
Enregistré à la Présidence de l'Assemblée nationale
le 4 avril 2003

Annexe au procès-verbal de la séance du 8 avril 2003

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

RAPPORT

sur

*l'évolution du secteur des semi-conducteurs et
ses liens avec les micro et nanotechnologies*

par M. Claude SAUNIER, sénateur

Tome II : Actes du colloque organisé le 23 janvier 2003 :

*Microélectronique et nanotechnologies :
une chance à saisir*

Déposé sur le Bureau de l'Assemblée nationale
par M. Claude BIRRAUX
Président de l'Office

Déposé sur le Bureau du Sénat
par M. Henri REVOL
Premier Vice-Président de l'Office

Créé par la loi du 8 juillet 1983, l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, composé de députés et de sénateurs, a pour mission d'informer le Parlement sur les conséquences de ses choix à caractère scientifique ou technologique.

Les saisines, transmises par un des organes des deux assemblées, sont confiées à un rapporteur choisi parmi les membres de l'Office.

Celui-ci, après avoir procédé à des auditions et à des missions sur place et à la consultation d'experts, rend un rapport qui est soumis à l'approbation de l'ensemble des membres de l'Office, qui décident de sa publication.

Organisme exclusivement parlementaire, l'Office est totalement indépendant du Gouvernement et des administrations.



L'Assemblée nationale sur Internet :
<http://www.assemblee-nationale.fr>

Kiosque de l'Assemblée nationale
4, rue Aristide Briand - 75007 Paris
Tél : 01.40.63.61.21



Le Sénat sur Internet :
<http://www.senat.fr>

L'Espace Librairie du Sénat
20, rue de Vaugirard - 75006 Paris
Tél : 01.42.34.21.21

SOMMAIRE

Pages

RÉSUMÉ DU RAPPORT ET DES PROPOSITIONS	4
PROPOSITIONS POUR SOUTENIR LES FILIÈRES DE HAUTE TECHNOLOGIE	17
ACTES DU COLLOQUE "<i>MICROÉLECTRONIQUE ET NANOTECHNOLOGIES : UNE CHANCE À SAISIR</i>"	
I. PROGRAMME DE LA MATINÉE	
A. PROGRAMME	22
B. EXPOSÉS-DÉBATS	24
II. PROGRAMME DE L'APRÈS-MIDI	
A. PROGRAMME	90
B. EXPOSÉS-DÉBATS	92

RÉSUMÉ DU RAPPORT ET DES PROPOSITIONS

« L'ÉVOLUTION DU SECTEUR DES SEMI-CONDUCTEURS ET SES LIENS AVEC LES MICRO ET NANOTECHNOLOGIES »

La microélectronique : une révolution tranquille mais décisive

Depuis 1960, la taille des composants a été réduite d'un facteur dix mille¹ et leur prix s'est effondré (le prix d'un gigabits de mémoire était de 75 000 € en 1970, il est aujourd'hui de 5 centimes d'euro)².

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

*

* *

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

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

UN DOUBLE DÉFI TECHNOLOGIQUE ET ÉCONOMIQUE

LES PERSPECTIVES SCIENTIFIQUES DES QUINZE PROCHAINES ANNÉES : VERTIGE ET RÉALITÉ

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

➤ Cette miniaturisation est-elle toujours aussi utile ?

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

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

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

➤ La miniaturisation est-elle possible ?

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

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

Les difficultés identifiées sont aujourd'hui insurmontables :

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

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

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

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

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

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

Microsystèmes et nanotechnologies : une nouvelle révolution numérique

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

➤ Les microsystèmes

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

➤ Les nanotechnologies

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

Mais les futurs nanosystèmes seront très différents des microsystèmes :

- l'**horizon de temps** n'est pas le même : les microsystèmes sont actuellement disponibles, les nanosystèmes ne seront pas sur le marché avant dix à quinze ans,
- le **changement d'échelle**, de l'ordre d'un facteur 100, offre des possibilités d'applications économiques et sociales beaucoup plus importantes,

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

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

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

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

Mais des applications plus spécifiques sont envisageables :

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

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

LES INTERROGATIONS ÉCONOMIQUES

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

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

➤ Les coûts de recherche-développement

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

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

➤ Les coûts de production

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

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

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

Le goulet d'étranglement de la formation

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

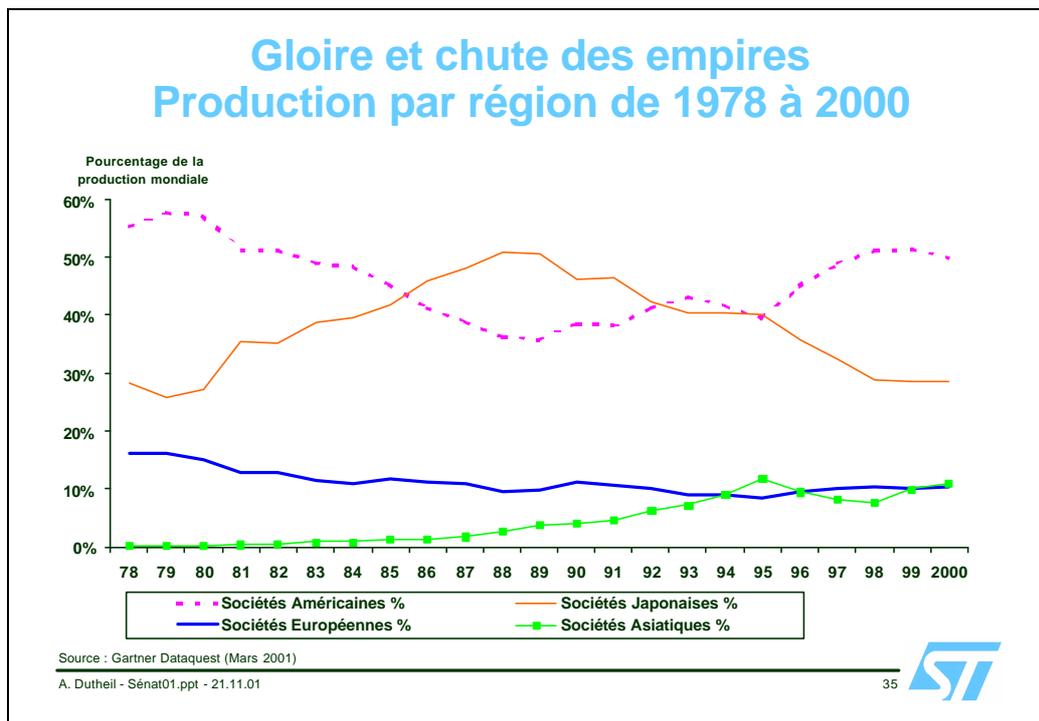
Une industrie aux hiérarchies volatiles et en phase de concentration

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

➤ La volatilité des hiérarchies

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

- Par grandes régions géographiques

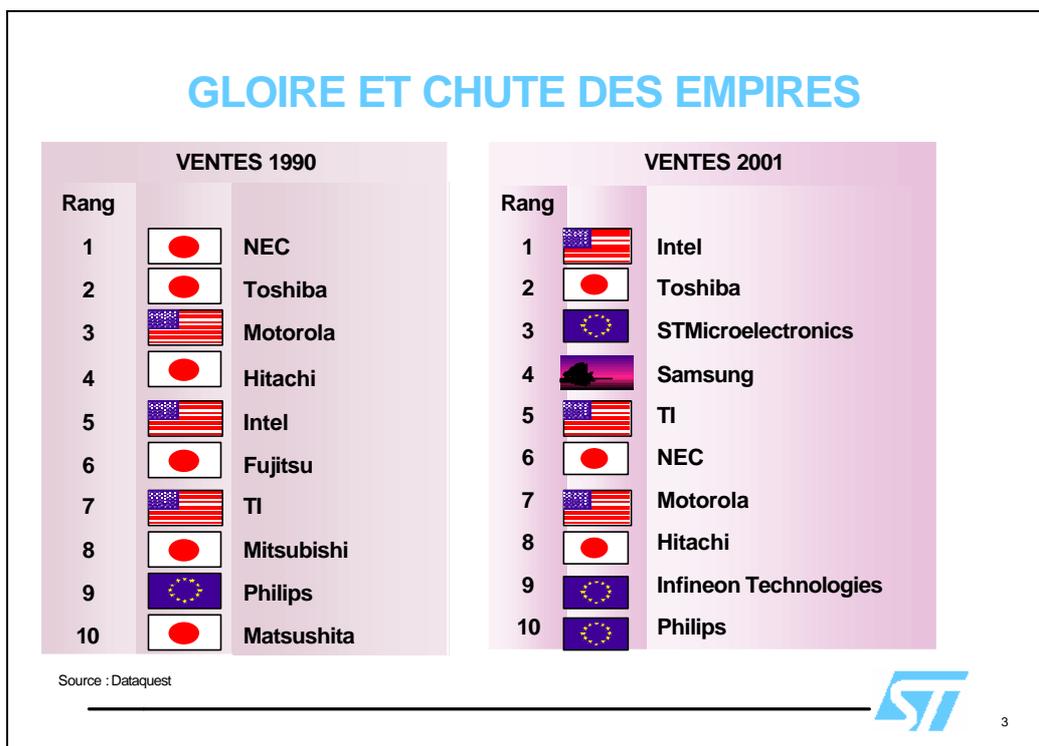


Ainsi, les États-Unis, qui assuraient 55 % de la production mondiale en 1978, n'en fournissaient plus que 37 % dix ans plus tard, pour recouvrer aujourd'hui une grande partie de leur position perdue.

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

- Par entreprises

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



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

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

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

➤ *La poussée à la concentration*

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

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

LE RETARD FRANÇAIS ET EUROPÉEN DANS LA COMPÉTITION MONDIALE

LE VOLONTARISME D'ÉTAT DES CONCURRENTS

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

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

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

Les Etats-Unis

➤ Les politiques fédérales

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

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

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

- l'« **initiative nanotechnologique** », dont le budget total est de **700 millions de \$** pour 2003,
- et le SBIR (soutien à la recherche dans les PME), qui mobilise **300 millions de \$** pour les applications microélectroniques.

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

➤ *Les États*

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

- la Californie a créé un centre dédié aux nanotechnologies, doté de 300 millions de \$ sur quatre ans et ayant vocation à lever des fonds privés de l'ordre de 600 millions de dollars sur cette période ;
- **l'État de New York a constitué à Albany un centre de recherche et de formation en nanotechnologies dont le budget d'équipement est estimé à 1,5 milliard de \$ (dont la moitié de fonds publics).**

Le Japon

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

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

- création d'un « **Conseil pour la politique scientifique et technologique** » auprès du **Premier ministre qui fixe les priorités dans le terme et arbitre entre les différents ministères,**
- **allocation de fonds très importants : 240 milliards d'euros sur cinq ans** (dont 1,3 milliard d'euros par an pour la microélectronique et les nanotechnologies),
- renforcement des agences de moyens (comme le NEDO, installé auprès du ministère de l'économie), dans **le but de compenser une des faiblesses du Japon, la relative coupure entre l'université et l'industrie.**

Tai wan

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

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

La politique allemande

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

- une **allocation de moyens** à la microélectronique et aux nanotechnologies **relativement importante à l'échelle européenne** (153 millions d'euros en 2001),
- et une attention particulière portée aux applications industrielles, dont **le support est le réseau des sociétés Fraunhofer (900 millions d'euros, 11 000 personnes, dont 6 instituts consacrés à la microélectronique)**.

Les politiques européennes

➤ *L'initiative Eurêka*

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

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

➤ *L'Union européenne*

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

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

programmes intégrés destinés à unir l'industrie et les laboratoires de recherche sur des objectifs prioritaires.

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

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

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

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

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

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

Les traités européens ne sont pas des pactes suicidaires.

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

Le dispositif français

Le dispositif français repose principalement :

- D'abord **sur un réseau de grandes centrales technologiques** installées sur 5 sites :
 - CEA-LETI à Grenoble (centrale également liée au pôle Minatec en voie de constitution),
 - Laboratoire d'Analyses et d'Architectures des Systèmes à Toulouse,
 - Laboratoire de Photonique et de Nanostructures à Marcoussis,
 - Institut d'Électronique Fondamentale à Orsay,
 - Institut d'Électronique et de Microélectronique du Nord à Lille.

La constitution de ce réseau doit faire l'objet d'une dotation totale de 100 millions d'euros de 2003 à 2005. Ces centrales ont pour but de donner un nouvel élan au développement

technologique de la filière en activant les interfaces avec la recherche fondamentale en amont et la recherche appliquée en aval.

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

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

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

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

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

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

*

* *

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

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

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

PROPOSITIONS POUR SOUTENIR LES FILIÈRES DE HAUTE TECHNOLOGIE

Ces propositions sont détaillées dans le chapitre IV du tome I du rapport (p. 122 à 149).

Proposition 1 : Fixer des objectifs

Le soutien de l'État doit passer par une lisibilité de son action dans la durée.

A cette fin, une **loi de programme dédiée aux filières de haute technologie doit clairement définir les priorités de notre politique de recherche et de développement technologique.**

Proposition 2 : Coordonner les acteurs

2-1 L'action des acteurs publics

Afin de contrecarrer les inconvénients d'une organisation trop marquée **par la verticalité des ministères et des organismes**, il est nécessaire d'**instituer auprès du Premier ministre un Conseil pour la politique scientifique et technologique veillant à la réalisation concrète des objectifs de la loi de programme (cf. *supra*) et de rendre, le cas échéant, les arbitrages nécessaires.**

Par ailleurs, il convient d'introduire une culture de gestion par programme **déclinant les grands objectifs en affectant à chaque programme des chefs de file.**

2-2 Les acteurs privés

Il serait utile de créer une **conférence biannuelle de concertation** offrant un cadre stable aux rapports entre les industriels des filières de haute technologie et les ministères et les centres de recherche concernés.

Proposition 3 : Mettre à niveau les soutiens financiers

3-1 L'échelon européen

Compte tenu **du caractère stratégique du soutien aux filières de haute technologie**, dont la nécessité a été, par ailleurs, maintes fois proclamée par la Commission européenne, **il est proposé d'exclure du calcul des déficits budgétaires les aides publiques à la recherche et au développement technologique, pour l'application du pacte de stabilité.**

3-2 Le cadre français

Afin de souligner la nécessité de **porter à 3 % en 2010 la part du PIB affectée à la recherche développement, il serait souhaitable que les pouvoirs publics présentent une loi de programmation de la dépense de recherche à cet horizon.**

Proposition 4 : Adresser les soutiens à l'ensemble des filières de haute technologie

La solidarité de tous les segments des filières de haute technologie (recherche de base), développement technologique (recherche appliquée) ainsi que les resserrements des délais entre les avancées scientifiques et leur application, **exige que l'ensemble de la chaîne soit soutenue.** Et à cet égard il convient en particulier :

- de **ne pas négliger la recherche académique, dont les coûts d'équipement et de fonctionnement sont en forte augmentation dans les secteurs de pointe,**
- de **réfléchir à la mise en place de centres de recherche technologiques spécifiquement consacrés, dans les domaines des filières de haute technologie, aux liens avec le tissu industriel** (à l'instar de certains centres de recherche américains et du réseau Fraunhofer en Allemagne).

Proposition 5 : Adapter la réglementation européenne de la concurrence aux pratiques de nos concurrents et aux réalités du marché mondial

La réglementation et les pratiques européennes doivent être adaptées :

- en **matière d'éligibilité des aides, directes et indirectes, à la recherche et au développement technologique,**
- dans **le domaine des pratiques concurrentielles intraeuropéennes.**

Proposition 6 : Promouvoir la pluridisciplinarité

La microélectronique, les nanosciences et nanotechnologies émergentes commandent de plus en plus d'interdisciplinarité.

Afin de lutter contre un cloisonnement excessif des disciplines, il est souhaitable de réformer le fonctionnement des comités d'évaluation afin de mieux prendre en compte les activités interdisciplinaires des chercheurs.

Proposition 7: Créer un cadre fiscal approprié à la spécificité des entreprises de haute technologie

7-1 Mettre en place un crédit d'impôt-recherche significatif

Au regard de ce qui se pratique chez beaucoup de nos concurrents, **le crédit d'impôt-recherche français est insuffisant :**

- **son assiette est limitée** puisqu'elle ne porte que sur 50 % de la dépense *supplémentaire* effectuée sur la moyenne des deux exercices précédents,

- **et surtout, il est plafonné à 6,1 millions d'euros**, ce qui ne répond pas aux besoins des très grandes entreprises qui investissent dans la recherche des sommes supérieures à un milliard d'euros par an.

Il est nécessaire de le faire évoluer rapidement sur ces deux points, **sauf à assister à d'importantes délocalisations de laboratoires de recherche privés.**

7-2 Adapter la législation sur la taxe professionnelle aux très grands établissements de production de haute technologie

La taxe professionnelle est la seule taxe au monde assise sur l'appareil productif, indépendamment des résultats des entreprises, ce qui est très pénalisant.

Certes, il existe un dégrèvement pour les grands établissements, mais celui-ci est plafonné, depuis 1995, à 76,2 millions d'euros. **Si ce plafonnement était maintenu, on peut craindre avant 2010 la disparition des lignes de production de composants électroniques en France.**

Il convient donc de lever progressivement ce plafond.

Proposition 8 : Gérer la connaissance

Dans les économies modernes, la production et l'exploitation des connaissances scientifiques sont un facteur tout aussi décisif que le capital. Seuls les États qui parviendront à gérer la connaissance joueront un rôle directeur dans l'économie mondiale.

La France dispose d'atouts incontestables dans ce domaine. Elle doit les conserver.

8-1 La formation initiale

8-1-1 Remédier à la crise des vocations scientifiques

Les pouvoirs publics doivent entamer une réflexion de fond sur cette question, fût-ce au prix de l'adoption de mesures provisoirement discriminatoires, comme le montant ou le nombre de bourses ou les critères d'admission des étudiants étrangers.

8-1-2 Anticiper les évolutions

- L'apparition des microsystèmes et des nanotechnologies commande une **plus grande interdisciplinarité des formations.**

Il est nécessaire de faire évoluer notre système de formation des chercheurs et des ingénieurs, trop marqué par un degré croissant de spécialisation, en fonction de cette exigence nouvelle.

- Il est indispensable de relancer la formation en microélectronique et en microsystèmes du plan présenté (à bac + 5) en fonction du plan présenté par les centres nationaux de formation à la microélectronique, **ceci pour un coût relativement modeste (5 millions d'euros par an) par rapport aux enjeux.**

8-2 La formation continue

8-2-1 Refondre la loi de 1971

La France a été un pays pionnier en la matière grâce à la loi de 1971.

Ce texte a vieilli. Il convient donc de le réactualiser, notamment en fonction des besoins des filières de haute technologie qui engagent des sommes beaucoup plus élevées (de l'ordre de 6 à 7 % de leur chiffre d'affaires) que le minimum légal de 2 %.

8-2-2 Étendre le crédit d'impôt-formation

Le crédit d'impôt formation est actuellement réservé aux PME (moins de 7,6 millions d'euros de chiffre d'affaires). Il est nécessaire de l'étendre aux grandes entreprises.

Proposition 9 : Reconsidérer les possibilités offertes par les fondations

Par rapport à la plupart de nos concurrents, la France comporte trop peu de fondations.

Or, ces structures privées dont l'objet social est public présentent un triple intérêt :

- à partir d'une masse financière initiale importante, elles permettent d'agréger d'autres financements provenant de donateurs moins fortunés,

- leur gestion est plus souple,

- et, surtout, elles permettent de jouer un rôle complémentaire à celui des acteurs publics dans des domaines que l'action de ceux-ci ne couvre qu'imparfaitement.

On peut, dès lors, envisager la mise à l'étude de fondations spécifiquement affectées au soutien à la recherche et au développement technologique dans le cadre d'une révision de l'impôt sur la fortune ou des droits de succession.

Sans formuler de réponse à cette question, on doit étudier, sans parti pris, les avantages et les inconvénients qu'il y aurait à donner une nouvelle impulsion aux fondations dans notre pays.

ACTES DU COLLOQUE

MICROÉLECTRONIQUE ET NANOTECHNOLOGIES : UNE CHANCE À SAISIR

I. PROGRAMME DE LA MATINÉE

A. PROGRAMME

♦ Ouverture du colloque par **M. Claude SAUNIER**, sénateur, rapporteur de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques

♦ Introduction de **Mme Claudie HAIGNERÉ**, ministre déléguée à la recherche et aux nouvelles technologies.

LA RÉVOLUTION DE L'INFINIMENT PETIT

1. Les perspectives scientifiques : vertige et réalité

Francis **JUTAND**, Directeur du département des sciences et technologies de l'information et de la communication, **CNRS**

TABLE RONDE :

Modérateur : Augustin **MARTINEZ**, Directeur-adjoint, LAAS Toulouse

Intervenants : Jean-Claude **LAPRIE**, Directeur, **LAAS** Toulouse,
Christian **JOACHIM**, Directeur du groupe nanosciences et technologies, **CEMES** Toulouse,
Philippe **MAGARSHACK**, Directeur CAO, **STMicronics**,
Jean-Yves **MARZIN**, Directeur, **Laboratoire photonique et nanostructures**, **CNRS**

2. De la découverte à l'application : la révolution du quotidien

Denis **GRIOT**, Vice-président, **MOTOROLA**

TABLE RONDE :

Modérateur : Daniel **BOIS**, Directeur scientifique, Centre de microélectronique de Provence, École des Mines de Saint-Étienne

Intervenants : Guy **CARRÈRE**, Directeur R&D, **France Telecom**,

Guy **LABRUNIE**, Directeur général, **CEA Valorisation**

Dominique **BOULLIER**, Professeur en sciences de l'information et de la communication, **UTC Compiègne**,

François **de CHARENTENAY**, ancien Directeur de recherche, **PSA**

Francis **LEPAGE**, Directeur du centre de recherche en automatique, **université de Nancy**

B. EXPOSÉS-DÉBATS

La séance est ouverte à 9 h 30 par **M. Claude Saunier**, Sénateur des Côtes d'Armor.

M. Claude Saunier, sénateur - Mesdames, Messieurs, Madame la Ministre - je ne sais pas si vous souhaitez que ce soit Madame le ou la Ministre - de la recherche et des nouvelles technologies, je voulais tout d'abord vous remercier personnellement et très sincèrement pour votre présence. Je sais quelles sont vos obligations, mais votre présence, ici, est le signe à la fois de votre capacité d'écoute, que j'ai eu l'occasion d'apprécier à plusieurs reprises, et de votre volonté de marquer votre intérêt, pour le secteur de la microélectronique qui est notre passion commune, à vous Mesdames et Messieurs, un peu plus que moi qui arrive ici, totalement en amateur.

Je voulais remercier les présents à ce colloque. Ils viennent des quatre coins de France, des universités, des laboratoires, des entreprises. Ils ont pris sur leur temps professionnel le soin de distraire une journée pour échanger, et je crois que l'on peut considérer que cette journée va être l'occasion, pour les uns et pour les autres, de faire le point sur l'état de la science et d'ouvrir quelques perspectives également sur un secteur qui n'en manque pas.

Je voudrais remercier ceux et celles qui sont à l'origine de ce rapport et en particulier une organisation professionnelle, le SITELESC, Syndicat Interprofessionnel qui réunit l'ensemble des professionnels du secteur de la microélectronique et en particulier Monsieur FAURE, Président du SITELESC, qui est juste en face de nous et qui a interpellé l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques, il y a maintenant un peu plus d'un an, pour souhaiter que cet office s'empare du sujet et donne l'occasion, aux uns et aux autres, de faire le point sur la situation.

Je voudrais aussi remercier l'ensemble des membres du Comité de pilotage scientifique - je ne suis pas du tout scientifique, j'étais professeur d'histoire-géographie et j'ai découvert ce monde de la microélectronique - car ils m'ont appris beaucoup. Ce sont eux qui m'ont permis, je l'espère, de ne pas faire trop d'erreurs dans l'approche de ce secteur.

Je voudrais remercier aussi les 110 personnes qui ont accepté de prendre une heure, deux heures, une demi-journée, parfois plus, et qui au cours d'un an et demi environ d'enquêtes, de rencontres, nous ont accueillis, nous ont donné toutes les explications qui nous ont permis de mieux connaître ce secteur.

Le sujet du colloque, vous le savez, c'est : « *Microélectronique et nanotechnologies* : « *une chance à saisir* ».

Vous le voyez, Madame, notre état d'esprit aux uns et aux autres, ce n'est pas le défaitisme, ce n'est pas l'abandon, ce n'est pas l'alarme, c'est simplement la conscience qu'il existe une grande opportunité pour notre pays, pour l'Europe, que nous devons servir.

L'objectif de ce colloque, est, à la fois, non pas de reprendre le contenu du rapport, vous en savez, les uns et les autres, infiniment plus que moi sur la question, mais c'est l'occasion de donner un coup de projecteur devant l'opinion publique.

Dans mon propos liminaire, je me contenterai d'aborder trois points mais pour aller vers l'essentiel : quelles sont les idées que nous avons pu dégager au travers de ces auditions qui charpentent le rapport ?

D'abord je voudrais exprimer une idée générale, qui est une découverte pour quelqu'un qui n'est pas un spécialiste, mais qui me semble refléter l'état de l'opinion publique par rapport à la microélectronique et aux nanotechnologies.

Ce secteur est un secteur - et c'est tout son paradoxe - qui est déterminant, qui joue un rôle majeur dans notre économie, qui a été depuis trente ans le moteur ou l'un des moteurs du développement et de la croissance et qui n'est pas perçu à sa juste mesure, et dont l'opinion publique ne mesure pas clairement les enjeux.

La deuxième idée, c'est que si nous voyons bien - en faisant un petit effort de mémoire - ce que la microélectronique nous a apporté au cours des quelques décennies précédentes, dans notre vie quotidienne et surtout dans notre vie professionnelle, ce qui nous attend est infiniment plus fort, infiniment plus important que ce que nous avons connu et donc les perspectives offertes par ce secteur constituent une perspective véritablement révolutionnaire dans l'organisation de notre société et l'organisation des modes de production dans notre vie quotidienne.

C'est donc là un secteur qui est au coeur de la recherche et du développement économique et sociétal.

Trois constats dans le rapport :

1 - prendre la mesure de la révolution des puces, mais je crois l'avoir évoquée, de leur place dans l'économie, de leur effet levier fabuleux.

On a eu du mal à retrouver les chiffres, à les compiler, et les mettre en perspective, mais en fusionnant les sources, au niveau mondial, on peut considérer que ce secteur de la microélectronique avec tous les secteurs périphériques consolidés, regroupent sur un PIB mondial de l'ordre de 30.000 milliards de dollars, des activités qui pèsent environ 5.000 milliards de dollars.

Cela donne une idée de l'importance économique du secteur.

Je voudrais vous dire aussi que notre sentiment, sentiment qui n'est que le résultat d'une expression collective, c'est que cette industrie, qui est une industrie géante, est une industrie géante aux pieds d'argile.

Elle est fragile parce qu'elle est soumise à une concurrence mondiale qui est extrêmement brutale.

2 - la révolution économique que nous avons connue, repose sur une révolution scientifique et technologique majeure qui résulte elle-même de la conquête de l'infiniment petit.

Là nous retrouvons la fameuse loi de Moore, qui n'en est pas une, mais une sorte de prophétie qui continue à se réaliser, à notre surprise, parfois à notre émerveillement, et peut-être aussi parfois à notre effroi.

Aujourd'hui, il y a accord pour dire que la filière silicium, sur laquelle est fondé l'essentiel de notre technologie actuelle, va continuer à se développer et à respecter la loi de Moore en gros pendant dix à quinze ans.

Au-delà, on sait aussi qu'il existe d'autres réponses et d'autres perspectives.

3 - cette industrie se situe dans un environnement totalement mondialisé, à la fois au niveau de la recherche et au niveau de la production.

L'une des observations faites au cours de cette enquête, c'est que la France et l'Europe ne sont pas dans une situation marginale par rapport au paysage mondial mais qu'elles ont en face d'elles des Etats qui ont considéré qu'il y avait là un enjeu véritablement stratégique pour leur avenir et qui mobilisent des moyens qui n'ont rien à voir avec ce que nous mobilisons ici en France et aussi au niveau européen pour soutenir ce secteur stratégique.

C'est l'objet des quelques préconisations que j'ai formulées et que je vous ai adressées, Madame la Ministre, parce que je tenais à ce que vous en soyez informée.

Elles n'ont pas pour prétention d'apporter des réponses à tout, simplement elles alertent sur deux ou trois points :

- comment améliorer l'efficacité globale du dispositif de la filière ?

- comment donner à la filière française le poids nécessaire pour prendre sa place dans l'environnement mondial ? Il n'y a que l'échelon européen, bien à l'évidence, qui le lui permettra.

- comment s'emparer aussi de ce qui est le moteur de cette filière, c'est-à-dire la connaissance et la promotion de l'intelligence ?

- dernier élément, qui n'est pas secondaire : comment prendre quelques dispositions d'ordre fiscal qui permettent à nos industriels d'avoir des armes à peu près égales par rapport à la concurrence internationale ?

Voilà, Madame, les quelques pistes du rapport et les quelques préconisations qui ont été approuvées par l'Office parlementaire, il y a deux jours.

Encore une fois, mes remerciements les plus sincères pour votre présence.

Je vous passe la parole pour ouvrir notre colloque.

Mme Claudie Haigneré - Merci beaucoup, Monsieur le Sénateur Saunier.

Mesdames et Messieurs les Sénateurs, Mesdames et Messieurs, il est vrai que ces propos introductifs montrent que l'initiative qui nous réunit aujourd'hui est de celles qui traduisent une vision, une vision importante pour un avenir proche et puis surtout un avenir un peu lointain qu'il faut que nous construisions ensemble.

Le simple titre de ce colloque, comme vous l'avez signalé, sonne réellement comme un défi : «*Microélectronique, et nanotechnologies : une chance à saisir* ».

Nous en sommes tous conscients et ma présence ici montre à quel point je vous accompagne sur cette réflexion.

Je suis donc tout à fait heureuse de pouvoir adresser mes remerciements au Sénateur Saunier, rapporteur de l'Office, qui a conçu et organisé cet événement, qui a beaucoup travaillé pour nous donner des éléments de réflexion et de progression.

C'est tout à fait notre conviction. Nous avons eu l'occasion d'en parler précédemment : microélectronique et nanotechnologies sont réellement cette chance à saisir.

Je crois que tous ensemble nous pouvons essayer de saisir cette chance et de nous orienter.

Il est vrai que depuis cinquante ans, les microtechnologies ont joué un rôle tout à fait capital dans le développement des technologies de l'information et de la communication, et une nouvelle ère s'ouvre aujourd'hui avec le franchissement des 100 nanomètres, qui symbolisent cette entrée de l'industrie du semi-conducteur dans le domaine des nanotechnologies.

A n'en pas douter, bien sûr, ce sera une source d'application nouvelle dans les secteurs de la santé - et je pense que c'est un thème sur lequel vous allez travailler beaucoup - dans le secteur du spatial, des matériaux, mais aussi - car ce sont des problématiques qui nous sont proches actuellement - dans le secteur de l'énergie, des transports et bien entendu de l'environnement.

C'est véritablement une révolution avec l'introduction de ces nano-objets dont on prend conscience mais dont on n'a peut-être pas encore effectivement imaginé tous les impacts.

Vous avez parlé de révolution, c'est un véritable saut technologique bien sûr, un saut quantique pourrait-on dire, avec ses propriétés quantiques de la matière, connues depuis maintenant de nombreuses années, depuis le début du siècle dernier mais qui deviennent maintenant des objets de recherche appliquée, et des objets de technologies naissantes.

Vous l'avez rappelé : les grands pays, comme les Etats-Unis, le Japon, ont pris pleinement conscience de cet enjeu, avec en particulier aux Etats-Unis, depuis 1999, le financement à un très haut niveau dans le cadre de « la national nanotechnology initiative »,

avec 700 millions de dollars pour l'année 2003, donc une prise de conscience et la mise en place de moyens tout à fait considérables.

C'est vrai, vous l'avez rappelé, c'est un enjeu bien sûr européen et l'Europe affiche tout à fait sa volonté de placer les nanotechnologies comme une priorité dans le cadre du 6^e PCRD en particulier, avec, vous le savez :

- un budget de 1,3 milliard d'euros sur le thème des nanotechnologies et des moyens de production nouveaux concernant les matériaux perfectionnés,

- et puis le financement aussi, sous le thème des technologies pour la société de l'information, le domaine de la micro et de la nanoélectronique, avec un budget, dans ce cadre européen, de 3,6 milliards d'euros.

Ce sont donc des moyens européens qui se mobilisent.

La France, quant à elle, était déjà très présente dans le domaine de la microélectronique et j'ai eu l'occasion de saluer, en arrivant, trop brièvement, quelques-uns des représentants qui ont déjà montré à quel point la France est présente, et brillamment : la recherche bien sûr, à travers le CEA-LETI, mais aussi l'industrie, via STMicroelectronics.

J'avais eu, à cette occasion, au tout début de mon arrivée dans mes fonctions, de pouvoir passer à Grenoble et d'avoir cette présentation tout à fait magistrale de notre positionnement dans ce domaine.

J'en avais été très impressionnée.

Je citerai bien sûr les industriels de la carte à puce et puis des PMI de haute technologie dans ce secteur, encore à Grenoble, et je pense à SOITEC par exemple.

La France se doit de renforcer ce pôle d'excellence en s'appuyant sur ces points forts bien sûr, pour mettre en place un plan, encore plus ambitieux, qui lui permet justement d'occuper en Europe toute la place qui est la sienne, et au-delà de l'Europe, d'occuper cette place dans le monde.

Au ministère délégué à la recherche, nous avons essayé, avec déjà beaucoup d'actions mises en place en 2003, de structurer, de lancer un nouveau programme national, « Nanosciences », avec un financement beaucoup plus significatif par rapport à ce que nous avons fait précédemment, de l'ordre de 12 millions d'euros, en associant les différents partenaires qui étaient déjà présents sur ces activités et en y associant de nouveaux partenaires : l'INSERM et la Délégation Générale à l'Armement.

Les thèmes retenus dans l'appel à projet de recherche amont concernent les objets individuels et composants élémentaires, l'information quantique, l'organisation et l'assemblage des nano-objets, ainsi que les architectures de circuits, les nanomatériaux, et les nanobiosciences.

Outre l'aide apportée par ces fonds aux actions structurantes dans le domaine des nanosciences et à la formation, point important sur lequel nous insistons beaucoup, une part de ce financement servira à la constitution de ces réseaux d'excellence et la préparation des projets intégrés pour pouvoir les porter avec toute leur ampleur au niveau européen.

Dans le cadre du partenariat entre recherche publique et industrie, dès 1999, le ministère en charge de la recherche et le ministère délégué à l'industrie ont constitué le réseau : «réseau micro et nanotechnologique», que vous connaissez tous, je pense, et qui soutient ces projets coopératifs entre les industriels et les laboratoires de recherche publique.

Depuis son lancement, 51 projets ont été labellisés avec un soutien total de 42 millions d'euros financés sur quatre ans par le ministère chargé de la recherche, le ministère délégué à l'industrie et l'ANVAR.

La moitié de ces projets, dans le cadre de ce réseau, concernent les nanostructures, les nanomatériaux, et la nanoélectronique.

Pendant l'année 2002, nous avons consacré du temps à l'élaboration d'un livre blanc destiné à préciser la délimitation du domaine industriel, scientifique, technique pour bien définir le positionnement de ce réseau, définir ses objectifs et sa stratégie, pour atteindre les objectifs ambitieux que nous partageons.

Vous l'avez signalé, Monsieur le sénateur, et c'est vrai que l'Office le sait, grâce à ces études approfondies que vous avez menées depuis quelques mois : une mission de scientifiques américains a analysé au début de 2002, en toute transparence, le potentiel des laboratoires européens dans les nanotechnologies, et en a conclu que l'écart entre l'Europe et les Etats-Unis se creusait au profit de ces derniers.

C'est un élément que vous avez tout à fait intégré et présenté dans vos conclusions. Cependant, j'ai quand même lu un article récent, en décembre 2002, dans « Institute of Physics Publishing » qui montre que la France est en première position des dépôts de brevets en nanotechnologies aux Etats-Unis. C'est quand même une bonne nouvelle que nous devons aussi intégrer !

Il est vrai qu'il y a quelques mois, lors de mon arrivée au ministère, j'ai demandé qu'un effort particulier soit porté sur la constitution de plates-formes technologiques au meilleur niveau, pour concevoir les procédés technologiques élémentaires du futur et mettre au point les filières d'assemblage autour d'un réseau de quatre grandes centrales technologiques qui puissent être compétitives au niveau mondial.

J'avais eu l'occasion, en octobre dernier, d'annoncer la mise en place de ce réseau compétitif, lors de l'inauguration du Salon international de l'innovation et de la prospective, et je suis heureuse aujourd'hui de pouvoir revenir plus en détail sur la constitution de ce réseau ambitieux qui vous concerne.

Ce réseau est organisé autour d'un nombre très limité de sites qui bénéficient de fortes capacités de recherches, le CEA, le CNRS, et les universités ; ceci afin de concentrer

les efforts, et de faire bénéficier ces sites d'un équipement adéquat, tout en assurant des moyens convenables en fonctionnement et en personnel.

Les sites de Grenoble, de Lille, de Toulouse, de Paris-sud ont été choisis.

Grenoble, j'ai eu l'occasion d'y passer déjà. Je serai lundi à Lille, au CNRS et à l'IEMN, pour voir un petit peu l'organisation.

L'ensemble de ces quatre sites représentent un effectif proche d'un millier de personnes, des chercheurs, des ingénieurs, des techniciens, des administratifs, qui au-delà des équipements, équipements lourds, nécessaires à assurer la présence de la France sur la scène internationale, possèdent cette compétence, l'expertise sans laquelle bien entendu aucune avancée scientifique et technologique ne serait possible.

L'effort nécessaire que nous porterons vis-à-vis de cette mise en place peut être estimé sur trois ans à 100 millions d'euros.

Je crois que cette durée répond aux souhaits que vous avez formulés dans votre rapport, que les actions menées soient lisibles dans la durée.

Le ministère délégué à la recherche et aux nouvelles technologies a donc programmé pour 2003 le fonds de la recherche technologique, le FRT, géré par la direction de la technologie, avec un financement de 32 millions d'euros, avec cette prévision de 100 millions d'euros sur trois ans.

L'objectif est d'accroître les moyens des laboratoires français, ceux qui sont les mieux armés dans ce domaine, et de les encourager à travailler en réseau pour renforcer le positionnement de la France dans l'espace européen de la recherche.

Ces grandes centrales, c'est notre ambition, sont appelées à devenir un point d'attractivité du territoire national, en matière de micro et nanotechnologies au service de l'avancée des technologies, de l'économie nationale, et bien sûr de la formation.

A côté du réseau de ces quatre grandes centrales technologiques, il y a 8 centrales dites spécifiques qui viennent compléter ce dispositif : Grenoble, Lyon, Marseille, Montpellier, Limoges-Bordeaux, Rennes, Nancy-Strasbourg, et Besançon.

Ces centrales permettront également d'assurer une mission essentielle de formation en nanotechnologies en liaison avec le Centre national de formation en microélectronique.

Si on récapitule un petit peu ces diverses actions que je viens de vous présenter, les budgets consacrés sur 2003, on arrive à 50 millions d'euros pour notre ministère aux diverses étapes de la chaîne des nanotechnologies, sans compter les fonds des autres ministères et les fonds des organismes.

J'ajouterai aussi que le ministère délégué à l'industrie a des fonds spécifiques mis en place sur des programmes plus applicatifs, comme JESSI ou MEDEA par exemple.

Ce sont des éléments de structuration, de renforcement, de financement, qui sont accompagnés par des éléments développés par Mme Nicole FONTAINE et moi-même, dans le cadre d'une politique de l'innovation, avec un cadre fiscal, législatif, et administratif qui puisse permettre que ce désir d'attractivité soit effectivement mis en place par des mesures qui permettront de s'engager avec plus de facilité dans ces activités, par la création de statuts nouveaux, de la jeune entreprise innovante, tout ce dont vous avez entendu parler, de ce plan de l'innovation avec des mesures tout à fait concrètes qui sont en train d'être déclinées sur le plan législatif très rapidement au cours du premier semestre 2003.

Je crois que ce large dispositif doit donner à la France les moyens nécessaires pour faire face aux formidables enjeux dont vous avez rappelé les éléments qui s'offrent à nous, et que nous devons absolument relever dans ce contexte de grande concurrence mondiale.

Un élément concret pour essayer aussi de concentrer un petit peu la source d'informations dont vous pourriez avoir besoin, pour faciliter l'accès à ce dispositif : sur le site du ministère, très prochainement, sera mis en place un portail «nanomicro.net» qui devrait vous permettre d'accéder aux informations.

Voilà, Mesdames et Messieurs, voilà décrit à grands traits, parce que vous avez une longue journée de travail (et j'ai une longue journée de travail également) le dispositif des actions que nous souhaitons mettre en place.

Je crois qu'elle traduit tout à fait cette volonté d'accompagner votre excellence, votre expertise et vos visions d'avenir.

Je ne peux malheureusement pas rester avec vous pour entendre les réflexions que vous allez mener, qui seront très fructueuses mais bien évidemment beaucoup de personnes des services du cabinet sont ici, auprès de vous, pour écouter recommandations et analyses, au-delà du rapport tout à fait exemplaire qui nous a été remis.

Tout cela est d'une acuité tout à fait particulière pour nous tous. Je vais donc vous souhaiter une très fructueuse journée de travail. Je crois que ces interactions sont toujours très riches et je voudrais vous remercier pour cette volonté que vous affichez.

