteurs déterminants de la renaissance de l'industrie américaine. L'accroissement de la part de marché des Etats-Unis, qui résultait de l'accord de 1986, représenterait, selon la même source³³, un chiffre d'affaires supplémentaire d'un milliard de dollars pour les sociétés américaines, aurait préservé 2.700 emplois et permis 250 millions de dollars en investissements supplémentaires qu'en R &D.

Le libéralisme de l'économie américaine n'exclut donc pas l'existence de plusieurs formes de coopération entre chercheurs, industriels et pouvoirs publics.

7.2 Recherche et développement : un libéralisme tempéré

7.2.1 SEMATECH

Dans la stratégie de reconquête élaborée aux Etats-Unis, la coopération entre industriels tient une place centrale dans laquelle le consortium **SEMATECH**³⁴ a joué un rôle essentiel.

Créé en août 1987 par l'alliance de 14 producteurs américains totalisant 80 % des capacités de production nationales de semiconducteurs, **SEMATECH** avait pour premier objectif de développer une technologie et des procédés en commun. Très vite ce premier objectif a été abandonné au profit du « manufacturing » et du renforcement de l'indépendance des Etats-Unis en approvisionnement d'équipements de production, par l'évaluation en commun des machines.

A cette époque, les fabricants d'équipements américains perdaient 3,1 % de parts de marché par an.

SEMATECH ne s'attachait donc pas à résoudre les problèmes liés aux produits finis (téléphones, ordinateurs...). Sur les cinq secteurs qui constituent l'essentiel de la technologie de production des semiconducteurs, la lithographie fit l'objet des efforts les plus importants (avec un budget de 145 millions de

³³Semiconductor Industry Association, « Status report & industry directory », 1994-1995, p. 18-24.

³⁴cf IEEE Transaction on engineering management, vol.40, n°2, May 1993, James E. Govern : Analysis of U. S. Semiconductor collaboration.

dollars), car ce segment était le plus menacé en 1987, les Japonais étant alors en passe de s'en attribuer le quasi-monopole.

Malgré les efforts déployés en ce domaine, les Américains n'ont pas repris la première place, ils restent 3^e derrière deux producteurs japonais et un Européen.

Pour pallier le manque d'intégration des producteurs des Etats-Unis, le programme SEMATECH était doté de moyens conséquents.

Depuis 1987, son budget total s'est élevé à 200 millions de dollars par an. Ce montant était partagé pour moitié entre les industriels et les pouvoirs publics représentés par la Defense Advanced Research Project Agency (DARPA) à laquelle le Department of Defense (DOD) confia cette mission.

Bien que la participation de l'Etat semble faible, elle ne prend pas en compte l'équipement fourni, ni les allocations au programme sous forme de main d'oeuvre. Or, ces deux postes sont les plus coûteux dans un organisme de recherche. Selon certains experts, si l'on estime que SEMATECH a reçu outre 100 millions de dollars par an, une aide annuelle équivalente au travail de 1000 employés/an, la contribution publique supplémentaire s'élèverait à 100 millions de dollars. Ainsi le montant des financements publics et privés du programme serait comparable au montant engagé pour JESSI.

A l'avenir, la participation des pouvoirs publics au financement du consortium devrait décroître fortement jusqu'à être nulle.

SEMATECH s'enorgueillit d'avoir soutenu les fabricants d'équipements américains dont la part de marché mondiale a atteint 53 % en 1993 ; 70 % des équipements utilisés aux Etats-Unis sont d'origine domestique³⁵ et la part de marché des équipementiers américains est passée de 15 à 20 % au Japon de 1990 à 1992.

Les résultats, comme ceux de tous les programmes coopératifs, sont difficilement quantifiables. Il est clair que le projet a favorisé la diffusion technologique, la collaboration, le rapprochement des fournisseurs et des acheteurs d'équipements de production.

³⁵U.S. Congress, Office of Technology Assessment, « Contribution of DOE weapons labs and NIST labs to semiconductor technology, Washington, 1993, p.67-68.

Selon le General Accounting Office, SEMATECH a permis :

- de vérifier la manufacturabilité du 0,35 μm sur des « wafers » de huit pouces à partir de matériel spécifiquement américain,
- de développer un modèle standard de calcul des coûts d'achat des équipements,
- de développer :
 - une méthode standard de qualification des équipements par rapport aux spécifications,
 - des spécifications génériques de performance des équipements,
 - des méthodes de réduction des particules et de la contamination,
- de permettre des avancées dans le domaine du « flexible manufacturing »,
- d'améliorer l'efficacité des méthodes de production.

Le programme a donc permis d'accélérer le rythme d'introduction des technologies nouvelles dans les activités de production, qui est capital pour se trouver « à temps sur le marché ».

Bien que quelques fondateurs aient quitté le groupement (AT&T, LSI Logic...) les membres du consortium envisagent de poursuivre le programme sur leurs propres deniers dans les années à venir. C'est la preuve du réel intérêt de SEMATECH.

7.2.2 Centres d'excellence et aides aux universités : la Semiconductor Research Corporation (SRC)

Créée en 1982, la Semiconductor Research Association regroupait 70 membres en 1992 : industriels, pouvoirs publics et consortiums tels que SEMATECH.

Les membres contribuent au budget de l'association qui répartit 30 millions de dollars par an pour :

- aider la recherche dans les universités en fonction des besoins de l'industrie,
- augmenter le nombre d'étudiants ayant eu une expérience dans le secteur des semiconducteurs,
- augmenter la recherche gouvernementale sur le silicium.

De 1982 à 1992, la SRC a attribué 200 millions de dollars aux universités³⁶ par le biais de contrats, lesquels ont débouché sur 8.000 publications et brevets. Voici deux ans, la SRC a lancé un nouveau programme tendant à mieux utiliser la recherche. L'activité de la SRC a permis de réorienter une partie de l'activité de recherche universitaire sur le silicium (l'association gère actuellement près de la moitié de l'aide à la recherche sur ce support). Selon l'Office of Technology Assessment, la SRC a également contribué à la définition d'une carte technologique ou « technological roadmap » et à la réduction de la duplication des recherches.

7.2.3 La reconversion des laboratoires du DOD vers les applications civiles

Aux Etats-Unis, les budgets de recherche militaires ont largement contribué au développement de l'industrie des composants.

Dans le passé, les fonds destinés aux recherches du Département de la défense (DOD) ont été principalement attribués par le biais de contrats d'études conclus avec des sociétés privées. Désormais, les laboratoires publics du DOD joueront un rôle encore plus actif vis-à-vis de l'industrie privée. Les centres de recherche de Los Alamos et Sandia au Nouveau Mexique, Livermore en Californie, ont été incités à utiliser 15 à 20 % de leurs budgets à des programmes industriels ou vers des transferts de technologies ; il n'est cependant pas possible de mesurer le volume de l'aide publique au secteur privé transitant par ces laboratoires, qui effectuent des recherches « duales », susceptibles d'être exploitées aussi bien par l'industrie civile que par l'industrie militaire.

Aux Etats-Unis, les pouvoirs publics ont d'ailleurs bien compris l'importance de la maîtrise de l'industrie des semiconducteurs et, tandis que les budgets des armées se restreignent, les fonds consacrés à la recherche militaire sur les semiconducteurs s'accroissent. Les sommes consacrées par l'Advanced Research Project Agency pour l'« electronics manufacturing technology » sont passés de 98 millions de dollars en 1991 à 330 millions en 1993.³⁷ Des projets de recherche dénommés « Cooperative Research and Development Agreements » ou CRADAs réunissent désormais des laboratoires publics et privés, le plus souvent sans contrepartie monétaire, afin

³⁶U.S. Congress, Office of Technology Assessment, « Contribution of DOE weapons labs and NIST labs to semiconductor technology, Washington », 1993, p.65-66.

³⁷U.S. Congress, Office of Technology Assessment, « Contribution of DOE weapons labs and NIST labs to semiconductor technology », Washington, 1993, , p.3, p.56.

qu'ils conduisent des recherches en commun. Les laboratoires du Département de l'énergie et ceux du National Institute of Standards & Technology (NIST) du Département du commerce participent à ce type d'accords, dont le nombre s'élevé à 650 et dont le budget, tous objets de recherche confondus, avoisine un milliard de dollars.

Quant au consortium SEMATECH, il a signé des accords de recherche coopérative avec le laboratoire de SANDIA : le dernier date du début 1993 et prévoit un budget de dollars 100 millions, notamment consacrés à la métrologie et aux procédés de fabrication non contaminante.

7.2.4 De grands programmes publics orientés vers les applications

Les pouvoirs publics ont, par diverses mesures, favorisé le développement de l'industrie des semiconducteurs. Outre une aide substantielle au programme SEMATECH, les autorités américaines ont pris diverses dispositions qui auront pour conséquence de **créer de nouveaux marchés** et de nouvelles applications : le Département de l'énergie (DOE) pilote l'Initiative pour l'environnement technologique qui permettra de contrôler et de diminuer la pollution urbaine. De même un projet de l'ARPA tend à développer le contrôle électronique de la circulation. La déréglementation des communications cellulaires va, quant à elle, accélérer le développement des téléphones sans fil et, par conséquent, l'utilisation des composants destinés aux télécommunications. Enfin, la promotion d'une infrastructure nationale pour la circulation de l'information, plus connue sous le nom « d'autoroute de l'information » favorisera le **développement du marché domestique des composants microélectroniques**.

Au total, le programme ATP « Advanced Technology Program » ou programme pour les technologies de pointe permettra à l'Etat de consacrer 750 millions de dollars à des projets financés pour moitié par les entreprises dans tous les secteurs de pointe, y compris celui des composants.

7.3 Equipements et matériaux : une nette amélioration

Les équipementiers jouent un rôle déterminant dans la diffusion du progrès technique, puisqu'ils permettent aux fabricants de composants de disposer des technologies de production les plus avancées.

Les producteurs américains de composants craignirent, à la fin des années 80, les effets du rachat par SONY de la société américaine Material Research Corporation : la part de marché des Etats-Unis chuta de ce seul fait de 60 à 2 % sur les « sputtering equipments ». Les autorités américaines s'émurent également en assistant au rachat de SEMI - Gas par Nippon Sanso, qui conquit de ce fait de 2 à 40 % du marché américain.

Le programme SEMATECH a permis aux Etats-Unis d'améliorer leur autosuffisance, mais ceux-ci poursuivent leurs efforts afin d'améliorer leur position en matière de lithographie.

Le consortium a aidé au maintien de la production de « wafers » de huit pouces sur le sol américain.

Pour l'avenir, les Etats-Unis travaillent au stade expérimental de technologies très sophistiquées³⁸, telles que la gravure par ultraviolets profonds.

7.4 Conclusion

Comme on l'a vu, la collaboration entre les industriels a donné de bons résultats. L'intégration des producteurs est pourtant relativement faible (si l'on excepte IBM qui consomme 80 % des composants qu'il produit). La taille du marché américain et la position quasi monopolistique de certains producteurs leur permettent de réaliser des chiffres d'affaires considérables, ce qui n'exclut pas l'existence de sociétés de taille inférieure. Le « modèle » américain n'est pas aussi structuré que le système nippon, mais il conserve une redoutable efficacité.

Les efforts conjoints des pouvoirs publics et des industriels ont renversé une tendance qui semblait fatale. L'Office of Technology Assessment relève d'ailleurs³⁹ que, **compte tenu de la difficulté pour les producteurs de financer la prochaine génération de composants avec les revenus actuels, la coopération des pouvoirs publics avec l'industrie reste essentielle.**

³⁸National Research Council, « US-Japan strategic alliances in the semiconductor industry, Washington », 1992, p.60.

³⁹U.S. Congress, Office of Technology « Assessment, Contribution of DOE weapons labs and NIST labs to semiconductor technology », Washington, 1993, p.2.

8. Les nouveaux pays industrialisés : où s'arrêtera la croissance ?

8.1 La Corée

8.1.1 Une percée remarquable

La création d'une industrie des semiconducteurs en Corée résulte du **désir de s'affranchir du risque de dépendance, vis-à-vis des fournisseurs étrangers**, au premier rang desquels se trouve le Japon. La menace d'une rupture dans les approvisionnements n'est pas seulement virtuelle : ainsi à la fin des années 1980, Goldstar perdit des parts du marché des ordinateurs personnels à cause de sa dépendance vis-à-vis des mémoires dynamiques japonaises. Pour les Coréens, la pénurie de ces composants posa le problème de la dépendance.

La Corée a choisi d'appliquer une stratégie analogue à celle du Japon, en se spécialisant sur le segment des mémoires DRAMs, ce qui lui a permis de tirer parti de sa grande habileté dans le « manufacturing » des produits.