Je voudrais aussi en profiter, puisque nous sommes encore en janvier, pour vous présenter mes voeux, mes voeux personnels et mes voeux de réussite dans vos grands projets. Merci.

(Applaudissements)

M. Claude Saunier, sénateur - Merci, Madame, pour vos propos ; merci, Madame, pour vos annonces, merci, Madame, pour vos voeux. Recevez également les nôtres en cette circonstance.

Je sais qu'à cette heure vous devriez déjà être sur le perron de Matignon. Donc, faites attention, la police est là, elle veille au grain. En tout cas, nous essaierons de suivre votre conseil et de faire de cette journée, une journée fructueuse.

Nos débats ne sont pas l'occasion d'un simple échange. Ils seront enregistrés et constitueront le deuxième volet du rapport que vous recevrez dans quelques semaines.

Mme la Ministre - Merci.

M. Claude Saunier, sénateur - Merci encore.

Avant de passer la parole à Monsieur **Francis JUTAND**, directeur du département des sciences et technologies de l'information et de la communication au CNRS, merci d'avoir pris place à un restaurant qui vous offre un menu si copieux.

Nous avons été très ambitieux, n'est-ce pas, Monsieur Faure, dans cette affaire-là. Cela va nous contraindre à un respect strict des horaires avec trois grandes plages de réflexions et d'échanges.

La première sur la révolution de l'infiniment petit. La deuxième, sur les conditions de la réussite, et la troisième sur le volontarisme collectif.

Ces titres-là indiquent la philosophie qui nous anime. Je voudrais inviter les différents intervenants à faire preuve de la plus grande liberté d'expression, mais je crois qu'elle est la règle, à la fois pour les industriels et pour les universitaires, dont c'est une des prérogatives, pour qu'effectivement, au-delà du rapport qui se contente de poser quelques jalons, il y ait un véritable approfondissement de notre réflexion sur ces questions.

Il ne faut pas que ce colloque soit simplement un colloque un peu formel, mais qu'il nous permette de dire, ce soir, effectivement : « nous avons fait le point sur ce que nous croyons savoir sur la situation, et sur les perspectives, aussi bien dans le domaine technologique que dans le domaine économique ».

Merci, Monsieur Jutand. Je vous laisse la parole pour lancer le débat.

LA RÉVOLUTION DE L'INFINIMENT PETIT

1. Les perspectives scientifiques : vertige et réalité

M. Francis Jutand - Monsieur le Sénateur, Mesdames et Messieurs les Sénateurs, chers Collègues, Mesdames et Messieurs, j'ai accepté, avec grand plaisir, cette invitation

d'ouvrir la partie plus scientifique sur le thème : « les perspectives scientifiques : vertige et réalité. »

Rêve et vertige, c'est comme cela que j'ai compris le titre, et je vais commencer en vous montrant ce qu'était le vertige des années 1980.

Le vertige des années 1980 était une surface de mémorisation à un micron carré, et dix ans plus tard cela a donné ce circuit avec un cheveu qui est positionné pour donner la dimension.

Ensuite, je vais vous parler du vertige du début des années 1990 qui était, avec la microscopie, la possibilité de commencer à toucher la matière, à toucher l'atome, à pouvoir commencer à mesurer des efforts de nature atomique, et à commencer à avoir une vision, une représentation des images de ces atomes, de ces molécules.

C'est important parce que lorsqu'on commence à pouvoir toucher, voir, mesurer, cela veut dire qu'on peut commencer à agir et effectivement à rentrer dans cette ère des nanotechnologies.

Pour aller très vite dans ce balayage, ce qui était aussi ce vertige de ces années 1990, et qui est maintenant une réalité, c'est toute cette chimie particulière du carbone, qui est d'abord extrêmement intéressante pour les chimistes et qui nous donne des matériaux du futur que l'on fait pousser d'un tas de façons, comme cette forêt de ces nanotubes.

On commence à savoir toucher, et agir à des dimensions nanométriques. Que va-t-on en faire ?

J'ai voulu situer d'abord cette descente qu'on est en train de faire vers les nanotechnologies - on en parlera tout à l'heure - avec une iconographie.

On a situé, sur ce transparent, les dimensions du vivant. Il y a toujours, quelque part - ce sera un élément de conclusion - une réflexion sur des organisations, des machines de traitement de l'information extrêmement performantes et vous avez, à gauche, les atomes et les molécules, l'ADN, des protéines et ensuite des organismes vivants comme sont les bactéries, et à droite une grosse cellule qui atteint des dimensions entre 10 et 100 microns pour les plus grosses.

Que va-t-on faire de tout cela ?

Il y a une première tentation, qui va être d'essayer de refaire, avec d'autres principes, des résistances commandables. Vous avez là, par exemple, une voie moléculaire. Comment faire des résistances, des interrupteurs ?

On peut aussi essayer de construire l'équivalent de transistors avec ces nanotubes.

On peut aussi, dans des visions un peu plus futuristes, commencer à voir comment des micromouvements peuvent s'opérer, en étudiant des molécules, des molécules de tissu cellulaire, etc.

On peut aussi essayer de faire des moteurs cellulaires, c'est l'illustration de droite, pour commencer à avoir des micromécanismes agissant à ces échelles moléculaires, à ces échelles nanométriques.

On peut aussi commencer à travailler sur les molécules. On a des illustrations un peu plus longues avec de l'animation qui montrent comment on sait, d'ores et déjà, immobiliser des molécules, y faire entrer un certain nombre de corps étrangers, donc les traiter de différentes façons, pour les canaliser.

On sait commencer à travailler sur ces microsystèmes au niveau des molécules elles-mêmes.

On peut également travailler à l'affichage avec le papier électronique, toujours à partir de ces nanotechnologies en développant tous les éléments très importants pour le développement de l'information, et des échanges d'informations avec les afficheurs, avec la possibilité, s'agissant du papier électronique, d'avoir de la très faible consommation et de la souplesse pour tous les interfaces.

On produit aujourd'hui 100 milliards de transistors dans le monde. Ce chiffre est naturellement approximatif.

On sait, d'ores et déjà, qu'on va faire beaucoup mieux. On a la capacité de multiplier ce nombre par 1.000 dans les 12 à 15 ans qui se présentent.

Ce sont des vertiges qui sont devenus des réalités. Tout cela s'appuie bien sûr sur la recherche scientifique dans ce domaine, mais essentiellement sur tout le développement technologique qui permet de traduire ces rêves en réalité.

Le mouvement de la technologie sera assez constant vers le toujours plus petit. La micromécanique a permis d'aller jusqu'au dixième de millimètre.

La microélectronique s'arrête là où commencent les nanotechnologies, c'est-à-dire au $1/10^{\circ}$ de micron, et la nanoélectronique devrait nous permettre de travailler des objectifs jusqu'au dixième de nanomètre.

Cela devient toujours plus complexe. Le nombre d'étapes dans les procédés technologiques s'accroît et se traduit en plusieurs centaines aujourd'hui - on parle même, à terme, de milliers d'étapes.

Le nombre d'éléments à assembler sur une puce, est évidemment toujours de plus en plus grand, ce qui pose des problèmes de complexité évidents.

Se pose aussi le problème des niveaux d'intégration parce qu'il faut sortir de ces dimensions nanotechnologiques. On assemble, dans un circuit, dans des boîtiers, des micro-boîtiers. On a donc toujours de plus en plus de complexité dans l'ensemble du processus qui va utiliser ces technologies pour faire des systèmes de traitement de l'information.

Il y a aussi la recherche du moins cher, qui est masquée ici : automatiser la production, automatiser le montage, automatiser le test, parce que les équations économiques sont toujours très fortes dans ce domaine.

Où en sommes-nous aujourd'hui ?

Comme Madame la ministre l'a dit, nous sommes entrés industriellement dans le nanomonde si on considère qu'il y a des offres industrielles de circuits dans des dimensions qui sont de l'ordre de 100 nanomètres, et s'ouvrent à nous deux voies de recherches qui sont en forte synergie :

- la première est celle qu'on pourrait appeler la voie de la « road map », en accord avec cette loi de Moore. Jusque-là, tous les acteurs continuent de se mettre d'accord pour la suivre, avec toute la tension, la pression et l'innovation que cela amène parce que les calendriers sont extrêmement tendus.

On parle de ce fameux « mur de briques » comme une illustration claire, du fait que l'on peut dire qu'à un horizon de 6 ou 7 ans les choix de technologie industrielle n'ont pas encore été faits. Il y a beaucoup d'inconnues, il y a beaucoup de recherches qui sont faites et on a une assez grande confiance dans le fait qu'on veut y arriver ou qu'on arrivera à faire de bons compromis.

Ce qui hélas ne se voit pas, ni à votre vue, ni sur mon écran, ce sont effectivement tous les paradigmes alternatifs - on va passer à l'oral - tous les paradigmes alternatifs de traitement de l'information qui sont en voie de maturation très forte et pour lesquels il va nous falloir dérouler un certain nombre d'opérations, mais je vais revenir dessus.

Si on regarde cette voie de la road map, il faut bien voir que l'on s'adosse à plus de 50 ans de progrès continu de technologie avec une filière technologique mère qui est de plus en plus volumineuse en connaissances accumulées, ce qui a permis de faire les premiers transistors intégrés. Puis, la microélectronique a permis ensuite à l'optoélectronique de se développer en s'appuyant sur ces technologies, ces machines, cette compréhension des semi-conducteurs et leur traitement.

Ensuite, on en a tiré des outils. Les Japonais ont commencé à bâtir des outils de visualisation. On a ensuite développé la filière des microsystèmes. On va dans le développement de l'optoélectronique vers des voies photoniques avec la nanophotonique. On rentre dans la nanoélectronique dont on parlait, et puis on ajoute la nanobiologie et, toujours en s'appuyant sur ces technologies-là, on va commencer à travailler les paradigmes alternatifs que sont le moléculaire et le quantique.

Tout cela se fait avec des road maps, comme je l'ai dit, extrêmement tendues.

Voici une sorte de road map générique avec une fréquence de trois ans. La profession est allée plus vite ces dernières années, en raccourcissant le cycle de Moore. Mais des régulateurs économiques vont probablement faire qu'on va peut-être revenir à cette loi de trois ans.

Ce qu'il est très important de souligner, c'est qu'entre les premières étapes où on essaie le dispositif qui ira aux alentours d'une dizaine de nanos, celles où l'on commence à en faire une étape d'un procédé technologique, la façon dont on va assembler le procédé technologique et la façon dont on va réaliser et produire des circuits réellement commercialisables, il peut se dérouler entre 9 et 12 ans.

Cette industrie est la seule qui a la chance de bénéficier d'une road map aussi longue, ce qui permet en fait de paralléliser les efforts et de tenir ce rythme puisque, d'ores et déjà, dans les laboratoires on a des gens qui travaillent sur les courbes violettes et vertes, et ensuite les relais sont pris par de grands laboratoires intégrateurs comme le LETI ou les industriels eux-mêmes pour faire ces dernières étapes, capitales pour la performance, que sont l'intégration des procédés et leur industrialisation.

Ici c'est un transparent pour lequel, s'il y avait des droits d'auteur, je pense que l'auteur aurait gagné beaucoup d'argent : c'est effectivement ce mur de briques que l'on constitue aux environs de 2007 et qui nous dit : tout ce qui est en rouge, ce sont des éléments pour lesquels on a peu de solutions, pour lesquels on n'est pas sûr des solutions, et on cherche et on fera les choix au dernier moment pour que cela devienne le meilleur choix possible !

Il faut bien voir que dans la micro, dans la façon de mener cette recherche, poussés par la technologie et des calendriers très serrés, on fait appel à énormément de sciences et on a une très grande motivation pour notre recherche fondamentale qui se confronte à des problèmes tout à fait essentiels.

On a donc là aussi une accélération des recherches dont vont bénéficier, j'en suis persuadé, tous les paradigmes alternatifs de la nanoélectronique et de la nanophotonique.

Quand on veut développer un nouveau paradigme, de quoi a-t-on besoin ?

Pour faire du traitement de l'information - parce que c'est notre sujet essentiel d'aujourd'hui - on a besoin d'une grandeur physique mesurable qui va porter l'information et d'un support à cette grandeur physique.

Cela peut être un électron. On a aussi besoin d'un opérateur de transformations, c'est-à-dire un opérateur qui va être capable de manier ces états pour faire du traitement de l'information. On a des molécules qui peuvent le faire, des transistors, un certain nombre de boîtes quantiques, un certain nombre d'approches pour faire des résistances commandables.

Ensuite il nous faut définir - pour avoir une filière technologique - toutes les fonctions élémentaires du traitement de l'information sans quoi une filière de traitement n'est pas harmonieuse.

Il faut être capable de générer, avoir des sources, il faut être capable de stocker, il faut être capable de faire de la mémoire, il faut être capable de transmettre, de communiquer l'information et il faut être capable de mélanger, c'est-à-dire de calculer !

Dans les trois ou quatre technologies alternatives qui vous sont présentées, on est dans cette phase-là.

Ensuite, il faut construire une véritable filière technologique. Pour cela, il faut travailler à des technologies d'assemblage. On peut avoir des dispositifs mais il faut pouvoir les assembler en très grand nombre : connexions, isolations, etc, empilement. Il faut être capable de définir des opérateurs de traitement qui vont utiliser au mieux cet effet et ce n'est pas toujours la recherche de la reproduction de l'ancien effet qui est la bonne façon de prendre les choses.

Ensuite, si on a des ruptures dans ces traitements, il faut travailler sur toute l'algorithmie de traitement, c'est le domaine du traitement de l'information, de l'informatique. Par exemple, pour être capables, à grande échelle, d'avoir à utiliser ces opérateurs et d'enchaîner les actions pour faire des traitements de grande complexité.

Et puis il faut également des architectures pour trouver les bonnes projections sur les supports technologiques. Et également mettre au point une équation économique.

Il ne faut évidemment pas comparer ce que l'on sait faire aujourd'hui et ce que dix ans, douze ans de travail vont nous permettre de faire sur ces filières alternatives.

Ceci était un transparent pour Madame la ministre et ses représentants en disant que derrière tout cela, il faut des moyens. Nos compétiteurs en mettent beaucoup. La France, je pense, a marqué une rupture cette année avec ce développement des grandes centrales technologiques, avec le développement soutenu par la direction de la technologie, avec ce grand programme sur les nanosciences soutenu par la direction de la recherche.

Donc, il y a beaucoup d'argent qui est effectivement injecté. Si on regarde au niveau européen, on commence à être dans les ordres de grandeur mais il ne faut pas oublier que derrière on a une partie cachée très importante : nos chercheurs, et qu'il faut trouver effectivement les équilibres entre les moyens et les ressources, les bras et les cerveaux, en l'occurrence, pour le faire !

Je m'achemine vers la conclusion en disant : quelle vision a-t-on, au CNRS ?

Il faut savoir que le CNRS a posé cinq priorités interdisciplinaires impliquant tous les départements : la physique, la chimie, les sciences du vivant, et puis bien entendu, les STIC, à savoir les sciences et technologies de l'information et de la communication, pour l'utilisation des nanotechnologies dans le traitement de l'information.

C'est une des priorités du CNRS. C'est aussi une de nos priorités de notre département des STIC.

Nous avons 4 grandes priorités :

- les nanotechnologies

- le pendant, qui est le domaine de la complexité, donc la maîtrise de tous les systèmes, matériels et logiciels, que l'on pourra faire avec cette puissance de traitement.

- enfin, les deux défis que constituent la compréhension des phénomènes cognitifs, et le développement de l'ergonomie et des usages, dans ces mondes virtuels que l'on crée.

Ce sont nos quatre grandes priorités. Les nanotechnologies mobilisent au moins un sixième des forces de ce département.

Sur ces bases, il nous faut poursuivre la voie vertueuse de la road map. Pourquoi je l'appelle la voie vertueuse ? Parce que c'est toute son équation économique qui nous permet, à la fois, de fournir des outils de traitement et des systèmes de traitement de plus en plus performants mais aussi qui fournit les équipements, l'instrumentation, le savoir-faire et les méthodes pour aller travailler sur des technologies de plus en plus fines.

C'est une voie vertueuse qu'il faut absolument poursuivre et en temps, il faut anticiper sur ces nano-objets, sur ces nanodispositifs et travailler avec eux pour savoir comment construire une filière alternative de traitement de l'information.

Ces études qui sont faites ont de l'intérêt en elles-mêmes et en même temps elles génèrent de nouveaux matériaux, de nouvelles réponses que l'on va aussi absorber dans cette voie de la road map.

Il y aura donc des contributions assez importantes à l'avancée et à la réalisation sur les voies de la road map, issues des recherches menées en physique-chimie sur les nanodispositifs.

Il faut travailler, comme je l'ai dit, cette maturation des autres paradigmes.

Deux questions peut-être... On va avancer sur la voie de la road map, il y aura beaucoup de difficultés, mais on va avancer.

Une première question scientifique : y aura-t-il une convergence, y aura-t-il des synergies entre les technologies du vivant et les technologies de l'artificiel ?

Nous sommes effectivement dans des ordres de grandeur, dans des dimensions qui commencent à être assez semblables et il n'est pas du tout sûr que la bonne voie, avec nos technologies, soit d'utiliser celle du vivant, mais il y a des paradigmes du traitement de l'information dans le vivant qui sont intéressants et qui nous posent question.

Ensuite, une deuxième question, qui est une question scientifique très forte - et je pense qu'il y aura des interventions lors des tables rondes là-dessus - : est-ce que l'on va réussir à maîtriser les comportements atomiques et subatomiques pour le traitement de l'information, auquel cas on aura encore une rupture très forte par rapport à un certain nombre d'autres paradigmes plus classiques du traitement de l'information qui travaillent plutôt au niveau moléculaire ou équivalent.

Je crois qu'il ne faut pas oublier deux choses également :

- on a des objets de plus en plus complexes et la vertu de la voie de la road map, c'est qu'effectivement, en aval, on sache utiliser les puces que l'on va faire avec des milliards de transistors.

Il ne faut pas oublier de travailler sur tous les outils de conception de systèmes et circuits très complexes, sinon, quelque part, notre rêve va s'arrêter.

- le dernier point c'est que, dans nos laboratoires, nos spécialistes du traitement de l'information réfléchissent aux alternatives pour faire du traitement de l'information autrement qu'on ne le fait aujourd'hui.

D'ores et déjà, c'est vrai pour le quantique mais il faut pousser sur d'autres recherches, il faut qu'on ait une vision du traitement de l'information utilisant notamment les paradigmes du vivant pour voir quelles sont les possibilités, avec des problèmes d'apprentissage d'évolution intéressante à ce niveau.

Conclusion de la conclusion - et c'est une métaphore que j'ai un peu adaptée - : la réalité d'aujourd'hui dépasse les vertiges d'hier. On peut être confiant par rapport à la question qui était présentée.

Deuxième aphorisme un peu bricolé : pour grimper haut, il faut des points d'appui.

Dans le domaine de la technologie, on peut bien entendu rêver mais il faut aussi imaginer. C'est comme quand on est face à une paroi, il faut imaginer la façon dont on va avoir des prises pour monter et avoir un peu de recul pour les voir, parce qu'il ne faut pas non plus se lancer dans des voies qui seront des culs-de-sac.

Dernière remarque : pour construire le futur, le meilleur des futurs, il faut explorer tous les avènements, il faut explorer les avènements qui ne seront pas le futur de maintenant, mais il faut les explorer à coup sûr, et donc explorer toutes les voies offertes par les paradigmes alternatifs pour construire un futur tel qu'on le souhaite.

Je vous remercie.

(Applaudissements)

M. Claude Saunier, sénateur - Merci, Monsieur Jutand, de ces propos qui nous introduisent vraiment dans le vif du débat.

Je reviens sur votre propos, qui est une confirmation de ce que nous avons senti au cours de la bonne centaine d'auditions de la dernière année.

Je retiens aussi de votre propos une perspective, quelque chose par rapport à quoi nous devons commencer à nous préparer intellectuellement, c'est la grande convergence du vivant et du physique. Dans combien de temps ? Je n'en sais rien, mais là, ce sera un peu une révolution, un peu terrifiante d'ailleurs au point de vue éthique.

Un point d'interrogation, Monsieur le Directeur, sur les crédits. Vous l'avez bien compris, mon état d'esprit n'est pas du tout d'ouvrir la moindre polémique sur les crédits engagés. J'ai quand même le sentiment qu'il existe un écart terrifiant entre les crédits publics engagés chez un certain nombre de nos partenaires et chez nous. Je confirme tout à fait d'ailleurs le chiffre qui a été donné par Madame la Ministre, il y a un instant. J'avais le chiffre de 40 millions, elle annonce 50 millions... il n'y a pas de raison de mettre ce chiffre en cause !

Un ordre de grandeur : à ma connaissance, et compte tenu de ce que nous avons appris sur les crédits allemands, et les politiques allemandes, c'est de l'ordre de 150 millions d'euros. Cela donne un ordre de grandeur.

Sur les Etats-Unis, d'après ce que l'on sait, et compte tenu de l'opacité qui caractérise en particulier les crédits de la DARPA, c'est de l'ordre de 2 milliards de dollars pour les seuls fonds fédéraux. Il y a encore de la marge.

Je cède la parole maintenant à Monsieur Augustin **MARTINEZ**, Directeur-adjoint du Laboratoire d'architecture et d'analyse des systèmes (LAAS) à Toulouse, qui va être l'animateur de la table ronde qui réunit :

- Monsieur Jean-Claude **LAPRIE**, Directeur du LAAS à Toulouse.
- Monsieur Christian **JOACHIM**, Directeur du groupe Nanosciences et technologies au CEMES de Toulouse.
- Monsieur Philippe **MAGARSHACK**, Directeur de CAO, à STMicroelectronics.
- et M. Jean-Yves **MARZIN**, Directeur au Laboratoire photonique et nanostructures au CNRS.

Messieurs, vous avez la parole.

M. Augustin Martinez - Merci, Monsieur Saunier.

Mon animation est vraiment simplifiée par l'introduction que vient de faire M. Francis Jutand.

En effet, il a posé deux points principaux :

1 - pour l'infiniment petit et son évolution, il faut regarder la loi de Moore ou bien il faut examiner les ruptures technologiques.

2 - quand on va vers l'infiniment petit, on augmente de plus en plus la complexité. Complexité des technologies, complexité des circuits, mais aussi complexité des systèmes.

A partir de ces pôles importants, je pense qu'on doit effectivement examiner l'évolution de la recherche, non plus au niveau du composant peut-être élémentaire, et il en faudra toujours, mais examiner la recherche au niveau plus général du système complexe.

A partir de là, on voit que cette recherche devient de plus en plus interdisciplinaire, car pour aller vers cette complexité, pour aller vers ces systèmes complexes, il faudra des physiciens bien évidemment pour étudier les différents matériaux. Si on peut penser que le silicium restera le matériau roi pour l'avenir, il n'empêche qu'il sera allié à d'autres matériaux et en même temps, ces matériaux devront avoir des structures différentes, ou peut-être ce qu'on appelle actuellement la nanostructuration des surfaces, et dont la physique est de plus en plus importante.

Cela fera appel à toutes les notions de chimie. Actuellement, les chimistes sont peut-être les plus novateurs pour la création de nouveaux objets. A côté des physiciens et des chimistes, les microélectroniciens sont au coeur de la problématique. Je ne les écarte pas parce que j'en suis !

Lorsqu'on a regardé les matériaux, qu'on a regardé les objets et les nouveaux procédés, il a aussi fallu regarder de quelle façon on concevait les systèmes. Et là, à nouveau, les concepteurs devront se poser d'autres questions et notamment dans les simulations, ils devront étudier comment, à côté des simulateurs globaux, on va utiliser de plus en plus des simulateurs excessivement fins, en physique !

Il y a donc tout cela, mais en même temps, il faudra examiner les couplages qui peuvent exister et les prendre en compte dès la conception du futur nanosystème.

Les concepteurs ont un rôle important et enfin, quand on crée un système il faut qu'on soit sûr qu'il fonctionne. Et plus vous êtes nanotechnologique, plus vous devrez regarder les défaillances qu'il peut y avoir, vous devez regarder la propagation des signaux, vous devez regarder comment le protéger !

Les représentants à cette table ronde appartiennent à toutes ces disciplines.

On va donc commencer par Monsieur **Marzin**. On va lui demander quel est son point de vue - puisqu'il est physicien - par rapport à l'évolution des matériaux.

M. Jean-Yves Marzin - Bonjour. Je suis Directeur du laboratoire de photonique et de nanostructures du CNRS, situé à Marcoussis, et qui est l'une des centrales de technologie que Madame la Ministre a évoquées dans son discours introductif.

Je suis aussi membre du Comité scientifique de l'action concertée nanosciences et nanotechnologies, lancée par le ministère de la recherche l'année dernière.

Je voudrais vous en dire un petit mot parce que l'analyse de ce qui a été fait dans le cadre de cette action concertée permet d'avoir une vision de la communauté scientifique au moins dans le monde académique, dans ce domaine important que constituent les nanosciences et les nanotechnologies.

Au passage, j'ai aussi essayé de réfléchir un petit peu à la raison pour laquelle ce domaine est aussi important pour la communauté des scientifiques et pourquoi maintenant ?

J'ai un certain nombre d'éléments de réponse qui ont été, au passage, aussi évoqués par Francis Jutand.

Les nanotechnologies, c'est ce domaine où, *a priori*, on étudie des systèmes dans une des dimensions qui est inférieure à la centaine de nanomètres.

Un premier élément de réponse nous est donné par le monde du vivant : on sait très bien qu'à chaque fois qu'on a gagné un ordre de grandeur dans nos moyens d'observation, cela a bouleversé notre vision du monde vivant et la compréhension que l'on pouvait en avoir.

La deuxième raison, au-delà de cela, c'est que lorsqu'on arrive dans le domaine de la centaine de nanomètres ou en-dessous, eh bien pratiquement tous les objets deviennent quantiques. Ils ne sont plus décrits par la physique classique du monde macroscopique, mais par la physique quantique.

C'est un plus par rapport à cette simple réduction de l'échelle d'observation.

Il y a une troisième raison qui me semble importante, et qui se traduit par la très forte interdisciplinarité de ce domaine, c'est que les objets à l'échelle nanométrique, les objets de la biologie, les objets que sont capables maintenant de fabriquer les chimistes, avec les macromolécules, et puis les objets que les physiciens sont capables de fabriquer, eux aussi, sont, pour nombre d'entre eux, tous dans cette échelle de dimension.

Il y a une raison un peu plus circonstancielle, qui est la convergence des deux grandes méthodes de fabrication des nano-objets :

- la méthode qui part du bas, qui assemble des atomes pour faire des macromolécules, disons des objets nanométriques chimiques.

- les méthodes qui sont celles de la microélectronique qui consistent, à partir d'objets macroscopiques, à réduire progressivement les dimensions.

Un autre point que j'aimerais mentionner : les nanosciences et les nanotechnologies sont un trépied. Un trépied qui part souvent de la curiosité des scientifiques qui veulent voir, manipuler, fabriquer les objets et comprendre les objets à des échelles de plus en plus petites, à l'échelle nanométrique.

Pour faire cela, ils ont besoin de nouveaux outils, et j'essaierai d'illustrer le fait que de nombreux outils ont été développés avec ce genre de démarche. Cela permet de fabriquer de nouveaux objets et puis, pour les comprendre, il faudra de nouveaux concepts !

Dans le meilleur des cas, cela se traduit aussi par des applications et par des ruptures technologiques. Je voudrais simplement dire que les ruptures technologiques, en général, n'arrivent pas là où on les attend. Il est donc très important de garder les trois pattes de ce trépied.

Quelques illustrations de ce propos : Francis Jutand a déjà montré un schéma de microscope à effet de tunnel - qui fonctionne sur un mécanisme purement quantique -. En fait, il a été réalisé par des physiciens qui ont reçu le prix Nobel pour cela en 1986, pour répondre à une question très simple : peut-on manipuler les atomes ?

Et puis, de cette question a émergé un outil, un outil fabuleux qui permet à la fois de voir les surfaces et de manipuler les atomes.

Les outils correspondent à des outils lourds... ce microscope tunnel, ultraviolet à haute température, eh bien il faut des choses très stables pour manipuler les atomes et en gros, il fait ma taille en hauteur. Cela a déclenché la genèse d'un grand nombre d'outils, de microscopie à pointe comme cela, pas seulement électronique, mais aussi optique, ce qui permet de voir par exemple ici les modes dans une fibre complexe, de microscopie à force atomique. Cela permet de voir de nouvelles choses, et par exemple, ici, la gravure d'un morceau de silicium.

Si on regarde cela dans un microscope électronique, c'est la petite photo qui est là, et on a l'impression que la surface est parfaite, mais quand on va regarder à une plus petite échelle, il en est tout autrement !

C'est un exemple mais il y en a beaucoup d'autres au-delà de la microélectronique. Je vais en prendre un deuxième peut-être, qui est celui de l'optoélectronique.

Dans l'encadré qui est ici, j'ai représenté une quantité qui est importante pour les lasers, les petits lasers solides que vous trouvez dans vos compact discs ou dans les pointeurs. C'est le courant qu'il faut faire passer dedans pour déclencher l'émission du laser.

Ce qu'on voit dans ce graphe, ce sont les meilleurs points au fur et à mesure du temps, depuis les années 1960, jusqu'aux années 2000.

On voit une évolution comme cela avec des ruptures. Ces ruptures, elles entraînent un facteur 10 dans ce courant, c'est très important, parce que cela veut dire fabriquer des lasers portables, des lasers qui sont intégrables en grande quantité pour des consommations de courant raisonnable. Toutes ces ruptures, en fait, ont été liées à l'utilisation de structures quantiques de dimensions de plus en plus petites, d'abord de type quantique, et de boîte quantique, et cela concerne les objets que l'on peut fabriquer avec des technologies de fabrication de semi-conducteurs qui sont des objets nanométriques qui émettent de la lumière dans ces structures-là.

Une autre question simple, une autre problématique scientifique simple : comment se propage la lumière dans un milieu qui est structuré à l'échelle de sa longueur d'ondes ?

Question reformulée autrement pour un physicien : peut-on faire à la lumière ce qu'on fait avec un cristal dans lequel on a un réseau périodique d'ions qui le constituent, réseau qui modifie profondément la structure des électrons et la manière dont les électrons se promènent dans ce cristal ?

On peut faire des structures artificielles, des structures qui sont à l'échelle du nanomètre. La période de ce petit réseau ici est de l'ordre de 500 nanomètres environ. On peut fabriquer des matériaux artificiels comme ceux-là, où la lumière ne peut pas se propager, et du coup on peut faire des guides, etc.

C'était une question scientifique simple. Les applications potentielles de tout cela sont là aussi un peu vertigineuses. Cela permettra sans doute de faire des circuits intégrés optiques de dimensions cent fois plus petites par rapport à ce que l'on sait faire actuellement.

C'est une rupture technologique sans doute inattendue.

Je voudrais juste dire un mot de l'action concertée nanosciences et nanotechnologies pour finir : cette action concertée, on peut dire qu'elle est limitée en volume financier mais je crois qu'elle est extrêmement importante pour structurer la communauté scientifique dans le domaine des nanosciences et des nanotechnologies.

Elle a été mise en place conjointement par le ministère de la recherche, la CNRS, et le CEA, la direction des sciences et de la matière, en s'appuyant sur un comité de coordination.

En 2002, il y a eu un certain nombre de modes d'actions, ainsi que des appels à projet, avec les thèmes qui sont indiqués ici, sur les objets individuels, les circuits, les systèmes, l'information quantique, l'approche à partir du bas dont je parlais tout à l'heure, et puis les nanotechnologies d'interfaces avec le monde du vivant, les actions intégrées qui ont plutôt soutenu des projets avec les industriels, les actions amont de laboratoires universitaires nécessitant de plus gros moyens, et puis un soutien au réseau central de technologies.

Je voudrais juste vous montrer un état des lieux des réponses à ces appels d'offres. Si on regarde le nombre de laboratoires répartis dans ces différents thèmes, qui ont répondu à cet appel d'offres, on trouve 270 laboratoires au total. C'est un chiffre qui me laisse

perplexe. Cela veut dire qu'il y a un grand nombre de laboratoires publics qui sont actifs dans ces champs.

On a retenu environ une quarantaine de projets sur les 125 qui avaient été soumis.

Un autre élément qui me paraît important, c'est la répartition géographique de tout ceci. Je suis sûr que les sénateurs présents dans la salle y seront sensibles. Là, nous avons la simple analyse des réponses par région. On constate effectivement qu'on a deux grandes régions assez dominantes dans ce secteur de la science, comme dans d'autres, qui sont l'Ile-de-France et Rhône-Alpes.

Mais la plupart des régions sont concernées. J'ai mis, ici, à côté, la couverture par des moyens de technologie. C'est quelque chose d'important que les chercheurs disposent des outils pour fabriquer ces nano-objets et de les étudier.

Vous avez les centrales de technologie dites du premier cercle, dont vous a parlé Mme la Ministre tout à l'heure, et puis les centrales spécifiques qu'elle a également évoquées qui couvrent assez correctement, je crois, le territoire national. C'est aussi, de ce point de vue-là, qu'il était important que le ministère de la recherche se préoccupe de la structuration.

Cela continuera en 2003. Pour ce qui est de l'action concertée, on a changé un petit peu les thèmes. Ici, on retrouve un certain nombre des thèmes qui ont été soutenus l'année dernière, auxquels on a rajouté un thème spécifique qui n'y figurait pas mais qui est pourtant très important, qui est celui des nanomatériaux, c'est-à-dire l'utilisation de la structuration des matériaux à l'échelle nanométrique pour changer leurs propriétés.

Voilà ce que je voulais vous dire.

M. Martinez - Merci.

Après avoir vu les objets, après avoir vu la physique qui sous-tend la réflexion sur les objets, il faut savoir que lorsqu'on conçoit un système, jusqu'à présent, il y avait des modèles, il y avait des simulateurs mais il y avait aussi des bibliothèques. Mais, lorsqu'on réduit les dimensions, et lorsqu'on complexifie, ces outils sont-ils toujours pertinents ?

J'aimerais que Monsieur **Magarshack** nous donne son point de vue quant à l'évolution des problèmes qui se posent en CAO (conception assistée par ordinateur).

M. Philippe Magarshack - Bonjour. Je suis chez STMicroelectronics, à Crolles, en charge des équipes qui mettent en place les moyens de conception de ces circuits intégrés.

Jusqu'à présent, on a beaucoup parlé - et M. Francis Jutand en particulier - des problèmes de physique qui permettaient d'intégrer beaucoup de composants élémentaires sur les mêmes puces.

On a moins parlé de ce qu'on allait faire avec ces centaines de millions de transistors que l'on sait intégrer sur ces puces. Finalement le problème se pose aussi. A chaque fois qu'on gagne une décade dans la complexité, il faut imaginer qu'on construit un niveau de hiérarchie supplémentaire dans la conception, que l'on construit une cuisine, de la cuisine on construit la maison, et de la maison on construit le village, du village on construit la ville. On en est au niveau du pays, et il faudra construire le continent et la planète.

A chaque fois, on imagine le niveau de complexité qu'il faut simplement pour utiliser tous ces instruments que sont les transistors pour réaliser des applications qui vont ensuite être utilisables dans la vie de tous les jours et j'en donnerai quelques exemples.

Tout d'abord, je voudrais simplement revenir à la fameuse loi de Moore qui a été longuement évoquée. On a effectivement franchi le seuil psychologique des nanotechnologies puisque les technologies qu'on est en train d'industrialiser ont une épaisseur de gravure de 90 nanomètres. C'est en particulier l'effort qui est fait en commun à Crolles où je travaille avec l'alliance ST-Philips et Motorola.

Juste pour donner un ordre de grandeur, on peut mettre 1,2 million de transistors dans un millimètre carré. Il y a 5 ans, 1,2 million de transistors, c'était la complexité d'une dizaine de processeurs Intel. Vous pouvez imaginer que vous avez une dizaine de processeurs Intel dans ce millimètre carré ! C'est un produit qui fait maintenant de façon routinière entre 50 et 100 mm². Que va-t-on pouvoir faire de toute cette fonctionnalité disponible ?

J'en profite pour rappeler un petit peu la difficulté dans laquelle on est, si on extrapole, je dirai linéairement, la fameuse road map. C'est un transparent qui est fourni par Intel. A chaque nouvelle génération du Pentium, la puissance est multipliée par un facteur 2 ou 3, et si on continue sur cette échelle, d'ici quelques années la puissance développée par votre ordinateur, votre PC, sera du même ordre que celle d'un réacteur nucléaire.

Evidemment il y a une absurdité quelque part. Il faut qu'on arrive à utiliser ces transistors différemment, à être plus intelligents dans l'utilisation de ces transistors.

Quelle est la manière dont on réfléchit, on produit des solutions chez ST-Philips ou chez Motorola ? On utilise ces transistors pour intégrer ensemble plusieurs domaines d'applications qui étaient à l'origine différents.

Dans cet exemple, on rassemble les technologies du traitement de l'image avec les technologies du traitement de la parole, de la transmission par téléphone sans fil, qui peuvent également être intégrées avec des ordinateurs, des note books ou des assistants personnels.

Ce qu'il faut comprendre, c'est que toutes ces applications potentiellement peuvent être réunies sur une seule et même puce à l'échelle du 90 nanomètre.

Il faut qu'on ait des moyens pour concevoir ces puces et pour bien entendu faire en sorte qu'elles fonctionnent et qu'on puisse en vendre à des millions et des millions d'exemplaires pour rentabiliser toutes les unités de production que l'on est en train de construire.

C'est ce qu'on appelle, dans notre jargon, le système sur puce, en anglais, « système sur puces » qui est au carrefour de beaucoup de tendances. Je pense qu'il est inutile de rappeler la road map due à la loi de Moore.

Il faut aussi mentionner une conséquence : c'est que ces centaines de millions de transistors font qu'individuellement un circuit va coûter quelques dizaines, quelques vingtaines d'euros à fabriquer, et cela doit être son prix final.

Donc, pour rentabiliser tous ces moyens de fabrication, il faut que le nombre de puces produites soit, dans les dizaines de millions ou dans les centaines de millions, ce qui veut dire des marchés grand public.

Les marchés grand public sont, malheureusement, soumis à des effets de mode, à des effets d'évolution rapide des tendances, ce qui veut dire que les fenêtres de marchés sont de plus en plus courtes.

En même temps, ces systèmes sont, à la fois, du matériel, des transistors et également du logiciel. C'est vraiment une tendance très forte. A titre d'exemple, on développe actuellement, pour les nouvelles puces que l'on sort, en traitement télévision numérique par exemple, 1 million de lignes de code logiciel par produit.

L'effort en ressources humaines, pour concevoir ces produits, est supérieur, pour le développement du logiciel, à ce qu'il est pour le développement du matériel et pour la conception et l'utilisation des transistors.

Enfin, et je terminerai peut-être par ce point, à chaque nouvelle étape technologique, des effets électriques et physiques qui étaient du second ordre, qui étaient ignorés dans la technologie précédente, deviennent prépondérants, ce qui rend la tâche de concevoir les mêmes transistors plus difficile.

En particulier, on pouvait ignorer le temps de transition, dans les connexions, entre transistors, il y a quelques années. Maintenant ce temps de connexion, entre transistors, est prépondérant et on peut, à la limite, quasiment ignorer le temps de commutation de ces transistors.

Cela remet donc en cause, de manière fondamentale, la manière de concevoir ces circuits.

Merci de votre attention.

M. Martinez - Merci.

On a fait des circuits, on voit maintenant la problématique, et on a dit «il faut regarder un petit peu ces systèmes complexes qui sont soumis à plusieurs agressions et donc ils peuvent être défaillants ».

Là, c'est souvent le domaine des informaticiens.

J'aimerais que Monsieur Laprie nous dise ce qu'il pense, compte tenu des dimensions, quelles sont là aussi les évolutions dans la mise en place des méthodes et des moyens pour prévenir un petit peu ces différentes attaques.

En même temps, je souhaiterais, s'il peut le faire en deux mots, dire le rôle que le CNRS joue dans la mise en place d'une recherche en informatique dans les nanosystèmes et, si ce n'est pas possible, je poserai la question à Monsieur Jutand.

M. Jean-Claude Laprie - Bonjour à toutes et à tous.

Indépendamment de la question que vient de me poser Augustin Martinez à brûle-pourpoint, j'avais l'intention de vous parler d'un autre sujet qui est commun finalement à toutes les relations sciences-technologies, vers des objets qui sont les nôtres.

En effet, on peut rêver, mais il faut que cela fonctionne et donc ne sont utilisés que les objets dont les taux de défaillance sont acceptables pour une utilisation sociale.

Dans le domaine qui est en discussion aujourd'hui, de la microélectronique, les causes de défaillance sont nombreuses, ont évolué et continuent à évoluer significativement au cours du temps.

Bien sûr vous me pardonnerez, pour les experts fins du domaine, le caractère schématique de la présentation. Je pense que nous en sommes tous réduits à cela compte tenu des contraintes temporelles.

Le premier point c'est que les défaillances physiques permanentes, pour schématiser, dues aux phénomènes d'usure, sont en baisse continue et ce n'est plus vraiment le problème actuel.

Par contre les défaillances physiques temporaires, en particulier les défauts résiduels de production dus à la miniaturisation et à l'augmentation de la complexité, augmentent.

L'orateur précédent a mentionné le problème des interconnexions. Le problème des interconnexions est clairement central là, à savoir que non seulement il est vrai qu'il y a des problèmes de temporisation, mais aussi des phénomènes extrêmement subtils, comme les courants qui se développent à la surface des interconnexions.