En matière de mémoires MOS, elle occupe désormais le troisième rang mondial en termes de chiffre d'affaires. Samsung est le premier producteur de mémoires dynamiques du monde :

Parts du marché mondial des DRAMs en 1992

| Classement | Société | Part de marché |
|------------|-------------------|----------------|
| 1 | <i>Samsung</i> | 13,6 % |
| 2 | Toshiba | 12,8 % |
| 3 | NEC | 10,1 % |
| 4 | Hitachi | 9,4 % |
| 5 | Texas Instruments | 7,6 % |
| 6 | Mitsubishi | 7,5 % |
| 7 | Fujitsu | 6,1 % |
| 8 | <i>Goldstar</i> | 5,9 % |
| 9 | <i>Hyundai</i> | 4,8 % |

Source : Dataquest

La percée technologique coréenne s'est également traduite de façon éclatante, fin août 1994, par le développement de la première DRAM 256 Mégabits de Samsung.⁴⁰

Tout comme les producteurs japonais appartiennent à des « keiretsu » intégrés à la fois horizontalement et verticalement, les constructeurs coréens appartiennent à des « chaebols », composés de sociétés aux activités extrêmement diversifiées, liées par des participations croisées. Ces structures industrielles possèdent les mêmes avantages que les Keiretsu japonais : moindre sensibilité aux variations des cours de bourse en fonction du résultat à court terme, partage du coût des recherches, association des fabricants de composants et des producteurs de systèmes.

Ainsi la Corée dispose-t-elle de groupes industriels très puissants : Samsung Electronics⁴¹ a 45.000 employés, ses ventes en Corée s'élèvent à 3.462 millions de dollars, ses exportations à 6.630 millions de dollars. Le revenu après impôt de la société lui permettra un rapport de l'investissement aux ventes de 38 % en 1994, son chiffre d'affaires passant vraisemblablement à 4,3 milliards de dollars cette année. La société souhaite porter sa part de marché mondial de 3,04 milliards de dollars en 1993 (4,2% du marché mondial) à 13,5 milliards de dollars en l'an 2000 (10,3% du même marché). Si ces prévisions se réalisent, Samsung diversifiera sa production. Le rapport entre les produits mémoires et non mémoires passerait de 83 / 13 % en 1993 à 63 / 37 % dans cinq ans.

Hyundai Electronics Industries⁴² emploie, quant à elle, 13.000 employés, ses ventes avoisineront vraisemblablement 2.563 millions de dollars en 1994, dont 1.800 millions de dollars à l'exportation. Ses investissements pourraient atteindre 1.337 millions de dollars en 1994.

Goldstar semiconducteurs emploie 5.000 employés. Avec un chiffre d'affaires de 946 millions de dollars en 1993, la société réalisera 650 millions de dollars d'investissement en 1994. La société envisage de développer des microprocesseurs et des ASICs jusqu'à atteindre 40 % de son chiffre d'affaires.

⁴⁰ The Korea Times, Seoul, 30.08.1994.

⁴¹ Samsung Electronics annual report, 1993.

⁴² Hyundai Electronics Industries co. Ltd, company profile.

Enfin, Daewoo semiconducteurs⁴³ réalise un chiffre d'affaires de 2.480 millions de dollars, dont 1.492 millions de dollars à l'exportation pour 11.700 employés.

L'extraordinaire croissance des producteurs coréens ne dissimule pas les faiblesses d'une industrie trop spécialisée sur le créneau des mémoires. La production coréenne de composants est doublement déséquilibrée : le pays produit essentiellement des mémoires et obtient des résultats remarquables sur ce créneau, qui représente 90 % des exportations de semiconducteurs du pays.

Des observateurs coréens recommandent un **rééquilibrage de la production** du pays et les autorités de Séoul sont favorables au développement de produits non mémoires.

En outre, la Corée dépend de l'extérieur puisqu'elle exporte 80 % de sa production et importe 87 % de sa consommation. Au demeurant, les semiconducteurs constituent une part croissante des exportations du pays comme le montre le tableau suivant :

Part des semiconducteurs dans les exportations coréennes

| (en millions de dollars) | 1989 | 1993 |
|---|-------------------|-------------------|
| Total de l'industrie | 62.337 - 100 % - | 82.236 - 100 % - |
| Electronique | 16.564 - 26,5 % - | 22.227 - 27,0 % - |
| Semiconducteurs | 4.025 - 6.4 % - | 7.026 - 8.5 % - |
| Source : The Office of customs administration ⁴⁴ . | | |

Pour se diversifier les Coréens signent des accords de coopération avec des partenaires étrangers :

Type d'accords conclus par les entreprises coréennes

| Société | Partenaire | Type d'accord |
|----------------------|------------|---|
| Goldstar | Hitachi | Production sous licence de DRAMs 4 et 16 Mégabits |
| Hyundai | Fujitsu | Technologie et production de DRAMs 4 Mégabits |
| Samsung | NEC | Technologie de DRAMs 256 Mégabits |
| | Micron | Echange de technologie sur des DRAMs |
| | Toshiba | Technologie de mémoires Flash |
| Source ⁴⁵ | | |

⁴³ Daewoo profile 1992.

⁴⁴ « Economic & industrial focus », The Korea development bank; march 1994, The booming semiconductor industry.

8.1.1.1 Une volonté politique

Les industriels coréens ont souhaité que l'Etat intervienne dans la mise en oeuvre d'un plan de coopération à long terme. **Les pouvoirs publics jouent, quant à eux, un rôle de coordination analogue à celui du MITI au Japon.** Ils ont entrepris de bâtir une infrastructure de recherche par la création de laboratoires publics⁴⁵. Ainsi le **Korea Electronics Technology Institute, KETI**, regroupe les industriels, reçoit la moitié de son budget du gouvernement.

Les pouvoirs publics ont également décidé de lancer de grands programmes nationaux d'amélioration de la technologie, tels que les programmes G7 et Electro 21st. Quant au programme HANP Advanced National Project, son budget total de 26 milliards de francs sur 10 ans, consacrera dans sa partie « technologie industrielle » des sommes importantes aux semiconducteurs. De 1993 à 1997, les pouvoirs publics investiront 1.134 millions de francs et les industriels, 2.744 millions de francs.

Le programme classe les semiconducteurs parmi les quinze secteurs clés de la « nouvelle politique industrielle » définie en juin 1993.

Le programme vise :

- le développement de la filière 0,25µm pour un coût de 190 millions de dollars, dont 95 millions seront fournis par l'Etat,
- le développement de microprocesseurs et de technologies non mémoires,
- l'abaissement des droits de douanes de 8-9 % à 3% sur les équipements de fabrication de semiconducteurs,
- la localisation de tous les équipements-clés en Corée,
- l'octroi d'aides financières à la production de films et matières photosensibles développés dans le pays,
- la création de centres d'assistance technique afin d'aider les PME à concevoir des ASICs.

Une politique d'achat de technologies de production très sophistiquées (12 % du revenu total est consacré au paiement de royalties) a montré son succès et ses limites ; c'est pourquoi la Corée considère la recherche comme un élément primordial de son développement futur : les dépenses totales de R & D

⁴⁵ The Korea economic weekly, 13.06.1994, « Korea alliances and joint R & D in the semiconductor industry ».

⁴⁶ Sur les instituts de recherche Coréens, voir : Nature, vol.364, 29 juillet 1993, numéro spécial ; »IAE, Institute for advanced engineering », Seoul, Korea , october 1993.

du pays se sont élevées à 22,4 milliards de francs (1,87 % du PIB) financés à 16 % par l'Etat et 84 % par les entreprises.

8.1.1.2 Une stratégie industrielle : investissements et achats de licences

La Corée a repris à son compte la stratégie japonaise par un investissement massif dans le secteur des mémoires. C'est ainsi que, depuis 1990, les Coréens et les autres pays d'Asie du Sud-Est réalisent une part de l'investissement total mondial plus importante que celle de l'Europe. Les plans d'investissement très importants de Samsung, Goldstar et Hyundai en 1994 attestent cette volonté.

Parallèlement à ces investissements de production, les Coréens procèdent à des achats de licences à l'étranger et au rachat de petites « starts up », telles que Tristar Semiconductor et Micro Five par Samsung, Zymos, ID Focus par Daewoo, Morden Electro Systems par Hyundai. Ces investissements colossaux ne seraient pas possibles sans l'existence d'une structure de financement favorable aux emprunteurs.

8.1.1.3 Des modalités de financement avantageuses

Contrairement au mouvement observé dans d'autres parties du monde, la Corée a enregistré des taux d'intérêt réels faibles sur la période 1989-1993, cette situation ne devrait cependant pas se pérenniser, du fait de la désinflation.

Au surplus, il semble que les taux d'intérêt nominaux payés par les fabricants de composants soient le plus souvent nettement inférieurs à ceux observés en Europe⁴⁷.

L'abaissement systématique du coût du capital aurait donc pris une part déterminante dans les succès industriels des producteurs coréens.

⁴⁷ IFO, Diskussionsbeiträge n°19, « Economic Policy and International Competition in High Tech industries, the case of the semiconductor industry », 1994, p.3.

8.1.2 Recherche et Développement

La Corée souhaite se doter d'une **infrastructure de recherche nationale**, car son niveau technologique est encore inférieur à celui des pays développés :

Comparaison des niveaux technologiques américains, japonais et coréens

| | Secteur technologique | Niveau technologique | |
|------------------------|--|----------------------|-------|
| | | Etats-Unis et Japon | Corée |
| Conception de Circuits | « design » de circuit | 100 | 80 |
| | Conception assistée par ordinateur | 100 | 80 |
| Masquage | Technologie 0,3 μ niveau de masque | 100 | 50 |
| « Process » | Fabrication de « Wafer » | 100 | 90 |
| | Technologie d'équipement | 100 | 10 |
| | Analyse | 100 | 50 |
| Assemblage | Technologie d'assemblage | 100 | 90 |
| Test | Développement de logiciels | 100 | 60 |
| | Development de hardware | 100 | 50 |
| Matériaux divers | Silicium | 100 | 60 |
| | Produits chimiques | 100 | 40 |
| | Connexions | 100 | 70 |

Source : The ministry of Trade Industry and Energy⁴⁸

Pour compenser le retard coréen au plan technologique, les pouvoirs publics ont lancé le plan « G7 ». En ce qui concerne les semiconducteurs, le plan prévoit le développement de la technologie ULSI.

Une première étape, qui court de 1993 à 1994, tend à améliorer les spécifications et architectures pour concevoir la DRAM de 256 Mégabits, tandis que les équipements de production sont sélectionnés et que l'on étudie le processus de production. Au cours d'une seconde phase (1995-1996), on

⁴⁸ Economic & industrial focus, The Korea development bank ; march 1994, « The booming semiconductor industry ».

définira la matrice de la DRAM 256 Mégabits et l'on testera la DRAM 256 Mégabits.

Enfin, de 1997 à l'an 2000, on commencerait le développement de la DRAM 1 Gigabits.

8.1.2.1 Dépendance en équipements

Séoul souhaite se doter d'une industrie d'équipement car, comme on l'a vu, la Corée investit très lourdement dans son appareil de production (4 milliards de dollars de 1983 à 1989 et 1 milliard par an dans le futur). Or le prix des machines constitue une part relative de plus en plus importante dans le coût total d'une usine. Actuellement, les entreprises coréennes importent 85 % des équipements de production. Aussi les pouvoirs publics ont décidé de diminuer les droits de douanes sur les biens d'équipement .

Le programme de l'association coréenne de l'industrie des semiconducteurs est ambitieux, puisqu'il tend à améliorer les structures de production, à couvrir tous les segments du marché, à négocier des coopérations nationales et internationales, à accroître des investissements de R&D, et à demander un soutien politique au gouvernement.

Ces projets témoignent de la résolution des producteurs coréens à progresser encore, tant au plan industriel que technologique.

Le développement rapide de la Corée qui produit aujourd'hui plus de 5 % des composants du monde a bénéficié de l'explosion de la demande en Asie du Sud-Est et la stratégie résolument mise en oeuvre par Séoul est dès à présent imitée par plusieurs NPI.

8.2 Taïwan

Selon Dataquest, **Taïwan se trouve aujourd'hui dans la situation de la Corée voici cinq ans.**

Afin de doter le pays d'une capacité de recherche de pointe, les pouvoirs publics ont créé, en 1975, l'**Electronic Research Service Organisation**, ERSO, qui effectue l'essentiel de la recherche fondamentale nationale et

permet, grâce à la création de petites entreprises, une diffusion de la technologie des composants dans le pays. Ainsi en 1982, United Microelectronic fut créée sous le régime de société d'économie mixte, puis à la fin des années 1980, d'autres entreprises virent le jour, telle que **Taiwan Semiconductor Manufacturing**.

TSMC est une « joint-venture » contrôlée par Philips (28 %) et les pouvoirs publics (48 %). La société dispose d'une « fonderie » de silicium qui produit les « wafers » de ses clients (les produits ne portent pas la marque TSMC).

D'autres entreprises ont également vu le jour, telles que Hualon, Winbond TI Acer, Mosel-Vitelic.

En outre, les entreprises taiwanaises recourent à la croissance externe en rachetant des « starts up » américaines (C-Cube ou MPEG-2 system, par exemple). L'industrie taiwanaise produisait, en 1993, 1 % des semiconducteurs du monde. Au total, la production croissait de 81 % par rapport à 1992.

Aujourd'hui, les principaux fabricants taiwanais de composants investissent massivement dans le créneau des « wafers » 8 pouces et, d'ici à 1997, les investissements totaux de l'île devraient atteindre 3,8 milliards de dollars.

Le montant massif des investissements prévus permettra sans doute à Taiwan d'accroître sa part de marché mondial dans les années à venir.

8.2.1.1 Le Marché taiwanais

Les producteurs taiwanais bénéficient d'une consommation domestique en forte croissance (+ 27 % en moyenne annuelle depuis 1988) et d'une bonne spécialisation sur le marché des ordinateurs personnels. L'île produit de 60 à 70 % des cartes mères d'ordinateurs personnels du monde.

Malgré les progrès réalisés depuis la fin des années 1980, le taux d'autosuffisance de Taiwan reste faible : 18 % pour les mémoires ROMs, 20 % pour les DRAMs, 22 % pour les mémoires RAMs, mais 0 % pour les microprocesseurs. Taiwan est donc dépendant de ses fournisseurs étrangers.

Le premier fournisseur, Intel, réalise dans l'île un chiffre d'affaires de 600 millions de dollars, grâce à la vente de ses microprocesseurs 486 destinés aux ordinateurs personnels. Quant à Hitachi et à Samsung, ils occupaient, en 1993, le second et le troisième rang parmi les fournisseurs de Taïwan, respectivement avec 147 et 142 millions de dollars de chiffre d'affaires.

Le taux de couverture de la consommation taïwanaise n'est réellement satisfaisant que pour les produits de consommation courante (65 %) et les industriels tentent de diminuer leur dépendance par rapport aux importations.

8.2.1.2 La Recherche et le Développement

Taïwan est parvenue à créer son industrie en s'appuyant sur l'ERSO qui est soutenu par les pouvoirs publics. La principale réussite de l'Institut tient à ce qu'il a permis l'essaimage de nombreuses « starts up ». Les domaines de recherche sont principalement :

- les technologies submicroniques CMOS,
- les écrans plats TFT et les FED,
- les technologies d'encapsulation,
- les technologies destinées aux composants de fréquence.

L'ERSO a atteint l'objectif fixé, en 1990, par le programme dénommé « Five year submicron process technology » : maîtriser la technologie de fabrication 0,5 micron.

8.2.1.3 Equipements : une dépendance totale

Une faiblesse structurelle de l'industrie taïwanaise vient de sa totale dépendance par rapport aux équipementiers étrangers : toutes les machines employées par les fabricants domestiques doivent être importées.

L'industrie taïwanaise est l'exemple le plus récent d'une croissance remarquable, qui résulte de la collaboration d'intervenants publics et privés et préfigure un renforcement de la puissance de l'Extrême-Orient.

9. Synthèse et perspectives

9.1 Quel rôle pour les pouvoirs publics ?

Les Etats grands ou petits affichent un libéralisme que contredit leur politique de soutien systématique à l'industrie des semiconducteurs. En Europe et en Asie, les pouvoirs publics sont soucieux de conserver une certaine autonomie en composants. Raisonnant en fonction des quatre grandes zones économiques contemporaines, on analysera leurs positions respectives et les modalités que revêtent des aides publiques omniprésentes.

Un extrait d'un rapport du National Research Council traduit bien la nécessité de reconnaître aux semiconducteurs le statut de « bien collectif », voire d'infrastructure des économies contemporaines. Ainsi les experts américains écrivent-ils :

« [Au Japon] le destin d'une industrie clé comme celle des semiconducteurs est bien trop important pour être laissé totalement au gré des lois du marché (peu importe ce qu'en disent les économistes du « laissez faire »). Aux États-Unis également, on a peut-être aussi besoin d'établir un consensus « hors marché », une harmonisation et un encouragement à concourir au bénéfice collectif, bien que ces mécanismes doivent être moins officiels qu'au Japon »⁴⁹

Reste à savoir quelle part les pouvoirs publics prennent, dans une économie de marché, au développement d'une industrie-clé, telle que les composants.

L'exemple des pouvoirs publics allemands montre que l'intervention d'une autorité chargée de dégager un consensus entre les industriels, si minime qu'elle souhaite rester, est indispensable.

La politique fédérale est conduite par le Bundesministerium für Wirtschaft ou BMWi et le Bundesministerium für Technologie ou BMFT. Le gouvernement allemand ne "subventionne" pas directement les industriels, mais -subtil distinguo- il leur apporte un soutien actif en attribuant d'importantes "contributions financières" à la recherche. Ainsi le ministre allemand de la

⁴⁹National Research Council, « US-Japan strategic alliances in the semiconductor industry », p. 34.

recherche a-t-il annoncé l'attribution d'une aide de 600 millions de DM afin de soutenir la recherche sur les microsystèmes de 1994 à 1999⁵⁰.

De même, l'usine Siemens de Dresde a-t-elle été largement subventionnée par les pouvoirs publics, au titre de l'aide aux Länder de l'est. Récemment la presse a évoqué la possibilité d'une aide des pouvoirs publics à l'établissement d'une usine AMD à Dresde.⁵¹

Le Gouvernement allemand est également soucieux d'assurer la diversification des sources d'approvisionnement du pays et fait son possible pour éviter que ne se constituent ou que ne se consolident des monopoles mondiaux sur certains produits.

C'est pourquoi il n'est pas hostile à l'installation de producteurs étrangers sur son territoire. Cependant, les pouvoirs publics sont opposés à l'attribution par "tacite reconduction" de subventions aux industriels : autrement dit, à l'octroi de subventions permanentes. Aussi l'Allemagne souhaite-t-elle que l'aide apportée, après la fin de JESSI, vise des programmes spécifiques à finalité industrielle.

9.1.1 Typologie des aides

Une étude récente de l'IFO⁵² a dressé une typologie des différentes formes d'aides que les pouvoirs publics accordent à l'industrie des composants. Les principaux résultats de ce travail sont synthétisés dans le tableau suivant :

⁵⁰Communiqué de presse n° 113/94 du BMFT du 8 février 1994.

⁵¹Dépêche de l'agence Deutsche Presse Agentur, 24/25.8.94 et Handelsblatt du 26.08.94

⁵²Source : Institut für Wirtschaftsforschung, IFO Diskussions-Beiträge, n°19, « Economic Policy International Competition in high tech industries, the case of the semiconductor industry », p. 6.

| | <i>Japon</i> | <i>Corée</i> | <i>Taiwan</i> | <i>USA</i> | <i>Allemagne</i> | <i>G.B.</i> | <i>Irlande</i> | <i>France</i> |
|---|--------------|--------------|---------------|------------|------------------|-------------|----------------|---------------|
| Aides générales : | | | | | | | | |
| - Politique économique et technologique (1) | oui | oui | oui | oui | oui | oui | oui | oui |
| - Politique industrielle sectorielle (2) | oui | oui | oui | part | non | non | non | oui |
| - Plan d'Etat | oui | oui | oui | non | non | non | non | oui |
| - Coopération gouvernement / industrie | oui | part | oui | part | non | non | non | oui |
| Politique de R & D (3)) | | | | | | | | |
| - Aides fiscales | oui | oui | oui | part | non | non | non | non |
| - Aides financières | oui | oui | oui | oui | oui | oui | oui | oui |
| - Politique d'infrastructure de recherche | oui | oui | oui | oui | oui | oui | part | oui |
| Aides aux Investissements | | | | | | | | |
| - Aides fiscales | oui | oui | oui | oui | oui(4) | non | oui | non |
| - Aides financières | non | oui | oui | part | oui | oui | oui | oui |
| - Politiques d'infrastructure (5) | non | non | oui | oui | oui | oui | non | part |
| Accès au marché | | | | | | | | |
| - Protection douanière | non | oui | non | non | oui(6) | oui(6.) | oui(6) | oui(6) |
| - mesures antidumping | non | non | non | oui | oui(6) | oui(6) | oui(6) | oui(6) |
| - Barrières non douanières | oui | oui | non | non | non | non | non | non |
| - Politique commerciale offensive | non | non | non | oui | non | non | non | non |
| Politique de compétitivité | | | | | | | | |
| -générale | non | non | non | oui | oui | oui | oui | part |
| - développement des coopérations de R & D | oui | oui | non | oui | oui | oui(7) | oui (7) | oui |

1 : utilisation de subventions ou de mesures dérogatoires au droit commun pour favoriser l'installation.

2 : pour l'industrie des semiconducteurs.

3 : de moindre importance en Grande-Bretagne et en Irlande.

4 : seulement dans les nouveaux Länders.

5 : particulièrement destinée aux semiconducteurs.

6 : de l'Union européenne .

7 : faible au Royaume Uni et en Irlande

- part = partiel

Source : IFO

9.1.2 L'efficacité des différentes aides

Parmi les aides consenties à l'industrie des composants, **les aides indirectes sont les moins contestées** : ainsi tous les Etats investissent dans des laboratoires publics, soutiennent des programmes de recherche coopérative et précompétitive, favorisent les producteurs nationaux par l'attribution de marchés publics (défense, télécommunications, spatial).

Les aides fiscales et l'abaissement du coût du capital (crédit d'impôt, prêts à taux nul ou prêts bonifiés) **constituent également une pratique généralisée en Extrême-Orient**. En revanche, les subventions directes aux producteurs de composants et les droits de douanes ont fait l'objet de critiques réitérées.

L'étude de l'IFO précitée montre que **les Etats d'Extrême-Orient ont choisi de recourir aux systèmes d'aide les moins contestés**, ce qui a, sans nul doute, fortement contribué à l'extraordinaire développement de leur industrie des composants. La disparition des droits de douane au Japon ou à Taïwan ne traduit donc qu' **un libéralisme de façade**.

Les Etats membres de la Communauté ont fait face aux revendications très vigoureuses de leurs partenaires lors des discussions du GATT relatives aux droits de douane.

En effet, ces droits sont actuellement en Europe de 14 % pour les semiconducteurs. Les Etats-Unis voulaient qu'ils soient abaissés à zéro, les Européens souhaitaient les conserver à 14 % durant 4 ans, puis les abaisser à 7 %, sous réserve que l'Europe entre dans l'accord Etats-Unis/Japon, qui garantit 20 % du marché japonais aux entreprises américaines et un droit de regard sur les prix réels de production. Cependant, les produits (microprocesseurs), que l'Europe ne fabrique pas, sont dispensés de droits de douane afin de ne pas pénaliser les consommateurs européens.

Ainsi, bien que les sociétés américaines disposent de 45,3 % du marché européen, contre 5,9 % du marché américain pour les entreprises européennes, la SIA exerce une forte pression en faveur de la baisse des droits sur les semiconducteurs, par une action de lobbying très active au Congrès des Etats-Unis.

9.2 Intégration et alliances

9.2.1 Les alliances

Selon Dataquest⁵³ plus de 200 alliances ont été conclues entre les producteurs de composants de par le monde en 1993. Ces alliances peuvent, selon le National Research Council des Etats-Unis, se répartir entre quatre grands types⁵⁴.

1 . « Joint ventures »

2 . Alliances de Recherche et Développement

- Accord de licence
- Echange de licence
- Echange de technologie
- Collaboration sur un même site et participation à la recherche
- Echange de personnel
- Développement conjoint
- Investissements par achat de technologie

3 . Alliances de fabrication

- Production pour un tiers sous la marque de celui-ci « Original Equipment Manufacturing »
- Recours à une seconde source de production
- Accords de fabrication
- Accords de test et d'assemblage

4 . Alliances relatives au marketing et à la vente

- Accords d'achat
- Bureau de vente
- Contrats de services

5 . Alliances d'ordre général

- Coordination des standards

⁵³Dataquest, perspective « Semiconductors, strategic alliances worldwide 1993 ».

⁵⁴National Research Council, « US-Japan strategic alliances in the semiconductor industry », 1992, p. 10.