Il y a donc un écart très faible dans la reproductivité du processus de production, ce qui peut amener à des difficultés intermittentes de fonctionnement.

Autre chose qui est vraiment spécifique à la microélectronique : c'est l'action des radiations, c'est-à-dire les radiations dans lesquelles nous vivons fort bien, qui nous entourent, dans lesquelles nous baignons, et qui posent des problèmes à la microélectronique.

Dans les années 1970, on a découvert que les particules alpha qui sont présentes en quantité infinitésimale dans tous les matériaux, qui peuvent provenir de l'eau, qui est elle-même un véhicule de ces particules, conduisaient à des problèmes qui ont été bien sûr résolus depuis et encore plus intrigant, si je puis dire, à l'heure actuelle, nous sommes confrontés aux problèmes des neutrons qui viennent de l'espace lointain après décomposition des rayonnements probablement galactiques, dans les couches de l'atmosphère, ce qui fait qu'on récupère des neutrons et des pions, des pions ayant des durées de vie de l'ordre d'une vingtaine de picosecondes, et sont moins susceptibles d'être affectés, encore qu'il a été démontré que cela pouvait affecter des circuits intégrés.

Il est clair que la miniaturisation fait que l'ambiance dans laquelle nous vivons a une influence sur leur fonctionnement.

Enfin, et elles sont souvent oubliées, on a les erreurs de conception au sens logique du terme, c'est-à-dire l'équivalent des bugs du logiciel, qui affectent le matériel.

L'orateur précédent a aussi rappelé le nombre faramineux de transistors, de millions de transistors qui sont sur les puces ; à l'heure actuelle, dans les millions de logiciels dont nous nous servons tous les jours, il y a un nombre de bugs résiduels considérables et il y a aussi des bugs résiduels dans les circuits intégrés.

Ceci est une conséquence de l'augmentation de la complexité.

Avant de parler de : comment se protéger de cela, quelques transparents pour illustrer ce que je viens de dire.

La partie gauche montre l'accroissement considérable, plus de deux ordres de grandeur, dans les taux de défaillances permanentes pour les circuits SMOS et ceci, en l'espace d'une dizaine d'années. Cela aboutit donc à un accroissement considérable.

Intéressante mais pas toujours faite, la relation ou la corrélation très forte qu'il y a avec les rendements de fabrication, courbe de droite. Cette courbe de droite illustre les taux de défaillance pour les losanges et pour les carrés, les défauts par millions, donc le nombre de transistors qui sont déclarés non utilisables en rendement de fabrication.

Cela va de pair et donc tout cela s'améliore.

Illustration du mécanisme à partir de rayons cosmiques : on a une cascade qui va jusqu'au niveau de la terre. Une fois que les primaires ont disparu, par l'effet de cascade, après, au contraire, on a une très forte augmentation des particules. Ensuite tout cela est absorbé par toutes les couches de l'atmosphère, mais il en reste encore, au niveau de la mer, qui peuvent provoquer des basculements.

Le point commun à tous ces problèmes intermittents, c'est qu'ils affectent essentiellement l'information et qu'*a priori*, sauf si cela persiste, cela n'affecte pas durablement le matériel et donc, par conséquent, on peut, par des moyens de recouvrement, s'en protéger !

J'ai parlé des particules α et des neutrons. Quel est le plus important des deux ? Cela dépend des technologies.

Sur cette planche, on voit que selon la technologie utilisée, ce sont les neutrons qui prennent la main, ou au contraire ce sont les particules alpha qui dominent. Par conséquent, il faut vivre avec les deux !

Enfin les erreurs de conception résiduelle. Cela figure sur les processeurs Intel. On voit que pour une série de gammes de processeurs, le nombre de fautes résiduelles - ce sont des données disponibles sur le site de Web Intel - se comptent par dizaines, par centaines, d'autant qu'elles sont appelées de façon politiquement correcte des « errata », et non pas des erreurs ou des fautes.

Plus le processeur est ancien, plus le rapport entre fautes annoncées et fautes encore présentes - puisqu'il y a des versions successives pour les corriger - est important. Sur les processeurs plus récents, il n'y a pas beaucoup de fautes qui ont été corrigées. Il est dit, dans les mises à jour, qui paraissent tous les trimestres, qu'il y a un certain nombre de fautes qui ne seront jamais corrigées. Il faut donc vivre avec !

Tout cela se propage, part du matériel, se propage dans le logiciel, va à l'utilisateur, provoque donc des défaillances du système et il importe donc de s'en protéger. On peut s'en protéger par une panoplie de moyens et de protections qui existent, depuis la technologie des procédés - et sur la partie droite, j'ai cité quelques exemples, « technologie du silicium sur isolant », etc - jusqu'à la conception fine des circuits.

On sait faire des bascules qui sont insensibles aux erreurs et puis après, il y a tout l'arsenal de la tolérance aux fautes avec les traitements d'erreurs fins que procure le codage sous toutes ses formes.

Là aussi, il y a une course poursuite. Par exemple les neutrons, les particules alpha provoquaient des erreurs sur 1 bit, alors que les neutrons provoquent des erreurs sur plusieurs bits, ce qui veut dire qu'il faut faire appel à des codes correcteurs d'erreurs qui sont beaucoup plus performants que ceux qu'on avait l'habitude d'utiliser !

Enfin vous avez aussi toutes les solutions architecturales. La plupart du temps, il faut les implanter au niveau des logiciels mais aussi au niveau des matériels, en particulier quand on parle de réplication, tout ce qui est traitement d'exception et puis lorsque la criticité le demande, eh bien la diversification, c'est-à-dire l'utilisation de systèmes différents, peut être mise en oeuvre.

Par exemple, lorsque vous prenez un avion, que ce soit un Airbus ou un Boeing, je suppose que vous ne regrettez pas que le système de contrôle de vol soit basé sur ce principe de diversification, soit matérielle, soit logicielle, soit les deux !

Une observation par rapport aux rêves et aux vertiges qui nous ont été présentés par les deux premiers orateurs : comment tout cela va-t-il se comporter vis-à-vis des nanotechnologies ? Pour l'instant, on nous a parlé de fonctionnalités mais il y a aussi tout l'aspect protection contre les défaillances qui interviennent.

Au niveau des mécanismes fins, je pense que c'est un champ encore ouvert. Par contre, c'est un gisement fantastique au point de vue des solutions architecturales. En particulier compte tenu du nombre d'éléments, il n'y aura pas besoin qu'ils soient tous fonctionnels et donc, il va y avoir une redondance naturelle énorme qui permettra peut-être de mettre en oeuvre tous les rêves que nous pouvons faire sur l'auto-organisation des systèmes pour permettre de fonctionner de façon satisfaisante.

Merci.

Je me garderai bien de répondre à l'autre question qui, je pense, ne devait pas m'être destinée.

M. Martinez - Elle n'était effectivement pas prévue.

Je voulais passer la parole à Monsieur **Joachim**, pour que lui, effectivement, nous fasse rêver.

Pour lui, une molécule, ce peut être un composant ou un système extrêmement complexe.

Voilà jusqu'où il a poussé les lois de la physique, et est-ce qu'il n'est pas maintenant aux limites de la thermodynamique?

M. Christian Joachim - Merci, Augustin.

Bonjour. Je suis Directeur de recherches au CNRS dans un laboratoire qui s'appelle le CEMES. Je suis responsable d'un groupe qui s'appelle « nanosciences et picotechnologies » pour faire mode !

Je vais essayer, rapidement, de traiter la question d'Augustin d'une autre manière.

Ce qui nous intéresse à Toulouse, et qui intéresse d'autres laboratoires en Europe, avec lesquels on travaille ardemment, c'est de répondre à une question très simple : quel est le nombre minimal d'atomes dont on a besoin pour faire une machine !

Ce n'est pas vraiment, je dirai, dans la perspective de produire demain ou après-demain, un gros ordinateur avec une seule molécule, mais c'est en fait pour pouvoir éclairer et explorer !

Au point de vue financier, cela peut être tout à fait intéressant d'avoir une road map et différentes road maps, autres que la loi de Moore.

Un exemple tout bête : si vous voulez faire une brouette ou une charrette à bras, une seule molécule peut-elle remplir cette fonction ? C'est un exemple concret puisque cette

molécule existe. Elle est en train d'être finalisée à Toulouse et va être envoyée par Airbus à Berlin.

Vous avez ici, sur cette molécule, deux roues avant, deux pieds arrière et on essaie de comprendre la physique et la mécanique à cette échelle-là. Vous voyez effectivement que les éléments les plus simples des systèmes sont, par exemple, une roue qui fait ici 0,6 nanomètre de diamètre.

C'est un exemple de machine mécanique. On pourrait aussi rêver de faire un ampère dans une molécule, etc. On pourrait essayer tout type de machine à l'échelle d'une seule molécule.

Ce qui nous intéresse ici, c'est plutôt la microélectronique et la suite de la microélectronique.

On a trois zones d'exploration actuellement.

Là vous avez les circuits traditionnels. Ici, vous avez des circuits où chaque composant serait remplacé par une molécule. On peut aussi essayer de faire tout le circuit, c'est-à-dire les interconnexions et les molécules à l'intérieur d'une seule molécule, et on peut aussi essayer de supprimer cette typologie qui date finalement des années 1840, avec un circuit élémentaire, pour perdre un peu cela, et bénéficier au maximum du comportement quantique d'une molécule.

Il y a donc ces trois éléments qui sont explorés. On en connaît un peu plus maintenant sur cette voie-là, c'est-à-dire sur les avantages et les désavantages.

Avantages : les composants sont effectivement très petits. L'énergie de dissipation est très faible dans une seule molécule, on l'a mesurée récemment !

Désavantage : par rapport à l'intégration, vous pouvez voir qu'entre chaque composant, il y a un petit fil, et ce petit fil métallique, on ne peut pas le réduire en dimension jusqu'à la dimension d'une molécule puisqu'on a besoin, si on veut faire des circuits de ce type-là, de mettre en oeuvre des lois standards de conception des circuits.

On a besoin d'une petite distance entre les deux et cela ne permettra pas, sur ce type d'électronique, qu'on appelle hybride maintenant, de descendre en taille complètement.

On a ici, en effet, une réserve. De plus, ces composants ont un autre problème, c'est qu'ils n'ont pas trop de gains et comme ils n'ont pas trop de gains, si on commence à les mettre en cascade la bande passante devient catastrophique.

Or, on sait très bien qu'à l'intérieur d'une seule et même molécule, sans en sortir, il y a plein de comportements quantiques qui sont très rapides à l'intérieur de la molécule.

La question est de savoir si ces comportements quantiques, on va pouvoir les utiliser dans une structure classique, ou dans une structure complètement quantique ! Le

débat, en ce moment, se situe entre ces deux zones-là : faut-il aller complètement ici, rester ici, ou marier les deux ?

Pour vous montrer un exemple d'énergie de dissipation qui concerne plutôt ce domaine, voici une courbe. Vous avez en abscisse les années, et en ordonnée, les énergies consommées par un commutateur élémentaire.

Vous avez un petit composant d'Intel qui descend ici, et la loi de la thermodynamique nous montre que l'énergie minimale dissipée est ici. Et avec des molécules de transistors C60 - et plus récemment, on a mesuré cela avec un switch avec un seul pied, sur une seule molécule - on descend à 5 ordres de grandeur en dessous du meilleur transistor actuel en production.

Si vous faites le calcul, 10^9 molécules, comme cela, avec un terahertz de bande passante, et 10^{-8} picojoules, vous obtenez un watt.

Il y a donc de la réserve au niveau moléculaire pour le petit composant moléculaire élémentaire. Le problème n'est pas là, le problème se pose en fait du côté de l'architecture ; pour compenser les bandes passantes catastrophiques de ces systèmes-là, on est obligé de faire des architectures un peu compliquées.

Là, vous avez une architecture que nous avons testée, en utilisant des caractéristiques exactes et expérimentales des composants moléculaires que nous avons injectées dans un simulateur space, qui est un haut standard, et on a fait tourner jusqu'à obtenir un processeur, et on a observé pour voir si cela fonctionnait ou pas !

Cela fonctionne, il y a beaucoup de défauts. En fait, là, il faut 4 fois plus de transistors que pour une technologie non moléculaire, et pour la bande passante, on n'arrive pas à dépasser les 10 MHz.

Enfin, pour montrer qu'on travaille maintenant beaucoup sur la partie monomoléculaire, voici une molécule compliquée. Celle-ci ne fonctionnera pas du tout comme les auteurs du dessin l'ont proposé. Mais on commence maintenant à avoir, à notre disposition, dans les laboratoires, des logiciels de simulation de circuits moléculaires, qui tournent pour complètement évaluer ce genre de nouvelle architecture.

On voit par exemple que la loi des noeuds, des mailles standards, que tout le monde connaît, n'est plus valable à l'intérieur d'une seule molécule, et qu'il faut donc passer à autre chose. Cette autre chose, c'est l'exploration entre le mode quantique et le mode classique.

M. Martinez - On peut peut-être prendre cinq minutes s'il y a des questions dans la salle à poser aux orateurs ?

M. Claude Saunier, sénateur - Des réactions ou des contestations ? Des rêves qui se convertissent en cauchemars ?

Est-ce qu'on peut dire que la science nous ouvre des perspectives, Messieurs, pour rester simple ? On va revenir encore plus vers la terre. Est-ce que les perspectives scientifiques que vous venez d'esquisser vont se traduire par des concrétisations dans notre vie quotidienne, parce qu'il faut redescendre sur terre ?

Merci, Monsieur Martinez.

2. De la découverte à l'application : la révolution du quotidien

Nous allons passer à la deuxième table ronde, avec un changement d'acteurs.

Monsieur **GRIOT**, vous, vous lancez la grande fresque, et ensuite M. Daniel **BOIS**, Directeur scientifique à l'école des Mines de Gardanne, va être l'animateur du groupe.

Les intervenants seront :

- M. Guy **CARRÈRE**, directeur à France Télécom.

- M. Guy **LABRUNIE**, directeur au CEA.

- M. Dominique **BOULLIER**, professeur en sciences de l'information et de la communication à l'UTC de Compiègne.

- M. François **de CHARENTENAY**, qui est ancien directeur de recherche chez PSA.

- M. Francis **LEPAGE**, du CRA de Nancy.

Messieurs, vous pouvez prendre place.

M. Denis Griot, vice-président, MOTOROLA - Monsieur le Sénateur, Mesdames, Messieurs, merci de nous donner la possibilité de passer de la recherche, des possibilités de la technologie pour aller voir ce qui se passe du côté des applications, en particulier des applications du quotidien, comme vous le disiez, Monsieur le Sénateur.

Qu'il soit question d'informatique, ou de télécommunications 3G, tout le monde, en fait, recherche l'application miracle - les américains disent la « killing application » - c'est-à-dire celle qui va pouvoir porter la croissance dans notre industrie, comme en son temps l'ont été le PC, ou le téléphone portable.

J'aimerais, d'abord, partager avec vous une analyse des tendances je dirai lourdes, à long terme, qui se passent du côté des applications, du côté du marché.

À la fin des années 1990, on a vu des modèles économiques évoluer, ce qu'on appelle la « nouvelle économie » qui, en fait, pousse à la valorisation de la technologie.

Vous voyez, le pendule est montré très haut de ce côté-là. L'impression que nous avons, c'est que le pendule revient. Le pendule revient du côté du concret, des applications, du court terme et l'équilibre s'établit entre d'un côté la poussée de ces innovations technologiques, qui ouvrent définitivement des portes, et aussi de l'autre côté, l'appel qui provient des besoins réels des applications qui vont satisfaire ces besoins. J'ai donc placé le pendule au milieu, en équilibre en quelque sorte. J'aimerais, avec vous, revenir un petit peu en arrière pour regarder le problème du temps qui s'écoule entre une innovation et son utilisation à grande échelle.

Sur ce diagramme, ici, on montre des exemples historiques. En fait, il s'agit du siècle dernier, voire du 19ème siècle, mais voyez qu'il a fallu peut-être en fait entre 50 et 100 ans pour passer d'une découverte comme la pile de Volta, à l'utilisation domestique de la lampe à incandescence. Cela représente plus de 80 ans de toute façon. Il a fallu encore 30 ans, au siècle dernier, pour passer de l'invention de la radio à son utilisation domestique généralisée.

Si vous prenez la même transition pour des technologies beaucoup plus récentes comme l'Internet ou le téléphone portable, voyez que les durées sont considérablement réduites puisque là, on parle de 5 à 10 ans.

Dans l'entreprise à laquelle j'appartiens, il y a des exemples qui prouvent aussi que de grandes inventions, de grandes innovations sont capables, presque en elles-mêmes, de créer des marchés.

Si on prend ici des exemples qui nous sont chers - et Motorola est née de l'invention de l'autoradio en fait - vous voyez que l'autoradio s'est développé de lui-même. Il n'y a pas eu d'immenses efforts de marketing. Les talkies-walkies se sont développés comme des instruments de communication radio, pratiquement sans effort marketing. Le téléphone cellulaire, dont nous avons évidemment beaucoup de brevets de base, a aussi été capable d'exploser de lui-même !

Il est d'autres inventions, d'autres technologies avec lesquelles nous avons été impliqués, qui n'ont pas percé le marché. Prenez l'exemple d'Iridium, téléphone satellitaire, qui n'a pas réussi à percer !

J'aimerais regarder avec vous, mais de façon très rapide, vu les contraintes de temps, quels sont les facteurs-clés qui nous permettent de raccourcir - excusez l'anglicisme - ce « time to volume ».

Si on part ici du côté droit de ce transparent, du besoin de l'utilisateur, en termes de fonctionnalités nouvelles, coût, qualité, comme le disait M. Laprie, fiabilité, et flexibilité, et que l'on remonte vers les fournisseurs de services et les fournisseurs de systèmes, le point-clé, et le point-clé quand on parle des modèles économiques, évoqués tout à l'heure, c'est la rapidité ou la contraction du délai, qui va s'écouler entre la mise au point de la technologie, et sa production en grand volume. C'est cela, le facteur clé de réussite d'un modèle industriel, d'un modèle de nouvelle technologie.

Remontons spécifiquement sur la microélectronique et regardons le rôle d'accélérateur qu'a joué la microélectronique pour les systèmes électroniques.

Là, vous avez un transparent qui remonte sur une trentaine, voire une quarantaine d'années. Comme vous le savez tous, la microélectronique a vraiment pénétré - c'est ce qu'on appelle la première vague - dans les grands systèmes informatiques.

Puis, le PC a repris un formidable relais de croissance. Dans les dix dernières années, on a assisté à l'essoufflement du PC, et à l'émergence des communications de réseau, de la téléphonie mobile et du multimédia qui, elles, ont déclenché une nouvelle explosion.

Là aussi, vous allez voir des vagues mais dans un domaine qui est moins connu, mes collègues de la table ronde vont y revenir, qui est celui de l'automobile, qui m'est très cher. Cela montre qu'une industrie, comme l'industrie automobile européenne, a su exploiter la potentialité de la microélectronique non seulement pour survivre mais aussi pour se développer.

Aujourd'hui, et mon collègue de PSA peut me contredire, 90 % ou plus des nouvelles fonctionnalités dans l'automobile sont directement ou indirectement créées par la microélectronique.

La microélectronique, ici, en Europe, a permis à beaucoup de constructeurs de prendre un leadership mondial. On y reviendra après, je ne vais pas entrer dans ces détails, mais voyez, la pénétration des semi-conducteurs, depuis le contrôle moteur jusqu'à bien sûr la télématique, représente ce qu'on appelle la cinquième vague, qui est la vague de mécatronique, c'est-à-dire le mélange intime de l'électronique et de la mécanique pour des fonctions qui n'existent pas aujourd'hui mais qui sont déjà en développement comme le pilotage, le freinage à fil, etc.

Ce sont des systèmes qui vont permettre un niveau de sécurisation, au niveau de la voiture, bien supérieur à ce que l'on connaît aujourd'hui.

Si vous me permettez, l'exemple phare est celui de la téléphonie mobile pour la microélectronique. Je veux parler des téléphones cellulaires qui, dans leur première génération, ne disposaient que de la voix, qui maintenant bien sûr, se sont enrichis de nouvelles fonctionnalités, le texte, le SMS, des possibilités effectivement ouvertes par les écrans couleur et bien entendu la transmission des données et de l'image, mais ceci n'est qu'un début. La troisième génération va permettre d'accéder à un plus grand nombre de services : bien sûr les téléchargements de programmes vidéo et audio, l'e-mail, etc. Ce développement, aujourd'hui, il ne se construit plus en Europe, je dirai même qu'il se construit hors de l'Europe.

Si vous regardez les courbes qui sont à gauche, et que vous suivez ici, sur quelques années - il s'agit d'une huitaine d'années - l'évolution de l'utilisation des semi-conducteurs, c'est-à-dire de la vente de semi-conducteurs, chez l'équipementier, au niveau de l'utilisateur, vous voyez qu'on divise le monde en 4 grandes régions, l'Asie étant la courbe verte.

Voyez que depuis deux ans maintenant, l'envol de l'Asie est absolument irréfutable, irrémédiable. L'Asie, à elle seule, dépasse toutes les autres régions, comme l'Amérique du Nord, l'Europe et le Japon, de manière absolument massive et prend la tête de cette compétition mondiale.

Quoi faire ?

L'une des solutions que nous avons proposées, qui est aujourd'hui offerte à nos clients, ici en Europe en particulier, c'est d'offrir, pour justement saisir ce défi du « time to volume », non seulement du silicium, c'est-à-dire des puces, mais aussi d'offrir des solutions logicielles, des démonstrateurs, c'est-à-dire des téléphones sur circuits imprimés ou sur maquettes, qui ont les fonctionnalités de base et à partir desquels le client, fabricant de téléphone européen, si je prends un exemple, ici, en France, Alcatel ou Sagem, vont pouvoir, dans un délai très court, beaucoup plus court que les temps de développement habituels, et à un coût réduit, compléter leur gamme.

Ils vont par exemple amener, sur le marché, un téléphone de type GPRS en six mois, de la décision à la production en volume.

C'est ce qu'on appelle une offre plate-forme. Ceci leur permet de réaliser des téléphones de milieu ou de bas de gamme sans avoir recours aux sous-traitants, comme vous l'avez vu, qui se développent à grande allure à Taï wan mais aussi en Chine maintenant.

Voilà une réponse que j'aimerais partager avec vous.

Ceci est un exemple qui s'appelle ID 150, pour la génération 2,5 G. Mais de la même façon, pour les téléphones 3G, une offre plate-forme est offerte aux fabricants de téléphone, ce qui leur permet de passer à un produit final à moindre coût, sans faire ces investissements énormes de développement. Au-delà du 3G, bien sûr, car il ne faut pas s'arrêter là.

Vous avez ici un exemple de démonstration, de transmission et de réception 4G, technologie qui, comme vous le savez, permettra des débits de plusieurs centaines de mégabits/seconde, démonstration faite entre notre siège à Chicago et notre laboratoire de recherche telecoms, sur le plateau de Saclay, tout près d'ici.

Francis Jutand et mes prédécesseurs ont parlé de road map et de l'accélération technologique de la road map. Cette accélération se fait vraiment au quotidien, si je puis dire, puisque - et je suis désolé d'avoir empilé des images là-dessus - pour vous donner un exemple et un point sur cette road map : en 1994-1995, on prévoyait le 130 nanomètres en production pour 2004. Nous sommes en production depuis plus d'un an sur ce 130 nanomètres. Cette accélération est donc bien réelle ! L'accélération a lieu au niveau de l'arrivée de ces nouvelles plates-formes, de ces nouvelles technologies, et ce de plus en plus rapidement.

L'accélération est aussi vraie au niveau des coûts de développement et des investissements pour fabriquer ces plates-formes technologiques.

C'est la raison pour laquelle, en ce qui concerne notre société, nous avons choisi la France pour développer nos technologies nanométriques, si je puis dire, et de le faire en collaboration avec nos partenaires.

Deux raisons à cela : il faut trouver ici deux partenaires stratégiques, STMicroelectronics et Philips, avec lesquels nous partageons totalement la vision, la stratégie des technologies CMOS.

Ce partenariat est donc totalement focalisé sur les technologies CMOS.

Ensuite, nous avons trouvé, en France, le meilleur tissu de centres de recherches appliquées et de laboratoires d'intégration, dont le CEA-LETI, il faut le dire, est la pièce maîtresse pour notre Centre de Crolles.

L'alliance de Crolles n'a pas d'autre objectif que de relever le défi asiatique. Monsieur le Sénateur vous parlait du défi mondial ce matin. Relever le défi asiatique, c'est être le premier à briser le mur de 2007, et devenir effectivement, dans les technologies CMOS, particulièrement dédiées aux systèmes monopuces mentionnés par Philippe Magarshack, le leader mondial dans ce domaine.

Avant de terminer, je voudrais vous parler d'un sujet qui me passionne et pour lequel il faut aussi qu'on réagisse en tant que Français et Européens. C'est ce que j'appelle la désagrégation de la chaîne de la valeur.

Vous savez que ces dernières années, les fabricants de semi-conducteurs prenaient tout en charge, des opérations de conception jusqu'à la livraison du circuit intégré à l'équipementier. L'équipementier, lui, allait de la puce jusqu'au client final ; le client final pouvait, dans certains cas, être un fabricant d'équipements, comme un fabricant automobile.

C'est donc une maîtrise totale de tous les maillons de la chaîne et un contrôle de ce processus à travers tous les maillons. En fait, dans les 5 à 7 dernières années, cette chaîne s'est désintégrée du fait que de nombreux acteurs ont réussi à extraire de la valeur à partir d'un seul maillon, un maillon ou une activité qu'ils ont parfaitement maîtrisés.

C'est, comme on dit, un nouveau business model. Ils ont créé une force industrielle. L'exemple clé, ce sont les Fonderies tai wanaïses qui ont trouvé la maîtrise de la fabrication pour un certain nombre de technologies.

Ceci pose des problèmes.

Par exemple, sur la partie haute de ce transparent, vous avez le nombre d'acteurs avec lequel le client final doit jouer, pour mettre ses solutions sur le marché.

Ce qui est apparu en parallèle, c'est la nécessité de standardiser chaque maillon de la chaîne, standardisation qui touche les architectures de corps de microprocesseurs par exemple, les processus de fabrication mentionnés tout à l'heure, mais aussi la logistique et les logiciels d'exploitation.

Je vais résumer mon propos : très clairement, notre industrie, pour se développer en France et en Europe, et prendre la position qu'elle mérite, doit continuer l'effort de recherche et de développement.

Nous apprécions en particulier, en France, le soutien public significatif dans ce domaine.

Les initiatives de standardisation, les mesures incitatives appropriées pour le développement sont importantes. Je veux parler, en fait, des marchés télécoms. L'Europe est vraiment la terre du GSM, elle doit devenir la terre de l'UMTS et du 4G. On ne peut pas laisser les autres régions du monde prendre le leadership là-dessus !

Je ne pourrai pas terminer sans souligner le rôle de la microélectronique comme source - cela a été mentionné ce matin - de sécurité, de santé, de confort, de protection de l'environnement, mais aussi, nous le croyons au moins, un moyen possible pour rendre notre société plus ouverte et plus solidaire.

J'en ai terminé, merci beaucoup.

(Applaudissements)

M. Claude Saunier, sénateur - Monsieur Daniel **BOIS** est directeur scientifique au centre de microélectronique de Provence, en cours d'installation à Gardanne.

Il va animer le débat.

M. Daniel Bois - Quelques mots pour introduire le débat - Nous n'aurons pas de transparents, on en a décidé ainsi pour cette table ronde - autour de ce thème qui a été intitulé « *de la découverte à l'application* ».

En fait, on devrait beaucoup plus dire « de la découverte aux applications », tant il est vrai que si la technologie progresse d'une manière linéaire avec cette road map, dont on a entendu parler, les applications progressent d'une manière extrêmement foisonnante.

Cela rend la présentation et la discussion, autour de ces applications, et je dirai également les actions de soutien aux applications, beaucoup plus difficiles.

Il faut bien voir que ce foisonnement est une source de richesses fantastiques pour le progrès de la microélectronique et Denis Griot l'a très bien illustré puisqu'il y a, grâce à ce foisonnement, en permanence, création de nouvelles chaînes de valeur qui prennent leurs racines dans le silicium et, plus exactement aujourd'hui, qui s'enracinent dans cette révolution sur laquelle on reviendra, que constitue le système sur la puce, qui est une révolution méthodologique extrêmement importante au niveau du travail dans ce secteur-là.

C'est autour de ce thème-là que nous allons débattre. Nous avons décidé de prendre, comme fil conducteur de ce débat, au travers de ce foisonnement, le temps.

Denis Griot l'a dit : il faut réduire les temps. C'est bien connu. En plus de les réduire, il faut être capable de les maîtriser, de prévoir les temps de mise en application des nouvelles technologies.

Ceci est d'autant plus important qu'aujourd'hui, les technologues font des efforts considérables et réussissent à réduire les temps de développement et les temps de montée en production.

Il est clair que si, d'une manière concomitante, on ne réduit pas les temps de mise en application, on arrive à des désaccords entre l'offre de production et le marché, et c'est un peu la cause des difficultés que l'on connaît périodiquement dans le domaine de la microélectronique, et ceci est une problématique qu'il nous faut absolument aborder, dont on parlera probablement au cours de cette table ronde : comment travailler sur ce que j'appelle cette chaîne du temps, qui va de l'idée à l'usage véritablement d'un produit, en passant par la chaîne, spécification/conception/validation/tests, etc. ?

Il y a une chaîne ici, et une question que l'on doit traiter au cours de cette table ronde, c'est : comment, dans les différents secteurs dont on va parler, travailler au niveau national et comment améliorer cette maîtrise du temps ? Et ceci est d'autant plus difficile aujourd'hui que, comme l'a dit Denis Griot, il y a une révolution importante qui est cette désagrégation de la chaîne de la valeur, multiplication du nombre des acteurs pour aboutir à un seul système sur une seule puce, puisqu'il faut de plus en plus d'intervenants.

Ceci crée des interfaces entre les intervenants avec de nouvelles méthodes de travail. Par conséquent, que faisons-nous actuellement, dans notre pays, pour rapprocher les acteurs et avoir des actions du type centrales technologiques ?

Y a-t-il des centrales d'application et comment peut-on travailler pour mieux maîtriser cette chaîne du temps ? C'est une problématique qu'il faut, je crois, adresser, en tout cas, au cours de cette journée, et voir comment on peut faire de la R et D à ce niveau-là.

Pour traiter du sujet, nous avons donc 5 intervenants, extrêmement divers bien entendu puisqu'on va parler de domaines d'applications variés.

Pour gagner un peu de temps, je vais demander à chaque intervenant de dire d'où il vient et de se présenter rapidement en 5 minutes, et puis ensuite, nous aurons une demi-heure pour débattre entre les intervenants s'ils le souhaitent, et avec la salle.

Pour commencer, je voudrais passer la parole à Guy Carrère pour qu'il nous parle des télécoms. Les télécoms sont - et Denis Griot l'a dit - un des moteurs extrêmement puissants de la microélectronique aujourd'hui.

Il y a eu un peu de chaos. J'aimerais qu'il nous dise où sont les perspectives d'avenir et puis que, d'une certaine manière, il nous explique comment la désagrégation de la chaîne de la valeur conduit, dans ce domaine des télécommunications, à rendre plus difficile

la fluidité nécessaire entre la technologie et l'application et comment France Télécom traite le sujet ?

M. Guy Carrère - Merci et bonjour.

Je m'appelle Guy Carrère, je suis le directeur scientifique de France Télécom, plus exactement de France Télécom R et D, qui, pour beaucoup, pendant 50 ans, s'est appelé le CNET.

Je voudrais apporter le point de vue d'un opérateur de télécommunications, aujourd'hui, sur l'impact de ces nouvelles technologies de plus en plus petites, de ces nanotechnologies sur les différents services que nous pouvons amener.

En effet, le rôle d'un opérateur de télécommunications, aujourd'hui, est essentiellement de fournir :

1 - des moyens d'interconnexion entre les individus et puis de plus en plus, entre individus et machines, et dans quelques mois ou années (l'échelle de temps est extrêmement variable dans ce domaine) entre machines et machines, allant des grosses machines industrielles à la machine à laver au domicile, à la puce que l'on pourra implanter dans le corps et qui communiquera à l'extérieur un certain nombre d'informations, jusqu'à ce qu'on appelle aujourd'hui les « smart dust » c'est-à-dire les grains de sable qui, en fait, seront à la fois des capteurs et des transmetteurs d'informations.

2 - des services. Ces besoins de services, ces nouveaux services sont là pour répondre à un certain nombre de nouveaux usages qui sont apparus ces dernières années, que l'on voit de plus en plus se développer.

Ces usages sont essentiellement : on veut des informations, l'individu veut des informations de plus en plus nombreuses, dans des situations de plus en plus différentes en mobilité, en fixe, mais également des informations de plus en plus riches, avec une quantité d'informations par individu qui augmente de façon exponentielle.

Ces informations, il les veut de manière ubiqué, c'est-à-dire qu'il veut pouvoir, dans ce que nous appelons les différentes sphères de vie, la sphère privée, la sphère publique, la sphère professionnelle, en bénéficier. Il les veut dans les différents endroits où il va se trouver, mais il veut quand même pouvoir discerner ces différentes informations. Il veut pouvoir les recevoir en permanence. Il veut des moyens de connexion, évidemment de préférence sans fil, à tout moment.

Et puis il veut, de plus en plus, d'interfaces. Des interfaces de plus en plus humaines, c'est-à-dire des interfaces de plus en plus multisensorielles.

Si je veux résumer, je vois que nous avons besoin, dans les nouveaux services de télécommunications, d'abord de plus en plus de puissance de calcul, ce n'est pas exclusif à notre domaine, nous avons besoin de plus en plus de puissance de stockage, nous avons besoin également - et c'est un besoin particulier - de puissance d'aiguillage, c'est-à-dire des

systèmes capables, de plus en plus, d'aiguiller les différentes informations qui deviennent de plus en plus volumineuses, vers le particulier.

Ces puissances d'aiguillage, il faut simplement savoir que nous véhiculons aujourd'hui des cheveux, dans des fibres optiques de la taille d'un cheveu, avec des débits qui vont dépasser le terabit. Ce sont donc des choses assez considérables qu'il faut pouvoir effectivement être capable d'aiguiller extrêmement rapidement.

Et puis nous avons également une contrainte de protection de l'information. Il faut qu'on soit capable de protéger ces informations, que ce soit des informations que l'on transmet, ou que ce soit des informations que l'on stocke, et de plus en plus, on aura besoin de stocker des informations personnelles. Et dans ce cas, il faut prendre en compte la notion de la protection de la vie privée qui doit être aussi assurée par ces opérateurs.

Je vous disais tout à l'heure qu'on a de plus en plus besoin d'interfaces humaines, de plus en plus humaines. Cela veut dire qu'on a besoin d'écrans pour visualiser, pour la partie vision. On a besoin également de systèmes qui vont pouvoir permettre de transmettre d'autres sens en particulier le toucher, avec les systèmes tactiles, et puis quelques expérimentations autour de la transmission des odeurs.

On va de plus en plus vers des systèmes qui vont permettre de transmettre les 5 sens.

Quels liens avec les nanotechnologies ?

Précisément, j'ai essayé de regarder aujourd'hui tout ce qui pouvait avoir un impact sur ces tendances très fortes du domaine des télécommunications, qui étaient en train d'apparaître dans les nanotechnologies !

Le premier point, c'était dans le domaine du traitement de l'information et du stockage de l'information. Dans le domaine du stockage de l'information, on voit les premières annonces de systèmes comme ceux d'IBM, qui ont des capacités de l'ordre de 10 milliards de bits, sur une surface de 9 mm², ce qui ne veut pas dire grand-chose.

Si je ramène cela à quelque chose d'un petit peu plus concret, cela veut dire que sur un timbre poste, on est capable de stocker, de mémoriser le contenu de 100.000 livres, ou sur une carte de crédit, on peut stocker l'équivalent de 50 DVD. Donc voyez des capacités de stockage de plus en plus importantes grâce aux nanotechnologies.

Cela va répondre à des besoins très forts que nous allons avoir dans les années à venir.

Et puis, on a évoqué depuis ce matin tout ce qui concerne ce que j'appelle les « nanopuces », qui vont nous permettre en particulier de pouvoir réaliser des écrans avec les technologies des nanotubes : des écrans plats, des écrans facilement intégrables dans notre environnement, et allant jusqu'à des possibilités qui aujourd'hui sont concrètes.

Un certain nombre de laboratoires, dont le MIT, ont développé du papier électronique avec le même type de visibilité que sur un papier ordinaire et une rémanence de l'information sans modification par un courant électrique de ce contenu.

Nous voyons également arriver, au niveau de ces nanopuces, quelque chose qui va impacter assez fortement le « toujours connecté », c'est-à-dire l'intégration, dans le silicium, d'émetteurs-récepteurs.

Chaque processeur sera probablement intégré d'une puce qui sera capable de communiquer par radio avec son environnement et ceci, avec des standards complètement différents : UMTS, Hyperlane, Blue tooth, disons tous les standards dont on entend parler aujourd'hui.

Tout ceci devait être facilité également pour la partie terminaux, pour les parties 3G, 4G. En fait, le problème majeur concerne le stockage de l'énergie. On a fait beaucoup de progrès là-dessus mais les nanotechnologies devraient nous amener des approches assez différentes de piles à combustibles. Ces piles à combustibles, compatibles avec la taille d'un téléphone portable devraient nous permettre :

1 - d'obtenir des autonomies de plusieurs dizaines de semaines,

2 - d'avoir un mode de fonctionnement de type station-service. Ce n'est plus la prise de courant qu'il faut brancher tous les soirs, mais on fait le plein de son téléphone portable, comme dans une station-service, avec une ampoule d'éthanol, ou une ampoule de liquide, et ce plein va durer un certain nombre de semaines.

Il doit exister une adéquation très forte entre nos besoins dans le domaine des télécoms, des nouveaux usages de télécommunications, et des technologies qui aujourd'hui émergent dans le domaine des nanotechnologies, ce qui va nous aider à réussir ces challenges.

M. Bois - Merci, Guy.

Je vais passer tout de suite la parole à **François de Charentenay**, qui représente ici un domaine différent, qui a une dynamique de progression extrêmement différente puisqu'il va nous parler du monde de l'automobile.

M. François de Charentenay - Merci.

Je suis ancien directeur de la recherche du groupe PSA, Peugeot-Citroën, que j'ai quitté en 2001. Maintenant, je suis consultant. J'ai donc pu vivre, au centre PSA, de 1986 à 2001, l'évolution extrêmement importante de l'électronique à l'intérieur d'une industrie automobile en la modifiant très profondément. C'est une sorte d'intégration et de mutation interne qui a été importante.

Je remercie donc M. le sénateur et les organisateurs d'avoir inclus l'industrie automobile dans ce colloque, ainsi que dans le rapport où elle est citée à plusieurs reprises.

J'aborderai cette question d'autant plus que l'industrie automobile ne fait pas partie des valeurs technologiques ni de la nouvelle économie, mais c'est une industrie qui a quand même absorbé une quantité d'électronique absolument considérable.

Je vais aborder cette question en trois parties :

1 - comment ont évolué les fonctions automobiles grâce et avec l'électronique ?

2 - la mutation - et je n'ai pas eu le temps de lire ce point dans le rapport - complète du fonctionnement de l'entreprise et en particulier de son processus de développement à cause des nouvelles technologies de calcul, d'imagerie et de simulation.

Je pense que c'est un secteur très important.

3 - reprendre un peu la discussion sur les chaînes de valeur dont on a parlé tout à l'heure pour voir comment l'automobile se situe.

Sur la première partie, je ne vais pas vous faire une liste - elle ne serait sûrement pas exhaustive - de l'ensemble des fonctions qui ont été :

- d'une part, les fonctions classiques qui ont été profondément modifiées.

- et d'autre part, les nouvelles fonctions qui sont arrivées.

Je crois qu'il est très important de dire qu'en majorité ce sont quand même des fonctions qui existaient. Le moteur existait, il tournait avec une magnéto, une bobine, et des choses comme cela, mais il existait. Il y avait même, au début du siècle, un autoradio Motorola aux Etats-Unis. Il y avait très peu d'électronique dedans, mais il tournait sans électronique !

Ensuite est arrivée l'électronique.

Et puis il y a des nouvelles fonctions qui sont apparues. Il faut partir, non pas des composants de la voiture, mais des fonctionnalités, car c'est cela le plus intéressant.

En fait, la voiture c'est d'abord un objet qui doit avoir un certain nombre de performances, d'agréments de conduite. C'est tout ce qui concerne le moteur. Le moteur a été, je pense, complètement révolutionné.

Je me souviens de mon arrivée chez PSA, en 1986 où, à ce moment-là, il y avait déjà un certain nombre d'électronique dans le moteur, mais on se posait déjà des questions en disant : quel sera le moteur du futur ? Il y avait, disons, un certain scepticisme sur des grandes évolutions.

Et puis, en dix ans, il y a eu une explosion de nouvelles solutions qui étaient quelquefois d'anciennes solutions mais revisitées grâce à l'électronique, qui n'avaient pas été

possibles pendant 20 ou 30 ans, comme les soupapes électromécaniques par exemple, et qui ont été revisités par l'électronique et qui se sont ou vont se développer. Toute cette partie est donc tout à fait importante.

Il y a la partie sécurité, qui était un des grands chantiers que l'électronique a pu faire évoluer considérablement. L'exemple de l'air bag est le plus illustratif, et c'est celui que je prendrai. L'air bag est intéressant. Il a un micro-système, qui est un micro-accéléromètre, qui permet, avec un calcul, de mesurer le niveau d'accélération pendant un certain temps, ce qui représente le seuil de déclenchement de l'air bag. Il mesure non seulement le seuil de déclenchement de l'air bag maintenant, mais aussi les modalités de déclenchement de l'air bag ou des autres air bags.