L'énormité des coûts de R & D et d'investissement contraint les producteurs à des alliances transnationales dont le développement accéléré semble bien inévitable. Parmi les alliances les plus récentes, rappelons les exemples suivants :

Exemples récents d'alliances internationales

| Noms des sociétés | Nature de l'alliance |
|------------------------------------|---|
| LSI Logic, Kawasaki Steel | Production d'ASICs |
| Motorola, Toshiba | Production de DRAMs de Microcontrôleurs |
| AMD, Fujitsu | Production de Mémoires Flash |
| National Semiconductor, Matsushita | Rachat de Fonderie |
| IBM, Samsung | Licences Croisées DRAMs |
| IBM, Siemens, Toshiba | « Joint venture » pour le développement des DRAMs |
| Hitachi, Goldstar | Licence et savoir faire dans le domaine des DRAMs |
| Texas Instruments, Hitachi | « Joint venture » pour le développement des DRAMs |
| Texas Instruments, Acer | Production conjointe de DRAMs |

Source : Dataquest

Comme le relève Dataquest⁵⁵, les alliances entre producteurs de composants se sont multipliées durant les années 1980 et 1990. On a conclu près de 60 alliances par un accord de licence, on a signé environ 45 accords de développement conjoints de produits et 35 « joint ventures ». Du point de vue des produits, ces alliances ont concerné en premier lieu les systèmes (80 projets en 1993), suivis des matériaux (40 accords en 1993), des mémoires et des microcomposants, (chacun pour 20 accords l'an passé). Les projets de développement conjoint (« joint development ») sont davantage consacrés aux composants complexes tels que les CPU (central processing units), alors que ceux relatifs au « manufacturing » sont plus souvent relatifs à des produits appartenant aux « commodités », tels que les mémoires⁵⁶.

⁵⁵Dataquest perspective, « Semiconductors, Strategic Alliances 1993 », p. 14 et suivantes.

⁵⁶National Research Council, « US-Japan strategic alliances in the semiconductor industry, Washington », 1992, p. 36.

D'un point de vue géographique, **la constitution d'alliances touche principalement les Etats-Unis** : plus de 90 sociétés américaines y ont passé des accords (contre moins de dix accords entre sociétés japonaises et moins de cinq accords ne concernant que des sociétés européennes). **Ces alliances internationales traduisent la suprématie nippon-américaine**, puisqu'en 1993 les sociétés américaines et japonaises ont conclu environ 45 accords de tous types.

Les fabricants américains se sont initialement alliés aux Japonais afin de prendre pied dans l'archipel nippon. C'est ainsi que Texas Instrument s'est associé avec Sony en créant une « joint venture » pour s'implanter au Japon. Le MITI imposait en effet dans les années 60-70 des obligations en termes de transfert de technologies aux producteurs étrangers désireux de s'implanter au Japon. Mais à dater de 1979, les sociétés japonaises furent libres, sous réserve de notification aux pouvoirs publics, de conclure les alliances qui leur semblaient profitables.

Depuis 1986, Motorola a noué des liens avec Toshiba : l'avantage comparatif de Motorola tenant à ses microprocesseurs, tandis que Toshiba a aidé Motorola à conserver une compétence dans le secteur des DRAMs. De la même façon, Texas Instruments s'est rapproché d'Hitachi pour effectuer une recherche et un développement en commun sur les mémoires dynamiques de 16 Mégabits. En outre, le fabricant américain a permis à la firme japonaise d'utiliser les procédés dont il contrôle la licence pour le « design » des mémoires statiques de 64 kilobits et de 256 kilobits. Enfin, Hitachi a communiqué à Texas Instrument son savoir-faire en matière de fabrication des mémoires statiques.

La multiplicité des alliances entre le Japon et les Etats-Unis résulte pour partie d'un fort mouvement d'investissements japonais outre-Atlantique. Selon le National Research Council, 90 % des investissements étrangers réalisés dans l'industrie des semiconducteurs aux Etats-Unis l'ont été par des sociétés japonaises (contre 5 % pour les sociétés européennes)⁵⁷. En outre, ces alliances ont souvent concerné des « starts up » américaines qui ont trouvé chez leurs partenaires japonais les moyens de financement nécessaires à leur croissance: les alliances avec les Japonais ont donc permis à ces petites sociétés de compenser le manque d'intégration de l'industrie américaine.

⁵⁷National Research Council, « US-Japan strategic alliances in the semiconductor industry, Washington, 1992 », p. 19.

Force est de constater que par rapport aux alliances conclues entre les Etats-Unis et le Japon, les alliances conclues entre le Japon et l'Europe sont en nombre relativement modeste (moins de dix en 1994).

Les producteurs de composants sont désormais incapables de se développer en assurant leur totale autosuffisance. Aussi, **les alliances bilatérales et trilatérales sont inévitables : elles permettent notamment de diminuer la sensibilité des producteurs aux fluctuations du marché, qui, on l'a vu, sont fortes et brutales.**

Les alliances ont donc une vertu « contracyclique ». Cependant, elles constituent la première voie pour les transferts de technologie et à ce titre, elles ne doivent être mises en oeuvre que dans des conditions équitables.

Comme le relève l'OTA dans un récent rapport⁵⁸ **l'accroissement des aides publiques et le développement de la collaboration entre laboratoires publics et industriels pourrait, aux Etats Unis, offrir une alternative aux alliances internationales.**

9.2.2 L'intégration

Pour mesurer les avantages et les inconvénients de l'intégration d'un producteur au sein d'un groupe industriel, on a réuni dans le tableau ci-dessous la part de marché captif et le chiffre d'affaires des 21 premiers producteurs de composants.

Les sociétés japonaises ont le taux moyen d'intégration le plus élevé parmi les grands producteurs. Cette caractéristique est indissociable de la structure des groupes nippons qui ont le souci de leur indépendance.

Les entreprises américaines sont, quant à elles, nettement moins intégrées : leur marché captif ne dépasse pas 15 % de leurs ventes totales. IBM fait figure d'exception dans le contexte américain, avec un marché captif de plus de 80 %. La société a d'ailleurs pâti du recours systématique à des composants autoproduits

⁵⁸U.S. Congress, Office of Technology Assessment, Contribution of DOE weapons labs and NIST labs to semiconductor technology, Washington, 1993, p.78.

Classement comparé des vingt premiers industriels par pourcentage de marché captif.

| Marché captif en pourcentage du chiffre d'affaires | Société | Chiffre d'affaires 1993 (millions de \$) | Classement |
|--|------------------------|--|------------|
| 82 % | IBM | 2.510 | 10ème |
| 40 % | Fujitsu | 2.928 | 8ème |
| 40 % | Sony | 1.398 | 19ème |
| 30 % | Toshiba | 5.727 | 4ème |
| 30 % | Sanyo | 1.843 | 15ème |
| 25 % | NEC | 6.141 | 2ème |
| 25 % | Hitachi | 5.015 | 5ème |
| 25 % | Matsushita | 2.344 | 11ème |
| 25 % | Sharp | 1.760 | 16ème |
| 20 % | Siemens | 1.510 | 18ème |
| 20 % | Oki | 1.187 | 20ème |
| 15 % | Motorola | 5.957 | 3ème |
| 15 % | Mitsubishi | 2.823 | 9ème |
| 15 % | Philips | 2.300 | 12ème |
| 10 % | Samsung | 3.044 | 7ème |
| 6 % | Texas Instruments | 4.083 | 6ème |
| 5 % | Intel | 7.970 | 1er |
| 5 % | SGS-Thomson | 2.088 | 14ème |
| 3 % | National Semiconductor | 2.132 | 13ème |
| 0 % | Advanced Micro Devices | 1.660 | 17ème |

Source : Dataquest

Il n'est pas possible de définir un ratio d'intégration a priori. Chaque producteur le détermine en fonction des spécificités du marché pour lequel il produit.

L'intégration assure un **approvisionnement stratégique** aux fabricants de systèmes, et donne une base de marché aux fabricants de semiconducteurs. Une intégration minimale permet donc aux sociétés de mieux résister aux aléas de la conjoncture. Les acheteurs disposent, lorsqu'ils ont un fournisseur au sein de leur groupe, des produits essentiels à leurs systèmes, ce qui est d'autant plus important que, dans les générations les plus avancées de composants, c'est le savoir-faire du producteur de systèmes qui est intégré sur la puce de silicium.

9.3 Taille des usines et investissements

Comme la croissance exponentielle du coût des investissements n'a d'égale que la rapidité de leur obsolescence, **les industriels envisagent de regrouper les moyens et d'augmenter la flexibilité des outils de production.**

L'apparition du concept de "*smart factory*" correspond à la création d'unités de production plus ouvertes, donc plus aisément adaptables, pour répondre aux besoins de la production et aux futures évolutions technologiques.

La **diminution du cycle de production** qui peut atteindre de 40 jours à 10 voire 12 semaines pour 400 opérations successives, améliorera la rentabilité des installations en se rapprochant de l'optimum physique.

Les équipements de production prennent une place croissante dans le coût des immobilisations. Aussi certaines sociétés ont-elles pris le parti de ne pas se doter d'un site de production, préférant sous-traiter la gravure des plaques de silicium. De ce fait, ces entreprises se consacrent à la conception ou « design » des circuits intégrés.

Le tableau ci-dessous montre que les producteurs qui ne possèdent pas d'unités de fabrication conservent une taille relativement modeste par rapport à leurs concurrents, le nombre de leurs employés et leurs investissements étant beaucoup moins importants :

Structures de coûts comparées des sociétés dotées de sites de production et des sociétés « fabless »

| | Sociétés sans site de production ou « fabless » | Sociétés disposant de sites de production |
|--|---|---|
| Chiffre d'affaires en millions de dollars | 130 | 2.000 |
| Chiffre d'affaires moyen per capita en dollars | 270 000 | 86.000 |
| Nombre moyen d'employés | 480 | 23.000 |
| Capital en % du chiffre d'affaires | 6 % | 2 % |
| Amortissement | 1 % | 8 % |

Source : Dataquest

Ce type de sociétés sans usine ou « fables » pourrait s'implanter en Europe puisqu'on a vu qu'elles nécessitent un investissement moins important que les sociétés dotées de sites de production.

Reste à savoir comment ces sociétés pourraient s'assurer en Europe de pouvoir disposer des capacités de production des fabricants (en particulier en période de forte croissance de la consommation.

Quant aux entreprises dotées d'usines, elles bénéficieraient mieux que les précédentes de mesures fiscales favorisant l'amortissement, compte tenu de la lourdeur de leurs investissements.

9.4 Les nouveaux besoins des fabricants de systèmes électroniques

En premier lieu, les fabricants de systèmes électroniques vont demander simultanément encore plus "d'intégration" pour réduire la dimension des circuits électroniques, et davantage de "puissance" pour réaliser des systèmes de plus en plus complexes.

Ces fabricants vont aussi demander des circuits qui consomment le moins d'énergie possible afin de réduire la taille des batteries et d'augmenter l'autonomie, pour toutes les applications "portables" : calculateurs personnels, téléphones portables, jeux électroniques...

Les industriels qui fournissent le secteur de l'automobile ou de l'énergie vont avoir besoin "d'électronique de puissance", c'est-à-dire de circuits intégrés capables de commander sans systèmes intermédiaires les étages de puissance (exemple : commander directement le système ABS d'une voiture).

Il sera nécessaire de disposer, pour les applications industrielles, de circuits insensibles aux parasites électromagnétiques ou électrostatiques, résistants à la température. Pour les applications militaires on aura besoin de circuits insensibles aux rayonnements ionisants.

Enfin, pour communiquer à distance sans fil, il faudra des circuits de puissance capables de fonctionner à très haute fréquence.

Tels sont les problèmes posés aux chercheurs et aux industriels de l'industrie du semiconducteur dans les années à venir.

Outre ces besoins les fabricants de systèmes auront besoin :

- de composants pour la visualisation et l'acquisition d'informations qui vont être de première importance pour assurer la convivialité des relations entre l'homme et les systèmes.
- de développer la connectique entre les circuits imprimés d'un système électronique et la connectique entre les composants d'un même circuit électronique, ce qui aura une incidence capitale sur la fiabilité des systèmes.

9.5 Eléments de réponse aux besoins futurs des fabricants de systèmes électroniques

9.5.1 De plus en plus d'intégration

Trois approches complémentaires permettent de répondre à cette attente.

Il faut augmenter le degré d'intégration des fonctions élémentaires (mémoires 1 gigabit, microprocesseurs 64 bits...) en réduisant la taille des motifs (dimensions critiques allant vers 0,1 micron), en augmentant la taille des puces (surface pouvant atteindre 1.000 mm²). Cette approche induit des contraintes technologiques dont certaines peuvent apparaître comme des "verrous" technologiques.

Quelle lithographie sera nécessaire pour atteindre 0,1 micron ? Quelle technique de dépôt utiliser pour obtenir des oxydes minces d'une dizaine de nanomètres ? Aura-t-on des degrés de pureté des matériaux, (gaz et autres...) suffisants pour atteindre des rendements de production acceptables ? Saura-t-on réaliser 6 à 7 niveaux d'interconnexion sur une puce ? Enfin, saura-t-on dissiper la chaleur produite par ces circuits rapides et denses ?

Le SIA a établi une "charte" ou "road map" indiquant les spécifications à atteindre pour répondre aux besoins des clients d'ici 2007.

La carte technologique des Etats-Unis

| | 1992 | 1995 | 1998 | 2001 | 2004 | 2007 |
|---|------|------|---------|---------|---------|---------|
| Dimension critique (μm) | 0,5 | 0,35 | 0,25 | 0,18 | 0,12 | 0,10 |
| Nbre de portes/puce | 300K | 800K | 2M | 5M | 10M | 20M |
| Nbre de bits/puces : | | | | | | |
| DRAM | 16M | 64M | 256M | 1G | 4G | 16G |
| SRAM | 4M | 16M | 64M | 256M | 1G | 4G |
| Coût de production (dollars/cm ²) | 4,00 | 3,90 | 3,80 | 3,70 | 3,60 | 3,50 |
| Taille de la puce (mm ²) | | | | | | |
| LOGIC / microprocesseur | 250 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 1250 |
| DRAM | 132 | 200 | 320 | 500 | 700 | 1000 |
| Diamètre des plaques (mm) | 200 | 200 | 200.400 | 200.400 | 200.400 | 200.400 |
| Densité des défauts/cm ² | 0,1 | 0,05 | 0,03 | 0,01 | 0,004 | 0,002 |
| Nbre de niveaux d'interconnexion | 3 | 4-5 | 5 | 5-6 | 6 | 6-7 |
| Dissipation thermique (W/die) | | | | | | |
| - circuit rapide | 10 | 15 | 30 | 40 | 40-120 | 40-200 |
| - portable | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Tension d'alimentation (V) | | | | | | |
| - poste fixe | 5 | 3,3 | 2,2 | 2,2 | 1,5 | 1,5 |
| - portable | 3,3 | 2,2 | 2,2 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| Nbre d'entrées/sorties | 500 | 750 | 1.500 | 2.000 | 3.500 | 5.000 |
| Performance (Mhz) | | | | | | |
| - au niveau du circuit | 60 | 100 | 175 | 250 | 350 | 500 |
| - hors du circuit | 120 | 200 | 350 | 500 | 700 | 1.000 |

Source : Semiconductor Industry Association⁵⁹,

La deuxième approche va consister à réaliser sur un substrat les différents circuits d'une fonction électronique complexe :

- une transmission d'information nécessitant un convertisseur analogique numérique,
- un filtrage numérique,

⁵⁹Cf Semiconductor Industry Association, Semiconductor Technology, « Workshop conclusions », p. 6-7.

- de la mémoire rapide,
- une unité de calcul,
- un convertisseur numérique analogique,
- un amplificateur de puissance radiofréquence.

Les circuits pourront être réalisés avec des technologies différentes. Cette approche est appelée "SYSTEM ON A CHIP".

La troisième approche a le même objectif que l'approche précédente, mais consiste à reporter sur un substrat "adéquat" (pas forcément un semiconducteur) des puces "nues". Le substrat joue le rôle de réseau d'interconnexion pour associer les puces entre elles afin de réaliser la fonction électronique.

Cette approche "MULTI CHIP MODULE" (MCM) pourra intégrer aussi des capteurs et des actuateurs constituant un "microsystème" ou une "micromachine".

9.5.2 Une réduction de la consommation

Cet objectif sera atteint en développant des technologies permettant aux dispositifs de fonctionner avec des tensions d'alimentation de 2, voire même de 1 volt. Il sera sans doute nécessaire de revoir également le matériau de base, le SOI (silicium sur isolant) offre des possibilités en la matière. Ce substrat permet de réaliser des composants mémoires ou processeurs, résistants aux effets des rayonnements ionisants (propriété intéressante pour les applications spatiales et militaires).

9.5.3 Tenue en ambiance industrielle et circuit de puissance

Comme dans le cas de la réduction de la consommation, les efforts portent sur la technologie et sur le matériau du substrat.

Le SiC (carbure de silicium) est un matériau semiconducteur auquel des caractéristiques intrinsèques, ("champ de claquage" élevé, excellente conductivité thermique), confèrent des propriétés attractives pour réaliser des dispositifs de puissance et haute tension, des dispositifs pouvant fonctionner à 400 ou 600 degrés, et des générateurs de puissance micro-ondes.

9.5.4 L'amplification haute fréquence et la transmission : le domaine d'excellence de l'arséniure de gallium

Le développement industriel de l'arséniure de gallium a donné lieu à d'innombrables querelles d'experts. En effet, les caractéristiques physiques de l'arséniure de gallium (Ga.As) cristallin (faible consommation électrique, rapidité de transmission, capacité à traiter des signaux en hyperfréquence, résistance aux radiations) font théoriquement de ce matériau un concurrent du silicium. Cependant, l'usinage de l'arséniure de gallium est beaucoup plus difficile que celui du silicium, si bien que, compte tenu des défauts métallurgiques, il ne se prête pas à une utilisation industrielle de masse. Le marché de l'arséniure de gallium est estimé à 5 milliards de dollars dans les 3 à 4 années à venir, soit 1/200^e du marché du silicium.

Cependant l'arséniure de gallium trouve des applications nouvelles, notamment dans le secteur de la téléphonie sans fil. Compte tenu de son aptitude à supporter des fréquences élevées, on l'utilise dans des systèmes nécessitant des circuits hyperfréquence, tels que les communications sans fil, la radiotéléphonie mobile (réception directe par satellite), l'électronique automobile embarquée et les détecteurs de proximité (radar anticollision).⁶⁰

Motorola envisage de recourir à des technologies utilisant davantage l'arséniure de gallium dans le cadre de son projet "iridium", qui tend à la couverture de la planète par un réseau unique de télécommunications. Aussi Motorola a-t-il créé une ligne de production dans son usine de Temple (Arizona) afin d'employer l'arséniure de gallium dans les radiocommunications. GEC-Marconi Materials Technology a également créé une ligne de production dans un de ses laboratoires.

Les autorités européennes envisagent de soutenir, par un programme spécifique, les études sur ce matériau utilisé dans des technologies de pointe, en particulier les lasers III-V ternaires. Du fait du ralentissement des marchés militaires il existe en Europe des capacités de production excédentaires et certains producteurs de composants en arséniure de gallium destinés à l'armement sont aux prises avec de graves difficultés, dont les incidences stratégiques et militaires s'avèrent importantes. Le développement de l'arséniure de gallium ne peut être résolu qu'au niveau international, déjà les principaux producteurs européens : Alcatel/Telettra, Alenia, Daimler-Benz, Philips,

⁶⁰Le futur de l'industrie européenne des semiconducteurs, Paris, mai 1994.

Siemens et Thomson, se sont réunis pour lancer un programme EUREKA commun : EUROGAAS.⁶¹

9.5.5 La visualisation et l'interface homme - machine : "de l'écran plat au clavier sans contact"

Les écrans plats représentent un marché des plus porteurs pour la prochaine décennie. En effet, ces écrans permettent la visualisation d'images, mais peuvent aussi trouver des applications comme les claviers "sans contact", deux points stratégiques dans tous les systèmes électroniques pour assurer l'interface entre l'homme et la machine.

Le marché est fortement dominé par les Japonais, qui ont organisé toute une industrie autour de cette application, incluant les machines pour fabriquer les écrans plats. Les Japonais ont produit 5 milliards de dollars d'écrans plats en 1994, approchant une croissance de près de 25 %.

Les Américains conscients de l'importance de l'enjeu mobilisent des forces importantes autour de ce sujet.

L'Europe se positionne timidement autour du consortium piloté par Philips et Thomson.

Une nouvelle technologie développée par le LETI (Field Emission Display) paraît prometteuse. Une « start up », "Pixel International", essaie de s'implanter sur ce créneau.

D'une façon générale, l'optoélectronique est un domaine porteur.

9.5.6 La connectique

Les problèmes de connectique de l'an 2000 seront sans doute résolus par des liaisons optiques, même au niveau du circuit.

Un champ de recherche s'ouvre sur ce sujet.

⁶¹Cf Technologies Internationales, qui cite les prévisions de Bis Stratégic décisions, n°3, avril 1994, p.14.

Les experts s'attendent à une augmentation de la taille des « puces » et du degré d'intégration des transistors. On devrait atteindre 0,18 micron vers l'an 2000. Le diamètre des plaques de silicium devrait s'élargir jusqu'à 300 millimètres, ce qui posera des problèmes de lithographie qui nécessiteront de nouveaux équipements, des problèmes de rendement des usines à cause de techniques de production encore plus sophistiquées. Il faudra également améliorer la pureté des environnements.

Au plan technique, pour améliorer la précision de la gravure, il faudra maîtriser les oxydes minces (oxyde de champ entre les transistors), ainsi que l'augmentation du nombre d'étapes du processus de production et du nombre de niveaux d'interconnexion.

10. Recommandations

Les semiconducteurs sont les composants de base de l'industrie de l'électronique et, via les systèmes électroniques, ils sont indispensables à tous les secteurs industriels.

Les performances des systèmes électroniques sont, quant à elles, directement liées à la puissance des composants qui résulte :

- de la haute intégration des mémoires,
- de processeurs complexes,
- d'ensembles « intelligents » regroupant des mémoires de grande capacité, des processeurs performants, des entrées-sorties pour réaliser une fonction complexe dans un seul circuit.

10.1.1 Se spécialiser dans des secteurs d'avenir à haute valeur ajoutée

Les choix opérés dans les pays d'Asie (DRAM) ou aux Etats Unis (microprocesseurs) ne sont pas directement transposables en Europe.

Il est cependant nécessaire d'encourager la spécialisation des producteurs européens sur des produits de haute valeur ajoutée. Le renforcement des liens entre les producteurs de composants et les producteurs de systèmes (télécommunications, automobile) permettrait d'accélérer le développement du marché des composants hautement intelligents dans lesquels la fonction du système est intégrée dans le silicium (« system on a chip »).

Au demeurant, il est nécessaire de coordonner les efforts réalisés sur les semiconducteurs avec ceux engagés sur les autres composants : passifs, optoélectroniques, écrans plats, capteurs et microsystèmes.

Des secteurs tels que les logiciels de conception et de production de circuits intégrés ne devront également pas être négligés dans l'avenir, en particulier si l'on vise l'obtention de méthodes de production plus flexibles et donc moins onéreuses.

10.1.2 Favoriser l'investissement

Il est indispensable de conserver une production européenne de semiconducteurs pour rester compétitif.

Or, compte tenu du coût des investissements, l'Europe ne dispose aujourd'hui que de deux usines produisant des semiconducteurs sur des plaques de 200 mm (trois autres usines sont en cours de construction).

Il serait utile, en conséquence, d'aider les industriels à trouver des moyens de financement pour investir.

Des dispositions fiscales analogues à celles en vigueur au Japon (amortissement accéléré) pourraient abaisser le coût du capital.

Les entreprises n'investissent que si elles ont des perspectives de débouchés. Or, les pouvoirs publics peuvent orienter le développement de la demande en favorisant l'apparition de nouveaux besoins : les problèmes liés à l'environnement, au développement des télécommunications, au vieillissement de la population pourraient être en partie résolus par le recours à des dispositifs électroniques.

Dans ces secteurs, les pouvoirs publics aideront à la création de nouveaux marchés par l'introduction de normes nouvelles (contrôle de la pollution par exemple).

L'essaimage d'entreprises à partir des laboratoires se heurte également à une forte contrainte financière. Il est clair qu'il ne faut pas disperser les moyens, cependant il serait nécessaire de mieux accompagner le développement de « starts up » spécialisées dans des secteurs porteurs. L'expérience japonaise pourrait servir d'exemple en la matière.

10.1.3 Les semiconducteurs militaires

Il est indispensable de conserver une compétence française en matière de composants militaires.

Il appartiendra aux pouvoirs publics de définir, en concertation avec les partenaires intéressés, les modalités d'une collaboration entre les industriels, les laboratoires de recherche, et la Délégation générale pour l'armement.

10.1.4 Favoriser la recherche précompétitive et coopérative

La recherche européenne doit rester au même niveau que celle des Etats-Unis et du Japon. Pour ce faire, elle doit procéder de l'action conjointe de l'Union et des Etats européens, ce qui n'exclut pas des ouvertures internationales.