Cela devient de plus en plus complexe avec une sorte de sécurité, quasiment à la carte, et dans l'avenir, des progrès très importants seront faits notamment avec la détection des obstacles, et éventuellement des procédures d'aide à la conduite, pour éventuellement prendre la place du conducteur, au cas où il ne pourrait pas se sortir d'une situation accidentogène. Cette partie est aussi très importante.

Une autre fonctionnalité : le confort. Toute la partie « confort du véhicule » a été profondément modifiée par des petits équipements qui ne semblent pas de très haute technologie, comme un essuie-glace automatique ou la climatisation, mais qui contiennent de l'électronique et du logiciel pour tourner correctement.

Toutes ces fonctions classiques de l'automobile ont évolué de façon tout à fait considérable et vous en retrouvez un tableau, à la page 11 du rapport du sénateur Saunier.

Pourquoi ceci a-t-il pu se faire ? C'est parce qu'il existe un ensemble de systèmes avec la chaîne capteurs-processeurs-actionneurs avec, à l'intérieur, une boucle - puisque c'est un système contrôlé - automatique.

Je crois qu'il est important de dire qu'on a beaucoup parlé de logiciels, mais sur ces systèmes automatiques, il y a un logiciel de contrôle, qui est un secteur tout à fait important.

Comme l'a dit Monsieur Griot - il a prononcé le mot dans son introduction - : l'automobile est devenue un objet mécatronique, c'est-à-dire un objet qui est à base de mécanique, de thermique mais qui est contrôlé par des superviseurs, et des contrôleurs à base de microélectronique et à base de micro-systèmes.

Le développement des capteurs est donc un domaine extrêmement important. Il ne faut jamais se focaliser seulement sur la puce qui calcule. C'est toujours la tendance, on se précipite sur la puce qui calcule ! Or, quand on dit qu'il y a 20 % d'électronique dans un véhicule, ce n'est certainement pas 20 % de puce. La puce doit représenter 2 ou 3 % du coût, mais tout le reste concernera les micro-systèmes, les logiciels que l'on met, un certain nombre d'actionneurs. Toutes ces choses-là sont beaucoup plus larges qu'on ne le pense.

Pour vous donner une idée sur l'évolution, et pour vous donner un chiffre, le logiciel de la 607 est au niveau du logiciel que l'on trouvait sur l'Airbus A 310, au début des années 1980. C'est intéressant à savoir.

Cela fait un delta entre l'aéronautique, très haute technologie, et l'automobile, d'une vingtaine d'années de glissements et de mutations.

Ce qu'il faut savoir, c'est que ce delta est en rétrécissement extrêmement rapide. On va arriver probablement, dans certains cas, à voir les militaires revenir chez les constructeurs automobiles pour pouvoir reprendre un certain nombre de fonctions et en particulier, pour voir abaisser les coûts qui sont devenus beaucoup trop considérables.

Je voudrais terminer sur cette partie du produit automobile en disant que l'automobile, ce n'est pas seulement un objet isolé, c'est aussi un objet communicant. Il communique maintenant de plus en plus avec l'extérieur, non seulement il reçoit des messages par l'autoradio, mais il peut émettre un certain nombre de messages et toute cette interactivité prend une place considérable.

Pour tout ce qui est informations de trafic, guidages, alerte pour la sécurité, et je pense par exemple au fait d'avertir les gens qu'il y a une nappe de brouillard sur l'autoroute, c'est quelque chose d'intéressant, et cela va devenir possible par le développement de toutes ces technologies.

Je passe au deuxième point rapidement. Le processus de conception de l'industrie automobile a été complètement bouleversé en 15 ans, je ne parle pas seulement de la CAO, mais surtout des calculs et de la simulation qui permettent de construire un véhicule virtuel jusqu'à une étape assez avancée du développement avant de passer à un produit réel et à des prototypes. C'est une partie très importante, y compris la simulation et l'imagerie, toute l'imagerie, c'est-à-dire que cela consiste à plonger le futur client - cela concerne les gens du marketing qui l'utilisent beaucoup - dans l'utilisation d'un véhicule qui n'existe pas.

La troisième partie, sur la chaîne de la valeur, et c'est important de le dire, c'est que dans ce domaine de l'électronique, 75 % d'un véhicule est acheté chez un fournisseur et des équipementiers, et ces équipementiers font de la conception et de la fabrication. Eux-mêmes ont leur propre fournisseur de sous-systèmes ou de systèmes électroniques.

On a vu que dans l'amont il y avait cette désagrégation, comme il a été dit, mais dans l'aval il est évident que le constructeur n'a pas de rapports directs marchands avec le fournisseur d'électronique de base, de microélectronique mais il a des rapports importants, comme le soulignait Monsieur Griot, qui voit régulièrement des responsables de PSA. Il faut donc avoir une vision commune sur ce qui va se produire !

En résumé, le constructeur est responsable de l'architecture électronique de son système, il est responsable aussi de la fiabilité du système et en particulier de toutes les contraintes électromagnétiques qui sont des contraintes très fortes sur ces systèmes électroniques.

Voilà, Monsieur le Président et animateur, et excusez-moi d'avoir dépassé mon temps.

M. Bois - Oui, merci, et excusez-moi de vous avoir un peu coupé la parole. Je voudrais que tout le monde puisse s'exprimer et qu'ensuite on ait un débat avec la salle.

Le troisième intervenant est Francis **Lepage**, directeur du centre de recherches en automatique de Nancy.

On a parlé de mastodonte industriel, pour les télécoms et l'automobile. Je pense qu'il y a des domaines plus émergents. D'abord, qu'est-ce que la microélectronique peut apporter par exemple à l'environnement ?

M. Francis Lepage - Merci, Monsieur Bois.

Je vais commencer par me présenter rapidement. Je suis Francis Lepage. Je dirige le centre de recherches en automatique de Nancy, qui est une unité mixte de recherche du CNRS, du département STIC, de l'université Poincaré et de l'Institut national polytechnique de Lorraine.

Ce laboratoire anime un réseau thématique pluridisciplinaire mis en place par le département STIC du CNRS, ce qu'on appelle un RTP, STIC et environnement, qui montre la volonté du département STIC d'impliquer tout de suite les relations entre les nouvelles technologies et des applications telles que l'environnement.

Je commencerai par parler de l'implication des nanotechnologies dans certains produits, avec quelquefois des résultats sur l'environnement, qui sont quelquefois un objectif - on vient de parler de la voiture et là, il est clair qu'un certain nombre d'applications des nanotechnologies visent à réduire l'évolution au niveau d'un véhicule, mais quelquefois c'est tout simplement une conséquence, ce n'est pas un objectif.

Par exemple, dans le domaine du textile, nous avons rencontré des industriels qui actuellement souhaitent mettre des puces dans des draps, dans des chaussettes, dans différents produits de textile, mais souvent ils ont un impératif d'usage qui n'est pas immédiatement celui de l'environnement.

Tout de suite on voit derrière, en faisant une analyse de la valeur de ces nanotechnologies, dans les textiles, qu'on arrive à des conséquences sur l'environnement, en diminuant par exemple le nombre de lavages, en augmentant la durée d'usage du textile, etc.

On a parlé tout à l'heure du papier électronique, et je crois que ce n'est pas forcément l'environnement qui est visé en créant ce papier électronique. En tout cas, il est clair que cela aura des conséquences sur la quantité de papier, sur la quantité d'encre qui est utilisée, etc. C'est un premier point.

Un deuxième point sur lequel j'insisterai un peu plus, c'est sur les nanotechnologies dans l'observation de l'environnement.

Monsieur Carrère a parlé tout à l'heure des « smart-dust ». C'est une puce intelligente qu'on appelle en fait sous différents noms, dont celui des réseaux de capteurs. Ce sont des petites puces que l'on va disséminer dans la nature, qui ont la capacité de communiquer entre elles et qui vont nous fournir une observation en fait de leur environnement proche. Si on en met beaucoup, on peut imaginer prendre des exemples précis qu'on envisage actuellement, par exemple pour la détection d'incendie de forêts.

On sème, avec un avion, ces petites puces sur les forêts, chaque petite puce est équipée d'un tout petit capteur détecteur de température, et quand ils voient une élévation de température au-dessus d'un certain seuil autour de lui, mais aussi dans son environnement extrêmement immédiat, de quelques millimètres autour de lui, il le signale à la puce ou aux puces qui sont autour de lui, et comme cela on arrive jusqu'au système d'observation.

C'est là la détection du défaut, mais pour nous, automaticiens qui créons des modèles, en fait, cela nous sert beaucoup à enrichir notre connaissance des modèles. Actuellement, on a des modèles sur des inondations de certains territoires ou encore des modèles sur des pollutions de l'air qui sont relativement imprécis parce qu'il existe des phénomènes qui sont encore mal compris. En fait, si on arrivait à avoir des mesures beaucoup plus fines, on arriverait à avoir des modèles beaucoup plus fiables et ces modèles, bien sûr, ce qui est important, c'est d'en faire un usage.

Le but, c'est de faire de la prédiction. Il est clair que les catastrophes dont nous sommes victimes en ce moment, puisque la nature nous arrose abondamment, pourraient être certainement un peu mieux prévues.

Je voudrais terminer - puisque le fil conducteur était le temps - en disant que dans le domaine de l'environnement, en général, on n'a pas de périodes courtes, ce sont plutôt des réflexions à long terme.

Je crois que malheureusement ce sont les catastrophes qui peuvent, elles, être un moteur, un déclencheur pour raccourcir la chaîne du temps dans les applications des nanotechnologies dans l'environnement.

Je crois qu'il faut, à ce moment-là, réagir très vite et être capables de fournir les éléments de réponse parce qu'on sait bien aussi, et vous le savez bien, Monsieur le Sénateur, parce que cela arrive souvent au niveau politique, qu'une fois la catastrophe passée, il reste un phénomène de mémoire et c'est la raison pour laquelle il faut réagir très vite.

Voilà donc la remarque que je voulais faire sur la chaîne du temps.

M. Bois - Merci d'avoir été très bref.

On va passer peut-être à une deuxième partie d'exposé. Jusqu'à maintenant on regardait les secteurs. Il y a des thématiques qui sont un peu transverses aux différents secteurs.

Je vais donc demander à Guy **Labrunie** de nous dire comment les start-up, comment la création d'entreprise peut aider à mieux maîtriser le temps, réduire les temps de cycle, de mise des applications sur le marché et d'illustrer cela avec un secteur qu'il connaît bien, je crois, qu'on n'a pas encore abordé, qui est le domaine de la santé.

M. Guy Labrunie - Merci.

Je m'appelle Guy Labrunie, j'ai passé de nombreuses années au LETI, notamment comme responsable dans les domaines de l'électronique, puis de la microtechnologie et après un passage dans l'industrie de la santé chez Mérieux, pendant quelques années, je suis maintenant responsable de CEA Valorisation qui est une filiale du CEA, qui a pour objectif de faciliter la création de nouvelles sociétés en investissant, en amorçage, dans ces sociétés.

Je souhaiterais revenir un petit peu sur le domaine des microtechnologies et dire quelques mots, en enchaînant sur ce qui a été dit tout à l'heure par les représentants des grosses industries sur le potentiel et sur les limitations des jeunes pousses, comme on dit en français et en canadien, dans ce domaine.

Je crois qu'il est bien connu que les microtechnologies représentent un potentiel dont le volume financier est de l'ordre de quelques milliards de dollars, selon la façon dont on compte. Cela est représenté encore aujourd'hui en majorité par quelques gros marchés de très grands volumes, qui sont occupés par quelques gros industriels : ST, Motorola, IBM, ou Bosch, pour n'en citer que quelques-uns.

Ces marchés sont des marchés qui sont très segmentés, à la fois en domaines d'application, en types de produits, en technologie de fabrication, en technologie de montage, en technologie d'interconnexion, parce qu'on a affaire à une très grande variété de grandeurs à mesurer et de grandeurs avec lesquelles on souhaite interfacer.

Par conséquent, c'est un domaine qui est déjà assez naturellement à la portée des start-up dans la mesure où ce sont notamment des sociétés qui sont en principe dévolues avec une grande souplesse, avec une grande agilité, qui mettent en évidence de nouveaux secteurs industriels et commerciaux, et qui dégagent de l'intérêt de ces secteurs.

Je n'en voudrais pour preuve que, dans la période 2000-2002, la réduction des investissements en amorçage et en premier tour, comme on dit, dans le jargon professionnel, s'est faite par un facteur 20 à 30 pour le secteur européen.

Les microtechnologies ont vu leur part non seulement maintenue, mais légèrement augmentée, aux alentours de 20 %. Nous sommes à la fin d'un cycle probablement qui concerne les microtechnologies, qui a été un cycle avec plusieurs parties, mais dont la dernière partie, sur les 7 ou 8 dernières années, a été très importante.

Nous n'avons pas encore abordé, à quelques rares exceptions près, le cycle des nanotechnologies qui est probablement un cycle qui va démarrer à l'occasion d'une reprise que nous espérons tous prochaine.

Pourquoi est-ce que les jeunes pousses se sont bien placées ?

C'est parce que dans ces domaines, en dehors du risque représenté par la grande parcellisation des marchés, par une très grande variété de technologies, les cycles de valorisation sont relativement longs, probablement à cause des volumes dont je viens de

parler et par conséquent des marges que l'on peut dégager, qui ne viennent que très progressivement.

Aujourd'hui, peut-être encore plus qu'avant, dégager du cash-flow positif prend au moins 4-5 ans, quand les choses se passent bien et d'autre part, comme cela a été dit notamment au cours de l'introduction, on se trouve aussi dans une situation où on progresse par îlot, par pôle de compétences.

Le facteur important dans le développement de ces compétences, c'est la proximité de plates-formes de compétences. On a beaucoup parlé du LETI pour la France mais on pourrait aussi parler des instituts Fraunhofer pour l'Allemagne, ainsi que d'autres pôles de compétences européens.

Il existe un deuxième facteur de proximité importante : c'est la présence d'intégrateurs, leaders mondiaux dans leur domaine.

On a parlé tout à l'heure de l'automobile et de la téléphonie, mais on pourrait parler également des télécommunications bien qu'elles soient aujourd'hui en difficulté.

Enfin un autre facteur important : ce sont les expertises traditionnelles locales. On a cité le pôle de Besançon. Je crois que la micromécanique est un des facteurs, par exemple en Suisse ou dans l'est de la France, qui permet de favoriser ces développements. Ces facteurs représentent également des difficultés.

Première difficulté pour les investisseurs : il y a peu d'expériences réussies en matière de retour sur investissement malgré, encore une fois, les promesses.

Deuxième difficulté : il n'y a pas de main stream, contrairement à la microélectronique. On a beaucoup de technologies lourdes, souvent peu compatibles entre elles. On a des difficultés à produire avec rendement et qualité aujourd'hui encore.

D'autre part, on a une certaine difficulté à intégrer la chaîne de la valeur. On vient de parler de parcellisation ou de morcellement de cette chaîne et, dans le domaine des microtechnologies, intégrer la chaîne depuis la conception, la fabrication et le test, simplement au niveau des composants, est déjà quelque chose de très ambitieux !

La plupart des jeunes pousses n'ont pas une telle capacité !

Je rebondis sur les sciences de la vie parce que je crois que ce domaine de la santé est un domaine où, au fond, on trouve les exemples les plus marquants par rapport à tout ce que je viens de dire.

Les biopuces - nous n'en avons pas encore parlé ce matin -, disons les microsystèmes d'analyses sur des puces, que ce soit des puces en silicium ou des puces en plastique, sont des éléments essentiels de la recherche biomoléculaire, de la recherche de nouvelles molécules dans le domaine thérapeutique.

Les microsystemes, dont on n'a pas encore parlé, sont des microsystemes d'analyse et quelquefois même d'injection ou de mise en oeuvre de therapie qui permettent vraiment d'ouvrir la voie à la therapie ambulatoire.

Ceci est vraiment très porteur pour un avenir proche et moyen terme mais néanmoins, cela recouvre un très large spectre de compétences et là, de nouveau, le problème du retour sur investissement est très long, la compétition est forte, l'issue est incertaine.

Je suis convaincu que c'est dans ces domaines, en particulier, que les développements des besoins et la reprise du cycle économique devraient d'abord nous profiter.

M. Bois - Merci.

Donc à l'autre bout de la chaîne et à l'autre bout de la table, une question qui est peut-être finalement la plus critique aujourd'hui en termes de maîtrise des montées en volume, maîtrise des marchés, c'est : comment ces nouvelles technologies, ces nouvelles applications sont-elles acceptées par le client final ?

On a parlé, par exemple, de puces dans le corps humain. Comment le client, l'utilisateur va-t-il accepter cela, et comment peut-on diminuer les temps d'apprentissage des nouvelles technologies par les utilisateurs ?

C'est une question pour Dominique **Boullier**.

M. Dominique Boullier - Bonjour. Je suis professeur à l'université de technologie de Compiègne, je suis anthropologue, par ailleurs chargé de mission au Département STIC, où je pilote un réseau thématique pluridisciplinaire : acceptabilité, ergonomie et usage des TIC.

Je ne vais pas en fin de compte parler vraiment des questions de stratégie, de construction des marchés ou de construction des demandes qui pourraient être plus directement en phase avec ce que les interlocuteurs précédents ont évoqué, mais cela dit, c'est ce qu'on fait le plus souvent dans les laboratoires des usages qu'on est en train de monter dans toute la France, et particulièrement dans celui que j'anime, à la Cité des sciences de la Villette, qui est un laboratoire des usages en technologie d'informations numériques.

Il y en a d'ailleurs un autre à Grenoble, qui s'intéresse plus particulièrement aux objets communicants ou ubiques, comme ils disent.

Il existe des connexions, à mon avis, pour disons associer toutes les sciences humaines, dans leur diversité, à ce travail d'insertion de l'usager dans la boucle de conception qui devient effectivement un facteur important de réduction de ces temps que vous évoquiez.

Cela dit, il me semble intéressant, à propos des nanotechnologies, d'identifier quelques propriétés anthropologiques qui sont plus génériques et qui posent de vrais problèmes d'appropriation parce que - et je me centrerai principalement là-dessus - l'infiniment petit qui a été évoqué aboutit finalement à poser des questions sur l'invisibilité des techniques.

Cela touche à quelque chose qui est profondément ancré dans toute société, c'est-à-dire que nous avons des sociétés qui fonctionnent toujours sur des régimes de visibilité acceptables ou stables, où on a pris finalement un certain nombre d'habitudes pour traiter de la frontière du visible et de l'invisible.

Nous avons, les uns et les autres, des schémas sur les mondes d'en dessus, d'en dessous, les forces qui agissent, les mondes d'avant, les ancêtres, etc ; les sciences elles-mêmes produisent effectivement du visible mais ce sont elles seulement qui peuvent accéder à cet invisible de ce point de vue-là.

Petit à petit, les uns et les autres, dans toutes les sociétés, nous acceptons de vivre avec ce que nous ne connaissons pas, avec des choses qu'on ne peut pas maîtriser et éventuellement qu'on ne peut pas voir.

Cela dit, ce n'est quand même pas simple. Cela ne se manipule pas comme cela.

On a vu que les grands développements industriels ont plutôt généré de grandes visibilités. Ce sont les grandes infrastructures, les machines, même les machines quotidiennes éventuellement, et on pouvait prétendre dire que cette grande visibilité allait de pair avec une maîtrise, même si elle était spécialisée, plus importante.

Il semble qu'on atteigne là une certaine limite actuellement dans nos évolutions techniques, et ce, de deux points de vue :

- d'un côté, on parle des systèmes complexes qui, pour des contraintes de sécurité, ou pour les propriétés sur lesquelles ils travaillent - et je pense notamment à la radioactivité - finissent nécessairement par produire de l'invisibilité même s'ils sont massifs dans le paysage quelquefois.

On voit bien les problèmes que cela pose à travers le nucléaire, par exemple, et les enjeux de confiance qui sont sans doute l'un des enjeux essentiels dans cette affaire.

- deuxième volet, pour modifier ce régime d'invisibilité ou de visibilité, ce sont effectivement les systèmes numériques eux-mêmes qui, à travers leur puissance de calcul, deviennent d'une certaine façon des nouvelles forces de l'invisible.

Vous avez tous entendu partout cette ritournelle de « *c'est la faute à l'informatique* ». L'informatique telle qu'elle est actuellement, je ne parle pas de celle qui vient.

On attribue des fautes, et on a donc nécessairement là un enjeu de responsabilité. Confiance et responsabilité sont des enjeux qui sont portés au coeur de la façon dont les

systèmes techniques eux-mêmes sont conçus. On ne le manipule pas, on ne le modifie pas aussi facilement que cela.

Je pense que le cas des OGM, effectivement, doit nous amener à réfléchir. Dans un livre, il y a trois ans, j'avais effectivement parlé des organismes numériquement modifiés. On peut souhaiter effectivement qu'il n'y ait pas ce type de controverse que l'on connaît actuellement sur les OGM. Cela dit, on peut se demander quand même s'il n'en faudrait pas un petit peu parce que, précisément, cela risque de nous revenir dans la figure sans qu'on s'y attende !

C'est donc ce problème que je voudrais évoquer autour de trois points rapidement, posés par l'invisibilité : d'abord, un problème ontologique. Il me semble que cette invisibilité finit par remettre en cause l'extériorité des techniques. On avait des frontières établies, des ontologies ordinaires bien pratiques, avec la nature, des objets, des êtres vivants, des humains, et des forces invisibles aussi, et on voit bien que dès que l'on a affaire à de l'invisible, cela devient difficile à gérer. Cela a été le cas notamment dans la biologie.

Dans toutes les campagnes hygiénistes, il existe des travaux en anthropologie de la diffusion des techniques. Rogers, dont vous évoquiez les courbes, en a fait un de ses thèmes favoris. On voyait qu'il était très difficile de faire comprendre, quand on fait une campagne d'éducation sanitaire au Pérou, pourquoi des êtres si petits, les microbes, seraient si puissants et pourquoi s'ils sont si puissants, on ne les verrait pas. Vous avez des boucles comme cela qui, sur le plan cognitif, ne sont pas du tout évidentes à faire admettre et qui modifient considérablement les répartitions des êtres et les statuts dans leur façon traditionnelle de voir le monde.

Donc si on rend invisible, on déstabilise ces cadres cognitifs, on déstabilise ces frontières et ces statuts.

Il y a trois exemples qui m'intéressent dans les nanotechnologies, qui sont vraiment cruciaux et vraiment liés au grand public : ce sont moins les questions liées à l'ordinateur invisible, comme on le dit, que les matériaux intelligents, c'est-à-dire tous ces couplages des nanotechnologies et de la physique, chimie des matériaux qui vont, dans l'habitat par exemple, modifier des possibilités, des propriétés thermiques, d'acceptation de la lumière, de résistance ; les vêtements qui ont été évoqués, mais aussi bien entendu les biopuces, que ce soit pour le diagnostic, l'injection ou la stimulation.

Cela représente finalement des prothèses. On pourrait se dire que tout cela est déjà bien établi. On a une habitude de vivre avec des prothèses, et cette frontière-là n'est pas aussi ferme qu'on peut l'imaginer mais là, ces prothèses deviennent actives, programmables, invisibles.

Dans les trois cas, dans les trois exemples que je prenais, on a finalement une remise en cause des frontières humains/objets en profondeur, et qui peut, potentiellement, être menaçante.

- une invisibilité qui génère un problème opératoire. En fait, l'extériorité avait un avantage puisqu'elle générait des prises sur le monde, des prises pour orienter l'action. On

appelle cela aussi des « affordances » dans certaines théories. Effectivement, l'image même du système vous permettait d'anticiper sur ce que vous alliez pouvoir en faire.

Ces deux éléments sont en fait des conditions d'appropriation pour se situer dans le monde et agir. De fait, avec les nanotechnologies, dans tous les cas, nous serons bien obligés de produire des formes d'interface pour accéder à l'opération même, permise par ces nanotechnologies, sauf à dire qu'effectivement on n'a plus rien à en faire, mais qui les pilote ? On voit, à ce moment-là, d'autres questions qui émergent ! La question de l'accès à cette intelligence restera posée.

Dernier point : le problème de l'invisibilité génère un problème politique puisque finalement - et cela a été évoqué à plusieurs reprises - l'intelligence de ces nanotechnologies, je parle de celles qui sont diffuses, elle est distribuée, elle est en réseau, mais bien entendu cela génère l'hypothèse spontanée pour tout un chacun qu'il y a quand même quelqu'un qui, dans l'affaire, doit être au centre ou doit être capable de piloter tout cela.

Qui pilote, au nom de quels principes et pour quels intérêts ? Qui est-ce qui sait ? Est-ce que vraiment d'ailleurs ils savent ce qu'ils font ?

Ensuite - et on l'a vu d'ailleurs à propos de la vidéosurveillance, puisque vous avez vu tous les enjeux autour de cela, tous les enjeux autour de la traçabilité généralisée, à travers les réseaux puisqu'on récupère toutes les données sur ce que l'on fait, mais aussi dans les démarches qualité dans les entreprises - on a véritablement un enjeu de pouvoir, un enjeu de démocratie, un enjeu de contrôle qui peut effectivement être menaçant.

Pour conclure, vous allez me dire que cette affaire-là est assez noire et inquiétante. Est-ce qu'on ne surfe pas là sur des peurs irrationnelles, d'apocalypse ? Effectivement, l'apocalypse, c'est de révéler ce qui était caché et le problème est de savoir jusqu'où on peut cacher les choses avant qu'elles ne se révèlent malgré vous et qui, en l'occurrence, peut faire ce travail-là ?

On est en fait dans des questions de croyances qui sont tout à fait importantes, avec lesquelles on n'a pas beaucoup d'outils opératoires immédiats.

Je pense, pour conclure, qu'il y a effectivement deux niveaux de traitement qui peuvent être intéressants à prendre en compte dès maintenant :

- au niveau technico-commercial, il y a des choix techniques qui doivent permettre, dans la conception même des systèmes qui mobilisent ces nanotechnologies, de redonner des prises et qui, paradoxalement, vont nous obliger à redonner de la visibilité, d'une façon ou d'une autre, au fait par exemple qu'il existe des matériaux avec de la nanotechnologie associée.

- de plus, on a aussi la possibilité de positionner cette technologie et les applications qui en dérivent vers une explicitation et des garanties vis-à-vis du public qui auront un enjeu.

On est plus dans des campagnes d'éducation, soit de formation, soit de marketing.

On a en même temps des opérations d'intermédiation, c'est-à-dire que ces technologies-là génèrent aussi des déplacements de services. C'est un des thèmes qui nous intéressent aussi dans les laboratoires d'usage, qui feront que cela ne sera pas forcément les mêmes producteurs, ceux qui vendent les contenus.

Il y a donc des enjeux autour de ce déplacement avec des rôles humains à redéfinir.

Deuxième niveau de traitement : c'est le niveau juridico-politique. C'est la commission « informatique et libertés » éventuellement, les débats publics, et pourquoi pas, peut-être qu'il faut précisément prendre le temps de se poser ces questions-là, pour éviter des syndromes OGM qui seront absolument très ennuyeux pour l'industrie par la suite.

Finalement, pour terminer, ne suis-je pas en train de vous donner un programme de ralentissement général de l'innovation ? Sans doute, pour une part, mais le problème c'est qu'on risque effectivement, à ne pas en parler avant, d'avoir des blocages durables de ce point de vue-là, et pour reprendre la métaphore de mon directeur, quand il s'agit de grimper, on peut choisir de grimper sans assurance, mais on tombe quand même nettement plus bas !

(Applaudissements)

M. Bois - Merci, Dominique Boullier, car ce sont des sujets que l'on n'aborde pas souvent dans le domaine de la microélectronique, même s'ils sont pourtant au coeur des problématiques globales de cette microélectronique et de ses applications.

On a maintenant un bon quart d'heure, disons vingt minutes, pour le débat avec la salle.

Je vous laisse la parole.

M. Claude Saunier, sénateur - Je réagis d'abord pour vous dire que ces échanges de ce matin m'ont tout à fait conforté dans un certain nombre de découvertes et d'informations, que pour la plupart d'entre vous, vous nous avez données dans le domaine de la technologie.

Y aura-t-il rupture ? Non, il y aura continuité. Y aura-t-il accélération ? Oui, il y aura accélération.

On a beaucoup parlé de la filière silicium et pas des autres filières, et je pense notamment aux polymères ! Je veux dire par là, que ce ne sera pas de plus en plus d'intelligence dans une puce, mais ce seront des puces à très bon marché. Dans la vie économique, et dans notre vie quotidienne, dans l'étiquetage, c'est quelque chose de tout à fait nouveau. C'est une piste, entre autres, qu'on devra aborder.

Deuxième élément de réflexion : je crois qu'il faudra que l'on fasse passer le message auprès des décideurs, auprès de la société, que derrière, c'est une réponse à un certain nombre de grandes préoccupations économiques.

Je pense en particulier au gros débat que nous avons, et que nous aurons sur la santé. Ce que la technique nous propose sera une réponse et aussi une question, autant dans le traitement de nos maladies que dans le diagnostic, par rapport à notre temps de présence à l'hôpital, par rapport à notre accès aux soins de meilleure qualité, y compris au domicile.

Derrière tout cela, il y a bien entendu des perspectives de maîtrise des dépenses de santé. C'est une perspective supplémentaire et cela a été évoqué !

Je crois qu'il y a là un travail d'explication, de conviction pour que ce soit peut-être mieux accepté par notre société.

Ma dernière réflexion porte sur le temps. Cela a été évoqué à plusieurs reprises. Nous vivons un temps difficile, vous vivez un temps difficile, Mesdames et Messieurs, c'est le temps d'application de l'UMTS, concrètement, avec tous les effets un peu rudes que l'on connaît.

La Bourse est une chose mais il y a aussi le travail. Je vis cela dans une région de l'ouest de la France où chaque jour, chaque semaine, nous voyons des centaines d'emplois disparaître parce qu'effectivement le calendrier théorique des nouvelles progressions d'application n'est pas au rendez-vous.

Ce qui me passionne au-delà de ce que vous avez dit, et qui est extrêmement passionnant, c'est peut-être la dernière intervention, celle de Monsieur Boullier (avec celle de Monsieur Jutand) qui devrait nous donner envie d'aller un peu plus loin.

Je crois que nous ne devons pas limiter nos débats entre techniciens, quelle que soit la qualité de l'approche. Que des économistes, des financiers interviennent, qu'il y ait des business plans, très bien, mais au fond, l'essentiel, c'est la confrontation entre la science, la technique, les machines et la société, les individus, les hommes et les femmes.

Il faudra là que nous apprenions - et c'est d'ailleurs la mission qui est la vôtre, Monsieur le directeur du STIC - à introduire davantage de connaissances sociologiques, davantage de connaissances psychologiques.

Je le dis très clairement : par rapport à ce qui nous freine dans l'UMTS, a-t-on maîtrisé l'Internet ? Je ne crois pas et loin s'en faut ! A-t-on vraiment besoin encore aujourd'hui d'avoir accès à une foule d'informations à travers un portable ? Ce sont des questions comme celles-là qui nous sont posées, et puis des questions beaucoup plus graves, beaucoup plus rudes.

Je partage tout à fait ce qu'a dit Monsieur Boullier, sur la façon calamiteuse dont nous avons abordé le débat, sans le faire, sur les OGM. Cela me rappelle la façon aussi calamiteuse et irrationnelle dont nous abordons et continuer à aborder le débat sur le nucléaire.

Mais il y a quand même des espoirs. On nous a dit qu'il était possible d'intégrer, dans nos corps, des puces. Moi je vous propose de mettre en place une équipe qui permettra d'intégrer un peu d'intelligence dans la tête des décideurs et éventuellement des parlementaires. Ce ne sera pas mal !

(Rires dans la salle).

M. Bois - Des questions ou des remarques ?

M. Hervé Pero - Bonjour. Je suis Hervé Pero, je suis chef d'unité à la DG recherche à la Commission européenne.

On a peu parlé du coût de la recherche. On a parlé du vertige technologique, de l'évolution vers l'infiniment petit, mais on a moins parlé de l'évolution des coûts de la recherche.

Dans cette perspective-là, est-ce qu'on peut continuer à parler d'une recherche purement nationale, ou est-ce qu'il y a besoin de mutualiser et de travailler, comme c'est fait d'ailleurs par certains industriels, en alliance et au niveau européen, sinon international ? Peut-on aborder ce point ?

M. Claude Saunier, sénateur - Nous allons examiner, cet après-midi, les conditions de la réussite et le volontarisme collectif. On aura des échanges là-dessus.

M. Laurent Gouzènes (STMicroelectronics) - Un point sur l'introduction des nouvelles technologies et des nouveaux usages.

Le point concerne en fait l'utilité ou l'intervention des Etats dans la création des nouvelles technologies, ou plutôt dans leur usage..., pas dans la création de la technologie elle-même, qui permet l'usage, mais plutôt au niveau de l'introduction du droit public.

Lorsqu'on regarde Internet, cela a démarré par un réseau national militaire qui a fini par s'ouvrir au grand public avec le temps et quelques années.

Si on regarde la télévision, on s'aperçoit en fait que la télévision a fonctionné à partir du moment où on a pu définir un système de normes et de standards qui permet d'ouvrir un marché avec la livraison d'images qui sont compatibles entre les producteurs, ceux qui transportent l'image, ceux qui regardent la télévision, etc. C'est le même système et c'est compatible tout au long de la chaîne de traitement de l'information.

Pour en revenir sur l'image, parce que c'est illustratif d'autres secteurs également, on voit que l'image d'aujourd'hui est exactement la même depuis 40 ans, c'est-à-dire que la définition de l'image n'a pas bougé.

On attend avec impatience les progrès de la télévision haute définition qui est en train de démarrer aux Etats-Unis et au Japon. C'est un exemple de cet impact que peuvent avoir les Etats. L'impact très réussi, on le trouve dans le GSM. L'UMTS a été une réussite mais ce qui n'a pas été réussi, c'est le système des enchères ! La normalisation de l'UMTS en elle-même est une réussite.

Je voulais donc dire que les Etats ont un impact extrêmement grand sur l'introduction des nouveaux produits et des nouveaux services au niveau des usagers.

M. Bois - Merci.

D'autres questions ou commentaires ?

M. Jean Fourmentin-Guilbert - Je suis président d'une association qui se donne comme objectif le rayonnement de la biologie.

Je voudrais insister sur les paroles de Monsieur le Sénateur, qui a parlé des applications à la santé et au biomédical parce qu'on en a vraiment peu parlé.

Personnellement, je considère que ce domaine sera le moteur, avec l'électronique, des nanotechnologies. Non seulement les besoins au niveau de la santé sont de plus en plus importants, mais le vieillissement de la population entraîne une demande croissante. Le point le plus important, c'est que toutes les nouvelles technologies du biomédical, la transgénèse, les opérations que l'on peut mener sur les cellules, que nous avons réalisées sur les animaux et sur les plantes de manière tout à fait artisanale, on ne pourra pas les appliquer à l'homme si on n'a pas d'outils nouveaux, si on n'a pas des procédés nouveaux que seules les nanotechnologies vont pouvoir nous donner.

Voilà simplement le point sur lequel je voulais insister.

M. Bois - Francis Jutand avait demandé la parole.

M. Jutand - Je voudrais tout d'abord remercier le Sénateur Saunier et son équipe, parce que je pense que les politiques disent qu'il faudrait les aider, mais ils nous situent bien et nous aident à prendre du recul - parce qu'on a aussi la tête dans le guidon - sur tous les développements scientifiques et technologiques ainsi que sur les impacts qu'ils ont.

Je crois qu'il ne faut surtout pas opposer les choses. On a besoin de s'investir à fond dans la science fondamentale qui nous permet de progresser au niveau de tous les développements technologiques, qui sont des facteurs très importants pour le développement de cette société de l'information, de la communication et de la connaissance.

Cela a aussi des effets dans beaucoup d'autres domaines. On parlait tout à l'heure de l'environnement. On a effectivement aussi développé un réseau qui s'appelle « STIC et Santé » dans lequel on réunit des gens d'horizons très variés puisque cela va des nanotechnologies jusqu'à des gens qui se préoccupent effectivement de l'information médicale, de son extraction, de la santé à domicile, etc. On a, je pense, des éléments puissants.

En même temps, l'intervention de Dominique Boullier nous montre bien qu'il faut réintroduire dans chaque rupture fondamentale toutes les dimensions du savoir et de la connaissance.

Si on peut effectivement avoir des points de vue importants et si on peut les traduire concrètement, parce que ce qui va s'ouvrir à la Vilette, à Grenoble, est très concret, c'est aussi parce qu'on a notamment au CNRS et à l'université, des chercheurs en sciences humaines et sociales qui labourent depuis très longtemps tous ces terrains, qui observent et qui nous réinjectent les problèmes au bon moment.

Ceci est capital pour l'ensemble parce que si jamais, effectivement, on ralentit le flux d'utilisation de ce ship, c'est toute la filière qui va s'écrouler. On perçoit par là toute l'interdépendance... de temps en temps, on a tendance à dire qu'on a comme cela un courant ascendant, on le prend, on y va, on fonce et il faut le faire aussi.

Il faut voir que toutes les grandes ruptures sociétales nous obligent à mettre toute notre intelligence au niveau recherche, au niveau industriel. J'insiste sur le rôle des politiques. Vous n'êtes pas seulement importants pour nous donner des moyens, car c'est vous qui nous légitimez, nous donnez les moyens ! Vous êtes importants aussi pour agir sur la combinaison totale de la science, de la société et de l'économie.

M. Claude Saunier, sénateur - Très juste.

Simplement un mot pour vous répondre, Monsieur Jutand, et répondre à l'intervenant précédent, l'Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques vient de missionner deux de nos collègues - dont l'un est dans la salle, M. Lorrain, ainsi que Monsieur Raoul - pour donner un prolongement à la première réflexion que nous venons d'avoir : microtechnologies, nanotechnologies, biologie et santé.

Là, les politiques, s'ils peuvent éclairer le chemin, essaient de jouer leur rôle.

M. Martinez - Je voudrais faire un commentaire : je pense qu'on n'a pas suffisamment insisté sur le fait que lorsqu'on veut se lancer dans les nanotechnologies, il y a la matière grise mais il y a aussi l'équipement.

L'équipement devient de plus en plus sophistiqué, nous l'avons dit, et souvent, ce qui se passe, c'est que dans nos laboratoires, on voit apparaître des équipementiers étrangers qui viennent nous proposer leurs équipements.

Nous travaillons sur ces équipements, tout en leur donnant un peu de valeur ajoutée.

Je pense que le moment serait venu, avec le réseau des centrales technologiques, avec l'avènement des nanotechnologies qui vont prendre de plus en plus d'essor, de pousser les feux sur les équipementiers français, que ce soit au niveau de la fabrication comme au

niveau du nettoyage. La propreté des nano-objets à fabriquer est quelque chose de très important.

J'en veux pour preuve le fait qu'il existe des méthodes qui sont utilisées dans l'industrie pharmaceutique, qui actuellement viennent dans l'industrie de la microélectronique et de la nanoélectronique.

Monsieur le Sénateur, ce commentaire, j'aimerais bien que vous en preniez note, il faut que cela rejaillisse sur les laboratoires bien entendu !

M. Claude Saunier, sénateur - C'est déjà fait, Monsieur Martinez. J'y répondrai.

Avant, je vais donner la parole au Président d'un groupement d'équipements, JEMI.

M. Gaël Schmidt - Je suis le Président de JEMI France. Merci, Augustin, de nous l'amener sur un plateau.

En fait je comptais dire deux mots, mais plutôt dans l'après-midi parce que la thématique me semblait appropriée. Il existe en France une association type 1901 qui regroupe à peu près une cinquantaine de fabricants d'équipements et également de matériaux et de services pour l'industrie de la microélectronique et nanoélectronique, puisque pour nous, c'est le même périmètre.

Il est vrai qu'on a parlé beaucoup de nouvelles technologies, de nouveaux moyens mais tout cela n'est possible que grâce à des équipements bien évidemment ou des matériaux qui permettent d'avancer, et donc de produire de nouveaux dispositifs, toujours plus performants.

Ces équipements sont dominés notamment par les Américains, entre autres. Donc non seulement il y a besoin de nouveaux équipements pour construire de nouveaux dispositifs mais il existe aussi une notion de stratégie très importante. En effet, si on doit toujours attendre les intervenants français pour acheter des équipements qui ne seront pas forcément la dernière génération outre-Atlantique ou au Japon, non seulement on ne sera pas à la pointe de la recherche mais on sera également toujours relativement dépendants, d'où l'importance d'avoir une industrie des équipements forte avec un grand pouvoir de recherche, de façon à donner à nos industriels français ou européens des outils tout à fait adaptés pour pouvoir continuer d'être à la pointe dans ce domaine.

M. Claude Saunier, sénateur - Je réponds à Monsieur Martinez parce que c'est l'une des neuf propositions dont je vous parlerai en fin de colloque, mais j'avais bien noté ce que Monsieur Schmidt m'avait dit.

J'avais bien noté aussi quelques difficultés que j'avais rencontrées dans la visite des laboratoires dans deux domaines :

- j'ai le souvenir d'une microsalle blanche qui était équipée avec du matériel allemand, mis à disposition d'une équipe de chercheurs, rodé et mis au point par cette équipe de chercheurs, et évidemment le savoir-faire était au propriétaire du matériel, c'est-à-dire en l'occurrence, une firme allemande.