Il est donc nécessaire de coordonner les aides de la Communauté et celles provenant des différents Etats, afin d'en optimiser l'efficacité.

En ce qui concerne la recherche précompétitive, il serait très utile de mieux coordonner les initiatives dans la Communauté, afin d'éviter la multiplication des laboratoires, les doubles emplois dans les investissements et la duplication des recherches.

Les centres de recherche doivent atteindre une « masse critique » que l'augmentation des investissements rend de plus en plus nécessaire.

Il faut au demeurant que les grandes entités de recherche (GRESSI, IMEC, Franhauffer) coopèrent pour conduire des recherches et que des représentants des industriels européens soient éventuellement détachés dans ces entités afin d'améliorer les transferts.

En matière de recherche, les efforts doivent principalement porter sur le silicium. Cependant, il est nécessaire de faire un effort sur les algorithmes de plus en plus complexes qui interviendront dans des puces de plus en plus sophistiquées.

Quant au produit de la recherche européenne, il conviendrait de mieux le protéger et, à défaut, de l'industrialiser, de le vendre à son juste prix.

Tous les Etats soutiennent, d'une façon ou d'une autre, leur industrie des semiconducteurs, aussi n'est-il pas question de savoir si la France et l'Europe doivent encourager une initiative telle que JESSI, mais bien comment la soutenir. JESSI arrivera à son terme en 1996. A l'avenir, l'indispensable soutien à l'industrie des semiconducteurs devra être encore ciblée sur les besoins des producteurs de systèmes électroniques.

Il est donc nécessaire de définir, en Europe, une stratégie dans laquelle coopèrent les industriels, les scientifiques et les pouvoirs publics. Les aides publiques devront en conséquence soutenir des projets de recherche précis, régulièrement évalués et non pas reconduits *ad infinitum*.

JESSI a permis de soutenir les efforts des producteurs de composants. Aussi ne faut-il pas faire table rase de l'expérience engagée, mais plutôt corriger ses imperfections pour améliorer encore ses résultats.

Notre pays doit donc soutenir des programmes comme JESSI dans lesquels seuls les Etats concernés interviennent.

10.1.5 Réduire la dépendance de l'Europe en équipements

Il est nécessaire de resserrer les relations entre les producteurs de composants d'Europe et les équipementiers européens, lorsque leurs produits sont compétitifs.

On a vu que SEMATECH a eu des effets très positifs sur les producteurs américains d'équipements.

Un programme européen de qualification et d'évaluation de ces équipements, tenant compte des spécificités de l'Europe pourrait voir le jour. Il assurerait les acheteurs de la qualité des matériels et leur permettrait de les tester en commun. Un tel programme serait sans doute très utile pour venir en aide aux producteurs d'équipements de l'Union.

Un tel programme pourrait d'ailleurs être ouvert aux fabricants de circuits intégrés non européens.

Il serait en outre utile d'encourager les fournisseurs étrangers à créer des structures de maintenance en Europe (et non uniquement des bureaux de vente), à s'associer avec les entreprises européennes (notamment pour réaliser l'assemblage des machines en Europe). Il faudrait également promouvoir le développement d'entreprises de maintenance travaillant pour le compte de sociétés étrangères, comme l'ont fait les Coréens.

Une aide à l'industrialisation des produits serait également utile, de même que toutes les mesures qui tendraient à accompagner les regroupements d'entreprises, ou la constitution de « joint ventures ».

L'Europe doit donc prendre exemple sur ses concurrents pour conserver une vision de long terme qui demeure suffisamment vigilante dans le choix des secteurs d'excellence comme dans l'attribution des aides.

11. Annexes

11.1 Annexe 1 : *Éléments techniques et glossaire*

11.1.1 L'origine d'un semiconducteur⁶²

Selon l'acception la plus générale, un circuit intégré est un dispositif de taille minimale extrêmement complexe, capable d'effectuer des fonctions électroniques prédéfinies.

Un circuit intégré se compose de deux éléments fondamentaux : d'une part, une plaquette de silicium minuscule et très fragile, la puce, qui exécute des fonctions électroniques, et, d'autre part, un boîtier, qui protège le silicium et permet à l'utilisateur de manipuler plus facilement la puce.

Le processus de fabrication d'un circuit intégré se divise essentiellement en deux phases. La diffusion (« front-end »), procédure très sophistiquée et complexe, consiste à réaliser la photogravure de la puce de silicium ; d'autre part, l'assemblage (« back-end »), procédure de précision hautement automatisée, permet de monter la puce sur son boîtier, puis de tester le circuit qu'elle supporte.

La plaquette de silicium voit le jour sous forme d'une « tranche » de silicium ou « wafer », plaque circulaire très fine d'un diamètre de 125, 150, voire 200 mm (5, 6, ou 8 pouces), le « wafer ». Le silicium à l'état naturel est isolant. Par conséquent, ses caractéristiques doivent être modifiées, selon un processus contrôlé, afin de rendre certaines parties de la tranche moins pures. Cette phase, appelée « dopage » du silicium consiste à insérer de manière appropriée des atomes dopants à l'intérieur du réseau de silicium cristallin, en modifiant les caractéristiques dans certains endroits prédéterminés pour produire les structures électroniques qui forment la base des circuits électroniques (transistors, résistance, condensateurs).

Pour obtenir les valeurs souhaitées, on emploie certains agents dopants tels que le bore ou le phosphore. Le processus consiste à placer la tranche dans

⁶²D'après « Les semiconducteurs », par Jean-Philippe DAUVIN, Editions Economica, 1990. Document reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur.

un four où l'on introduit les gaz dopants qui imprègnent la surface du silicium masquée de façon appropriée à certains endroits, tout comme on masque les vitres d'une voiture avant de la peindre au pistolet.

Cette phase du travail est communément appelée « diffusion ». La taille d'une plaquette de silicium se mesure en microns, autrement dit en millièmes de millimètre. Par conséquent, l'une des méthodes de masquage les plus utilisées dans ce type de travail consiste à imprimer photographiquement le masque sur la surface de la tranche.

Le processus de photo-masquage et de diffusion est renouvelé plusieurs fois avec de nombreux masques, en utilisant divers agents dopants à des températures variables, afin d'obtenir les différents niveaux d'impureté produisant les caractéristiques requises sur le silicium.

Pour donner une idée de la finesse de ces procédures, il convient de préciser que la température des fours à l'intérieur desquels on réalise la diffusion est supérieure à 1200 degrés et qu'elle est contrôlée à un demi degré près sur toute la longueur du four (environ un mètre) qui reçoit des nacelles de 25 à 50 pièces. Les opérations de diffusion s'effectuent dans un environnement où l'air est un million de fois plus propre que celui respiré en ville et bien plus grande que celui d'un bloc opératoire.

Ceci concerne la fabrication des « puces » à proprement parler qui sont produites en groupes disposés sur des tranches de silicium, tout comme des timbres postaux qui, imprimés sur des feuilles, sont ensuite séparés par la dentelure.

Au terme de l'opération de diffusion sur le silicium des différents éléments électroniques et après qu'on les a séparés les uns des autres, ils doivent être reliés entre eux par des conducteurs capables de transmettre les signaux électriques à travers la « puce ».

Sur une surface plus petite que celle de l'ongle d'un nouveau-né, des milliers de composants électroniques ont été créés, tous reliés entre eux et à même d'exécuter en partie une fonction électronique complexe. A ce stade, le circuit est parfaitement en mesure de fonctionner, mais il est impossible de l'utiliser sans un support adéquat.

La « puce » est alors montée dans un boîtier céramique ou plastique qui la protège des chocs et des agents atmosphériques et permet de la connecter.

Une fois la phase d'encapsulation achevée, chaque circuit intégré est contrôlé par des ordinateurs qui en vérifient le fonctionnement en le soumettant à des dizaines de milliers d'essais électriques, à l'aide de microsondes spécialement conçues à cet effet. Les produits ayant subi les tests sont alors marqués d'un code signalant au fabricant et à l'utilisateur la fonction précise du circuit, avant d'être expédiés vers leur destination finale.

11.1.2 Glossaire de la micro-électronique⁶³

ASSEMBLAGE OU BACK-END

Deuxième phase du processus de fabrication pendant laquelle la puce de silicium est montée dans le boîtier qui la protège et qui assure à l'aide de fils très fins les liaisons avec l'extérieur.

CIRCUITS INTEGRES (*integrated circuits*)

A la différence des transistors, ils comprennent sur la même puce un grand nombre de fonctions électroniques élémentaires.

Selon leur complexité, ils peuvent être SSI (Small Scale Integration) (petite intégration), MSI (Medium Scale Integration) (moyenne intégration), LSI (Large Scale Integration) (haute intégration), VLSI (Very Large Scale Integration) (très haute intégration), ULSI (Ultra Large Scale Integration) (ultra haute intégration), et contenir sur la même puce entre quelques transistors (outre les diodes, les résistances, les condensateurs nécessaires) et plusieurs millions de transistors (une mémoire EPROM 4 Mbits possède 4 millions de « sandwiches » avec deux transistors couplés, plus les transistors composant le circuit de commande).

Suivant la technologie adoptée, ils peuvent être bipolaires, MOS, CMOS ou mixtes.

⁶³Document reproduit avec l'aimable autorisation de SGS-Thomson

CIRCUITS INTEGRES ANALOGIQUES (*analog Ics*)

Circuits qui reçoivent en entrée et délivrent en sortie des signaux pouvant avoir n'importe quelle valeur instantanée comprise entre un maximum et un minimum (exemple typique, le signal provenant d'un micro qui, une fois amplifié, sort vers un haut-parleur).

Le monde où nous vivons est typiquement analogique, et même si le traitement numérique des signaux est de plus en plus répandu, les circuits d'interface d'un très grand nombre de systèmes électroniques sont encore analogiques.

Ils peuvent être réalisés le plus souvent à l'aide de technologies bipolaires, mais les filières MS, COMAS et mixtes trouvent également une vaste application.

CIRCUITS INTEGRES ANALOGIQUES STANDARD (*standard analog Ics*)

Ils constituent l'équivalent analogique des familles logiques : il s'agit de dispositifs d'emploi général qui exécutent des tâches fixes et généralement assez simples. Les amplificateurs opérationnels en sont des exemples parfaits.

CIRCUITS INTEGRES DEDIES (*DEDICATED ICS*)

D'un point de vue strictement logique, on devrait avoir des circuits numériques et analogiques.

Dans la réalité, sur le plan de la conception, il convient de les considérer comme une catégorie à part, les limites étant de plus en plus vagues et les modèles mixtes de plus en plus répandus.

Il s'agit de circuits intégrés qui ne sont pas réservés à un seul client mais « dédiés » permettant de réaliser un système électronique complet sur silicium ou bien une fonction spécifique à l'intérieur d'un système électronique.

Font partie de cette catégorie, par exemple, la puce comportant un appareil téléphonique complet, le processeur audio pour chaînes Hi-Fi, l'amplificateur de lecture de disquettes sur P.C., etc.

Ils sont très souvent développés en accord avec un ou plusieurs clients, leaders dans leur secteur, qui apportent leur savoir-faire et exposent leurs exigences futures.

Nombre de circuits intégrés de puissance intelligente (voir plus haut), quand ils ne sont pas conçus pour des applications générales, peuvent rentrer dans cette catégorie.

CIRCUITS INTEGRES NUMERIQUES (*digital Ics*)

Circuits intégrés où chaque transistor est conducteur ou isolant, représentant les uns et les zéros du système de numération binaire.

A l'origine, ils n'étaient utilisés que dans les systèmes de traitement de données, mais leur diffusion est maintenant de plus en plus large (disques compacts, T.V. numérique, etc.).

CIRCUITS INTEGRES DE PUISSANCE INTELLIGENTE (*smart power Ics*)

Une définition couramment acceptée fait rentrer dans cette catégorie les circuits intégrés capables de fournir en sortie des courant supérieurs à $\frac{1}{2}$ ampère ou des puissances supérieures à 1 watt, ou bien de supporter des tensions supérieures à 100 volts, qui rassemblent sur la même puce les transistors de puissance nécessaires, ainsi que leur circuit de commande et/ou de protection.

Avec le développement des technologies du silicium et des techniques d'encapsulation pour circuits intégrés, leur diffusion est de plus en plus grande mais ils sortent du cadre strictement analogique pour entrer dans le secteur mixte analogique/numérique.