- l'autre exemple au moins aussi grave : on sait que dans le secteur industriel qui est le vôtre, tout ce qui relève de la conception assistée par ordinateur est quelque chose de véritablement déterminant. Or c'est un marché de logiciel qui est complètement dépendant des Etats-Unis, en l'occurrence, d'une firme ou deux, et j'ai vu un laboratoire qui n'avait pas les moyens de se payer ou d'acheter la licence, qui avait obtenu la mise à disposition de la licence, à condition de continuer à travailler sur le produit, à condition d'enrichir la base de données et par conséquent, nous avons continué à payer des chercheurs français pour enrichir un produit vendu par les Américains.

C'est donc une disposition très concrète que je propose au Ministre. Je crois qu'il faudra que nous réfléchissions aux conditions concrètes de mise à disposition et des logiciels et des matériels de nos centres de recherches.

M. Bois - Une question ?

M. Pascal Chenais - Bonjour, je suis Pascal Chenais, je suis le Directeur général de Cadence France. Vous pouvez l'entendre, je suis français, je suis européen, et si je participe à ces colloques, c'est parce que je suis intimement convaincu d'un certain nombre de choses et que je souhaite participer au développement d'un certain nombre de sociétés dans notre pays. A ce titre-là, je le reconnais.

On souhaite aussi s'inscrire, de façon plus intime, dans le développement de sociétés en tant que jeunes pousses, et participer de la façon la plus étroite à un certain nombre d'universités.

On ne connaît pas tout le monde. Ceci dit, et certains présents dans la salle peuvent en témoigner, on essaie d'être le plus proche possible d'eux, que ce soit au niveau universitaire, que ce soit au niveau du développement des PME-PMI et parfois, de manière extrêmement désintéressée.

C'est ce message que nous aimerions faire passer. Même si on vient d'une industrie américaine, on souhaite également participer et soutenir le développement de la recherche mais aussi le développement des sociétés quelles qu'elles soient pour pousser la mise en oeuvre d'un certain nombre d'idées qui viennent d'Europe, et notamment de France.

Il y a quand même un certain nombre de choses qui viennent de notre pays : le spatial, le train, l'automobile, etc. Si on peut participer à ce moteur, il y a certaines personnes ici qui peuvent témoigner qu'on le fait avec grand plaisir ! Le tout est d'avoir assez de bras pour couvrir tout le monde.

M. Bernard Faure - J'avais un certain nombre de questions à poser, compte tenu de la qualité des exposés qui ont été faits.

J'en retiendrai peut-être juste une : compte tenu de la diversité des applications que nous allons développer dans tous les secteurs d'activités, il me semble que, vu des pouvoirs publics, un des problèmes qui risque de se poser est de déterminer - pour éviter un saupoudrage de l'ensemble des aides publiques - quelles seront les technologies qu'il faudra retenir, je parle des technologies clés ?

Il me semble qu'à ce niveau-là, cela impliquera du côté des pouvoirs publics une démarche d'orientation globale des efforts. Ils ne pourront pas être développés partout, et il faudra donc définir les critères de sélection qui permettront de déterminer, tant du point de vue des utilisateurs que des consommateurs et de l'économie, vers quels secteurs probablement il faudra faire des grands choix. Ces grands choix, peut-être qu'on aura l'occasion d'y revenir cet après-midi !

M. Claude Saunier, sénateur - Monsieur Faure, là aussi j'ai bien entendu votre message au cours des multiples rencontres que nous avons eues.

L'une des réponses a été transmise à la ministre, c'est qu'il appartient aux pouvoirs publics de ne pas se substituer ni aux centres de recherche, ni *a fortiori* aux industriels, mais il appartient aux pouvoirs publics de baliser la voie.

La proposition que je fais, c'est effectivement l'organisation d'un vaste débat débouchant sur l'élaboration d'une loi programme parce que ce n'est pas année après année qu'on définit les choses, c'est sur plusieurs années.

Le temps est une donnée intéressante, avec derrière une loi de programmation financière. Il ne suffit pas d'annoncer des objectifs. Il faut aussi prendre des engagements dans la durée sur les moyens.

Comme les choses évoluent très vite, je pense qu'il faudra aussi se donner les moyens d'un ajustement annuel sous la forme par exemple d'une conférence qui réunirait les principaux partenaires et les pouvoirs publics pour ajuster le tir en fonction des évolutions.

M. Bois - Il nous reste environ 5 minutes... nous pouvons encore passer une ou deux questions.

M. Pierre Gentil - Je voudrais réagir, Monsieur le Sénateur, à un point que vous avez évoqué en ce qui concerne les moyens dont on dispose et les moyens qui peuvent être mis à notre disposition.

Je suis Pierre Gentil, je dirige un réseau national qui s'appelle le Comité national de la formation microélectronique et qui, entre autres, regroupe et met à disposition des moyens

de l'ensemble des partenaires, universitaires, écoles d'ingénieurs, pour la formation mais également pour la recherche.

Par rapport à ce que vous avez dit, je voudrais simplement rectifier un point : avec notre partenaire Cadence, on a un accord à un niveau mondial et on dispose, je dirai, de toutes les licences d'utilisation des logiciels Cadence, bien entendu, dans des conditions extrêmement avantageuses, pour un usage pédagogique et de recherche amont. Il ne s'agit pas de détourner le marché de notre partenaire Cadence mais il s'agit de l'utiliser. Il n'y a aucune restriction en ce qui concerne la recherche amont.

Pour les laboratoires qui ne seraient pas pourvus, on a les moyens par l'intermédiaire du CNFM - et le responsable Michel Robert, des services nationaux, est présent ici - de les équiper.

Par contre, il y a des problèmes généraux, je dirai, pour notre organisation : on manque de moyens, et cela fait partie des points que vous avez soulevés dans votre rapport. J'espère que cela sera entendu parce qu'aujourd'hui nous ne sommes pas du tout dans la situation d'augmentation des moyens. Nous avons eu une réduction des moyens qui sont tombés à zéro pour l'année 2002. Par conséquent notre action est susceptible de s'arrêter très prochainement s'il n'y a pas une action des pouvoirs publics entreprise, et ce de manière importante.

M. Claude Saunier, sénateur- Merci de votre intervention.

On en reparlera cet après-midi.

En deux mots, comme un certain nombre d'entre vous, j'ai eu, au travers de ce rapport, l'occasion de rencontrer plusieurs partenaires à l'extérieur, à l'étranger.

Je crois qu'entre nous, nous pouvons dire que l'un des points forts de ce secteur industriel, c'est la qualité des systèmes éducatifs. On nous envie cette qualité à l'extérieur.

Deuxième élément : je l'ai dit dans mes propos introductifs, nous sommes dans un secteur qui est hypermondialisé, où la matière première principale est l'intelligence et où nos partenaires n'hésitent pas à nous acheter cette intelligence.

Il faut, par conséquent, que nous soyons extrêmement vigilants. J'ai un certain nombre de propositions ici. Parmi les problèmes évoqués, il y a en effet le soutien à votre réseau, le soutien à la formation spécifique dédiée aux micros de la microélectronique.

Cinq millions d'euros, c'est dérisoire par rapport aux enjeux économiques généraux et donc, je pense que j'aurai l'occasion de replaider, de façon un peu plus explicite, auprès du ministre et des ministres - en l'occurrence, ce n'est pas la ministre de la recherche qui est directement concernée, c'est un autre ministère - votre cause.

Cela renvoie aussi à la nécessité de décroisonner un petit peu le mode de fonctionnement de notre administration.

M. Claude Saunier, sénateur - Merci et bon appétit. La séance est suspendue.

(Applaudissements)

(La séance est suspendue à 12 h 45).

II. PROGRAMME DE L'APRÈS-MIDI

A. PROGRAMME

LES CONDITIONS DE LA RÉUSSITE

1. Maîtriser la mondialisation

Yves **GUILLOUMY**, Vice-president Sales & Marketing Europe, Directeur général adjoint France **STMicroelectronics**

2. Construire une filière en impliquant l'ensemble de ses éléments de valeur ajoutée

Jean **THERME**, Directeur, **CEA Grenoble** et **CEA-LETI**

TABLE RONDE :

Modérateur : Bernard **FAURE**, Directeur stratégie et développement, **PHILIPS**

Intervenants : Patrice **HESTO**, Professeur, **IEF Paris-XI Orsay**,
Maurice **PINKUS**, Directeur emploi-formation, **UIMM**
Christian **TORDO**, Directeur général, **TEXAS Instruments**

LE VOLONTARISME COLLECTIF

1. L'engagement des concurrents

Laurent **GOUZÈNES**, Directeur du plan et des programmes d'études, **STMicroelectronics**

2. Les réponses françaises et européennes : les dispositifs nationaux, les programmes européens

Gérard **MATHERON**, Directeur, **Medea+**

TABLE RONDE :

Modérateur : Joël **MONNIER**, Corporate Vice-President, **STMicroelectronics**

Intervenants : Ezio **ANDRETA**, Directeur (DG Recherche), **Commission européenne**,

Jean **THERME**, Directeur, **CEA Grenoble et CEA-LETI**,

Emmanuel **CAQUOT**, Chef du service des technologies de la société de l'information, **ministère de l'industrie**,

Alain **COSTES**, Directeur de la technologie, **ministère de la recherche et des nouvelles technologies**,

Jean-Pierre **TUAL**, Vice-président, **SCHLUMBERGER**,

René **PENNING de VRIES**, CTO, **Philips semiconductors**,

Alain **JOLIVET**, Président-directeur général, **STEPMIND**.

CONCLUSION DU COLLOQUE

Recommandations du rapporteur de l'OPECST

Claude **SAUNIER**, sénateur des Côtes d'Armor.

B. EXPOSÉS-DÉBATS

(La séance est reprise à 14 h 00).

M. Claude Saunier, sénateur - Mesdames, messieurs, nous n'avons pas trop de retard, notre programme est chargé, nous allons donc reprendre immédiatement.

Deux grands thèmes cet après-midi, «les conditions de la réussite », on a parlé évidemment ce matin des enjeux.

A partir de 16 heures, on verra quelles sont les modalités « d'un volontarisme collectif » et donc de décisions politiques des différents partenaires.

Deux thèmes de réflexion donc concernant les conditions de la réussite, de 14 à 15 heures 30, le premier présenté par M. **Yves GUILLOUMY** de STMicroelectronics, puis le deuxième introduit par **Jean THERME** sur l'élaboration d'une filière.

Je leur donne la parole immédiatement.

LES CONDITIONS DE LA RÉUSSITE

1. Maîtriser la mondialisation

M. Yves Guilloumy.- Mesdames, Messieurs, bonjour, bon après-midi.

Jean-Philippe Dauvin, qu'un bon nombre d'entre vous connaissez, est mobilisé aujourd'hui par les opérations encadrant l'annonce des résultats annuels de notre société STMicroelectronics. J'ai l'honneur de le représenter au pied levé pour vous faire un topo sur notre vision de la mondialisation de l'industrie du semi-conducteur.

Permettez-moi de me présenter : Yves Guilloumy, j'occupe les fonctions de Vice-président Sales & Marketing Europe et de Directeur général adjoint au sein de la filiale française du Groupe STMicroelectronics.

Tout d'abord, avant d'aborder le panorama de la mondialisation, je pense qu'il est utile de rappeler quelles sont les lignes de force des évolutions de notre marché et quelles en sont les conséquences pour les industriels.

Ce tableau, que vous voyez apparaître, est déjà bien connu par plusieurs d'entre vous. Il est important de souligner qu'en quarante ans les applications du semi-conducteur ont évolué d'une manière très rapide vers des systèmes fixes d'infrastructures, vers un

marché de type « grande consommation » basé sur les terminaux avec pour chaque dispositif un contenu, un poids de plus en plus important de la fonction semi-conducteurs et composants électroniques.

En conséquence, les contraintes économiques qui encadrent, gèrent et dirigent les marchés de grande consommation, s'appliquent de plus en plus au marché du semi-conducteur avec un poids de plus en plus important des paramètres coûts et des paramètres prix.

Ce tableau qui était repris dans le document de synthèse qui vous a été remis, illustre l'importance de l'évolution des prix. Il représente d'une certaine manière une simulation très imagée du coût d'une fonction prix mégabit/mémoire. Qu'est-ce qu'un mégabit/mémoire ? A titre de comparaison, c'est la taille d'un livre de 300 pages ou c'est à peu près une photo numérique de moyenne définition.

Le prix de cette fonction en trente ans a été diminué par un million de fois. Un million ! Vous voyez sur ce transparent que le prix est passé du prix d'un téléviseur au prix d'un poulet, au prix d'un tee-shirt et aujourd'hui c'est le prix d'une enveloppe non timbrée !

Si on revient à ce tableau, bien entendu il est évident que pour supporter, pour encadrer et pour maîtriser une telle évolution de prix – encore une fois, gardez ce chiffre en mémoire, le facteur 1 million et cela va continuer – les évolutions technologiques, les évolutions vers les micros et les nanotechnologies pour augmenter la capacité d'intégration des fonctions sur silicium, l'augmentation de la taille des tranches pour améliorer les critères de productivité des différentes usines, sont des paramètres critiques très importants mais ils ne sont pas forcément les seuls.

Les quelques transparents suivants – vous voyez qu'on est encore à la phase, chez STMicroelectronics, du macro transparent mais du nanodispositif sur silicium ! – ont pour but de vous donner une photo de la mondialisation à travers les différentes régions.

Tout d'abord, l'évolution du marché dans les différentes régions : qu'est-ce que ce tableau est en train de dire ? C'est qu'il y a eu un rééquilibrage très important au cours de la dernière décennie qui a essentiellement affecté les Etats-Unis, l'Amérique, le Japon et l'Asie Pacifique en termes d'évolution du marché.

Dans les 36 % de l'Asie Pacifique, le poids de la Chine est estimé à 11 % et les régions du Sud-Est asiatique à 25 %. Ce rééquilibrage s'est fait parmi ces trois grandes régions macro-économiques, et vous pouvez constater que le poids de l'Europe, 19 % en 1992 et 20 % estimés en 2002, est resté, lui, relativement constant.

Un autre élément important de la mondialisation et de la situation mondiale est l'évolution de ce que l'on appelle « la production mondiale », c'est-à-dire le chiffre d'affaires des sociétés. Un des phénomènes très important qui a marqué la dernière décennie est la prédominance des sociétés américaines et même un poids encore plus important de toutes les sociétés américaines, principalement au détriment des sociétés japonaises. Les sociétés japonaises, qui étaient le modèle dans les années 80, ont perdu au cours des dix dernières

années un poids très important dans le panorama mondial du marché de l'industrie du semi-conducteur.

Autre transparent : un autre facteur déterminant, c'est l'évolution des investissements sur le plan mondial. Ici, ce tableau montre qu'il y a un changement radical. De 1992 à 2002 la prédominance des investissements en Asie du Sud-est et par les sociétés asiatiques – et même en Chine – est très importante, elle est passée d'un poids de 15 % par rapport à un total mondial de 11 milliards de dollars d'investissement à 40 % en l'an 2002, ce qui fait que les investissements dans la région Asie du Sud-est faits par les sociétés asiatiques sont passés de 1,5 milliard de dollars environ en 1992 à 10 milliards de dollars en 2002, un facteur pratiquement de 6.

Les sociétés américaines et européennes ont suivi l'évolution avec un coefficient moyen d'augmentation des investissements de 2 à 2,5. Quant aux Japonais, le montant des investissements en valeur dollar constant est resté identique.

Qu'est-ce que l'on peut retenir de ces trois tableaux, comme image de l'évolution de la mondialisation ?

Quand on regarde le marché, le marché en termes de facturation, c'est-à-dire en termes de consommation de composants, on est vers un équilibre des différents marchés dans les grandes régions économiques, 25 % en Asie et 22 % dans la zone Amérique, 22 % au Japon, 20 % en Europe, 11 % en Chine, on a une équirépartition des marchés.

Quand on regarde quelles sont les sociétés qui oeuvrent dans ces marchés, on a une prédominance des sociétés américaines avec plus de 52 % et une stabilité des sociétés européennes, et quand on regarde les investissements, c'est-à-dire la préparation du futur, on voit que là la prédominance des sociétés asiatiques est devenue importante.

Une question que l'on peut se poser : est-ce que l'avenir appartient aux Asiatiques, puisque ce sont ceux qui investissent le plus dans leur région dans le cadre de la mondialisation ?

Les nouveaux défis de notre métier conduisent-ils automatiquement, d'une manière irréversible, vers une délocalisation en Asie ? Nous ne le pensons pas.

Mais quels sont de toute façon les points forts de l'Asie tels qu'on peut les analyser, non pas d'une manière comparative mais d'une manière photographique par rapport à la situation que l'on trouve aujourd'hui en Asie et en Chine ?

Premièrement, ils ont des marchés en forte croissance, ce sont des pays en voie d'évolution très rapide, des croissances annuelles même dans des phases de crise, entre 5 et 10 % du PIB de chaque pays et un large potentiel et une très large population qui court après tout ce qui est électronique.

Deuxièmement, ce sont des régions qui ont été choisies par beaucoup d'industriels pour la mise en place de nouveaux modèles de production.

Prenons l'exemple des fondeurs de silicium, ils ont vu leur émergence en Asie. Prenons l'exemple des nouveaux acteurs industriels, les IMS, ils ont vu le jour aux Etats-Unis avec un transfert rapide de leurs outils de production dans les zones asiatiques.

Donc beaucoup de nouveaux modèles de production voient le jour et se développent dans la zone Asie du Sud-est.

Les facteurs de production : ils ont des conditions de production, coûts et flexibilité, supérieures à la moyenne et les aides locales sont importantes et sûrement supérieures à la moyenne.

De plus en plus, on voit dans ces pays la notion de filières qui se développe, faire de la production en Asie n'est plus uniquement avoir des usines tournevis mais il y a des filières amont de recherche et développement, des centres de design, des sociétés qui font des études, qui vont ensuite sous-traiter la production de leurs études vers les usines qui sont localisées là-bas ; ce qui fait que la notion de filière électronique dans des pays comme Taï wan, dans des pays comme Singapour, voire comme la Malaisie, la Corée bien entendu, la Chine et demain peut-être d'autres comme le Vietnam, la notion de filière électronique devient une réalité aussi dans ces pays.

C'est ce que nous appelons « grappes industrielles » avec des centres de R&D, des présences de multifournisseurs et de la logistique qui leur permet d'avoir de hauts degrés de compétitivité.

Est-ce inéluctable et irréversible ? Vu par la petite fenêtre de STMicroelectronics, nous disons « non », parce que nous pensons, aujourd'hui, que notre société – c'est un petit flash aussi – est dans un mode que l'on va appeler « de mondialisation contrôlée ». Qu'est-ce que cela veut dire ? Cela veut dire que quand on regarde le marché, le premier tableau en haut à gauche du transparent montre le marché tel que je vous l'ai présenté précédemment, les ventes de notre société 44 % en Asie, 18 % en Amérique, 34 % en Europe, à part une déficience au Japon, sont relativement équilibrées dans les autres régions macro-économiques du monde.

Notre production : aujourd'hui, la production de semi-conducteurs 45 % - ce sont des estimations – sont en Asie, 23 % aux Etats-Unis, 10 % en Europe, 22 % au Japon. Nous avons 25 % de notre production en Asie, 19 % aux Etats-Unis, et 56 % en Europe, nous avons une prédominance de production en Europe.

Quant aux investissements, vous avez la répartition des investissements sur le plan mondial, 38 % en Asie et 37 % en Amérique, 8 % en Europe, 17 % au Japon. Ce sont les investissements réalisés physiquement dans les régions. ST est à 20-25 % en Europe pour les investissements de R&D ; il y a très peu de délocalisation des sociétés en Asie, 3 % uniquement, 65 % aux Etats-Unis, c'est là où il y a la majeure partie des investissements mondiaux faits dans les domaines de la recherche et du développement, 11 %, et 21 % en Europe, ST dépense 85 % de ces dépenses en recherche et investissements, qui sont globalement au niveau d'1 milliard de dollars en Europe.

Donc aujourd'hui il y a encore une prédominance dans les phases amont R&D investissement et même production de notre société en Europe, tout en ayant un déploiement de notre chiffre d'affaires dans le monde, c'est ce que nous appelons très modestement une « mondialisation contrôlée ».

Quelle est notre vision – et ce sera le transparent de conclusion – de l'état de la concurrence mondiale ?

Nous avons cherché à faire une analyse USA, Japon, Taï wan - parce qu'il y a énormément d'activités-, Chine également-, Corée pour illustrer les trois pays importants de l'Asie du Sud-est et l'Europe.

Les grands points directeurs du marché :

Il y a le marché du PC qui est toujours un grand « driver » du marché de l'industrie des composants électroniques. C'est un point fort des Etats-Unis.

les standards, c'est-à-dire les grands standards qui mènent l'évolution de l'industrie, comme les grands standards Internet, etc. Je sais bien qu'il y a des standards en Europe mais on considère que les grands standards sont plus encore basés aux USA et au Japon qu'en Europe. C'est une des remarques qui a été faite ce matin lors d'une intervention d'une personne de la salle. La question était la suivante : est-ce qu'en Europe il y a toujours des grands standards qui vont être les lignes de force du développement de l'industrie du futur ?

R&D Technologie, coûts de fabrication, évidemment un avantage très important à la Chine et aux Pays du Sud-Est asiatique.

La concentration de l'industrie : encore une très forte concentration de l'industrie en Europe, aux Etats-Unis et en Corée.

Une politique industrielle Etat-Régions qui est très forte à Taï wan, très forte aux Etats-Unis, encore très forte au Japon, forte en Corée, en Chine qui semble être forte et on va dire un petit peu plus faible, tout en n'étant pas négligeable, en Europe.

Le phénomène population, c'est-à-dire dimension macro-économique de la Région au sein de l'industrie mondiale.

Quand on regarde l'Europe par rapport aux autres, il nous reste deux grandes dominantes qui sont la R&D et la technologie et la dimension de l'Europe avec ses 400-450 millions d'habitants et une extension dans le poids économique mondial.

Par contre, les Etats-Unis ont toujours une très forte dominante compétitive dans la plupart de ces points directeurs.

Taï wan, la Chine, la Corée se développent de plus en plus.

En conclusion, la mondialisation de l'industrie du semi-conducteur est déjà une réalité et elle est en marche. Elle est en marche en Asie du Sud-est et en Chine, et elle se développera probablement dans d'autres zones, l'Europe de l'est dans un proche futur, et peut-être dans un avenir à plus ou moins long terme en Amérique du Sud.

A notre avis, vouloir l'ignorer serait une erreur profonde, vouloir la contrôler ou espérer la contrôler serait probablement un jugement un petit peu utopique et irréaliste. Savoir la gérer, en maîtrisant ses conséquences et en accompagnant ses effets est sûrement réalisable et à notre avis reste le défi de tous les Européens et notamment de la France.

Je vous remercie pour votre attention.

(Applaudissements)

M. Claude Saunier, sénateur - Merci Monsieur Guilloumy.

On entend beaucoup parler par les temps qui courent de mondialisation, voilà un exemple concret de mondialisation. Nous verrons d'ailleurs comment et par quelle stratégie on peut réagir à cet enjeu.

Ce que va nous dire Jean THERME est un premier élément de réponse.

2. Construire une filière en impliquant l'ensemble de ses éléments de valeur ajoutée.

M. Jean Therme - Bonjour à tous.

Après ce brillant exposé, je vais essayer de prendre un angle d'attaque un peu différent pour vous montrer qu'effectivement tout cela est en cours mais qu'il y a encore des possibilités de résistance au niveau européen et certainement au niveau national.

Je vais essayer de vous parler dans un premier temps d'une vision au niveau de la France et de l'Europe, et après descendre dans un petit village gaulois qui s'appelle maintenant Grenoble !

Ce que j'ai essayé de faire c'est de simplifier le système le plus possible en m'adressant essentiellement aux gens qui ne sont pas spécialistes de microélectronique pour essayer de les convaincre que finalement c'est un domaine sur lequel on a encore des cartes à jouer.

La première chose qu'il faut comprendre, c'est qu'on a affaire à un cycle complet qui paraît séquentiel en fait, mais qui est terriblement intégré. On part d'un produit, ensuite on va réaliser la conception du produit, on va transformer cela en des plaquettes de silicium, ensuite ces plaquettes vont être découpées en puces, montées en boîtiers, puis vont être livrées à un client avec des performances données.

Tout cela a une chaîne de transfert d'informations et de cohérence globale dans le sens descendant mais aussi a une cohérence globale fondamentale dans le sens ascendant c'est-à-dire que la satisfaction du client va dépendre de la performance des produits et la performance des produits va dépendre de tous les éléments de la chaîne.

Si quelque part, il y a une mauvaise définition de la spécification ou une mauvaise conception, ou une mauvaise réalisation technologique ou à la limite des tests qui sont insuffisants, quelque part le produit ne sera pas accepté par le client et par le marché. Donc ce système, qui est terriblement intégré, nécessite d'avoir une vision globale et on peut difficilement imaginer une répartition par étapes successives, chacun étant spécialisé dans quelque chose et personne n'ayant la fonction d'intégration. C'est ce qui avait déjà été mis en évidence par Denis Griot ce matin. Je crois que c'est important.

Et quand on regarde ces grands blocs, en fait il y en a 4 :

il y a le client, il est un peu partout dans le monde, on vient de le voir, c'est clair ;

il y a tous les gens qui vont tourner autour des produits et de la conception, qui rassemblent plutôt des compétences que des moyens et qui sont en général le plus près possible des clients, et qui nécessitent soit des compétences relativement généralistes quand les produits ne sont pas très compliqués, ou des compétences extrêmement pointues sur des

produits du type mixte, analogique, digital ou sur des produits haute fréquence. Cela, c'est un ensemble qui est plutôt associé à des pôles de compétences ;

Autre bloc, le bloc technologie lourde, qui nécessite des moyens extrêmement lourds, qui n'existe, pour l'essentiel, que dans quelques pays très industrialisés aujourd'hui. On en a fait le tour précédemment. Mais quelque part, ici, vous avez quand même un cœur du système, on va voir pourquoi ensuite ;

quatrième élément, cela concerne plutôt tout ce qui est packaging et tests – je suis volontairement simplificateur parce que le test se situe en fait à plusieurs endroits – qui sont des moyens semi-lourds.

Par contre, on va travailler sur des puces élémentaires dont le prix sur chaque élément unitaire est beaucoup plus important. On voit se déplacer une grande délocalisation de ces activités-là. C'est pour cela qu'aujourd'hui pratiquement toutes les activités de packaging, d'assemblage se retrouvent dans des pays à bas coûts de main d'œuvre, beaucoup en Asie, en Afrique, en Afrique du Nord.

On retrouve la technologie qui est encore partagée dans tous ces pays très développés, comme on l'a vu précédemment, et puis on retrouve aujourd'hui toutes les compétences autour des produits et des conceptions qui sont réparties un peu partout dans le monde mais quand même beaucoup encore dans les pays industrialisés.

Quand on regarde une deuxième dimension qui est la dimension amont-aval, que j'ai simplifiée au maximum, et cela l'orateur précédent l'a bien précisé, on s'aperçoit que finalement, aujourd'hui, la zone de repli des pays très industrialisés comme l'Europe est plutôt une zone de repli qui se caractérise sur la recherche-développement, qui essaye de monter jusqu'à une activité de production, moyenne série, plus spécifique mais pas jusqu'aux productions de masse à proprement parler.

A l'autre bout, on voit les pays émergents -et on les a signalés précédemment- qui sont en train, à partir d'une production la plus aval possible, de remonter gentiment pour essayer d'aller occuper la totalité du terrain, ce qui fait qu'en fait on s'aperçoit qu'une bonne stratégie pourrait être, pour un Etat comme la France, mais aussi surtout l'Europe, de tenir la ligne de front – on est en période assez guerrière ces temps-ci - de ne pas trop reculer sur cette partie-là parce que la remontée sera de toute façon progressive et finira quelque part par envahir tout le reste, et puis aussi de recréer les conditions plus en amont d'une base arrière relativement solide.

En fait, on va jouer au niveau national sur une base arrière de R&D relativement solide sur le pôle grenoblois, et on va retrouver la ligne de front sur un certain nombre d'unités qui sont situées à différents endroits en France.

Quand on regarde rapidement cette répartition sur la France, ici on a les différents industriels avec leurs implantations, les poids respectifs - les valeurs ne sont pas à l'unité près bien entendu – on voit très clairement une forte dominante en nombre sur la région Sud-Est, avec un gros centre à Grenoble, incluant principalement ST, puis Philips, Motorola et Atmel, un gros centre en PACA, dans la zone d'Aix-en-Provence, avec ST, Atmel et Texas

Instruments à Nice, et puis, deux, trois autres pôles importants comme Motorola à Toulouse, Altis à Paris, Philips à Caen, d'autres implantations de ST à Rennes et à Tours, et puis vous avez Atmel à Nantes. Vous vous apercevez que vous avez encore un énorme réservoir très important dans le Sud-Est puis un certain nombre d'autres sites qui sont importants.

Je crois qu'il ne faut pas, dans une politique nationale, vouloir jouer à 100 % Grenoble contre le reste, ou jouer un repli sur une base arrière de R&D contre le reste. Je pense que la meilleure stratégie consiste à effectivement construire cet outil de R&D sur le pôle grenoblois, qui reste dans la compétition mondiale, en étant un ensemble de stature mondiale ; il faut aussi maintenir des emplois, des centrales technologiques, et des grandes unités de production un peu ailleurs en France. C'est cette double politique – il n'y a pas une opposition de l'une par rapport à l'autre – qui permettra à la France de rester dans la compétition.

Finalement, quand, en revenant à cette technologie et à ce pôle grenoblois que je connais un peu mieux, j'ai essayé de voir pourquoi cela s'est mis à marcher, parce qu'en fait il faut quand même se souvenir qu'en 1987, SGS Thomson et Thomson Semi-conducteurs, c'était au minimum une situation de survie, et au pire une situation catastrophique. Si on la prend quinze ans plus tard, on s'aperçoit qu'elle est quelque part un peu plus intéressante.

Quand on cherche les composantes qui ont permis de tenir jusque là, on va retrouver certainement une histoire assez longue qui remonte à une quarantaine d'années, qui a créé un pôle de compétences relativement important, un couplage enseignement/recherche/industrie qui est extrêmement fort, ce qui fait que finalement le développement est un développement essentiellement endogène qui s'appuie sur une activité de recherche & développement relativement forte ainsi que sur un soutien des pouvoirs publics extrêmement fort, continu, pérenne. J'en parlerai après.

Une filière complète : je vais essayer d'expliquer ce qu'est une filière complète sur un bassin d'emplois et, pour finir, un certain nombre de clefs pour le futur qui me paraissent importantes.

Quand on considère les 40 années écoulées, je les ai prises pour la technologie CMOS – c'est vrai qu'il y a une partie bipolaire qui la rejoint -, elle est issue dans les années 60 de gens du nucléaire – je suis désolé – qui se sont posé des questions sur l'électronique durcie, et qui ont sorti une première génération de technologie CMOS, ce qui a créé une société qui s'appelle le LETI, puis après une société qui s'appelait ESSIS, qui a évolué par agrégations successives vers les activités de STMicroelectronics actuellement à Grenoble, et puis des start-up qui sont nées derrière, notamment SOITEC et d'autres. C'est une racine qui a plus de quarante ans et c'est une constitution d'un pôle de compétences qui s'est fait sur le long terme.

Deuxième idée, ce couplage enseignement/recherche/industrie est une des spécialités locales. Il a fonctionné dans le domaine de la houille blanche, de l'électrotechnique, dans le domaine de la microélectronique également, et c'est un peu ce que l'on continue à cultiver dans le cadre du Pôle Minatec. C'est une association au même endroit, avec des gens qui se connaissent, qui travaillent ensemble, le plus intégré possible,

des gens du monde de l'enseignement, avec l'Institut national polytechnique de Grenoble, des gens de la recherche autour du LETI et puis des gens de l'industrie avec bien entendu ST, les start-up et l'ensemble du monde industriel de ce bassin d'emplois.

Ceci se fait dans le cadre d'une initiative locale relativement forte, donc c'est clairement la volonté d'intégrer au maximum les compétences qui apportent de la valeur ajoutée sur un plan local.

Ensuite, quels sont les acteurs ? On va prendre trois grandes périodes et simplifier à l'extrême, par décades. Je suis volontairement simplificateur, voire simpliste.

- Les années 80 : on faisait du 100 mm et des technologies microniques.
- Les années 90 : on est passé à 200 mm et des technologies submicroniques.
- On passe, dans les années 2000, à du 300 mm et on travaille dans les technologies que je qualifierai de nanoélectroniques puisqu'on est en dessous de 100 nanomètres.

On regarde quels étaient les acteurs. Il y a des acteurs de R&D, on a vu qu'il y avait quand même de fortes racines de R&D, des acteurs industriels.

- Des acteurs de R&D : on a retrouvé tout au long du parcours le CEA-LETI, mais on retrouve aussi le CNET, qui est devenu France-Télécom-CNET et qui est sorti du jeu. Cela, c'est quelque chose de très important dans le système. Le CNET a fortement contribué à l'essor de la microélectronique sur le pôle grenoblois. On peut remercier les gens de France-Télécom d'avoir réussi le transfert, c'est-à-dire faire en sorte que le savoir-faire reste sur place et passe notamment chez ST, en partie au LETI, mais c'est quand même une perte très importante pour la France, c'est-à-dire que c'était un grand acteur de soutien de l'innovation qui n'est plus dans le dispositif local. Cela constitue une perte extrêmement importante.

- Au niveau des industriels, on retrouve le premier qui s'appelait Thomson semiconductors, qui est devenu SGS Thomson, qui est devenu STMicroelectronics. Cela colle à peu près avec les décades, à quelques années près, et dont la puissance de feu a notablement augmenté puisqu'on était largement inférieurs à 1 milliard de dollars au départ, et que cela se situe entre 6 et 8 milliards de dollars maintenant. Donc un industriel qui a de manière interne fortement grossi et qui a pu amener des capacités de développement de manière importante.

Ensuite, se sont rajoutés à chaque étape de nouveaux industriels, pour le 200 mm, c'est Philips semiconductors qui a rejoint le dispositif grenoblois, qui est toujours présent dans le 300 mm et pour le 300 mm c'est Motorola qui est arrivé et qui est donc le troisième acteur important. On se retrouve maintenant avec ST plus Philips, plus Motorola, qui constituent un des clusters les plus importants au monde, peut-être le deuxième derrière INTEL, mais certainement le premier sur les produits différenciés.

Vous voyez qu'on a d'une part une augmentation du système tracteur des industriels ou de la grappe industrielle du semi-conducteur, quelque part une continuité au niveau de la R&D, mais un affaiblissement par le départ du CNET.

Quand on regarde maintenant les financements avec les mêmes périodes, on va retrouver de grandes constantes également. C'est un soutien je dirai voulu, stratégique, permanent, pérenne de l'Etat, et maintenant des collectivités locales et territoriales.

L'Etat met un peu d'argent via le CEA, qui est un de ses outils de fonctionnement dans ce domaine. Il en a mis de manière importante, ne cherchez pas le nom des ministères, je n'ai pas voulu suivre les sigles des ministères à l'époque, je retiens plutôt l'Industrie, qui était le grand soutien majeur de cette activité dans le domaine de la microélectronique sur le long terme.

La DGA a été très motrice au départ, parce qu'en fait les produits militaires, à une époque où le marché était faible, étaient des produits qui tiraient encore les technologies, ce n'est plus vrai maintenant, donc c'est plutôt la DGA maintenant qui essaye de récupérer des savoir-faire de la part du civil pour faire des produits plus à application militaire.

On a vu apparaître les collectivités locales et territoriales qui ont beaucoup joué dans le cadre du 200 mm, qui jouent encore de manière importante dans le cadre du 300 mm et qui se sont substituées à une partie des financements.

Plus récemment, le ministère délégué à la recherche et aux nouvelles technologies - et Mme la ministre l'a dit ce matin- a lancé une initiative qui permet de fédérer l'ensemble des grandes plates-formes technologiques françaises pour continuer à alimenter en savoir-faire cet ensemble.

Donc vous voyez que l'Etat et les collectivités locales et territoriales, chacun à son moment, mais dans une certaine continuité, avec des relais, ont toujours soutenu ce pôle grenoblois et l'ont toujours accompagné dans son développement. C'est quand même quelque chose d'important. Je n'ai pas mis les chiffres, parce qu'il aurait fallu les valider tous et cela aurait été trop long, mais sachez que ce sont des sommes relativement importantes.

Finalement, quand on parle de filières complètes sur un bassin d'emplois, qu'est-ce que cela veut dire ? Voilà à peu près le paysage du pôle grenoblois maintenant : 13.500 emplois directs issus de ce genre de technique, et 30.000 emplois indirects.

On trouve de toute façon le tracteur microélectronique, seule la microélectronique a la puissance de feu pour investir lourdement et tirer le système. Donc c'est la plus grosse part des emplois, plus de 5.000 emplois.

Derrière, s'est créé tout un ensemble de compétences, de savoir-faire, beaucoup de fonderies de microtechnologies qui ont réutilisé des moyens, des salles blanches, réutilisé des compétences, réutilisé des partenariats, réutilisé des connaissances de clients pour se créer.

Mais surtout, en latéral, se sont implantés beaucoup d'équipementiers, essentiellement des équipementiers étrangers qui ont implanté des équipes lourdes, et également beaucoup de petits équipementiers locaux, et beaucoup d'entreprises de services et sous-traitantes qui ont voulu faire une salle blanche à Grenoble, tout le monde sait faire une salle blanche, depuis les tuyaux en passant par le plancher, en passant par les cloisons. Donc il s'est créé tout un environnement favorable à l'émergence de salles blanches sur ce pôle, et puis, derrière, on retrouve des entreprises à fort potentiel qui utilisent ces moyens technologiques pour réaliser leurs produits et également des gens qui travaillent autour du logiciel.

Donc en se limitant juste à cela, vous voyez cette espèce de filière qui suit un énorme tracteur qui est la microélectronique et qui constitue un pôle d'emplois relativement important et qui justifie en général l'implication des collectivités locales et territoriales dans son développement.

Je voudrais insister sur la nécessité d'avoir un cœur de technologie. Un pôle comme ceci n'existe que parce qu'au centre il y a de très grosses unités de technologies qui drainent d'énormes investissements, et derrière ces investissements cela permet de constituer ce bassin d'emplois. Si vous faites tomber ces cœurs de technologie, vous allez vous retrouver obligatoirement avec une faiblesse d'investissement local et toute cette espèce d'ensemble complet s'écroule relativement vite.

Vous voyez que les fournisseurs d'équipements, les start-up à fort potentiel, les gens qui font des services, les gens qui font des logiciels viennent s'agglomérer autour de cette espèce de moteur qui est un cœur techno, une centrale techno très, très puissante, comme l'était le projet Crolles 1, et comme l'est actuellement le projet Crolles 2.

Quelles peuvent être les clefs pour l'avenir ? On les a vues ce matin. Il est certain qu'un des éléments majeurs pour le futur va être l'exploitation de la pluridisciplinarité. Autant il y a vingt ans les électroniciens pouvaient parler avec les microélectroniciens, ils arrivaient à faire de la microélectronique, ensuite il a fallu qu'ils discutent dans le cadre de l'augmentation de la complexité des technologies avec des gens beaucoup plus spécialistes, ensuite ils ont discuté avec des mécaniciens, des opticiens, des magnéticiens pour les microsystèmes et la visualisation, maintenant ils commencent à discuter avec des médecins, des biologistes pour les biopuces, ils parlent de plus en plus avec les gens du logiciel, ils commencent à voir les gens des sciences humaines venir pour les aspects usages et applications dans la société des produits, donc on voit que la pluridisciplinarité est devenue un élément important.

Il va falloir constituer des centres qui vont agréger toutes ces compétences pour pouvoir se permettre de continuer dans la complexité de la technologie.

Et puis, des ouvertures, on en voit dans le domaine de la santé, je l'ai vu dans le domaine de l'énergie, dans le domaine de la nanoscience, dans le domaine du logiciel, ce sont des choses générales.

L'autre point, on l'a vu précédemment, je ne passerai pas dessus, c'est l'internationalisation, et pour rester dans la course à l'international il faut rester dans les investissements lourds. J'ai donné deux exemples d'investissement sur le pôle de Grenoble : le projet Crolles 2 qui allie ST, Motorola et Philips, et TSMC à hauteur de pratiquement 3 milliards d'euros, et puis le pôle Minatec qui a une composante LETI plus une composante pour accueillir l'ensemble de ces activités pluridisciplinaires et avales et également une composante en lien avec Crolles 2, en 300 mm, qui pèsera plus d'1 milliard d'euros. Ce sont des chiffres qui sont à la hauteur de ce que l'on trouve aux Etats-Unis avec 1, 2, 3 milliards de dollars, sur les très grands projets, ou en Asie.

Merci. J'en ai terminé.

(Applaudissements)

M. Claude Saunier, sénateur- Merci Monsieur Therme.

Nous avons maintenant une petite quinzaine de minutes de débat.

Je l'introduis par deux ou trois éléments de référence.

Premier exposé, mondialisation, je ne reviens pas là-dessus, les enjeux, l'Europe se tient, sa part de marché résiste malgré les évolutions. Il n'y a donc pas à tenir de discours pessimiste, mais il faut quand même prendre conscience qu'au cours de ces dix, quinze, vingt dernières années, il y a eu pour les entreprises et pour les pays des fluctuations extrêmement importantes, donc on est là dans un marché brutal où les évolutions se font extrêmement vite.

Il ne faut jamais perdre cet élément de vue.