La première application a été, historiquement, celle des amplificateurs audio (radio, autoradio, télévision) ; vinrent ensuite les systèmes de balayage propres aux téléviseurs. Un autre pas fut franchi avec la commande de moteurs et d'autres types d'actionneurs mécaniques à la fin des années 70. Le secteur automobile affiche un certain dynamisme ; en effet, à l'allumage, à l'injection et au réglage électronique de la tension viendront prochainement s'ajouter les systèmes multiplex permettant de supprimer des centaines de fils de cuivre dans chaque voiture. Cette technique permettra de réduire le poids des avions de 4 tonnes.

Les périphériques informatiques, ainsi que les systèmes de contrôle industriel, les machines-outils, l'électroménager sont très friands de ce type de produits et des perspectives intéressantes s'ouvrent également dans le domaine de l'éclairage...

CIRCUITS USIC (*User Specific Integrated Circuits*)

Circuits produits exclusivement pour un client et son application spécifique, conçus de manière extrêmement automatisée à l'aide de calculateurs, et souvent directement par le client.

En fonction des méthodes utilisées pour les réaliser, on distingue les prédiffusés, les précaractérisés, les réseaux Mer de Portes, etc.

Leurs applications sont à peu près les mêmes que celles des familles logiques, mais ces produits permettent de réaliser des circuits très complexes et, surtout, sur mesure pour le client.

CLASSE/ENVIRONNEMENT

Dans le cadre de la production de tranches ou de plaquettes pour dispositifs à semiconducteur, le terme « classe » désigne le paramètre qui mesure le degré de propreté et de pureté de l'air de l'environnement de production. Le chiffre qui suit le mot « classe » (1000, 100, 10, 1) indique la quantité maximale de particule autorisées par pied cube d'air.

COMPOSANTS A SEMI-CONDUCTEURS (*semiconductor devices*)

Composants à semiconducteurs réalisant une seule fonction électronique élémentaire.

COMPOSANTS OPTOELECTRONIQUES (*optoelectronic devices*)

Lasers à l'état solide, phototransistors, photodiodes, photorésistances, etc.

DIODE (*diode*)

Composant à deux bornes acheminant le courant électrique dans une seule direction.

FAMILLES LOGIQUES (*logic families*)

Familles de circuits intégrés réalisés à l'aide de technologies différentes, normalement composées d'une multitude d'éléments divers qui assurent les fonctions de base, comme les éléments de la logique booléenne, jusqu'aux associations plus ou moins complexes de ces mêmes éléments permettant de constituer des diviseurs, des additionneurs, etc.

Il existe également des éléments renfermant un grand nombre d'éléments logiques élémentaires que l'utilisateur peut relier à son gré - par simple

programmation à l'aide de signaux électriques - pour former des parties de circuit d'une certaine complexité.

Ils trouvent une application dans les systèmes électroniques les plus simples, ou bien font office de logique d'interfaçage (« colle ») entre microprocesseur et mémoires dans les systèmes plus complexes.

FRONT-END OU DIFFUSION

Première phase du processus de production pendant laquelle le circuit électronique est effectivement diffusé dans la plaquette de silicium grâce à une série de processus très délicats et complexes comprenant la photogravure à haute résolution et l'injection (contrôlée par ordinateur) d'atomes soigneusement sélectionnés dans la structure cristalline du silicium.

MEMOIRES EPROM (*Electrically Programmable Read Only Memories*)

Mémoires non volatiles (elles ne perdent pas leur contenu de données en cas d'arrêt d'alimentation), programmées à l'aide de signaux électriques, effaçables à l'aide de rayons ultraviolets et réinscriptibles.

Applications : toute application où il s'avère nécessaire de mémoriser des tableaux de données ou d'installer des logiciels résidents sur des systèmes électroniques lors de la production de ces systèmes. Exemples : dans les P.C., au moment de la mise sous tension, un programme mémorisé sur EPROM supervise toute la procédure d'activation des périphériques et charge le système d'exploitation à partir du disque dur ; dans les imprimantes, par contre, les polices de caractère sont souvent mémorisées sur EPROM.

Quand elles sont encapsulées sur des boîtiers imperméables aux ultraviolets, les EPROMs ne peuvent pas être effacées et portent, dans ce cas, le nom d'OTP (programmable une seule fois, ou One Time Programmable).

Lorsque la technologie permet d'effacer et de réécrire des données à l'aide de signaux électriques, elles deviennent des mémoires EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM).

MEMOIRES RAM DYNAMIQUES (*Dynamic Random Acces Memories-Drams*)

Mémoires volatiles à accès aléatoire où l'utilisateur peut accéder à chaque cellule de la mémoire pour écrire, lire ou réécrire des données à son gré.

Le contenu de la mémoire est conservé tant qu'elle est sous tension et si le « rafraîchissement » de la mémoire est effectué à très haute fréquence.

Leurs applications sont pratiquement illimitées (tout calcul électronique).

MEMOIRES RAM STATIQUES (*Static Random Access Memories-SRAMs*)

Elles ont les mêmes fonctions que les RAMs dynamiques, mais sont plus rapides : elles consomment peu et n'exigent pas de « rafraîchissement ».

Chaque cellule de la mémoire est beaucoup plus complexe que celle des DRAM. On trouve généralement sur le marché les mémoires SRAMs dont la capacité représente un quart de celle des DRAMs actuelles.

Les applications sont à peu près les mêmes, mais la complexité et la vitesse croissantes des systèmes de traitement des données pour les applications les plus diverses, les qualités de faible consommation et haute vitesse des SRAMs en font un outil de plus en plus intéressant.

MICRON (μm)

Un millième de mm, approximativement un dixième de l'épaisseur d'un cheveu humain.

MICROPROCESSEURS (*microprocessors*)

Circuits intégrés associant une unité arithmétique et logique à des éléments de mémoire de manière à réaliser un dispositif capable d'effectuer toute opération de traitement de données selon un programme séquentiel dans le sens temporel qui peut être fixe (*embedded processor*) ou variable suivant les besoins de l'utilisateur (applications informatiques classiques).

Les microprocesseurs dotés de leur propre mémoire de travail et du circuit électronique associé sont normalement appelés micro-ordinateurs.

Les applications des microprocesseurs sont elles aussi très variées, allant des plus simples (minuteur pour presse-pantalons électriques) aux plus complexes, concernant par exemple les stations de travail ou la reconnaissance vocale et visuelle.

MOS (*METAL OXIDE SEMICONDUCTOR*)

C'est le procédé le plus sophistiqué utilisé pour la production de circuits intégrés.

SEMICONDUCTEURS (« *semiconductors* »)

A strictement parler, matériaux ayant des caractéristiques intermédiaires entre les conducteurs et les isolants. On distingue les semiconducteurs simples (silicium, germanium) et composés (arséniure de gallium, phosphore d'indium, etc.).

Dans l'usage courant, ce terme désigne les composants réalisés à l'aide de matériaux semi-conducteurs.

THYRISTORS (*thyristor*)

Composant généralement à trois bornes semblable aux transistors de puissance, mais doté des fonctions typiques d'un interrupteur pour courant alternatif.

Son application typique est la commande de variateurs d'intensité, le contrôle de vitesse de moteurs (perceuses, etc..).

TRANSISTOR (*transistor*)

Composant discret à trois bornes où le courant s'écoulant entre deux bornes est contrôlé par le signal électrique appliqué à la troisième borne.

TRANSISTOR A PETIT SIGNAL (*small signal transistor*)

Transistor capable de traiter des signaux électriques de faible puissance, généralement de l'ordre de fractions de watt.

Suivant les fréquences de fonctionnement, il peut être utilisé à basse fréquence, dans les plages de radiofréquences ou hyperfréquences.

Autrefois, l'un des éléments les plus fréquemment utilisés dans tout système électronique, il voit à l'heure actuelle son importance progressivement réduite au profit des circuits intégrés. Il est encore très souvent employé dans les applications de radiofréquence et hyperfréquence (systèmes de télécommunications et militaires).

TRANSISTOR DE PUISSANCE (*power transistor*)

Transistor capable de bien dissiper la chaleur, de résister aux fortes tensions ou de combiner ces deux prestations de manière à pouvoir traiter et délivrer des signaux de sortie de puissance élevée allant du watt au kilowatt.

Le transistor de puissance trouve son application dans la commande de moteurs électriques, de solénoïdes et autres actionneurs, dans les installations industrielles et civiles générales, dans les systèmes d'injection et d'allumage électroniques automobiles, dans les téléviseurs, ainsi que dans un grand nombre de systèmes d'alimentation pour les systèmes électroniques les plus divers.

11.2 Annexe 2 : Bibliographie

Documents relatifs à la Corée

- Korea Electronics Technology Institute (KETI) (Présentation) 94-95, 8 p.
- Daewoo :
 - ♦ « Daewoo around the world », juin 1993, 56 p.
 - ♦ News from Daewoo (juillet 1994), 12 p.
- Goldstar Eletron, Company profile 1994, 22 p.
- Hyundai Electronics Industries :
 - ♦ « My perspective », 47 p.
 - ♦ « Corporate profile 1994 », 4 p.
 - ♦ Company profile, 1994, 24 p.
 - ♦ Semiconductor operations, août 1994, 11 p.
- Samsung Electronic
 - ♦ Annual report 1993, 50 p.
 - ♦ Technology that works for Human Life », 11 p.
- IAE (Institute for Advanced Engineering, octobre 1993), 16 p.
- The Korean Times (30 août 1994)
- PRISM (American Society For Engineering Education, avril 1994), 8 p.
- NATURE (International Weekly Journal of Science, juillet 1993), 11 p.
- SIRIJ (Semiconductor Industry Research Institute Japan) : Profile of the Semiconductor Industry Research Institute Japan, 6 p.
- La politique de recherche et de développement de la Corée, Service Culturel, Scientifique et de Coopération, Ambassade de France en Corée, 5 p.
- L'industrie des semi-conducteurs en Corée, Service Culturel, Scientifique et de Coopération, Ambassade de France en Corée, 1994, 11 p.

- Korea-US Alliances and Joint Research & Development in the Semiconductor Industry, The Korea Economic Weekly, juin 1994, 5 p.
- Korean Chip Makers Lead the World With Manufacturing Superiority, The Korea Economic Weekly, juin 1994, 3 p.
- World Leading 16M DRAM Producers Seek Diversification, The Korea Economic Weekly, novembre 1993, 8 p.
- The Booming Semiconductor Industry, Economic & Industrial Focus, The Korea Development Bank, mars 1994, 7 p.
- L'industrie des semi-conducteurs en Corée, Service Culturel, Scientifique et de Coopération, Ambassade de France en Corée, 1994, 11 p.
- Science & Technology, Business Week, août 1994, 2 p.
- Wonder Chips, Business Week, juillet 1994, 6 p.

Documents relatifs au Japon

- Profile of the Electronic Industries Association of Japan, Profile, 1993, 10 p.
 - ♦ Facts & Figures on the Japanese Electronics Industry, EIAJ, 1994, 114 p.
- Optoelectronic Industry and Technology Development Association, Japon, 13 p.
- Summary of Report for Minister of International Cooperation Committee Industrial Technology Council, 8 juin 1994, 9 p.
- Organization of MITI, Agency of Industrial Science and Technology, Activities of AIST, 4 p.
- Agency of Industrial Science and Technology (AIST), 1993, 38 p.
- Industrial Science and Technology Frontier Program (ISTF), 1993, 40 p.
- Industrial Technology Policy, 10 p.

- Industrial Science and Technology Frontier Program (ISTF), 1993, 40 p.
 - Industrial Technology Policy, 10 p.
 - New Sunshine Program, mars 1994, 40 p.
 - The Spring-8 Project Team, JAERI/RIKEN, 1993, 20 p.
 - Mitsubishi Kasei Corporation, Annual Report 1994, 51 p.
 - Mitsubishi Kasei, Research and Development, 40 p.
 - Mitsubishi Kasei Institute of Life Sciences « A tribute to the Future of Mankind », 14 p.
 - Science and technology Agency, 1993, Its roles and activities, 38 p.
 - Japan Key Technology Center (Présentation), 14 p.
 - Investment & Loan Service Projects, promoted by Japan Key Technology Center, 61 p.
 - Japan Key Technology Center, 13 p.
 - Japan Key Technology Center : List of Investment and Loan Projects FY 1985-1993, 48 p.
 - KEIDANREN
 - ♦ 1994, 22 p.
 - ♦ List of Keidanren Participants, 1 p.
 - SIRIJ (Semiconductor Industry Research Institute Japan) : Profile of the Semiconductor Industry Research Institute Japan, 6 p.
 - Hitachi Central Research Laboratory :
 - ♦ Hitachi's R & organization, 1994, 20 p.
 - ♦ Facing the Challenges of Tomorrow, 1993, 60 p.
- Overview of Joint Research Systems in Japan, SIRIJ, septembre 1994, 3 p.