Deuxième élément, et c'est une première réponse, comment assurer la pérennité d'une filière industrielle dont on a vu ce matin qu'elle était majeure, comment assurer la pérennité dans un territoire donné, en l'occurrence le territoire national, voire le territoire européen ?

La réponse, l'une des réponses, est importante, elle a été déclinée dans le détail par Jean Therme à l'instant, c'est effectivement l'intégration, l'imbrication des différents partenaires, des différentes composantes de la chaîne, donc cela veut dire avoir une stratégie, que cette stratégie soit élaborée par l'ensemble des partenaires, que l'ensemble des partenaires se reconnaisse dans ce projet, et qu'ils s'y impliquent dans la durée.

On a bien noté aussi que ce qu'on observe et qui est positif aujourd'hui à Grenoble en réalité est le résultat d'actions qui ont été engagées il y a une quarantaine d'années.

Troisième élément de réflexion, tout cela résulte aussi d'un engagement très fort des pouvoirs publics, de l'argent public parce que dans une composante industrielle comme la composante de la microélectronique il y a des enjeux à court terme, il y a des investissements massifs à court terme, mais une filière majeure comme la filière de la microélectronique ne

peut pas imaginer d'engager de l'argent privé sur des horizons qui sont de dix, quinze, ou vingt ans. Or, ce qui se passera dans vingt ans se prépare aujourd'hui ; donc seule une logique déconnectée du marché immédiat peut fonctionner.

D'où la nécessité d'une filière, et nous verrons tout à l'heure que l'autre réponse c'est effectivement de maîtriser ce qui est le cœur du dispositif, c'est-à-dire l'intelligence, c'est-à-dire la formation. Mais cela, ce sera l'exposé de tout à l'heure.

Donc on a dix minutes d'échanges sur ces deux données, mondialisation et création d'une filière, mobilisation des acteurs.

M. Pierre Gentil (Grenoble) - Je suis surtout représentant du réseau national de formation microélectronique.

Je voudrais simplement rajouter à ce qu'a dit Jean Therme l'importance d'avoir une recherche amont et qui ne soit pas forcément dirigée vers un objet pratique, industrialisé rapidement.

Mais également souligner la nécessité de pouvoir développer des recherches amont dans le domaine de la physique, de la chimie, de l'optique, de la mécanique. Il a fallu tout cela pour que les microsystèmes arrivent à se mettre en place et se développent aujourd'hui.

C'est aussi un élément important qui n'est pas forcément localisé en un point précis, qui n'est pas forcément localisé à Grenoble, même si c'est important qu'il soit aussi notable sur la place grenobloise, mais qui doit être développé dans un pays développé comme la France, au même titre que la formation et la richesse des hommes, la matière grise qui apportent tout cela, c'est important.

M. Therme - Je suis tout à fait d'accord avec toi Pierre, j'ai voulu être simpliste, donc en quinze minutes j'étais obligé de focaliser, mais c'est vrai que c'est un point important, notamment dans la migration entre micro et nano, puisque dans ce domaine-là on va revenir aux fondamentaux qui sont des fondamentaux de physique, de chimie qui sont très importants et qui vont repartir de l'amont.

C'était une des faiblesses du pôle grenoblois d'avoir fortement couplé LETI et CNET avec ST et de s'être peut-être coupé avec le monde amont, et c'est un des points qu'on adresse le plus dans le pôle Minatec notamment et dans les nouveaux projets de centres de compétences en 300 mm. Cela fait partie de nos préoccupations, mais il est clair que cela ne joue pas au niveau du pôle grenoblois, mais au niveau national et largement international. Je suis tout à fait d'accord avec ta remarque.

M. Claude Saunier, sénateur - L'une des réponses c'est l'existence des 5 plates-formes technologiques qui ont été mises en place il y a environ une bonne année, qui sont en cours de constitution, qui à la fois assurent l'équilibre du territoire national, parce qu'on pourrait imaginer que l'on vide la totalité de l'espace national et qu'on concentre tout à Grenoble pour des enjeux de compétition mondiale, mais la réponse c'est le maintien de ces plates-formes dès lors qu'elles se spécialisent, dès lors qu'elles atteignent à l'excellence et dès lors évidemment qu'elles fonctionnent en réseau.

M. Christian de Prost (Atmel) - J'ai une question qui porte sur le sujet de la mondialisation. Cette question s'adresse à l'industriel, à ST, mais peut aussi s'adresser à Jean Therme.

Gérer la mondialisation, j'aime beaucoup le terme, dans le futur est-ce que cela passera forcément par la négociation d'alliances ? Quand je pense à mondialisation, je pense à l'Asie, puisqu'on a parlé surtout de la focalisation sur l'émergence de l'industrie asiatique, donc est-ce que gérer la mondialisation nécessite d'avoir des alliances, voire des regroupements avec des sociétés asiatiques, aussi bien au niveau industriel qu'au niveau recherche ?

La contrepartie c'est que, comme Jean Therme l'a très bien montré, le pôle grenoblois est très fortement soutenu et j'espère qu'il sera très fortement soutenu dans l'avenir par les pouvoirs publics, est-ce que ce genre d'alliance, d'accord, d'échange sera possible dans le futur ?

Donc ma question c'est : comment gérer ce problème ?

M. Guilloumy - Je pense que gérer la mondialisation, c'est avant tout peut-être valoriser -les propos ont été très bien mis en exergue par M. Jean Therme- en amont, dégager le maximum de valeur ajoutée sur les points forts qui sont les points forts de l'Europe. Je pense que c'est la clef indispensable.

Effectivement, il faut éviter au maximum, même si cela progressera d'un côté comme de l'autre, que la phase aval de l'Europe parte, elle est déjà partie, notamment beaucoup d'activités de production, de développement sont parties en Asie et une bonne part du marché, il faut éviter que les Asiatiques reviennent, remontent d'une manière très rapide vers la phase amont qui sont les points forts et les points d'ancrage réels de l'industrie et de la microélectronique en Europe et en France.

Ceci doit être fait en dégageant le maximum de valeur ajoutée et en mettant en place la valorisation du tissu universitaire, des pôles de compétences, de la technologie, et en capitalisant aussi sur le fait que l'Europe représente quand même un marché de consommation non négligeable dans le monde de l'électronique et aussi de consommation des composants électroniques.

Y aura-t-il des alliances ? Je pense qu'aujourd'hui les alliances ne sont peut-être pas des critères, elles seront peut-être des résultantes, mais ce ne sont sûrement pas des axes stratégiques que de mettre les alliances en avant, sauf les alliances qui vont contribuer, comme c'était le cas, à développer la valeur ajoutée et l'ancrage du « know how » et de la compétitivité de l'Europe par rapport à cette puissance de feu qui existe en Asie.

M. Therme - Peut-être un petit commentaire personnel. Je pense que l'histoire n'est jamais écrite à l'avance. Si on avait fait le même débat il y a une bonne quinzaine d'années, on se serait dit que la partie était définitivement perdue face aux Japonais, qui étaient en train d'écraser les Américains, et on aurait pu tenir exactement le même discours !

Je pense que la vie n'est faite que de non-linéarités et de bifurcations, et il y en aura encore d'autres qui viendront, et pour l'instant ce que l'on constate sur les courbes de ST, qui était très intéressant, c'est que l'Europe tenait toujours à peu près des pourcentages constants au cours du temps, elle ne montait pas, elle ne baissait pas, et quand on faisait la somme de l'Asie plus le Japon, la somme était à peu près constante, en pourcentages.

Donc, même si le volume augmentait, les pourcentages étaient stables. Je pense que l'histoire reste encore à écrire.

M. Faure - Et si je peux faire un commentaire sur le commentaire, actuellement le problème auquel on est confronté, c'est que par les temps qui courent on va avoir du mal à augmenter les prix sur le marché, donc il faut qu'on fasse baisser nos coûts de façon drastique en amont.

Les problèmes de productivité industrielle ont été en partie réglés par des mécanismes d'out searching, etc., il me semble qu'une des sources que nous avons vraiment pour dégager des profits c'est de partager les coûts de R&D, et on a vu tout à l'heure qu'ils étaient extrêmement élevés.

Encore une fois, en amont, une bonne partie de nos problèmes de coûts de revient ont été réglés. Comme on ne pourra pas monter les coûts en aval, il faudra bien qu'on se partage entre nous les coûts de R&D, c'est forcément la voie dans laquelle on va aller.

M. Bois - Une question relative aux chiffres que vous avez donnés sur la mondialisation. Il y a un chiffre qui m'a beaucoup surpris, c'est que les sociétés américaines arrivent à maîtriser environ 50 % du chiffre d'affaires généré dans ce secteur avec une part d'investissement relativement faible, qui est de l'ordre de 30 %.

On peut avoir évidemment deux interprétations de cette observation, l'une – j'ai eu l'impression que c'est celle que vous faisiez – est que l'Asie est en train de préparer le futur et

surinvestit aujourd'hui par rapport au chiffre d'affaires généré, ce qui est une interprétation évidemment tout à fait raisonnable.

Est-ce qu'il n'y a pas aussi derrière cet écart de chiffres l'idée que les sociétés américaines investissent plutôt sur l'aval de la valeur ajoutée et donc finalement tirent plus de valeur ajoutée par dollar investi en ayant plutôt tendance à faire appel à de la fonderie pour de la production, et donc est-ce que cela ne signifie pas aussi que l'Asie investit beaucoup sur des technologies à faible valeur ajoutée, les mémoires, etc. ? Qu'en pensez-vous ? Est-ce que c'est uniquement la préparation du futur ?

M. Guilloumy - Je pense que votre propos est juste et pertinent.

En Asie, aujourd'hui, il y a une amplification énorme des investissements, mais pas uniquement dans des technologies de produits à faible valeur ajoutée, comme les mémoires et autres.

L'Asie est en train aussi de se positionner sur des technologies très avancées, des technologies de tranches les plus importantes et aussi vers ce que l'on appelle des « systèmes sur puces », c'est-à-dire avoir la capacité de produire des systèmes sur puces les plus sophistiqués.

Par contre, il y a effectivement une inéquation, un petit peu comme vous le soulignez, entre le montant des investissements des Américains, qui sont peut-être des investissements orientés aussi vers de la productivité à très court terme, par rapport à l'Asie, mais comme le disait M. Jean Therme tout à l'heure, si on faisait un parallèle avec ce qui s'est passé il y a vingt ans, les Japonais surinvestissaient, avaient des critères d'investissement qui étaient incomparables même avec les Américains et le reste du monde.

Qu'advient-il de cela ?

Par contre, aujourd'hui, la compétitivité technologique de l'Asie est une réalité alors qu'il y a cinq ans ou dix ans, l'Asie était capable d'assembler, de faire de la production mais avait une compétitivité technologique qui était moindre et qui était en retrait.

Aujourd'hui, l'Asie est capable, en termes de compétitivité technologique, de participer au monde du semi-conducteur, d'être un acteur important dans le monde, mais il y a une inflation des investissements qui ne sont pas toujours en ligne avec les chiffres d'affaires que présente la société asiatique.

M. Lavigne - Je vais être très bref.

Pendant un petit peu plus de huit ans, j'ai été président de Motorola et, l'âge ayant fait son œuvre, je viens de passer dans une nouvelle phase de la vie, comme on dit pudiquement.

Je voudrais partager un peu cette expérience de huit ans, mais très brièvement, en cinq minutes. Lorsqu'on est Président d'une filiale d'un grand groupe étranger comme l'est Motorola, on est d'abord au sein de ce groupe l'ambassadeur de la France et on fait de son mieux pour attirer les investissements en France, et grâce à des collègues extrêmement talentueux et tout aussi amicaux que Denis Griot et Jacques Blondeau qui sont dans cette salle, je pense que nous avons eu beaucoup de succès, nous avons pu investir dans notre pays.

Lorsque je rencontre des élus comme vous, Monsieur le Sénateur, et d'autres qui sont dans cette salle, j'ai un langage tout à fait opposé.

Je voudrais dire que tous les espoirs qui ont été indiqués par les excellentes présentations, sont tout à fait réels, mais il y a quelques handicaps dans notre pays qu'il faudrait absolument corriger très rapidement.

Le premier, lorsqu'on veut faire de la production, ce serait d'abord de supprimer ce handicap qu'est la taxe professionnelle qui, dans la comptabilité américaine, est incluse dans le coût des produits, et donc si on pouvait financer – vous ne trouverez aucun industriel raisonnable qui ne souhaite pas financer des infrastructures -, donc c'est plus l'assiette que le mode de financement qu'il convient de régler.

Nous aurions déjà quelques points de handicap en moins lorsqu'on veut passer à la production.

Le deuxième point, qui est beaucoup moins discuté de nos jours, touche aux effets extrêmement pervers de la loi sur les 35 heures appliquée aux cadres. Dans beaucoup d'entreprises nous avons réduit la durée de travail des cadres de 225, quelquefois 228, parfois 217 légalement, mais très souvent 210-211 jours.

Or, les cadres et les ingénieurs français, qui sont de grande qualité, tirent la locomotive France. En les faisant moins travailler, on va beaucoup moins vite et je ne sais pas comment corriger cela, mais c'est un effet extrêmement négatif que les autorités, que les élus et responsables de ce pays doivent absolument régler dans un horizon proche. On n'a pas encore vu les effets négatifs de cela, mais je puis vous assurer qu'ils arrivent. Il suffit de passer le vendredi après-midi dans les laboratoires et de voir comment ils étaient peuplés autrefois, et comme ils sont déserts maintenant.

C'étaient les deux seuls points que je voulais aborder.

(Applaudissements)

M. Claude Saunier, sénateur - Je vous réponds, Monsieur Lavigne, très brièvement.

Sur le premier point, c'est l'une des propositions que je transmets au ministre. Je crois qu'effectivement il y a une inadéquation des textes définissant les modalités d'application de la taxe professionnelle à la réalité de la filière industrielle.

Je veux dire qu'en particulier les dernières évolutions de la taxe professionnelle, qui étaient destinées à favoriser la création d'emplois, et on sait pour quelle raison, indirectement pénalisaient les gros investissements.

Or, la caractéristique de la microélectronique, c'est le poids massif des investissements, donc c'est là un problème. En plus, c'était plafonné, il y a toute une série de dispositions très concrètes et sur lesquelles j'appelle l'attention des pouvoirs publics.

Sur la loi des 35 heures, je sais que c'est à la mode de tirer dessus. Très franchement, je crois que pour avoir justement suivi au cours de ces mois de mise en œuvre la loi des 35 heures, pour avoir été en contact avec un certain nombre d'industriels, j'ai eu le sentiment que c'était tout de même un peu plus difficile à mettre en œuvre dans les petites et moyennes entreprises, et en particulier plus dans les petites entreprises artisanales que dans les très grands groupes industriels où la gestion de la masse permettait de faire face plus facilement aux données.

Je comprends bien votre argument selon lequel les cadres sont les moteurs des entreprises comme les vôtres et que l'efficacité d'un cadre se traduit en quelques décennies et qu'il y a là un vrai problème à gâcher le temps de plus forte productivité.

Néanmoins je voudrais, mais vous le savez aussi bien que moi puisque vous appartenez à une grande firme internationale, vous dire que l'engagement et le temps passé par les cadres dans les centres de recherche américains ne sont pas forcément supérieurs à ceux qu'ils passent dans les centres français.

Donc une interrogation, mais le débat est ouvert !

Une question ?

M. Didier Lamouche (Altis Semiconductors) - Je voulais revenir sur la question de M. Bois, tout à l'heure, au sujet du positionnement technologique des Asiatiques par rapport aux Américains.

Les chiffres qui ont été montrés par STMicroelectronics étaient très intéressants, ils cachent quand même une réalité et un point singulier, c'est que les données sur les Etats-Unis sont très fortement influencées par le cas d'INTEL.

INTEL, évidemment, est un leader technologique mais a la chance d'avoir réussi à imposer un standard et aujourd'hui ils ont 80 % du marché des microprocesseurs. Ayant 80 % du marché des microprocesseurs, ils en fixent le prix. En fixant le prix, ils travaillent avec des marges très importantes, et à l'inverse les chiffres asiatiques sont tirés dans l'autre

sens par le fait que la plupart des leaders sur des marchés comme les mémoires sont asiatiques.

Là, c'est exactement l'inverse. Je vous donne un exemple : aujourd'hui une mémoire standard que vous avez dans vos PC, c'est une mémoire 256 Mbit, les leaders mondiaux sont asiatiques, et d'abord Samsung. Le microprocesseur le plus avancé c'est un Pentium IV, dans le même PC. Le niveau technologique nécessaire aujourd'hui pour produire une mémoire 256 Mbit et un Pentium IV est le même. La difficulté est exactement la même, sauf qu'un Pentium IV cela se vend entre 200 et 400 dollars, une mémoire 256 Mbit selon les jours, voire les minutes, entre 4 et 10 dollars, il y a un rapport de 10 à 25. Mais, au fond, la technologie est exactement la même, donc si vous ne prêtez pas attention à cela, vous avez l'impression toujours qu'ils sont sur le bas de gamme. Ce n'est pas vrai du tout.

Je citerai un dernier exemple, sur les produits un peu plus spécifiques, les produits sur lesquels ST, Motorola sont, dans ce domaine, le leader mondial c'est une compagnie qui s'appelle TSMC, qui est taï wanaise, qui est le leader des fondeurs.

Les fondeurs, demain, vont représenter entre 50 et 60 % du marché mondial, c'est-à-dire que 50 à 60 % des composants spécifiques qui sont dans vos téléphones, vos ordinateurs, et vos applications avancées viendront de Taï wan, et comme TSMC a 50 % du marché, cela veut dire que bientôt un composant sur deux avancé en logique viendra de cette compagnie à Taï wan, le vrai danger est là, la technologie ils l'ont, donc il faut vraiment se sortir de la tête qu'ils sont sur le bas de gamme, la faible qualité. C'est exactement l'inverse.

C'est là où se trouve une des menaces pour l'Europe également.

M. Claude Saunier, sénateur - Si on y ajoute l'engagement des collectivités territoriales et des Etats, un engagement massif qui est en dehors de toutes les règles de l'OMC, et la complaisance avec laquelle l'OMC traite ces questions-là, je dois dire que l'Europe devrait se mobiliser aussi et être peut-être un peu moins vigilante à l'application de contraintes qu'elle se donne elle-même sur les règles de concurrence applicables en interne, alors que pendant ce temps-là le gouvernement taï wanais paye les usines, paye les machines, permet aux fondeurs de récupérer les machines et de les transposer en Chine du sud trois ans après.

Bref, on est en dehors de toute règle équitable de concurrence. C'est là peut-être un problème qu'il faudra à un moment ou un autre aborder, étant entendu que le fond de l'affaire, tout de même, c'est effectivement la compétence, c'est l'intelligence, etc., ce qui me permet de vous proposer de passer à la deuxième table ronde, modérée, animée par M. Bernard Faure, Directeur de Philips et Président du SITELESC.

M. Faure - On a vu ce matin que tout au long de la valeur ajoutée il y avait de la matière grise et donc c'est un sujet, je pense, dont on est tous conscients de l'importance. De

même que nous sommes tous conscients de l'importance de la formation professionnelle continue.

Compte tenu du court laps de temps qui nous est imparti, on a plutôt choisi de mettre quelques coups de projecteur sur deux ou trois sujets bien précis, de façon que dans la salle il puisse y avoir un dialogue plutôt que de longs discours.

Peut-être deux ou trois remarques liminaires, plus pour lancer le débat. Sur la formation continue, c'est un budget, en France, de 150 milliards d'euros environ. C'est une somme tout à fait considérable, donc des investissements d'une telle nature mériteraient une évaluation assez solide, sur le retour sur investissement et sur la façon dont cet outil est utilisé. Sur ces 150 milliards, en gros, l'Etat et les collectivités territoriales en payent 50 %, et les entreprises et ménages à peu près 50 %.

Ma première remarque liminaire serait de dire, par rapport à cet énorme budget de formation continue, comment est-ce qu'on le gère ? Et, si je peux me permettre, puisque c'est le moment de faire des propositions, on a un dispositif de formation professionnelle continue extrêmement compliqué, entre les flots de financement de la formation en alternance, de la formation en apprentissage, de la formation continue, des Chambres de commerce, des Chambres des métiers, etc. Il suffit de regarder combien, vu des entreprises, ce problème est complexe. Donc je proposerai à la fois de simplifier l'ensemble de ces flux financiers au niveau de la France, ce qui permettrait probablement d'éviter des saupoudrages de l'ensemble de ces sommes sur des formations extrêmement diversifiées, et en tout cas de les focaliser sur quelques filières telles qu'on les a vues tout à l'heure.

Ma deuxième remarque, c'est que l'ensemble du dispositif actuel repose sur un accord contractuel qui remonte à 1970, et une loi qui a repris cet accord contractuel mais avec des bases et des paramètres qui, à l'époque, étaient des paramètres du type : « il faut une formation sur l'ensemble de sa vie professionnelle, on ne va pas changer de métier ». La France, à l'époque, était extrêmement industrielle, donc il y avait une population industrielle très forte. Il faudrait réfléchir aux paramètres qui détermineraient une nouvelle proposition.

Pour en venir maintenant à la microélectronique un peu plus précisément, on sait que le nombre d'ingénieurs dans notre profession va continuer à augmenter. Je sais bien qu'on traverse des vagues et que dire cela actuellement c'est un peu difficile, mais on sait que monter un système de formation prend du temps et monter des structures, c'est recruter des professeurs, c'est recruter des doctorants, etc., c'est un mécanisme assez lourd. Le rythme d'augmentation des ingénieurs en microélectronique ne sera probablement pas du aussi marqué qu'on le prévoyait il y a deux ou trois ans mais nous n'avons aucun doute sur le fait que la population va continuer à croître et qu'il faudra mettre en place un outil de formation qui permettrait de le faire.

C'est à la fois un problème quantitatif, c'est également un problème qualitatif, et là j'allais dire que c'est l'inverse, c'est-à-dire qu'il faudrait que l'outil soit suffisamment adaptable aux évolutions des besoins de l'industrie. On a vu tout à l'heure la rapidité avec laquelle les technologies évoluent, c'est-à-dire que s'il faut mettre en place des blocs de compétences assez lourds pour les prochaines années, en tout cas pour les cinq prochaines

années, il faut également adapter les compétences et les métiers. Au niveau de la conception d'un circuit, ce n'est pas le même type de formation qu'au niveau d'une architecture de systèmes ou d'une architecture de réseaux.

Donc il faudra – on a vu tout à l'heure l'importance de l'évolution des systèmes sur puce, on a vu tout le problème des simulations, des tests, de la CAO, des plates-formes logiciels – qu'à la fois on mette en place un système de formations assez structuré et dans le même temps qu'on puisse avoir des adaptations à ces profils.

Je dirai également que manque, au niveau des compétences et des profils professionnels, un certain nombre de données qu'on voit peu apparaître au niveau des formations. J'entends par là la nécessité de travailler dans des équipes de projets, pour les ingénieurs actuellement en général dans un environnement international, je veux signaler le goût d'entreprendre. Je ne sais pas si on peut tellement le développer à l'école. Je voudrais signaler le souci de formation de ces collaborateurs. Je voudrais signaler le fait qu'on travaille dans un avenir incertain, qu'on n'a plus beaucoup de repères certains et qu'il faut s'adapter très vite, bref avoir des compétences nouvelles.

Je pense que par-delà la réflexion qu'on aura sur les compétences techniques et les profils techniques, une réflexion du type de compétence et de profils nouveaux serait tout à fait opportune.

Tout cela implique évidemment – on l'a dit et redit – à la fois un décloisonnement entre le monde universitaire et les instituts de recherche, probablement un décloisonnement aussi entre les instituts de recherche entre eux, et probablement aussi une coopération entre les industriels et les universitaires et le monde universitaire en général, tant au niveau de la conception des programmes que de l'orientation des programmes à venir.

Voilà un ensemble de réflexions permettant de lancer les débats qui vont venir. Peut-être Patrice Hesto, qui est professeur à Paris XI, va-t-il pouvoir nous donner les éléments de comparaison au niveau européen par rapport à notre système éducatif, voir comment il s'intègre ou il s'insère au niveau européen ?

M. Patrice Hesto - Je voudrais faire deux petites remarques.

Tout à l'heure, Jean Therme nous a parlé de lignes de soutien du ministère de l'industrie, de la DGA qui s'est étiolée, et du ministère de la recherche. Je voudrais quand même souligner que le ministère de l'éducation nationale, qui assure toute la formation, assure la formation des ingénieurs ou de personnes Bac +5, ce qui n'est pas une petite affaire et qui représente une somme non négligeable.

Je voulais aussi, un peu dans le même ordre d'idées, dire que si dans le grand tableau que nous a montré la personne de chez STMicroelectronics qui a remplacé M. Dauvin, on rajoutait une ligne sur l'intérêt de la formation, sur les gens qui sont formés, je

pense qu'au niveau de la France on pourrait mettre deux ou trois « plus », et cela représenterait quelque chose de non négligeable.

Je voudrais vous parler de la formation initiale en microélectronique et vous dire un peu comment les choses vont évoluer, de telle sorte que l'ensemble se mette au niveau de ce qui se passe en Europe. Vous avez peut-être entendu parler d'une certaine reconstruction des cycles de formation, et en particulier on va aller vers un système dit LMD, Licence Mastère Doctorat, ou 3, 5, 8, c'est-à-dire qu'il va y avoir des sorties de l'établissement scolaire vers le monde industriel, au niveau trois ans après le Bac -niveau licence-, cinq ans après le Bac -niveau maîtrise-, ou huit ans après le Bac niveau d'un doctorat.

Il y a une chose importante dans ce cadre-là, c'est qu'il y a la mise en place d'un système de crédits, ces crédits seront capitalisables et transférables et *a priori* dans toute l'Europe, c'est-à-dire qu'il y a des crédits qui pourront être acquis en Allemagne, en Espagne ou en Italie, et complétés par des choses qui se passeront en France. Ces crédits seront applicables à toute activité, que ce soit de l'enseignement, des stages, des mémoires, des projets, à toute forme d'enseignement, que ce soit de l'enseignement sur place ou enseignement à distance, de la formation initiale ou de la formation continue, et même des rythmes d'apprentissage.

Cela va progressivement se mettre en place, les premières formations correspondant au LMD, donc licence/mastère/doctorat, vont être mises en place, je pense à la rentrée 2003 si tout va bien, et petit à petit en quatre ans toute la formation en France va arriver avec un schéma de ce style-là.

Pour fixer un peu les idées, je vais essayer de montrer comment les choses vont s'articuler, et en particulier s'articuler par rapport à ce qui existe à l'heure actuelle. On va avoir le niveau baccalauréat, si je prends la filière universitaire, c'est ce qui est en vert, on va avoir un premier cycle d'études de trois ans qui va permettre de sortir au niveau licence. J'ai marqué « licence normale », c'est-à-dire les anciennes licences qui sont en fait au milieu d'un cycle d'études, mais il y a la mise en place de licences professionnelles et cela va répondre un peu à un besoin qui a été exprimé tout à l'heure, c'est-à-dire que ce seront des choses qui seront mises en concertation avec les industriels, et en particulier qui pourront participer aux enseignements.

Il y a quand même pour mémoire le DUT qui, au niveau Bac +2, ne va pas tomber tout de suite. Quand j'écris DUT, c'est DUT ou BTS. Normalement, les deux premières années de DUT ou de BTS feraient les deux premières années de la licence professionnelle.

Le deuxième cycle d'études de deux ans constituera le Mastère, soit le Mastère recherche qui permettra d'aller vers un doctorat, soit le Mastère professionnel. Pour aller vite, c'est un peu ce que l'on appelle à l'heure actuelle les DESS, mais qui vont être réorganisés avec les OCTS, et il y aura toujours entre les deux une sortie au niveau maîtrise, mais qui petit à petit va tomber.

Du côté des écoles d'ingénieurs, il y aura les classes préparatoires aux grandes écoles sur deux ans et après trois ans d'école d'ingénieurs, soit cinq ans ou le niveau maîtrise,

et donc en ce moment il y a des discussions au niveau des écoles d'ingénieurs ; peut-être M. Duby, s'il est là, pourra nous en dire quelques mots tout à l'heure.

Sur la gauche du transparent, vous avez une échelle d'années, 1, 2, 3, 4, 5, etc., et il y a une échelle de crédits OCTS ; en gros une année représentera 60 crédits. Pour arriver au niveau licence, il faudra avoir acquis 180 crédits, et pour arriver au niveau mastère il faudra avoir acquis 300 crédits.

Juste un mot sur la licence professionnelle, c'est relativement nouveau, cela a été créé en novembre 1999, et l'objectif premier de cette licence – ce qui n'était pas le cas de la licence traditionnelle- c'est l'insertion sur le marché du travail, c'est tout à fait dans le nouveau système LMD, c'est fondé sur un partenariat entre les universités, les autres établissements d'enseignement, par exemple les lycées au niveau des BTS, les entreprises et les branches professionnelles, cela doit donc intégrer les DUT, les BTS dans le cursus licence, et dans nos domaines, parmi les licences, il y a les licences dites des métiers de l'électronique, de l'information, des systèmes industriels, et il y a une vingtaine de formations, ce qui représentait, en 2001-2002, 500 inscrits, donc avec un certain nombre de mentions qui correspondent effectivement à notre formation.

Pour ce qui est plus spécifiquement de l'enseignement de la microélectronique – on en a entendu parler un certain nombre de fois depuis ce matin – il y a une coordination nationale de la formation microélectronique qui est un groupement d'intérêt public, qui a été mis en place entre 12 centres de ressources universitaires et le SITELESC. Cette coordination nationale, d'ailleurs, est présidée par M. Tordo. Donc il y a 12 centres de ressources qui sont souvent très proches des grandes centrales dont on a parlé tout à l'heure et des centrales de proximité. Vous voyez que c'est réparti à peu près partout dans toute la France et dans ces 12 centres il y a une bonne douzaine de DESS et de DEA qui ont profité des installations, 25 écoles d'ingénieurs et tout cela a formé un petit millier de diplômés en microélectronique par an, c'est à peu près les flux actuels. Il faudrait sûrement les augmenter mais à ce moment-là il y aurait un problème de moyens.

En plus, il y a à peu près 5 000 étudiants et élèves qui ont été initiés aux microtechnologies, au sens large, sachant que cela peut être des chimistes qui sont recyclés ou des gens qui ont une formation initiale qui n'est pas forcément tout à fait dans ce domaine-là.

Plutôt que de rentrer maintenant dans le détail, je crois que le mieux c'est que vous consultiez le site, qui est simple, www.cnfm.fr, et par exemple sur ce site, si vous cherchez le détail de tous les DESS ou des DESS participant au CNFM qui gravitent autour de sujets dans le domaine de la microélectronique, on trouve 11 filières qui ont formé près de 200 étudiants en 2001, qui vont de 3 DESS sur Bordeaux, 1 sur Grenoble, 1 sur Lille, etc. Voilà ce que je voulais dire pour lancer les choses au niveau de la formation.

Il est évident que les flux de sortie sont peut-être un peu insuffisants à l'heure actuelle, cela c'est un peu une question de moyens, il est sûr que quand on veut former des étudiants, en particulier dans le domaine de la technologie, cela coûte très cher de faire passer des étudiants en salle blanche.

Dans le domaine de la conception, à la limite, si c'est devant une station de travail, ce n'est pas forcément énorme, mais quand on va vers le système sur puce, quand on veut des plates-formes de prototypage et autres, ce n'est pas forcément simple non plus. Il y a un certain nombre de réflexions qui sont menées à l'heure actuelle pour essayer de faire que la formation, la recherche et le monde industriel arrivent à des solutions communes pour faire avancer les choses.

M. Claude Saunier, sénateur - Merci.

M. Faure - Maurice PINKUS, qui est directeur de formation à l'UIMM, va vous donner quelques chiffres clefs pour savoir de quoi on parle.

M. Maurice Pinkus - Bonjour. Je suis directeur emploi-formation à la Fédération des industries électriques, électroniques et de communication. Je suis en charge des questions de formation à la FIEEC et à l'UIMM, Union des industries et métiers de la métallurgie. Je m'occupe aussi du suivi de formations, des diplômés, en particulier de l'enseignement supérieur.

Le thème sur lequel je vais intervenir, c'est « la microélectronique, la haute technologie une chance à saisir ». Parmi les conditions de la réussite, et M. Hesto est déjà rentré dans le sujet, figure effectivement la capacité à trouver sur notre territoire une main d'œuvre de qualité. Pour cela, bien sûr il faut qu'il existe des formations de qualité, et pour animer ces formations des enseignants, des enseignants chercheurs, donc une recherche, des moyens d'enseignement et M. Hesto a insisté sur les moyens.

Pour ma part, j'insisterai davantage sur le fait qu'il faut aussi des élèves. Une des grandes inquiétudes que nous pouvons quand même avoir, porte sur l'approvisionnement de ces filières, et plus largement des filières des enseignements scientifiques et technologiques en étudiants pour les années à venir. Les chiffres clefs : disons que jusqu'à aujourd'hui la situation pour les formations qui nous intéressent a évolué plutôt favorablement puisque nous avons aujourd'hui des flux de diplômés en France de l'ordre de 25 000 diplômés par an. Les formations qui correspondent à ce que l'on peut appeler les technologies de la formation et de la communication représentent environ 40 % de cet ensemble de diplômés, 40 % c'est important.

Je dirai que lors des dernières années, ces effectifs de diplômés ingénieurs ont doublé en quinze ans, et en particulier c'est dans ces domaines des technologies de la formation et de la communication que les effectifs ont le plus évolué.

A côté des ingénieurs, il y a aussi, et fort heureusement, un appoint de jeunes diplômés de qualité issus de l'université. Jusqu'à aujourd'hui c'était Maîtrise et DESS ou DEA ; c'est en voie de transformation, comme M. Hesto vous l'indiquait, en filière licence puis Mastère. En tout cas, il y a là effectivement un potentiel de formation de qualité, bien animée, et on ne saurait trop insister sur la chance que nous pouvons avoir dans notre

domaine d'avoir une réelle coordination de ces formations avec le centre national des formations microélectroniques. C'est un cas un peu unique, d'ailleurs, dans le système universitaire français, d'avoir une réelle coopération entre différents pôles sur le territoire pour se partager les orientations, les spécialistes, partager les formations, avoir une politique d'équipements commune, etc. Donc c'est vraiment quelque chose d'important, que les industriels apprécient et soutiennent favorablement car ils ont un interlocuteur. Nous souhaiterions évidemment d'ailleurs que ce comité national des formations en microélectronique, sans trop insister sur les moyens, puisse effectivement continuer à jouer ce rôle qui nous paraît très important.

Donc, côté formation, je dirai que la situation est plutôt favorable et que par rapport à d'autres pays nous sommes plutôt bien armés sur ce plan-là.

Notre inquiétude réelle, pour les années qui viennent, porte sur l'approvisionnement de ces filières en jeunes, en jeunes de qualité bien sûr, et c'est peut-être une des raisons des problèmes que nous rencontrons, ce sont des domaines qui ne sont pas faciles. Il est certain qu'apprendre la microélectronique, la physique, cela demande du travail, ce sont des sujets ardues et pas toujours forcément considérés comme très attractifs.

Nous sommes confrontés déjà à une situation générale d'évolution de la démographie, cela nul n'y peut rien. Les classes d'âge sont ce qu'elles sont et de façon générale toutes les filières de formation vont devenir de plus en plus en concurrence les unes avec les autres pour attirer les jeunes.

En ce qui concerne les filières scientifiques et techniques, un fait que nous avons déjà commencé à subir à l'université ces dernières années : les effectifs d'étudiants dans ces filières ont chuté considérablement. En quelques années, dans bon nombre d'universités, dans les filières scientifiques, on a des effectifs qui ont diminué de l'ordre de 25 %, parfois plus sur certains endroits, donc c'est tout à fait préoccupant.

Du côté des écoles d'ingénieurs, je l'évoquais tout à l'heure, je dirai que cela résiste mieux. Jusqu'à aujourd'hui les effectifs ont continué d'augmenter mais les écoles d'ingénieurs ne parviennent pas toutes à faire le plein, dans leur filière, et en particulier dans ces domaines-là.

Il y a une raison sur laquelle je reviendrai mais qui ne facilite pas les choses, c'est que dans ces filières on ne trouve presque que des garçons. Déjà on se prive à la base de près de la moitié de la population de jeunes susceptibles d'intégrer ces filières, d'aller vers nos métiers. C'est un sujet sur lequel je reviendrai, qui fait que dès aujourd'hui les difficultés nous les rencontrons, et à vrai dire nous les rencontrons moins que les pays voisins, les Etats-Unis notamment, qui rencontrent ces difficultés depuis déjà de nombreuses années. Les Etats-Unis, eux, peuvent se permettre d'attirer des étrangers et de les garder, donc ils font ce travail. En France, c'est plus difficile.

C'est aussi un point sur lequel on pourrait éventuellement essayer de faire évoluer les choses.

Donc du côté du vivier, des inquiétudes sérieuses et des actions – j’y viendrai, c’est le point important – à mener pour essayer non pas de renverser mais au moins d’améliorer la situation.

Du côté des besoins des entreprises : évidemment on peut se placer du côté des Cassandre qui disent que de toute façon demain il n’y aura plus d’industrie, il n’y aura plus d’entreprises, donc le mieux c’est de ne rien faire. Ce n’est évidemment pas notre point de vue car nous avons un fort potentiel, il faut l’utiliser, il faut le développer, simplement il ne faut pas se cacher les yeux, il y a des problèmes.

Bernard Faure pourrait fort bien parler de l’attractivité du site France et il est vrai que si nous raisonnons aujourd’hui ensemble, eh bien il faut nous situer dans la perspective d’une amélioration de l’attractivité et non pas d’une détérioration, et si on se situe dans le cadre d’une amélioration de l’attractivité du site France et au moins d’une stabilisation de l’état de notre industrie dans ce domaine, eh bien il y aura, pour les années qui viennent, déjà à remplacer tous les ingénieurs qui vont partir à la retraite, et ils seront nombreux dans la décennie qui va venir.

On a un effet de ciseau important que nous voyons arriver, entre des besoins qui vont augmenter du côté des entreprises et des jeunes qui risquent d’arriver en nombre plus restreint.

J’en viens tout de suite aux actions que nous avons commencé à mener -quand je dis « nous », ce sont les organisations professionnelles- avec le ministère en charge de l’industrie. Nicole Fontaine aurait peut-être pu vous annoncer une initiative qui devrait être lancée pour améliorer l’attractivité des métiers de l’industrie, cela devrait se faire prochainement et nous pourrions dans ce cadre-là imaginer une action plus spécifique sur les ingénieurs et pourquoi pas aussi sur la microélectronique.

Nous avons avec l’UIMM, l’Union des industries métiers de la métallurgie, des actions de terrain qui sont mises en œuvre depuis déjà douze ans pour faire découvrir les entreprises aux jeunes des collèges, cela c’est quelque chose qu’il faut continuer, car il ne suffit pas de faire des coups médiatiques, c’est une action profonde et pérenne qu’il faut mener pour effectivement renverser les idées que peuvent avoir les jeunes de l’entreprise industrielle.

Et puis la FIEEC, que je représente, a mis en place une commission de relations avec l’enseignement supérieur et dans ce cadre-là nous envisageons de mener des actions à la fois d’échanges réciproques d’information sur l’évolution en amont du vivier, en aval de nos besoins, pour effectivement adapter au mieux, déjà sur le plan qualitatif, les profils des jeunes qui sont formés dans nos écoles, dans nos universités, et puis développer ensemble, puisque c’est quelque chose que nous partageons, des actions pour effectivement convaincre les jeunes de venir déjà dans les formations qui conduisent à nos métiers, et ensuite, une fois formés, d’aller réellement dans les entreprises industrielles.

Voilà les actions que nous allons mener, avec en conclusion deux vecteurs importants sur lesquels il faut avoir réellement des actions convaincantes, c’est en direction

des filles – là il y a un gros travail à faire pour qu'elles considèrent que le métier d'ingénieur ou le métier d'ingénieur en microélectronique est un métier ouvert aux femmes, on peut tous en attester, on a des exemples qui peuvent être mis en avant, c'est attirer les jeunes étrangers et on espère que la mise en place du nouveau système d'enseignement supérieur, conforme à des standards européens, permettra de faciliter l'accueil des jeunes étrangers, et puis un dernier mot sur la formation continue, car tout n'est pas joué à vingt cinq ans, nous avons de nombreux personnels dans nos entreprises qui sont capables effectivement d'améliorer leur qualification, et là il y a des rigidités qui ont renversé la situation, qui ont fait qu'aujourd'hui, avec la réduction du temps de travail, la formation continue a eu tendance plutôt à diminuer, et demain nous souhaiterions qu'avec une utilisation du temps libéré par la réduction du temps de travail, on puisse tout au contraire développer la formation continue.

Je vous remercie.

(Applaudissements)

M. Faure - Un troisième coup de projecteur pour illustrer de façon un peu concrète les relations et voir comment on améliore les relations entre le monde industriel et les universités.

Christian TORDO, qui est Directeur Général de Texas Instruments, a la parole.

M. Christian Tordo - Jean Therme, tout à l'heure, parlait d'un long voyage de quarante ans concernant l'émergence du pôle de Grenoble en microélectronique, je serai plus modeste en ce qui me concerne puisque la microélectronique sur Sophia, bien que notre société y soit présente depuis quarante ans, a eu un long moment de gestation et véritablement la microélectronique a décollé à partir de 1994.

Pour vous donner deux chiffres, en 1993-1994 la microélectronique en PACA Est, c'est-à-dire sur Sophia-Antipolis, représentait environ 800 personnes avec des activités extrêmement diversifiées y compris, à l'époque encore, de l'assemblage de puces pour l'industrie spatiale. Aujourd'hui, la microélectronique représente un volume d'emplois d'environ 2 500 ingénieurs, dont 90 % travaillent sur la conception, la conception de systèmes sur puce dans des géométries et dans des technologies extrêmement pointues, puisqu'en ce qui me concerne, mais d'autres sociétés font quasiment la même chose, on conçoit, on développe sur nos sites des systèmes dans des géométries de 130 nanomètres et des produits dans des plaques de 300 mm, ce qui est l'état de l'art en matière de conception et de production.

Qu'est-ce qui a fait le succès de la microélectronique à Sophia et que faut-il faire pour le pérenniser ? Premier élément, et je reviens là à ce qui a déjà été abordé sur le plan de la formation, l'attractivité de ce territoire pour les activités de R&D est liée à la facilité, ou du moins à la moindre difficulté, de recruter des gens et j'insiste parce que dans notre économie, que je préfère appeler « globale » plutôt que « mondialisée », la multiculturalité

est importante. Le site de Sophia-Antipolis est un des sites où nous sommes capables d'attirer des gens de toutes nationalités, de toutes cultures, ce qui encore une fois, dans une économie globalisée, me paraît un facteur extrêmement important.

Je souhaiterais vous faire partager deux convictions. Cela a été évoqué ce matin et un petit peu cet après-midi, mais je suis convaincu que nous sommes à l'orée, en matière d'industrie microélectronique, d'une nouvelle explosion tout simplement parce que nous allons de plus en plus aller vers des applications grand public où on ne parle pas en millions de pièces mais presque en milliards de pièces, et donc cela va obligatoirement avoir un effet d'accélérateur extrêmement important.

Dans ce cadre-là, on a beaucoup parlé de milliards d'euros, donc développement de la demande. Je pense, quant à moi, que le facteur limitatif du succès ou de la croissance, plus importante ou moindre, de cette industrie sur un territoire sera la capacité de ce territoire et donc des entreprises à recruter, donc à avoir les gens formés dont elles ont besoin.

J'en suis convaincu et je voudrais répéter ce que j'avais eu l'occasion de dire au Sénateur Saunier quand nous nous étions vus, je crois qu'en la matière la France a une excellente position parce que nous formons des gens de bon niveau, qui sont, je ne dis pas en nombre suffisant, cela a été évoqué, mais par rapport aux autres pays l'effet de ciseau est moindre.

Donc je considère que dans ce qui est pour moi le facteur fondamental du succès de notre industrie dans les vingt prochaines années, la France, il faut bien le reconnaître - cela a été évoqué par M. Lavigne - n'a pas beaucoup d'atouts en main de ce type, mais en l'occurrence la formation initiale et continue est un atout pour notre industrie. Cet atout, il faut d'abord le constater et le réaliser, je crois que c'est fait, et que le rapport le démontre. Il faut aussi l'entretenir et je voudrais très rapidement revenir sur la situation du CNFM puisqu'en l'occurrence, dans le cadre du GIPS CNFM, qui est la concrétisation de la coopération industrie/université en matière de formation, dont j'assume la présidence pour le SITELESC, ont été évoquées les difficultés de financement du CNFM.

Je voudrais de ce point de vue être un tout petit peu plus alarmiste que ce que M. Gentil a dit par pudeur, parce que tout simplement si nous ne sommes pas capables, après avoir eu un financement 0 en 2002, de renouveler, de récupérer les financements dont a besoin le GIPS CNFM pour fonctionner - on ne parle pas là en milliard d'euros mais en quelques millions d'euros -, je crois que toute la filière et tout ce qui a été dit depuis ce matin sera à passer par pertes et profits, parce que tout simplement, comme l'a dit M. Jutand, nous n'aurons pas les cerveaux pour travailler sur les programmes qui auront été financés.

Je sais que je parle à un convaincu, mais il faut vraiment que tous ensemble nous travaillions sur ces aspects parce que cela serait, compte tenu de ce que j'évoquais précédemment, dramatique pour notre industrie si ce financement n'était pas renouvelé, et il faut bien reconnaître qu'à ce jour nous n'avons aucune certitude sur la manière dont ce financement sera assuré, tant pour les missions qui existent, que pour celles qu'il faut développer, que ce soit sur les enseignements liés aux conceptions de systèmes sur une puce, les nanotechnologies, les biopuces, etc.

C'est donc le premier élément sur le site de Sophia, et par extension une des conditions, qui est pour moi la condition majeure de réussite de l'industrie microélectronique en France dans les prochaines années.

Deuxième élément, et là je ne m'étendrai pas parce que cela a été déjà amplement développé, c'est l'effet de cluster. Aujourd'hui, l'effet de cluster c'est la réunion dans un lieu d'une masse critique suffisante d'industriels, d'établissements d'enseignement supérieur, de laboratoires dans le cadre d'une coopération bien comprise entre les uns et les autres, dans une illustration de ce que l'on appelle en jargon le concept de « coopération » mais qui est extrêmement important, qui là aussi est un atout de Sophia-Antipolis parce qu'il existe – je crois que c'est même une des caractéristiques de notre territoire – cette coopération entre les clubs qui se développe, tant sur Sophia qu'en relation avec PACA Ouest, je pense au CREMSI, je pense au club High-tech, à Asten, etc.

L'existence ou l'émergence d'un cluster est un élément important de la réussite, et ce que je voudrais aussi évoquer sur ce point c'est peut-être la nécessité de mieux aligner les programmes nationaux de soutien à la R&D à l'existence du tissu industriel là où il est.

Je regrette par exemple – je pense que vous vous associez à moi – que dans les plates-formes technologiques qui ont été décidées – il y en a 4 – il n'y en ait pas en PACA. J'ai eu la faiblesse de considérer que PACA Est plus PACA Ouest cela constitue une région majeure en matière de conception et de production microélectronique, et donc si on ne fait pas cet effort de liaison entre les grands projets nationaux de renforcement de nos plans de la R&D et de l'existence d'un tissu industriel important, dynamique, et qui continue à se développer, là encore je pense qu'on prend un risque de retard, d'accumulation de retard et à terme d'une non pérennisation de ce qui a pu être réalisé.

En conclusion, je reste quand même, en ce qui me concerne – et je fais référence à ce qui a pu se passer chez nous sur les dix dernières années et ce qui commence aussi à se développer au sein de la Région PACA avec le site du Rousset -, la création de l'Ecole électronique de Gardanne, les projets que nous avons de centres communs mutualisés, convaincu que nous avons des atouts, mais encore une fois, pour moi, le principal atout est la formation initiale et continue et il ne faut absolument pas, de ce point de vue, me semble-t-il, transiger sur cet aspect.

M. Claude Saunier, sénateur - Merci M. Tordo.

(Applaudissements)

Je voudrais vous dire que je souscris pleinement à vos propos, aux vôtres Monsieur Tordo mais à ceux aussi de M. Faure, de M. Hesto et de M. Pinkus.

Simplement, je voudrais vous dire très rapidement que si, dans le cadre de ce colloque, l'équipe qui l'a organisé a délibérément consacré une plage entière aux conditions de la réussite liée à la formation, ce n'est pas un hasard.

Ce qui est en effet important et ce que nous avons entendu non seulement en France, mais ailleurs, c'est cette analyse-là, à savoir qu'il s'agit d'un secteur où l'enjeu majeur se joue sur la capacité de mobiliser, de former les intelligences, que ce que nous observons ici en France, plutôt moins qu'ailleurs, c'est effectivement la désaffection par rapport aux disciplines scientifiques, c'est un vrai problème qui affecte en particulier les pays hautement industrialisés, beaucoup moins l'Inde, beaucoup moins la Chine.

Nous sommes effectivement dans un secteur où, assez paradoxalement, la mondialisation fonctionne aussi à plein et nous, nous avons un système de formation, à la fois très largement ouvert, globalement démocratique où l'accès est quasiment gratuit, même s'il y a des progrès à faire, mais qui se fait régulièrement écrémer par d'autres Etats qui ne consacrent pas collectivement d'argent à la formation des jeunes et qui, économisant de ce côté-là, peuvent se payer le luxe de prendre les meilleurs de nos thésards et de leur faire un pont d'or -vous voyez à qui je pense en particulier ! – et dont l'organisation naturelle est d'envoyer des chargés de mission faire le tour des universités.

J'ai rencontré un industriel du côté des Etats-Unis qui, régulièrement, tous les ans, fait le tour de 22 universités chinoises. Je pense qu'il y en a d'autres qui doivent prospecter dans nos universités.

Cela ne coûte pas très cher de prendre un jeune thésard et de lui faire un pont d'or, quand on sait que c'est un autre pays qui a pris le bébé, qui l'a conduit à la maternelle, à l'école primaire, au collège, au lycée et au niveau de la licence ou des écoles d'ingénieurs.

Donc nous sommes dans un environnement de compétition, nous sommes aussi dans un environnement en grande mutation. C'est à la fois un risque et une chance, puisqu'on le sait, la donnée démographique majeure c'est que dans les cinq, dix ans qui viennent, la moitié globalement des effectifs de l'éducation nationale vont être renouvelés. Je ne dis pas que l'éducation nationale ne fonctionne pas bien, je dis que c'est une opportunité de réadapter le système éducatif sans que cela pose de problème majeur au personnel en place.

Sur toutes les questions qui ont été évoquées en introduction par M. Faure, sur la nécessité de revoir le dispositif de formation, bien entendu, mais je veux dire qu'il n'y a rien de criminel à dire qu'une loi qui date de 1971 n'est pas aujourd'hui totalement adaptée aux réalités économiques et sociales de 2003, donc la révision de cette loi qui est une grande loi, qui est une loi fondatrice, la mise en place de certains de ces dispositifs et leur adaptation à ces dispositifs, à la spécificité de filières industrielles qu'on ignorait évidemment en 1971, me semblent effectivement dans l'ordre du raisonnable et du souhaitable.

De même, dans les propositions concrètes que je fais, il y a la nécessité de revoir le fonctionnement de nos filières de formation en tenant compte de la nécessité de la pluridisciplinarité. Cela vaut pour vous, filières industrielles, comme pour un certain nombre d'autres et très concrètement je suggère à l'honorable institution universitaire de revoir sa capacité et ses modalités d'estimation et de validation des services, de notation des personnels. Il n'est pas normal que quelqu'un qui fait l'effort de dépasser sa propre formation initiale et de s'intéresser à d'autres disciplines soit plutôt pénalisé par cet effort-là.

Tout cela doit être pris en compte, sera transmis là où cela doit être transmis, y compris l'élément qui n'est pas secondaire et que vient de me rappeler M. Tordo sur le financement très spécifique du CNFM. C'est un élément évidemment stratégique, on parle en fait de 5 à 7 millions d'euros, on ne peut pas dire que sur un secteur dont on voit depuis ce matin que c'est un secteur stratégique, un pays comme la France ne peut pas se donner les moyens de faire face à la consolidation d'un outil de formation comme le CNFM.

Voilà deux ou trois mots que je voulais évoquer. Nous en avons déjà discuté depuis maintenant plusieurs mois et je voulais vous dire que tout cela a été bien intégré dans les propositions que je fais.

Il est temps de faire une pause.

(La séance, suspendue à 15 heures 45, est reprise à 16 heures).

M. Claude Saunier, sénateur - Mesdames, Messieurs, le milieu de la microélectronique est un milieu très largement masculin, j'espère que des progrès seront faits grâce à l'engagement des jeunes étudiantes qui sont souvent brillantes mais qui prennent parfois d'autres directions.

Je voudrais vous remercier pour la discipline dont vous faites preuve, nous travaillons depuis 9 heures 30, nous avons cinq minutes de retard, ce que je n'osais espérer. Le dernier point que nous abordons est le volontarisme collectif, introduit par deux réflexions préalables.

Nous aurons tout d'abord Laurent GOUZÈNES, Directeur du plan et des programmes d'études de STMicroelectronics, et puis M. Gérard MATHERON, qui est Directeur du programme européen Médéa +. Ensuite, vers 16 heures 30, nous aurons une table ronde réunissant un certain nombre de personnalités que je présenterai à ce moment-là. Laurent Gouzènes, vous avez la parole.

LE VOLONTARISME COLLECTIF

1. L'engagement des concurrents

M. Laurent Gouzènes.- Merci.

J'ai la redoutable tâche de vous présenter les stratégies politiques de tous les pays de la planète en quinze minutes, donc forcément cela va être très court, très restreint.

Les Etats s'intéressent en fait de très près à l'industrie du semi-conducteur. Pourquoi ? Parce que cette industrie entraîne dans un premier temps l'industrie électronique,

avec des produits électroniques, qui est une industrie qui fait environ 1000 milliards de dollars.

Cette industrie de l'électronique permet, derrière, une industrie des services qui, en chiffres, correspond à des ressources entre 5 et 14 000 milliards de dollars, c'est donc un volume évidemment extrêmement important d'activités et de services, qui génèrent beaucoup d'emplois bien entendu. C'est à cause de cette importance considérable du secteur entraîné que les Etats s'intéressent de très près à la compétitivité de leur industrie de semi-conducteurs et donc cherchent à en susciter le développement au maximum.

La microélectronique, c'est la technologie clef de l'électronique et c'est à cause de cela que les Etats vont la soutenir. Les Etats ont à leur disposition un ensemble d'outils et chacun d'entre eux va choisir, selon son organisation propre, sa taille, ses possibilités, en fait un ensemble dans la palette des modes d'intervention qui sont divers.

La R&D représente 15 % du chiffre d'affaires des entreprises, et donc à ce titre c'est un des facteurs clefs de leur succès et c'est sur ce point que les Etats fournissent en général une assistance très importante aux entreprises qui sont chez eux. Cela peut être par le financement des laboratoires, par des mesures fiscales particulières ou des modèles de coopération, notamment l'élaboration de programmes de coopération.

Deuxième grand axe : les investissements. Ils représentent traditionnellement entre 20 et 25 % du chiffre d'affaires des entreprises, et à nouveau tout élément qui permet de faciliter et de susciter des investissements dans un pays, à travers des subventions directes à l'investissement ou des déductions diverses, est évidemment extrêmement important, c'est ce que comparent les entreprises qui veulent s'installer dans un pays ou dans un autre.

Quant à la fiscalité, il s'agit évidemment, on l'a vu, d'un marché important et souvent beaucoup de fiscalités sur les entreprises sont basées sur les investissements, et comme les investissements sont aussi très élevés, évidemment la fiscalité locale est un facteur très important.

Autre outil à disposition des Etats : les « moyens » d'aider les entreprises à conquérir le marché. Il y a une guerre qui était bien connue, qui s'est passée entre les Etats-Unis et le Japon, car le Japon voulait absolument interdire l'implantation de semi-conducteurs étrangers sur son territoire. Il a fallu que les Etats-Unis se fâchent, mettent des sanctions commerciales, signent des accords anti-dumping et obligent le Japon à avoir une ouverture de leur marché à hauteur de 25 % pour que le Japon ouvre ses portes aux semi-conducteurs étrangers. Ceci étant, c'est quasiment 25 % de semi-conducteurs américains et non pas européens évidemment !

Autre facteur de compétitivité sur lequel les Etats peuvent effectivement aider les entreprises, on en a parlé longuement, c'est l'emploi et la formation. L'emploi, que l'on peut directement aider à travers des systèmes qui favorisent l'emploi, dans ce secteur : la flexibilité, des moyens de rémunération des personnes qui vont travailler dans ce secteur nouveau et à haut risque, et puis la formation dont on a parlé tout à l'heure.

J'ai choisi pour illustrer ces modalités de vous présenter plus en détail Taï wan, qui est un pays qui a utilisé presque à fond l'ensemble de ces outils pour développer son industrie. C'est remarquable surtout par l'ampleur des résultats, cela montre qu'en faisant beaucoup on peut arriver aussi à énormément de choses.

La première étape consistait, en 1991, à définir un certain nombre de secteurs prioritaires, dont les semi-conducteurs, mais également des secteurs qui dépendent ou en amont, ou en aval, des semi-conducteurs, dont les communications, l'informatique, les machines équipements de production et matériaux. On a donc au moins trois axes qui ont été très renforcés sur lesquels des lois spéciales ont été faites, concernant la R&D, la fiscalité et l'industrialisation.

Dans un premier temps, Taï wan a développé progressivement un centre, un ensemble de laboratoires de haute technologie qui ont permis de maîtriser le savoir, puis le savoir-faire donc la technologie, et enfin ils ont converti cela en possibilité industrielle.

Le cœur du dispositif taï wanais c'est l'ITRI. L'ITRI correspond au CEA-LETI, mais en beaucoup plus gros : 6 000 personnes, contre 1 000 personnes au CEA. L'ITRI est donc six fois plus gros que le LETI.

L'ITRI a beaucoup d'activités. Une très grosse partie de l'activité, c'est la microélectronique-silicium, le développement des procédés mais également tout ce qui est les machines en amont, les matériaux et également non seulement le « front end » mais également le « back end », donc le packaging, et tout ce que l'on fait avec le silicium, c'est-à-dire tout ce que l'on peut faire à partir de là, de l'optoélectronique, de l'ARF, on peut faire des microsystèmes, on peut faire d'autres technologies connexes qui sont les écrans plats et puis on s'intéresse également aux produits finaux que l'on fait avec, c'est-à-dire les assistants personnels, les décodeurs, les cartes à puce. En fait Taï wan, aujourd'hui, commence à être un leader sur le marché des assistants personnels, à arriver très fort sur le marché des décodeurs et on va bientôt la voir arriver sur le marché des cartes à puce et des téléphones.

Il y a également une autre technologie micro, c'est tout ce qui est DVD, les technologies de CD également, sur lesquelles Taï wan est en train également de prendre une part de leader sur toute la chaîne de production, cela va de la fabrication du disque au système de codage et de décodage de l'image.

L'ITRI rend possible la création de laboratoires communs entre industriels, éventuellement partagés entre plusieurs industriels et l'ITRI. C'est un premier point technique.

Deuxième point : il offre la possibilité, à travers des programmes nationaux, d'attaque des thèmes donnés et là par exemple j'en cite deux, il y a les « systèmes sur puces », et l'autre c'est typiquement le GSM, la communication sans fil, sur lesquels on associe à la fois des laboratoires, l'ITRI et plusieurs industriels en aval.

Quand tout cela donne des produits, l'ITRI fait des spin off, ces spin off, la plupart sont très connus, c'est TSMC, UMC et d'autres dans notre secteur, mais dans les écrans plats

il faut savoir que Taï wan représente 40 % de la production mondiale, c'est absolument énorme pour une production qui n'existait pas il y a quatre ans.

Un autre point, puisqu'on parlait des hommes, le transfert des hommes depuis l'ITRI est quelque chose d'impressionnant puisque en moyenne, depuis 1993, l'ITRI a transféré 1 000 personnes par an dans l'industrie.

Ce petit pays de 21 millions d'habitants a créé l'ITRI. Il a ensuite créé ce qu'ils appellent des parcs technologiques, c'est-à-dire des zones spéciales qui sont un peu des zones franches dans lesquelles c'est le paradis des investisseurs, il n'y a pas d'impôts à payer, on est remboursé de tout ce que l'on devrait théoriquement payer comme impôts et on reçoit de l'argent en plus, cela fait qu'évidemment cela a très bien marché !

M. Claude Saunier, sénateur - On peut rêver !

M. Gouzènes - Il y a évidemment beaucoup d'usines. Il y a 52 usines à Hsinchu, 52 c'est quatre fois ce qu'il y a en France. C'est quand même très impressionnant, et même dans le Sud de Taï wan il y a aussi une forte activité puisque le Nord est saturé, le résultat en final c'est qu'en moins d'une dizaine d'années s'est créé un parc technologique de plus de 100.000 emplois locaux directs dans les technologies semi-conducteur, écrans plats et CD dont j'ai parlé tout à l'heure, et que Taï wan, dans le semi-conducteur, assure 10 % de la production mondiale, c'est-à-dire autant que l'Europe à elle toute seule.

Vu des entreprises, qu'est-ce que cela donne quand on se situe tout au bout ? Quand on regarde les ratios de R&D d'une entreprise de semi-conducteurs classique, on trouve des chiffres qui sont d'un ordre de grandeur de 15 % du chiffre d'affaires. Si on regarde de près les comptes de TSMC, UMC, on s'aperçoit que ces chiffres sont autour de 3 à 5 %, ce qui montre donc qu'en fait la technologie de ces grands fondeurs leur est transférée de façon quasiment gratuite par l'ITRI. L'ITRI est un centre technologique qui transfère « gratuitement » ses technologies aux industriels taï wanais. C'est le premier grand facteur de réussite.

Deuxième autre grand facteur de réussite, les mécanismes fiscaux qui permettent de déduire les investissements. Il y a d'une part une double déduction des investissements, c'est-à-dire qu'en fait les industriels sont remboursés d'impôts en fonction de leurs investissements, et ils ont également des possibilités de fiscalité réduite, voire nulle, notamment ils ont une exemption de cinq ans d'impôts sur les bénéfices, cette exemption d'impôts étant reconductible par tranches d'investissement, ce qui leur permet donc de rouler en permanence sur des activités qui sont non imposées.

Pour donner des ordres de grandeur sur ce que représente cet avantage, on peut regarder à nouveau de près les comptes de TSMC, sur les quatre années, 1997, 1998, 1999, 2000. Les chiffres sont en dollars taï wanais, sur les trois lignes, cela fait de gros chiffres. Il faut diviser à peu près par 30. Si on regarde la dernière colonne, 166 milliards de dollars

taï wanais, c'est-à-dire 5 milliards de dollars, on voit que le bénéfice avant impôts, 63 000, représente donc à peu près 40 % du chiffre d'affaires, chose étonnante c'est que le bénéfice après impôts est supérieur ! Quand j'ai dit que c'est le paradis des investisseurs, c'est tout à fait vrai, vous pouvez vérifier que sur toute la ligne « après impôts » on est plus riche qu'avant impôts !

Les ordres de grandeur, quand on traduit en euros le montant de ces bénéfices après impôts, sont de 500 millions d'euros, 400, 700, 2 milliards d'euros, alors 2 milliards d'euros sur lesquels vous ne payez pas d'impôts, si en France cela se passait avec un niveau d'imposition qui est à 35 %, cela représenterait 700 millions d'euros d'avantages en une seule année !

Je ne connais pas le détail des chiffres du ministère de l'industrie sur les financements de la microélectronique, mais enfin c'est largement plusieurs années de microélectronique en France.

Il n'y a pas que les Taï wanais qui font cela, évidemment. Le paradis de la libre entreprise c'est l'Amérique, où on laisse les entreprises faire toutes seules. On a fait une grande étude avec l'IDATE pour identifier ces financements. Il y a beaucoup d'organismes qui financent la recherche des laboratoires et des industriels aux Etats-Unis, et on a trouvé des financements qui étaient, en 2000, entre 900 et 1 milliard et demi de dollars par an.

Quelques petits exemples aussi pour voir comment cela se passe, par exemple à Eastfishkill au Nord de New York ; il y a le grand centre d'IBM en 300 mm qui va démarrer et sur lequel, au total, 659 millions de dollars d'aides ont été accordés pour réaliser ce projet.

On aide sur les grands projets, mais on va aider également l'infrastructure, par exemple le Department of Commerce a un programme ATP de transferts de technologies, et en fait on voit par exemple qu'il a donné 9,5 millions de dollars à une petite entreprise pour faire un système de contrôle, une machine de contrôle de qualité.

Et puis, la DARPA, on trouve aussi en aval les grands programmes d'aide à l'informatique sur le high performance computing, avec tous ses sous-projets dans lesquels on trouve environ 1,8 milliard de dollars, donc un chiffre absolument considérable, dont une partie retombe évidemment sur l'électronique et les architectures de calculateurs. A cela se rajoute aussi, ce qui est important pour une entreprise, un crédit impôt recherche qui se fait en volume sur une partie de l'activité.

On ne peut pas faire le tour de tous les pays mais on peut encore citer trois pays et quelques exemples.

A Singapour, l'impôt sur les sociétés en standard est de 20 %, donc évidemment beaucoup plus faible qu'en France ou en Allemagne, mais il y a également une formule particulière, ce sont des impôts à 5 % pour ceux qui sont des pionniers, comme par hasard ce sont toujours les gens qui font de l'électronique et des semi-conducteurs. Un point qui est important, qui permet de rapatrier des gens qui viennent des Etats-Unis et leur offrir de hauts salaires nets, c'est qu'en plus la tranche maximale de l'imposition est à 26 %, donc une

tranche qui est beaucoup plus faible évidemment que dans beaucoup de pays, notamment européens.

L'Irlande dispose de fonds structurels européens. Le taux d'imposition pour les entreprises est de 10 et va passer à 12 % très bientôt, ceci étant cela reste à un niveau très bas et ceci justifie les investissements massifs d'INTEL qui fait des bénéfices colossaux. En gros, on a évalué que les avantages d'imposition pour INTEL en Irlande lui permettaient de se payer une nouvelle unise à 2,5 milliards de dollars tous les six ans gratuitement !

Egalement le développement du NMRC, parce que comme les Irlandais ont peur qu'INTEL se sauve, ils ont créé un centre de recherche qui s'appelle le NMRC qui se développe et sur lequel ils refont un peu comme Taï wan, ils décident de mettre de l'argent, mais enfin ils sont plus petits, donc ils en mettent moins.

Les Etats ont suscité en fait, pour les entreprises, des regroupements qui leur permettent d'atteindre la taille critique et donc on voit se constituer, dans les différentes zones géographiques, que ce soit le Japon, l'Amérique, Taï wan, et même la France, puisqu'en France on a aussi quelque chose à Crolles qui est de bonne taille, des gros centres qui regroupent des industriels qui font de la recherche en commun.

On voit également, ce qui est important, les plaques centrales de TSMC et de Taï wan qui en fait, maintenant, sont reliées à toutes les autres parties du monde.

Il y a également la stratégie américaine. INTEL est tout seul, il est tellement gros, qu'il peut vivre tout seul. Il y a encore des Américains qui vivent tout seuls, mais on va certainement voir des regroupements, des rattachements très bientôt.

Ce qu'il faut retenir c'est que tous les pays ont des formes d'aide à leurs entreprises, que les formes de soutien sont extrêmement variées, des formes financières, formation, recherche, etc., et cela fait beaucoup de choses. La France doit agir de façon compétitive par rapport à ce qui se fait ailleurs pour garder son industrie.

Merci.

(Applaudissements)

M. Claude Saunier, sénateur - Deuxième intervention, après le niveau mondial, que font l'Europe et la France ?

Monsieur Gérard MATHERON va nous en dire deux mots.

2. Les réponses françaises et européennes : les dispositifs nationaux, les programmes européens.

M. Gérard Matheron - Monsieur le Sénateur, Mesdames, Messieurs, quand on m'a demandé d'intervenir sur le thème des actions françaises et européennes, des dispositifs, je me suis dit : il y a là deux pièges, le premier c'est d'essayer de faire une liste la plus exhaustive possible, ce que je serais évidemment incapable de faire compte tenu de la complexité, de la variété, de la diversité, du fouillis des différents instruments d'intervention en France et en Europe. Le second, c'est de citer des chiffres et de me faire accuser d'être soit trop laxiste, soit au contraire trop réducteur.

Malgré tout, j'accepte le défi et je vais essayer de décrire le plus simplement possible, et je crois qu'un certain nombre de mes collègues ont essayé aussi, de montrer la microélectronique sous son angle le plus simple même si c'est un petit peu réducteur. Quelles sont, au-delà de ce que les autres régions en concurrence avec l'Europe font, comme vient de le montrer Laurent Gouzènes, les actions en France et en Europe dans le domaine de l'aide à la microélectronique, et en particulier l'aide à la chaîne de valeur microélectronique.

Schématiquement, encore une fois, de façon très simplifiée, il y a trois grands types d'intervention :

évidemment, l'intervention des Etats. Elle figure ici dans la deuxième colonne en partant de la gauche, pour laquelle la décision vient essentiellement des gouvernements, dont les principaux objectifs sont de créer ou de soutenir l'emploi, de créer ou de soutenir les champions nationaux et de favoriser la mise en relation des équipes en particulier au niveau universitaire par la formation de réseaux de recherche.

l'échelon européen, au sens de la commission européenne, à travers les différents programmes cadres qui se sont succédé, une initiative qui part de la commission européenne elle-même, qui gère à la fois les objectifs et les budgets avec une volonté d'ouverture, et je crois que c'est un des défis les plus importants qui se pose à l'Europe aujourd'hui, ouverture à tous les pays, à tous les acteurs. C'était difficile à 6, cela l'était plus à 12, cela le sera encore plus à 25, d'un point de vue politique s'entend, de partager les connaissances, de donner donc accès à ces connaissances à la plus large majorité d'individus, de citoyens européens d'où l'importance croissante de servir des besoins sociétaux au-delà même de l'accès aux technologies ou aux infrastructures industrielles, et enfin de mettre aussi en relation les laboratoires, les PME, les grandes entreprises.

le troisième schéma qui s'est développé depuis maintenant une quinzaine d'années dans le cadre de l'environnement Eurêka. Rappelons qu'Eurêka est une initiative industrielle appuyée par les Etats, donc c'est un mixte d'initiatives industrielles et de soutiens publics aux niveaux nationaux, qui se situe d'une façon un petit peu intermédiaire par les moyens d'intervention entre l'action de la commission européenne et les actions nationales.

Il y a eu dans le cadre de la microélectronique, puisque c'est de cela dont on parle aujourd'hui, trois grands programmes qui se sont succédé :

➤ JESSI, qui était essentiellement centré sur le rattrapage technologique. On disait en 1987-1989 que l'industrie microélectronique européenne était morte. L'histoire a montré que les énergies rassemblées ont permis d'éviter cette catastrophe, et au contraire de resituer l'Europe en position de compétitivité.

➤ Medea a voulu développer un peu plus dans le sens de la chaîne de valeurs en impliquant davantage les industriels des systèmes, donc développer un certain nombre d'activités, liant les sociétés de systèmes électroniques et les sociétés de semi-conducteurs.

➤ Medea+, qui lui succède depuis le début de l'année 2000 jusqu'en 2008, a en fait pour ambition d'intégrer complètement cette chaîne pour permettre de développer les innovations en système sur silicium.

Donc innover, bien évidemment, c'est un programme de recherche système sur silicium, on l'a entendu dire plusieurs fois dans la journée, c'est l'objectif général de la microélectronique et de la nanoélectronique qui s'ouvre derrière, couvrir des besoins par des solutions technologiques et mettre l'Europe en situation de leader mondial, c'est en tout cas l'ambition principale du programme Medea + actuel.

Si on essaye maintenant de mettre dans une échelle un peu tridimensionnelle ces différents instruments d'intervention pour les coopérations, on va distinguer d'abord deux niveaux de positionnement, l'un qui est le niveau européen et l'autre qui est le niveau national, donc des programmes comme Medea ou ceux de la commission européenne se situent dans l'environnement européen, et au niveau national on a d'autres types de montage.

L'axe vertical représenté ici est en fait l'axe de la masse critique, c'est-à-dire du coût des projets individuels ; cette échelle est en millions d'euros, on a positionné les projets IST classiques tels qu'ils existaient par exemple dans le V^e programme-cadre, les réseaux nationaux qui sont des projets entre 0 et une vingtaine de millions d'euros. Pour les projets IST intégrés, on attend des budgets nettement plus importants, dont les prochains mois nous diront si on a raison de les attendre de cette manière-là.

Enfin, pour les projets de type Medea, le poids moyen se situe plutôt aux alentours de 50 à 60 millions d'euros. Donc il y a un aspect très important sur l'ambition et la focalisation et les moyens alloués à chacun de ces types de programmes.

Il y a un autre axe qui est un peu plus technologique, aller du hardware vers les services, permettant en particulier les expérimentations de nouveaux services.

Enfin, il y a le troisième axe, que l'on oublie parfois un petit peu, qui est celui de la simplicité du montage. Une action nationale, une intervention directe de l'Etat auprès de l'université ou auprès d'un acteur industriel, c'est relativement facile à monter, c'est bilatéral. Un réseau national, c'est déjà un petit peu plus compliqué à monter, on reste quand même dans un environnement national, les gens se connaissent.

Un programme IST, c'est encore plus compliqué parce qu'il fait intervenir plusieurs pays, mais il y a un budget commun, donc une fois que le projet est accepté, il faut le faire tourner mais on a une décision.

Un projet de type Eurêka, un projet Medea, c'est tout cela mis bout à bout, c'est-à-dire que c'est à la fois des acteurs qui ont des ambitions et des objectifs différents, et ce sont aussi des pays qui ont des ambitions, des politiques et des budgets différents.

Donc, autant il est important de développer des projets de taille très ambitieuse pour permettre à l'Europe de se situer en position de leader, autant il est important de coordonner les actions des différents pays qui doivent intervenir à ce moment-là pour soutenir ces projets. J'y reviendrai dans la suite.

En essayant de balayer les différentes actions, les programmes nationaux – je prends l'exemple des réseaux, le RMNT qui touche vraiment à la microélectronique mais également le réseau dans les technologies Télécom, les technologies logiciels et les RTP dont on nous a parlé tout à l'heure – ont certainement permis l'amélioration des relations entre les acteurs nationaux, qu'ils soient en amont dans l'université, ou le CNRS, mais également les industriels, ils ont partiellement, très partiellement compensé la disparition du rôle du CNET ou l'affaiblissement du rôle du CNET en tant que prescripteur technologique au niveau national, ils ont permis l'engagement conjoint des ministères de l'industrie et de la recherche. Je pense que M. Costes et que M. Caquot en parleront également par la suite, c'est extrêmement important au niveau national, et ils ont déjà conduit – les évaluations le montrent – à des résultats tangibles.

Cela étant, il ne faut pas s'arrêter parce qu'on a obtenu certains résultats, ils doivent être poursuivis et également se prolonger probablement par des actions au niveau européen ; lorsqu'on a atteint un certain statut au niveau national, il est indispensable de passer à l'échelle suivante dans le contexte de mondialisation qu'on nous a décrit tout à l'heure.

Si on regarde maintenant les actions nationales et régionales, là je me jette à l'eau ; comme on est en pleine semaine franco-allemande, j'ai pris deux exemples en Europe, l'Allemagne et la France.

En Allemagne les crédits du BMBF, dans le cadre du programme recherche sur les technologies de l'information en 2006, affectent aux actions de recherche industrielle – j'ai exclu des chiffres qui figurent sur le réseau pour le BMBF les interventions auprès des grands organismes comme la Fraunhofer, Gesellschaft ou les autres grands instituts - donc les interventions directes du BMBF c'est à peu près 320 M€ par an, dont environ 130 pour les actions proches de la microélectronique et les microsystèmes. Cela, c'est au niveau de l'Etat fédéral allemand.

Au niveau régional, si on prend l'exemple du Land de Saxe, un investissement important dans un pôle fondamental pour l'Europe qui est Dresde, le site SC 300 Infineon représente environ 200 millions d'euros d'intervention.

On peut considérer, par rapport à ce qui se passe aux Etats-Unis, que ce sont des investissements tout à fait significatifs qui montrent bien l'engagement des Etats et l'engagement des régions.

En France, on a une situation très proche, elle est un petit peu plus compliquée par le fait qu'on arrive à 330 M € en mettant le ministère de l'Industrie, l'ANVAR et le ministère de la recherche sur les technologies de l'information et sur la microélectronique, on trouve environ 120 M € par an, donc des chiffres relativement comparables avec peut-être un peu plus de procédures et des niveaux différents d'intervention.

Si on regarde au niveau d'une région, celle qui a été mise en évidence dans le programme du colloque aujourd'hui, c'est la région Isère-Rhône-Alpes ; on a un investissement pour le pôle industriel Crolles 2 et un investissement pour le pôle Minatec dont la somme est à peu près au niveau de ce qui a été investi à Dresde.

Donc encore une fois on a deux pôles importants, France et Allemagne, mais au-delà de cela on n'a effectivement pas grand-chose en termes de pôles nationaux lourds en Europe, et on a des Etats qui interviennent partiellement qui considèrent que la microélectronique est importante, mais pas avec des budgets de cet ordre de grandeur.

Lorsqu'on fera la synthèse européenne en fin d'exposé, on verra que finalement la France et l'Allemagne sont les poids lourds mais que cela ne suit pas beaucoup derrière.

En ce qui concerne le programme-cadre européen : la constatation des industriels à l'issue du V^e programme a été de dire que son efficacité, qui était totalement reconnue dans le III^e et au début du IV^e, avait fortement diminué du fait de la dispersion des thèmes couverts et de la dilution des crédits dans un grand nombre de secteurs et pour couvrir un grand nombre d'acteurs.

Au VI^e PCRD, on a senti très nettement une inflexion politique forte de la part du Commissaire BUSQUIN et de toutes les équipes. On nous a promis beaucoup de choses, en particulier une meilleure focalisation, en particulier des grands projets intégrés et des réseaux d'excellence. Cela, je crois que ce sont des novations qui sont effectivement dans les textes, et qu'on espère voir se vérifier dans les semaines, dans les mois qui viennent au niveau des budgets.

Je constate cependant qu'en microélectronique les budgets qui sont mobilisés aujourd'hui dans le cadre du VI^e programme-cadre sont de l'ordre de 300 M € c'est-à-dire en parfaite continuité avec ce qui se fait depuis quinze ans. Donc il y a une volonté politique, il n'y a malheureusement pas encore le sursaut dont on parle depuis ce début de matinée pour faire face aux enjeux posés par les grandes autres régions géographiques.

Il y a deux autres aspects que j'apporte au débat, la notion de noyau critique. Il est clair que la microélectronique n'est pas un sujet pour 25 pays en Europe. Il y a peut-être 6 ou 7 pays qui sont intéressés et il y en a 2 ou 3 qui sont très fortement intéressés.

Est-ce qu'il n'y aurait pas une possibilité de focaliser sur justement des groupes, des noyaux -les acteurs principaux sont dans ces pays – de mobiliser des crédits pour faire en

sorte que l'Europe au sens large puisse jouer une carte raisonnable dans la compétition internationale ?

Enfin, c'est également une grande déclaration, on attend de voir des moyens concrets de construction de l'espace européen de la recherche. Comment consolider et accompagner les actions nationales avec les fonds européens et en particulier comment adosser des projets intégrés aux projets Eurêka actuels ? C'est effectivement le grand débat dans lequel nous-mêmes, au sein de Medea+, nous sommes engagés avec les équipes de la commission européenne ; on espère qu'il en sortira des choses très intéressantes.

Je souhaite illustrer pour terminer quelques lignes directrices du programme Medea, non pas pour le montrer comme un exemple à suivre dans tous les cas de figure, mais pour montrer que ce qu'on a essayé de faire dans ce programme c'est de couvrir l'ensemble de la chaîne de valeurs, depuis les besoins de l'utilisateur final, c'est-à-dire en fait de couvrir des applications comme les communications haut débit, les terminaux, les cartes à puce pour l'accès sécurisé à Internet, l'électronique automobile dont on a parlé tout à l'heure, les méthodologies conceptions dont nous a également parlé Philippe Magarshack, mais également de suivre au niveau technologique, d'être en compétition permanente avec les Etats-Unis et l'Asie sur les technologies de base, sur l'intégration de ces technologies pour les applications, sur les équipements et matériaux, en particulier la photolithographie où on a maintenant un pôle de compétences et des industriels extrêmement solides de premier niveau mondial. On doit absolument faire en sorte de maintenir cet effort et de maintenir cette position de leader mondial.

Le rôle essentiel aussi de la chaîne de valeurs, finalement, c'est d'associer les sociétés, petites et grandes, qui sont dans tous les endroits de cette chaîne, équipements matériaux, les instituts, les universités, les sociétés de semi-conducteurs, les sociétés de systèmes. J'ai indiqué ici en rouge les acteurs qui interviennent au niveau national. Il y en a bien évidemment dans beaucoup d'autres pays puisqu'en fait 16 pays participent concrètement aux actions Medea+ aujourd'hui.

La France est quand même le leader largement en avance avec 35 % de l'effort global en chercheurs/an qui est investi par les acteurs, universités, petites entreprises, grandes entreprises. L'Allemagne est proche, puis viennent les Pays-Bas, l'Italie, la Belgique.

Ceci montre à la fois la force de l'Europe dans sa diversité, cela montre aussi qu'il y a un certain nombre de petits pays, en particulier le pourtour, le Sud de l'Europe, qui veulent contribuer avec des universités, avec quelques start-up, mais derrière cela, il y a effectivement le problème des budgets, puisqu'encore une fois Eurêka fonctionne sur la base de financements nationaux. Imaginez la difficulté pour un projet qui associe 7 ou 8 de ces pays, de convaincre chacune des instances gouvernementales que le projet d'un point de vue technique est tout à fait intéressant pour ce pays, voire pour cette région, et que techniquement il est utile, même indispensable, de coopérer au niveau européen.

C'est un discours politique qui passe encore relativement mal, plus de quinze ans après le démarrage des actions de coopération en microélectronique au niveau européen. Et

derrière, la conviction politique, donc la diversité des politiques européennes, crée une partie de cette complexité, il y a des problèmes de budgets.

Je vais prendre deux exemples : l'Allemagne a largement rejoint maintenant la volonté française de financer des projets de type Medea+ en microélectronique, mais l'Italie fait faux bond, c'est-à-dire en fait que l'Italie bloque les financements, et de fait les partenaires italiens qui étaient impliqués dans les projets sont en train de sortir, mettant en péril la vie même des projets.

Evidemment, quand on parle de coopération, c'est qu'il y a différentes tâches, ces tâches sont complémentaires et quand il y a un partenaire important qui sort c'est tout le projet qui s'effondre, donc la coordination, la synchronisation de cette action sont très difficiles à établir par la Commission européenne dans le cadre des projets d'IST, mais comme elle détient le budget, elle a seule le moyen de convaincre l'ensemble des acteurs de travailler ensemble sur une base commune.