Documents relatifs aux Etats-Unis

- Office of Technology Assessment U.S. Congress : Contribution of DOE Weapons Labs and NIST to Semiconductor Technology, septembre 1993, 87 p.
- Office of Technology Assessment U.S. Congress : International Competitiveness in Electronics, novembre 1983, 546 p.
- Office of Technology Assessment U.S. Congress : « Making things better, Competing in manufacturing », mars 1990, 243 p.
- Office of Technology Assessment U.S. Congress : Competing Economies America, Europe and the Pacific RIM, octobre 1991, 378 p.
- Office of Technology Assessment U.S. Congress : Defense conversion, Redirecting R & D, mai 1993, 240 p.
- The convergence of the computer, communications and consumer electronic markets..., Texas Instruments, 1993 Annual Report, 2 p.
- Semiconductors Products Sector, Motorola, 37 p.
- The road to global competitiveness, Sematech, 21p.
- Setting sun : The slide of Japanese, Electronic Business Buyer, april 1994, 6 p.
- Semiconductor Application Markets Worldwide, Dataquest Incorporated, 1994, 6 p.
- Listening to Industry : Business Views on Technology Policy, U.S. Department of Commerce, juin 1994, 23 p.
- IBM to Establish Chip Joint Venture with Cirrus Logic, par Bart ZIEGLER, WSJ, 9.9.1994, 1 p.
- Microprocessor Technology towards the Year 2000, par P.A. GARGINI et G.H. PARKER, Intel Corporation, Santa Clara, USA, 6 p.

- Microelectronics Manufacturing for Personal Computers in the 90's, par P.A. GARGINI, M. CHEN et G.H. PARKER, Intel Corporation, Santa Clara, USA, 8 p.
- Semiconductor Industry Association, 1993, 95 p.
- Optoelectronic Industry and Technology Development Association, Activity Report, Japon, 1994, 55 p.
- Cypress, 1993 Annual Report, 38 p.
- The Cypress Sales Quarterly Vol. 5, n° 3, 1994, 16 p.
- Cypress, Second Quarter Report 1994, 14 p.

Documents relatifs à la France et à l'Europe

- Le futur de l'industrie européenne des semi-conducteurs, Jean-Philippe DAUVIN, mai 1991, 39 p.
- Les semi-conducteurs, Jean-Philippe DAUVIN, décembre 1990, 98 p., *Economica*
- SGS-Thomson Microelectronics NV, novembre 1993, 48 p., *Dataquest*
- Le LETI, mai 1993, 5 p
- LETI, rapport d'activité 1992, 75 p.
- SGS-Thomson, rapport annuel, 1992, 12 p.
- LETI, thèses, publications, communications, 1992, 28 p.
- Evolution de l'industrie des semi-conducteurs, novembre 1993, 13 p.
- Semiconductors Europe, 1993, 39 p.
- Policy on business conduct, D & B, 1993, 38 p.

- EIS, europolitique, les programmes spécifiques du 4ème programme-cadre de R & D 1994-1998, 15 p.
- Commission des Communautés Européennes, position du Conseil concernant le 4ème programme-cadre de R & D 1994-1998, janvier 1994, 7 p.
- Parlement européen, rapport de la commission de l'énergie, de la recherche et de la technologie, novembre 1993, 59 p.
- Parlement européen, position commune en vue de l'adoption d'une décision relative au quatrième programme-cadre de la C.E.E. 1994-1998, janvier 1994, 60p.
- Parlement européen, rapport de la commission de l'énergie, de la recherche et de la technologie concernant le quatrième programme-cadre 1994-1998 pour la Communauté européenne de l'énergie atomique, 75 p.
- Journal officiel des Communautés européennes, n° C 230/4, 26 août 1993, proposition de décision relative au quatrième programme-cadre de la C.E.E., 33 p.
- Proposition d'acte communautaire soumise par le Gouvernement à l'Assemblée nationale et au Sénat, E 225, deuxième session extraordinaire de 1993-1994.
- Sénat, rapport d'information au nom de la délégation pour les Communautés européennes sur le projet du quatrième programme-cadre pour la recherche et le développement technologique (1994-1998), par M. Guy CABANEL, sénateur, n°96, première session ordinaire 1993-1994, 30 p.
- Commission des Communautés européennes, proposition de décision du Conseil, juin 1993, 108 p.
- Parlement européen, rapport de la commission économique, monétaire et de la politique industrielle sur la situation de l'industrie européenne de l'électronique., par M. Alman METTEN, janvier 1994, 13 p.
- Ambassade de France, Allemagne fédérale, fiche d'actualité scientifique et technique n°013, réf. : MIS, février 1994, 4 p.

- What is Jessi ?, 18 p.
- Le programme JESSI, mars 1994, 20 p.
- International Herald Tribune, 26 septembre 1994, Microelectronics Europe's Driving Force.

11.3 Annexe 3 : Liste des personnes auditionnées

| | NOM | SOCIETE OU ORGANISME | TITRE |
|-----|----------------|--|---|
| M. | ALLEMAND | Renault | Chef du département électronique, Direction de la recherche |
| Pr. | BABA | | Professeur à l'Université de Tokyo |
| M. | BENSOUSSAN | INRIA | Président |
| M. | BETHENOD Marc | MATRA MHS | Directeur des Programmes |
| M. | BOIDOCK John | Texas Instruments | Vice-Président |
| M. | BONGRAND J. | Ministère de la Défense | Conseiller technique au Cabinet du ministre de la Défense. |
| M. | BORREL André | MOTOROLA Semiconductor | Directeur |
| M. | BUGAT Alain | Commissariat à l'Energie Atomique (C.E.A.) | Directeur des Technologies Avancées |
| M. | CARME Henry | I.B.M. | Directeur du Site de Corbeil-Essonne |
| M. | CHOI CHUN H. | GOLDSTAR ELECTRON | Executive Director R & D R & D planing |
| M. | CHUNG KUN MO | Institute for Advanced Engineering | Président |
| M. | DAUVIN J.-P. | SGS-THOMSON Microelectronics S.A. | Directeur des Etudes économiques et stratégiques |
| M. | DECOMPS B. | Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche | Directeur général (Direction générale de la recherche et de la technologie) |
| M. | DESBARD Michel | MATRA MHS | Président-Directeur Général |
| M. | DOI Tashitada | SONY | Directeur |

| | | | |
|-----|--------------------|--|--|
| M. | DOMINE C.-H. | Ministère de l'Industrie | Chargé de la sous-direction des composants au SERICS |
| M. | DOUG Audrey | Semiconductor Industry Association | Directeur |
| M. | DUCROCQ Albert | | Professeur et journaliste |
| M. | DUMAS | JESSI | Vice-Président |
| M. | DUTHEIL Alain | SGS-THOMSON | Président-Directeur général de SGS-Thomson France |
| M. | ERNEST J. | ALCATEL | Directeur de la Recherche et de la technologie |
| M. | FENEYROL M. | CNET | Directeur |
| M. | FORSTER Horst | Commission des Communautés Européennes | Head of Division |
| M. | GARGINI Paolo | INTEL CORPORATION | Analyste |
| M. | GREGORY Serge | Comité interministériel EUREKA | Coordinateur national français |
| Dr. | GRIES | Bundesministerium für Forschung und Technology | Ministerialdirektor |
| M. | GUILLAUME Henry | Agence Nationale pour la Valorisation de la Recherche (A.N.V.A.R.) | Président de l'A.N.V.A.R. Secrétaire général du comité interministériel EUREKA |
| M. | HATANO Daryl | Semiconductor Industry Association | Vice-Président |
| M. | HO KYOON CHUNG | SAMSUNG ELECTRONICS LTD | Directeur |
| Dr | HOF W.R.J.L. van't | Ministerie van Economische Zaken | Eenheid Elektronica Industrie |
| M. | HONJO Takashi | MITI-AIT | Director International R & D Cooperation Division |
| M. | HOSTE Daniel | MOTOROLA Semiconducteurs, S.A. | Directeur Ventes Marketing France et Bénélux |
| M. | IKE Makoto | KEIDANREN | Science and Technology Department |

| | | | |
|----|-----------------------|---|--|
| M. | JAVELOT Michel | Direction générale pour l'Armement | Directeur de l'Electronique et de l'Informatique |
| M. | JUNE MIN P. | Daewoo Corporation, Daewoo Semiconductor | Vice Chairman & CEO |
| Dr | KAMERBEEK E.J.R. | A.S.M. International | Director of European Programs |
| M. | KARNAUCH Ph. | THOMSON C.S.F. Semi-conducteurs Spécifiques | Directeur Marketing |
| M. | KIM HAN SIK | KETI | Director of R & D |
| M. | KITAGAWA T. | OITDA (Optoelectronic Industry and Development Association) | Executive Director |
| M. | KNORR | SIEMENS-KANZERNES | Directeur général |
| M. | KUDO Syobu | Agence pour la Science et la Technologie | Directeur Général |
| M. | LACOUR | | Consultant |
| M. | LE CORVEC Alain | Philips Composants | Président-Directeur Général de Philips Composants Président du SYTELESC |
| M. | LEEuw Willem H. de | A.S.M. International | Strategy Development |
| M. | LEVAUX | F.N.R.S.-N.F.W.O. | Secrétaire général |
| M. | LEVEILLE-NIZEROLLE D. | Philips Composants | Directeur Développement et Organisation |
| M. | LEVY Jean-Bernard | Ministère de l'Industrie | Directeur du Cabinet du ministre de l'Industrie |
| M. | LIEBAUT Jean-Pierre | ALCATEL MIETEC | Directeur général Administrateur délégué |
| M. | LOMBARD Didier | Ministère de l'Industrie | Directeur général des stratégies industrielles |
| M. | MAZANCOURT Th. de | | Conseiller technique au Cabinet du, Premier Ministre |

| | | | |
|----|------------------------|---|--|
| M. | NAKAMURA Michiharu | HITACHI Ltd Central Research Laboratory | General Manager |
| M. | NOBLANC J.-P. | C.E.A. Industries | Président du conseil de surveillance de SGS-Thomson |
| M. | OJIMA Iwao | EIAJ (Electronic Industries Association of Japan) | Président |
| M. | OKABE Taro | SIRIJ | Executive II Director |
| Dr | OLLIG | Bundesministerium für Wirtschaft | Ministerialdirektor |
| M. | PARKS H.S. | HUYNDAI Electronics Industries | Deputy general of R & D |
| M. | PISTORIO Pasquale | SGS-THOMSON | Directeur général |
| M. | POMMEREAU | G.I.E.-P.S.A. Peugeot- Citroën M.S.C.T.E.A. | Conseiller |
| M. | PONE Jean-François | Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche | Chargé de mission |
| M. | PRADO del Arthur H. | A.M.S. International | Président et C.E.O. |
| M. | PROSNIER Claude | | Consul honoraire |
| M. | PRUNIAUX Bernard | EUROPEAN SILICON STRUCTURES | Président-Directeur général |
| M. | VAN OVERSTRAETEN R. | I.M.E.C. | Président |
| M. | REGNER Jean-Pierre | Philips Composants | Directeur du Centre de Caen |
| M. | RIGO Serge | Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche | Directeur du département science et technologie de l'information |
| M. | ROBERT Michel | Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche | Chargé de mission |
| M. | ROGER Michel P. | THOMSON-C.S.F. Semiconducteurs Spécifiques | Président-Directeur général |
| M. | SAKURAI Tadahiro | EIAJ (Electronic Industries Association of Japan) | Directeur |

| | | | |
|----|--------------------------|--|--|
| M. | ROGER Michel P. | THOMSON-C.S.F. Semiconducteurs Spécifiques | Président-Directeur général |
| M. | SAKURAI Tadahiro | EIAJ (Electronic Industries Association of Japan) | Directeur |
| Dr | SCHEIJEN J.J. van | Ministerie van Economische Zaken | Directeur, Directie Elektronica, Diensten en Informatietechnologie |
| M. | SERRES Henry | Ministère de l'Industrie | Directeur du service des industries de communication et de services |
| M. | TORDJMAN Jean- Daniel | Ministère de l'Economie et des Finances | Ambassadeur Délégué aux investissements internationaux |
| M. | TOSTMAN Wolf F. | Ministry of Economic Affairs | Electronics Industry Division |
| M. | VASUTH Jean-Claude | SGS-THOMSON | Directeur général adjoint |
| M. | VAYLET Jean | THOMSON-CSF Semiconducteurs Spécifiques | Vice-Président |
| M. | WI SIK MIN | HUYNDAI Electronics Industries Co Ltd | Vice-Président |
| M. | YOTSUMOTO Toshiaki | Japan Key Technology Center | Senior executive Director |