La difficulté d'aller plus loin, d'autant plus que ces projets sont de taille importante, c'est d'avoir l'accord de tous les gouvernements en même temps.

L'autre paramètre de la chaîne que je voulais illustrer au niveau de la France en particulier, c'est que les acteurs qui interviennent ne sont pas ceux d'un grand club d'industriels riches qui cherchent à prendre un petit peu d'argent public pour être plus riches. Il y a en fait un grand nombre de PME – 42 % des acteurs des 79 partenaires des projets sont des PME –, à peu près 25 % sont du secteur de l'université, des instituts de recherche, et le tiers sont de grandes entreprises. Il y a donc cette diversité, cette richesse au niveau national, mais on le voit également au niveau européen, qui fait finalement l'intérêt des projets coopératifs.

Les retombées attendues, c'est ce que l'on a décrit toute la journée : c'est à la fois maîtriser les technologies, améliorer la compétitivité des entreprises françaises et européennes dans des secteurs clefs, c'est maintenir des emplois à haute valeur marchande et également hautement qualifiés, c'est renforcer le tissu des PME et des grandes entreprises, c'est développer encore plus la coopération avec les laboratoires universitaires et c'est également imposer des standards au niveau européen. On a parlé du GSM, on a parlé de l'UMTS, on parle d'électronique automobile, il y a beaucoup de secteurs, en dehors du monde du PC, pour lesquels l'Europe a certainement une carte à jouer.

Il y a déjà eu des résultats tangibles, à la fois dans le classement des grandes entreprises de semi-conducteurs, les trois européens sont maintenant et de façon durable dans le classement mondial parmi les 10 premiers, je crois que ce n'est pas le résultat des programmes IST, JESSI, Medea, mais en tout cas ces programmes de recherche les ont accompagnés. Il a été dit également tout à l'heure qu'il fallait maîtriser en Europe la R&D, je crois que c'est ce à quoi s'attachent tous ces programmes de support à la recherche.

Il y a eu également constitution de tissus autour de ces entreprises, tissus de PME, de compétences dans les universités, c'est quelque chose qu'il faut absolument préserver.

Globalement, force est de constater que malgré tous les efforts qui ont été déployés et les chiffres de Laurent Gouzènes et ceux qui figurent dans votre rapport, Monsieur le Sénateur, le montrent bien, la France et l'Europe sont largement derrière.

Quand on regarde les actions en place, au niveau microélectronique, et les actions nationales, y compris Eurêka, en faisant la somme de tout ce que l'on peut trouver, on arrive à 400 millions d'euros par an. Si on rajoute les interventions microélectroniques de la commission européenne, on rajoute 100 millions d'euros. Donc on est à 500 millions d'euros au niveau des interventions étatiques et de la commission européenne en Europe, auxquels il convient d'ajouter les efforts régionaux et locaux des grands pôles de coopération. On est très, très loin des 2 milliards de dollars dont on parlait au niveau des Etats-Unis. L'Europe, qui a un marché fabuleux, qui a une compétence fabuleuse, qui a un système de formation fabuleux, est quand même à un facteur 4 sous l'effort global qui est fait dans la direction du développement de sa compétitivité industrielle.

Les besoins vont croissant, cela a été bien expliqué aussi ce matin dans les grands rêves, les grands défis, la technologie est de plus en plus compliquée, il faut de plus en plus développer les compétences, on a besoin d'un effort accru des pouvoirs publics. Je crois qu'il faut le dire clairement. Monsieur le Sénateur a dit en ouverture qu'il ne fallait pas jouer les langues de bois. On a besoin, et votre rapport le montre, d'un effort accru pour que l'Europe ne se trouve pas en situation de perte de compétences et de marginalisation.

Il ne s'agit pas de tirer la sonnette d'alarme sans raison, je crois qu'il faut être tout à fait mesuré, mais également trouver les actions de focalisation et les mesures urgentes de redéploiement, d'augmentation de crédits, de synergies internationales et intranationales qui permettront de mieux focaliser les mesures incitatives, on a parlé des taxes aussi – vous en parlez dans votre rapport – qui permettront à l'Europe de relever tous ces défis.

Merci de votre attention.

(Applaudissements)

M. Claude Saunier, sénateur - Merci Monsieur Matheron pour la précision de vos informations et aussi pour la clarté de vos conclusions.

A propos de conclusion, on n'arrive pas tout à fait à la fin, mais tout de même on s'en approche. Une dernière table ronde animée par M. Joël MONNIER, Vice-Président de STMicroelectronics avec les intervenants que M. Monnier va lui-même présenter.

Monsieur le Président, c'est à vous....

M. Joël Monnier - Monsieur le Sénateur, nous avons trente minutes, je crois, pour assurer cette table ronde. Nous sommes 8 intervenants, cela veut dire que nous pourrions simplement donner des éclairages un peu différents par personnalité, ou par groupe, qui

éclaireront tout ce qui a été dit tout au long de la journée, et compléteront par témoignages ce magnifique rapport.

Je vais me mettre en contrepoint de ce qu'a dit M. Matheron, je voudrais dire quand même merci aux pouvoirs publics déjà pour assurer cette journée. C'est une forte motivation. Je voudrais l'illustrer avec un seul transparent en apportant quelques commentaires avant de présenter mes collègues de la table ronde, que j'introduirai au fur et à mesure de leur intervention pour gagner un petit peu de temps.

La coopération, l'effort collectif, depuis vingt ans, ont d'abord été français. Depuis dix ans, grâce à l'avènement des programmes Eurêka, Medea, JESSI, l'effort a été européen, grâce à l'émergence en particulier de trois grands groupes européens, Philips, Infineon, ST, parmi les 10 grands premiers mondiaux. Je crois que cette alliance montre maintenant un aspect collectif au niveau Western, avec les Etats-Unis, avec l'arrivée de Motorola.

Pourquoi cela ? C'est un témoignage, je ne veux pas le quantifier. Tai wan, peut-être petit pays, de quelques vingtaines de millions d'habitants, représente en capacité de production certainement plus de 50 % des capacités de production mondiale des technologies 120 nanomètres.

Monsieur Dauvin dit que ST arrive maintenant à près de 50 % de son chiffre d'affaires simplement en Asie Pacifique.

Le seul témoignage c'est que ce marché représente des flux financiers, des forces importantes de délocalisation, qui à un moment étaient au niveau des unités de production simples de montage, qui arrivent progressivement au niveau des valeurs ajoutées très fortes de technologie et de recherche.

Donc simplement cet effort collectif crée des contre-courants, des contre-forces, un contrepoids pour assurer notre jeu d'usines aussi bien européennes qu'américaines par rapport à cette montée de l'Asie. Voilà comment je vois les choses, donc cet aspect coopératif s'est déplacé de la vallée de l'Isère, s'est étendu au niveau de la France, de l'Europe, Medea.

Conditions de réussite : comment ceci s'est-il réalisé ? Au-delà de l'aspect purement financier qui a été largement débattu, et je ne vais pas aller contre, c'est absolument nécessaire, ceci fournit aussi d'autres environnements, des environnements de dialogue, de connaissance, de confiance. C'est certainement parce que nous avons coopéré dix ans avec Philips que Motorola a pris conscience que l'on pouvait coopérer dans des domaines de coopération, et l'autre facteur de cette alliance stratégique sans précédent de ces trois grands groupes, c'est que la recherche vient des Etats-Unis en Europe, c'est 1 200 personnes que l'on monte instantanément avec une agilité, une rapidité extrêmement forte, une motivation très forte. Ceci représente un investissement cumulé – je n'ai pas présenté tout l'aspect investissement de tout le projet mais le 1,4 milliard de dollars ou d'euros s'est cumulé sur quelques années, ce sont des coûts de dépenses de fonctionnement de quelques centaines de millions d'euros par an et que chacun de nos groupes ne peut pas supporter seul.

C'est une condition économique d'être ensemble pour contrebalancer – c'est une vue un petit peu de société – un « tout vers l'Asie ».

Simplement, les facteurs :

Alliance stratégique,

Volonté de management,

Volonté de vue stratégique,

Soutien public déterminant avec une rapidité d'action très forte, très, très forte - et on voudrait remercier les pouvoirs publics d'avoir réagi avec une telle rapidité. Cela a été pratiquement négocié, débloqué en trois mois. Les premières intentions c'était fin décembre, première visite janvier, et conclusions fin mars.

Tailles critiques

Accélération des programmes

On a beaucoup mentionné des systèmes, des corporations, n'oublions pas les hommes, et en plus des hommes bien sûr c'est le vivier d'ingénieurs, le vivier de chercheurs, mais également la volonté de quelques individus dans des positions clefs dans les organisations.

C'est un ensemble de facteurs qui, de mon point de vue, crée cet effort coopératif et qui nous permet d'aller de l'avant, sachant que pour passer de cet état de crise de marché de semi-conducteurs à une sortie de crise accompagnée d'un changement du taux de l'euro par rapport au dollar entre 0,9 et 1,07, cela veut dire que les coûts R&D de nos sociétés, qui varient entre 16 et 17 % subitement, en particulier pour les sociétés européennes, sont passés de 16 % du chiffre d'affaires total à 18 %, donc rognent pratiquement 20 ou 30, ou 40 % de la marge bénéficiaire. Ce qui veut dire qu'il y a des changements des conditions économiques qui dépassent cela. On vit dans un monde d'instabilité.

Tout cet ancrage de haute technologie permet certainement de passer à travers ou de surfer au-dessus des vagues, et donc c'est un ensemble qui fait que cet aspect coopératif de confiance, de programme coopératif entre compétiteurs, clients, fournisseurs au niveau de l'Europe, ensuite au niveau américain, permet d'aller de l'avant. Voilà le témoignage que je voulais vous apporter.

Pour étoffer la table ronde, j'ai adressé une question à chacun des intervenants, donc je me permettrai d'introduire, pour gagner du temps, cet échange par ces questions.

Mon collègue, René PENNING de VRIES, de Philips, est le représentant de Théo Klassen, CTO et Strategic Manager de Philips. M. René Penning de Vries s'occupe de la technologie de Philips, en quelque sorte mon alter ego :

« *Qu'est-ce qui conduit un groupe comme Philips à s'allier avec des concurrents, en l'occurrence Motorola et STMicroelectronics pour développer en commun des technologies ? Ensuite, peut-être pourriez-vous nous faire part de votre vue sur les atouts de l'Europe ?* »

M. René Penning de Vries - Tout d'abord, je voudrais dire que c'est un grand plaisir pour moi d'intervenir dans ce colloque. Je vous prie d'excuser mon français, je ne suis pas francophone, je suis Hollandais.

Pourquoi Philips s'est-il engagé dans une coopération avec des concurrents ? Premièrement, je crois qu'il faut savoir que pour une entreprise comme la nôtre, il est très important d'avoir une maîtrise sur les technologies. Si on n'a pas cette maîtrise de la technologie dans son domaine, on risque de perdre son avantage et on risque de perdre ses compétences.

Pour les technologies nouvelles, il est essentiel de combiner l'aspect de système, l'aspect des dessins et l'aspect des process. Si on enlève un de ces aspects de la chaîne on perd, au lieu de gagner, une opportunité. Il est clair qu'il faut être actif dans ce domaine.

Une autre chose qui est importante pour une entreprise comme Philips c'est d'avoir des options dans le process. Ce sont souvent les options qui apportent de la valeur. Si on est face à Taï wan, le risque existe de perdre cette option et d'être forcé de la partager avec des concurrents, de vrais concurrents. Si on est dans son propre domaine, on risque moins.

Si la conclusion est qu'il faut être engagé dans le développement, comment faut-il procéder ? On estime que le développement du 90 nanomètres nous coûte à peu près 500 M€, il est donc impossible d'être seul pour le faire, à l'exception d'INTEL peut-être.

Deuxièmement, il y a l'expertise, les ressources, les ingénieurs qu'il faut avoir pour faire ce travail. Une coopération entre les gens de ST, de Motorola et de Philips donne une accélération au process, ce qui est très important.

Troisièmement, pourquoi coopérer avec un concurrent ? Je crois que la réponse est dans la question, c'est parce que c'est un concurrent qu'il est important de coopérer. Nos concurrents, ST, Motorola, ont exactement les mêmes marchés, les mêmes demandes, les mêmes conditions que nous. Les coopérations de ce fait deviennent automatiques, la coopération a eu lieu pendant plus de dix ans, c'est un succès, c'est donc bien un témoignage de l'intérêt de cette alliance. Donc ces dix ans de coopération ont été une grande réussite. On pense que pour le futur il faudra inclure les aspects de R&D, plus que nous ne l'avons fait jusqu'à maintenant.

Merci.

(Applaudissements)

M. Monnier - Merci René.

Je vais peut-être donner la parole à M. Alain JOLIVET, Président Directeur Général d'une start-up significative, STEPMIND.

La question est la suivante : *Comment les start-up ou les PME peuvent-elles participer aux projets et coopérer dans ce cadre ?*

M. Alain Jolivet - Merci Monsieur Monnier.

Je suis Alain Jolivet, j'ai créé STEPMIND il y a deux ans. Créer une société dans la microélectronique nécessite des investissements extrêmement lourds et peu fréquents en France, mais vous voyez que cela existe et pas seulement dans les pays comme Taï wan ou les pays d'Asie.

Les idées qui ont prévalu au moment de la création de cette société, c'était de profiter des déchets de ce que M. Griot appelait « la désagrégation de la chaîne de valeurs » ce matin, puisqu'une partie de la production est déjà passée dans les pays asiatiques ou les pays de cette région du monde. Il nous semblait à peu près évident et à peu près clair que la R&D allait suivre et qu'il fallait aussi mutualiser les capacités de R&D pour éviter qu'au sein des entreprises européennes, des entreprises du monde occidental, la même chose soit développée par les mêmes équipes d'ingénieurs en concurrence avec un certain gaspillage.

Donc nous nous sommes créés sur cette idée, qu'il fallait mutualiser la R&D et proposer aux différentes entreprises des produits un peu standards émanant de nos équipes de R&D, et nous nous sommes aussi créés sur l'idée que l'UMTS allait être décalée et que la technologie gagnante serait probablement une conjonction entre le « wide as line » et « edge », donc à partir de ces différentes idées nous avons créé une société qui aujourd'hui compte 116 personnes, qui est implantée sur 3 sites.

Pourquoi 3 sites ? Pour bénéficier des différents bassins d'emplois, des bassins de formation. Nous avons des compétences en radiofréquence et la radiofréquence ne peut se faire en France qu'en deux endroits, à Caen ou à Grenoble. Nous avons choisi Caen puisqu'à Grenoble il y avait déjà beaucoup de monde, des beaucoup plus grands que nous. A Caen aussi mais il y avait une place à prendre.

Pour la partie microprocesseur, bande de bases, c'est la région Sophia-Antipolis et c'est la raison pour laquelle nous nous sommes implantés également dans le Sud de la France et en termes de logiciels c'est la région parisienne, en tout cas quand il s'agit de logiciels embarqués, qui recèle les plus grandes compétences et donc nous avons une implantation également en région parisienne.

Nous avons des produits qui arrivent sur le marché cette année, en 2003, des produits qui ont été développés dans la technologie 0,18 microns et la série qui est actuellement en développement est en 0,13.

Nous sommes confrontés, puisqu'il s'agit de l'éclairage d'une start-up ou d'une PME maintenant, aux problèmes qui sont les problèmes qu'a à résoudre toute l'industrie de la microélectronique, c'est que le passage en point 13 nécessite des investissements R&D qui sont beaucoup plus importants puisqu'il faut organiser, architecturer un nombre de transistors extrêmement important. Par conséquent il faut mettre des ressources en nombre important et il faut aussi disposer d'une CAO qui soit extrêmement performante.

Il n'est plus maintenant question de rater un développement et de faire comme autrefois, de se lancer dans le silicium alors que la simulation n'est pas parfaitement prouvée, donc il est très important pour nous de disposer d'outils de CAO et de simulations qui soient des outils extrêmement prouvés.

Je sais qu'en termes de radios ceci ne sera probablement jamais possible puisqu'il y a toujours un petit feeling dans le développement et le design des types radios, mais en termes de numérique pur, de C-MOS, il faut je pense arriver à cette possibilité du 0 défaut en simulation et en conception.

Nous sommes également confrontés à un autre phénomène, c'est que le prix des masques double à peu près chaque fois que nous changeons de génération. En ordre de grandeur c'est 250 000 euros pour du 0,18, c'est 500 000 euros pour du 0,13, 1 million pour du 90 nanos, ce qui veut dire que les coûts d'investissement, en dehors des coûts de ressources, deviennent aussi de plus en plus colossaux.

Il nous semble qu'il va y avoir un certain nombre de conclusions très rapides, c'est qu'il y aura de plus en plus de produits standards du côté de l'offre, puisqu'on ne pourra plus se permettre d'adapter à la demande des produits. Il y aura aussi certainement de moins en moins d'équipes d'organisation de R&D capables de produire en zéro défaut, et donc on arrive probablement à une situation qui pour l'instant est encore instable mais qui va se cristalliser avec de moins en moins d'acteurs dans le secteur, de moins en moins de fonderie ; donc les investissements sont colossaux.

Ce qui est très important pour nous c'est de disposer des capacités dans ces deux domaines, puisque nous sommes en R&D, domaine de la formation, ingénieurs compétents, et domaine de la CAO. Ces deux domaines se croisent en ce sens que dès que nous embauchons, puisque nous embauchons à peu près 25 % de jeunes ingénieurs, un ingénieur qui sort du système éducatif, il faut absolument qu'il ait appris à travailler sur des systèmes de CAO performants.

Donc si j'ai une seule suggestion à faire face à un tel auditoire, c'est d'essayer de faire en sorte qu'en France il puisse exister une sorte de centre commun de simulation de CAO qui soit mis à disposition des différentes écoles d'ingénieurs pour que des unités de valeurs puissent être validées sur ce centre et que l'industrie, ou au moins les PME que nous sommes, puissent disposer très vite de personnel complètement formé dans ces systèmes qui maintenant sont cruciaux pour développer en zéro défaut.

Merci Monsieur le Président.

M. Monnier - Merci Monsieur Jolivet.

Pour donner une vue d'une société encore plus applicative, voici celle de M. Jean-Pierre TUAL, Vice-président de Schlumberger. La question est la suivante : « *quelle est votre opinion sur la situation des coopérations dans le domaine applicatif et ce qui concerne le quid des cartes à puces ?* »

M. Jean-Pierre Tual - Ce que je voudrais dire d'abord, c'est pourquoi sommes-nous amenés à collaborer ? La première réponse c'est évidemment pour augmenter la taille des marchés qui nous sont accessibles, et une première condition c'est l'existence de standards mondiaux. Et je crois que dans le passé, l'expérience a montré que chaque fois que les industriels européens ont pu être proactifs dans la définition de standards, ils ont retrouvé extrêmement rapidement le retour sur investissement et *a contrario* pour donner le mauvais exemple de l'informatique, là où les exemples de coopération et de définition de standards de programmation communs n'ont pas marché, on a assez rapidement perdu pied.

Donc l'existence, le développement de standards, c'est une première condition fondamentale et à mon avis c'est le premier niveau de coopération entre industriels.

Dans le domaine de la carte à puce, nous avons nous-mêmes travaillé sur des définitions de standards, en particulier autour du standard Java qui est aujourd'hui un exemple assez représentatif du volontarisme dont nous avons fait preuve dans cette industrie.

Le deuxième aspect que je voudrais souligner c'est qu'on a vu ce matin les progrès auxquels nous sommes confrontés de manière continue dans le domaine des technologies. Je suis un petit peu obligé de regarder passer le train puisque, dans le domaine du logiciel, malheureusement nous en sommes encore à la préhistoire en matière d'amélioration de la productivité. Donc un des points que je voudrais souligner ici, c'est que l'amélioration continue des progrès technologiques pose en permanence des challenges extrêmement importants à l'industrie du logiciel et des applications.

Ce que je peux vous dire c'est qu'aujourd'hui, pour les principaux produits que nous développons dans nos applications, on est en situation d'augmentation du coût quasiment exponentielle du développement logiciel. Pour vous donner un exemple, le développement d'une carte bancaire nous coûte pratiquement dix fois plus cher aujourd'hui qu'il y a cinq ans, en raison de tous les éléments sécuritaires que nous sommes amenés à intégrer dans ces cartes et d'autre part, ce qui est très important pour nous, c'est que dans les conditions économiques actuelles on ne peut plus, au-delà d'un certain niveau, supporter des coûts de logiciel trop importants.

Donc il y a aussi dans ce domaine-là une nécessité absolue de mutualiser et la mutualisation, la meilleure façon de l'opérer c'est sur le concept de plate-forme, donc un ensemble de composants matériels, logiciels communs qui permettent ensuite à l'ensemble de l'industrie de différencier, de se spécialiser et de focaliser ses ressources là où elle en a effectivement le plus besoin.

Ce que je voudrais dire également, c'est que derrière ce concept de plate-forme se trouve le concept de service, immédiatement après, et donc une fois que les plates-formes sont disponibles, cela permet une stimulation du marché par une très grande facilité pour la localisation des produits, le développement d'une industrie du logiciel parallèle qui permet d'amener très rapidement de nouveaux services à valeur ajoutée vers les utilisateurs.

Donc l'essence des programmes de coopération que nous menons aujourd'hui, et nous avons entamé cette discipline également dans le domaine de la carte à puce, cela a été pendant très longtemps un énorme barrage en raison d'un problème très basique, qui est qu'avec la carte à puce nous traitons de problèmes de sécurité, et la sécurité par définition c'est un différenciateur fort, donc pourquoi aller échanger avec nos principaux concurrents des informations dans ce domaine-là, sachant que nous avons encore la chance d'être dans un marché où il y a peu d'acteurs et dans lequel nous avons la chance d'avoir encore une croissance extrêmement rapide ?

Ce que je voudrais indiquer en matière de coopération, c'est qu'un certain nombre de principes de base me paraissent devoir s'appliquer :

organiser cette coopération de manière systématique y compris en n'oubliant pas d'indiquer, de manière très forte, les grands opérateurs. Aujourd'hui, par exemple, je suis un petit peu déçu de voir que nous avons été capables d'amener l'euro au 1^{er} janvier 2002, et que nous avons encore 7 systèmes de porte-monnaie électronique en Europe, strictement non interopérables. C'est probablement là le manque de coopération entre les opérateurs, c'est probablement un élément de la chaîne qui nous a manqué.

a contrario, cela s'est extrêmement bien passé dans le GSM, et c'est l'industrie qui a été extrêmement proactive et puisqu'on parle de volontarisme, elle a su résister extrêmement fortement et de manière dynamique à l'offensive de Microsoft dans le domaine de la carte à puce en 1998. Il faut bien voir que le modèle alternatif qui nous était proposé c'était un modèle traditionnel de Microsoft. En gros, je vous amène tout ce qu'il faut pour faire le logiciel, concentrez-vous sur la valeur ajoutée industrielle.

Donc en matière de coopération, même l'industrie de la carte à puce, avec sa caractéristique extrêmement sensible liée à la sécurité, est aujourd'hui capable d'avoir une dynamique très proactive dans le développement de technologies et dans le développement des marchés.

M. Monnier – Merci, Monsieur Tual, de nous avoir donné cet éclairage du côté des applicatifs, cela a une valeur extrêmement importante puisqu'à la fin on touche le client final qui achète et qui développe le marché.

Pour ce qui est de la recherche nous avons M. Jean Therme, Directeur du CEA Grenoble et du CEA-LETI. La question est : « *Comment les instituts de R&D tels que le LETI, peuvent partager leur propriété intellectuelle dans un système coopératif ? Et comment gérer la confidentialité entre ces différents clients ou partenaires de recherche ?* »

M. Jean Therme - Merci.

Tout d'abord, je vais parler un peu du LETI que je connais bien, peut-être moins d'autres organismes qui ont des modèles de développement un peu différents.

Il faut se rappeler que le LETI joue un rôle un peu équivalent à l'ITRI même s'il est six fois plus petit au niveau national...C'est quand même un laboratoire public national, qui a comme vocation de développer des technologies et de les transférer, ou de les valoriser, sur le sol national en premier lieu.

Je crois que quand on doit parler de propriété industrielle et de confidentialité, finalement cela ne peut être traité que très en amont dans la stratégie de partenariat. Je crois qu'on a développé au LETI, on y tient beaucoup, une stratégie de partenariat qui est basée sur des alliances stratégiques avec des partenaires qu'on a peut-être choisis, qui nous ont peut-être choisis, mais avec lesquels on a travaillé en final sans savoir qui a vraiment choisi l'autre. Nous avons établi des partenariats sur le long terme, basés sur un respect du client, sur une certaine fidélité et sur une certaine constance dans nos approches.

Ceci nous amène à un certain nombre de règles. Je peux l'expliquer par des exemples. Tout le monde sait qu'on a un partenariat très étroit depuis de nombreuses années avec STMicroelectronics et nous avons ouvert un peu à l'international mais de manière sage et constructive.

Je prendrai trois exemples :

le premier, nous avons établi une collaboration avec Texas Instruments dans laquelle nous n'avons pas pu travailler à 3 avec ST pour des raisons qui nous échappaient, mais nous avons perdu de l'argent avec Texas Instruments pour avoir la capacité de garder la propriété industrielle acquise lors de cette collaboration et qu'elle puisse bénéficier à nos industriels nationaux. Nous avons donc perdu de l'argent pour protéger une propriété industrielle au niveau national.

deuxième exemple, nous avons été contactés à deux reprises par des Coréens qui nous ont proposé des bons paquets de dizaines de millions de dollars. Nous avons refusé de collaborer avec les Coréens parce que nous avons considéré que ce n'était pas dans notre objectif de le faire et que cela pouvait percuter notre relation avec ST.

troisième exemple, nous avons longuement discuté avec Motorola et nous avons conclu ensemble que le LETI ne pouvait pas apporter seul les technologies à Motorola et que faire un accord parallèle à celui d'ST avec Motorola n'était pas jouable en termes de propriété industrielle et de confidentialité ; nous avons donc eu une approche dans laquelle nous avons préféré que Motorola travaille avec ST pour travailler avec l'alliance.

Voici comment on a ouvert à l'international les collaborations du LETI tout en préservant notre partenariat stratégique avec ST. Ceci nous permet de manière naturelle ensuite de traiter le volet propriété industrielle et de traiter également le volet confidentialité.

Un autre point qui concerne un autre volet de notre activité, qui sont les start-up, sur lequel la propriété industrielle est essentielle. Là, c'est beaucoup plus compliqué parce qu'en fait on est soumis à deux pressions, la première celle de nos tutelles qui nous disent « vous ne rentrez pas assez d'argent pour financer vraiment le travail de fond, en vous payant sur les royalties obtenues sur les licences données aux start-up » et puis nous avons les start-up à venture capital qui nous disent « vous nous tondez la laine sur le dos d'une manière trop violente », donc là le chemin est plus délicat à trouver, au niveau de la façon de valoriser notre propriété industrielle, et il est aussi plus compliqué parce que nous ne savons absolument pas quelles sont les start-up qui seront gagnantes, donc c'est un peu la roulette russe, quelquefois on gagne, quelquefois on perd. Pour l'instant, on a quand même pas mal gagné, donc on ne s'est pas trop mal débrouillé.

M. Monnier - Merci Jean.

Maintenant je voudrais, pour gagner un petit peu de temps, poser une question commune. Nous avons l'honneur et le plaisir d'avoir M. Emmanuel CAQUOT, Chef du service des technologies de la société de l'information au sein de la Direction Générale de l'Industrie, et M. Alain COSTES, Directeur de la technologie au sein du Ministère de la recherche et des nouvelles technologies. Cela veut dire qu'on a les représentants des deux ministères, de l'industrie et de la recherche, par rapport à cette question fondamentale de programme coopératif.

Pour centrer la question, par rapport à ces programmes d'incitation des différents ministères, « *comment pouvez-vous considérer le retour pour l'Etat France ?* »

M. Emmanuel Caquot - Très rapidement, je dis quelques mots, mais je pense qu'on est en telle symbiose avec le ministère de la recherche sur ce sujet-là, qu'on se complétera.

Il est clair que l'appareil français s'inscrit complètement dans la logique du 3 % du PIB dédié à la recherche et développement, valeur qui doit être approchée dans les années 2010. C'est une des conditions fondamentales de la survie d'une économie prospère en Europe face aux enjeux des coûts de main d'œuvre, etc.

La question est maintenant : comment y arriver ? Je crois que très schématiquement, il y a deux grandes approches, une approche dite de politique horizontale, et je crois que c'est quelque chose qui a été évoqué dans les présentations transparentes précédentes et une approche dite de politique sectorielle. La politique sectorielle, ces dernières années, n'avait pas une odeur de sainteté très grande, pour différentes raisons. Je crois que c'est quelque chose sur laquelle il faut qu'on réfléchisse bien collectivement.

En matière de politique horizontale, je voulais simplement vous signaler et c'est très important, la communication conjointe de Mmes Nicole Fontaine et Claudie Haigneré sur les dispositifs d'aide à l'innovation, un dispositif qui est mis actuellement en consultation et sur lequel je vous assure que l'avis des acteurs économiques est prépondérant pour la concrétisation en mesures importantes.

A cette occasion, dans le projet de loi de finances, on a réussi à faire passer des problèmes de taxe professionnelle sur les investissements liés à la recherche et développement, taxes qui sont très directement liées, à mon avis, à votre industrie, et c'était suite à des travaux communs que nous avons conduits. Dans ces mesures à destination de l'innovation, il y a aussi une indication sur les problèmes de crédits d'impôt-recherche, et je crois que là aussi toutes les données sont importantes.

Cela c'est, je dirai, le cadre général des mesures horizontales sur lesquelles il est très important de se pencher et de trouver des méthodes qui incitent les gens. Le retour sur ces politiques horizontales, c'est quelque chose qui est toujours un petit peu complexe parce que par définition elles s'adressent à l'ensemble des secteurs et le retour global est, vu du budget, une diminution des ressources associées pour le budget et de l'autre côté quelque chose d'un peu plus diffus, qui est l'animation du tissu économique, la création d'emplois, etc.

C'est pour cela qu'il me paraît important que parallèlement à ces mesures horizontales, il y ait identification de quelques secteurs stratégiques, sujet extrêmement difficile, parce que tout le monde souhaite être stratégique.

Le message que je voulais vous donner c'est que, vu du ministère de l'industrie, le secteur de la microélectronique est, avec celui du logiciel, des télécommunications et aussi des usages, un des secteurs qui est le plus diffusant dans le domaine de l'innovation et de la création d'emplois.

Je crois que Gérard Matheron a donné une idée des dispositifs qui existent en France dans ce secteur-là. Vous avez vu au niveau européen l'implication de la France. Je crois que ce qui est important c'est de s'inscrire dans des logiques pluriannuelles et l'exemple de contrats conclus avec nos entreprises et dans le cadre de retombées macro-économiques ou micro-économiques, est une des meilleures façons d'assurer qu'il s'agit d'un contrat commun.

Le caractère pluriannuel lié à l'annualité du budget pose quelques difficultés, et vous savez, bien sûr, que le Parlement est toujours souverain là-dessus mais je crois que toutes les entreprises sont soumises à ce même problème d'annualité de budget face à des objectifs pluriannuels.

L'autre point, qui est très important dans nos méthodes d'évaluation, c'est aussi le caractère collectif et diffusif de nos actions, c'est-à-dire le nombre de PME/PMI qui y sont associées, la façon dont le tissu de recherche est associé à ces programmes industriels et enfin, bien entendu, les retombées qu'il peut y avoir sur les dispositifs de formation, et je pense en particulier aux dispositifs de formation du ministère de l'industrie avec la création récente de l'Ecole des Mines de Gardanne dédiée à la microélectronique, mais aussi dans le

cadre des subventions d'équilibre qui sont accordées au CEA ; combien émargent dans ces technologies tout à fait importantes et diffusantes pour le futur ?

Je pourrais en parler pendant très longtemps mais bien sûr je laisse la parole à M. Costes pour compléter.

M. Alain Costes - Merci.

Bien évidemment, je ne reprendrai pas tous les propos que M. Caquot a tenus avec juste raison, vu la symbiose qui existe entre les deux ministères sur un certain nombre d'actions. Permettez-moi simplement d'en compléter quelques-uns.

De ce que j'ai entendu depuis le début de cette table ronde, on a parlé beaucoup d'économie et de financement, mais si on a besoin de financement, c'est que l'on souhaite financer des projets ou des actions. Or, des projets ou des actions, ce sont des hommes qui les font, ce qui veut dire que dans tout ce que nous avons dit, il ne faut jamais oublier que la recherche et la formation sont les socles de ce que nous disons qui fait qu'un jour on a besoin de financements.

Cela, c'est un point que je voulais souligner, n'oublions jamais dans nos propos les activités de recherche et de formation qui sont quand même au cœur du processus, puisque ce sont les hommes qui permettent de réussir ou qui conduisent à l'échec.

Le deuxième point, si vous le permettez, c'est de revenir sur ce que Mme la ministre a annoncé ce matin, mais en faisant bien évidemment un effet de focalisation. Vous avez utilisé durant toute cette table ronde des mots qui sont revenus en permanence, les aspects de coopération, les aspects de compétitivité, les aspects de confiance, les aspects d'attractivité du territoire.

Quand je prends ces attributs que vous avez considérés comme étant importants et fondamentaux, j'ai l'impression, pour ne pas dire que j'ai l'assurance, que la politique que nous avons menée, en prenant une décision qui a été une décision volontariste, qui n'a pas été facile à prendre, de dire que pour que notre pays soit compétitif, il était important de créer un réseau de 4 centrales de micro et de nanotechnologie, était la bonne, je dis bien « 4 », vous savez très bien que cela n'a pas été facile. Tout le monde en voulait une.

Ceci veut dire qu'on a dit que si on souhaite rester compétitif au niveau international, la France ne peut pas se payer 10 centrales, ne peut pas se payer 15 centrales et qu'il y avait un choix à faire. Ce choix, bien évidemment, on ne pouvait pas le faire dans le vide et on ne souhaitait pas le faire dans le vide. C'est ce qui nous a amenés à les construire, autour de ce qui était les grands centres de recherche du domaine correspondant puisque, comme vous le savez, l'une est à Grenoble, autour du CEA-LETI, l'autre est à Toulouse autour du LAAS-CNRS, la troisième à Lille autour de l'IEMN, et la quatrième sur deux sites, à l'IEF et au LPN.

Je tenais simplement à dire, et je conclurai là-dessus, que si nous avons le résultat que nous avons sur ces centrales, c'est grâce à la volonté de deux organismes, le CEA et le CNRS, et à la volonté des directeurs correspondants de travailler ensemble, collectivement,

de telle manière qu'en fin de parcours, dans dix ans, ces 4 centrales auront marqué le territoire de la micro et nanotechnologie en France.

Merci.

(Applaudissements)

M. Monnier - Merci.

Pour compléter cette table ronde, nous avons ici présent M. Ezio ANDRETA, Directeur à la DG XII, dite de la Recherche, au sein de la commission européenne.

La question, si je puis me permettre, c'est : « *comment peut-on voir au niveau de la Commission européenne, l'évolution de la microélectronique en Europe, et à titre d'exemple comment les projets intégrés et les réseaux d'excellence qui sont mis en place et supportés par la commission européenne, peuvent-ils aider au développement des nouvelles technologies ?* »

M. Ezio Andreta - Merci. C'est un grand défi en cinq minutes !

Tout d'abord, je vais utiliser au moins 35 secondes pour remercier M. le Sénateur Saunier, pas simplement pour avoir invité la commission à ce débat, mais en particulier pour son ouvrage. Le rapport est excellent et j'espère qu'il sera lu par plusieurs autorités régionales, nationales, supranationales parce qu'en réalité il y a beaucoup d'éléments sur lesquels réfléchir. Donc merci pour cela.

Deuxièmement, je crois que pour pouvoir effectivement parler de la recherche européenne ou de ce que l'Europe envisage de faire, il faudrait emprunter un slogan très français qui est : nous n'avons pas de ressources financières mais nous avons beaucoup d'idées !

Je dis cela parce qu'en réalité la recherche européenne, en termes budgétaires, représente grosso modo 5 % des dépenses que l'ensemble des pays membres utilisent normalement, l'ensemble des pays membres n'arrivent pas, public et privé, à un pourcentage formidable, parce qu'aujourd'hui nous n'arrivons pas à 2 % du PIB quand les autres antagonistes sont déjà à 2,7, 2,8 et sont en train d'accroître ce pourcentage.

Cela, c'est le scénario. Mais pour pouvoir vous répondre sur la façon dont la Commission voit l'évolution de l'industrie microélectronique, je crois que la journée d'aujourd'hui était très intéressante mais nous voyons exactement que nous sommes sur la même ligne en termes d'interprétation.

Il est évident qu'il y a trois moments de rupture fondamentaux qui sont en train de se présenter dans ce secteur et qui sont très importants, parce qu'il faut savoir quand ils auront lieu et comment assurer la transition qui aura lieu d'une manière fatale.

première rupture, au niveau technologique, il est certain que la véritable rupture se produira d'ici 7, 8, 10 ans quand la lithographie aura terminé son parcours, donc il faudra entrer avec un « bottom up », avec une approche moléculaire totalement différente .

deuxième rupture, c'est celle du marché au niveau de la consommation, au niveau de la demande. Les secteurs privilégiés sont en train de se réduire et il y a un secteur qui est en explosion et qui sera le secteur porteur du futur, qui est la consommation des produits de tous les jours, donc je dirai l'intelligence dans les produits.

troisième rupture, c'est la rupture, plus importante, au niveau de la production, au niveau industriel. Il est certain et toute la journée tout le monde l'a dit, il n'y a pas de masse critique ni au niveau d'une seule industrie, ni au niveau d'un seul pays. Personne n'a plus la masse critique.

Donc l'effort que tout le monde fait, c'est de trouver la concentration idéale, et il y a une concentration qui amène fatalement à réduire le nombre des entreprises, donc celui des acteurs.

Il y a une deuxième concentration, c'est celle qui consiste à aller sur les segments où il y a de la valeur ajoutée et de ne plus faire ce qui ouvre les marchés nouveaux à d'autres acteurs.

Troisième concentration, c'est celle sur la recherche qui devient véritablement l'élément clef.

Je dirai que la grande révolution de l'économie basée sur la connaissance, c'est au niveau véritablement de facteurs de production qui deviennent de capital et de connaissance. Cela, c'est très important parce qu'il y a, derrière, toute la révolution véritablement que nous devons d'une manière ou d'une autre être capables de comprendre et de guider.

Quelqu'un a parlé de paradis fiscaux, je pense qu'il faut déjà parler de paradis technologiques, parce que c'est certainement là où le capital et la connaissance peuvent se rencontrer pour créer véritablement les produits du futur ; il y a donc là tout un aspect très important.

En tenant compte de ces trois ruptures extrêmement importantes, il est clair qu'il faut faire une stratégie, et la stratégie d'Europe se base pour le moment sur 4 différentes décisions :

la première, c'est une décision de cadre : je crois qu'à Lisbonne, quand les chefs d'Etat et Premiers ministres ont fait la déclaration extrêmement importante, révolutionnaire, de dire : « nous voulons devenir une économie basée sur la connaissance, parce que ce n'est pas tellement d'être la plus dynamique et la plus compétitive qui est important, c'est le passage d'une économie basée sur les ressources naturelles à une économie basée sur la

connaissance qui est révolutionnaire » et immédiatement il faut poser le cadre de la connaissance et de la nécessité d'être capable de gérer la connaissance. Aujourd'hui, la gestion de la connaissance devient extrêmement importante au niveau public comme au niveau privé et toute la journée vous avez parlé de deux thèmes, tant au niveau gouvernemental, public, qu'au niveau des industries. Il faut gérer la connaissance.

Mais la gestion de la connaissance implique de l'éducation à la compréhension des citoyens, via la formation, la recherche, la production industrielle, l'innovation, tout ce que vous voulez, mais le problème c'est que dans une vision d'ensemble, sans la capacité de gérer la complexité et sans une coordination très stricte, cela peut être fatal, parce qu'en faisant une erreur au niveau de l'éducation vous pourrez annuler toutes les autres décisions que vous avez prises et vice-versa.

Il y a donc un effort marqué à faire à ce niveau. Cela a donc été la première décision prise et cette décision n'a pas encore produit le fruit culturel que nous attendons, parce que cela demanderait une cohérence dans l'utilisation de tous les instruments nécessaires pour gérer la connaissance au niveau régional, national, et communautaire. Rien qu'au niveau communautaire il faudrait être capable d'utiliser la concurrence dans cet esprit, les fonds structurels dans cet esprit, dans cet esprit encore tous les autres instruments que nous avons. La même chose doit être faite véritablement au niveau national ; donc cohérence, ceci implique beaucoup de nouvelles décisions, et tout d'abord dans l'espace européen de la recherche.

Ce n'est rien d'autre qu'une utilisation rationnelle des ressources que nous avons aujourd'hui. Quand il y a 15 différents pays, 15 différents systèmes, on ne peut pas en retirer de bénéfice. Si nous sommes capables de considérer que nous avons un seul et unique système, nous pouvons mettre ensemble les excellences.

Quant à l'objectif de 3 % du PIB dédié à la recherche, je disais tout à l'heure au Sénateur «rêve ou réalité, on verra, on verra si on est plutôt du côté du rêve que de la réalité.... »

M. Monnier - Nous, nous sommes des industriels, donc nous aimons bien la réalité !

M. Andreta - Oui, mais vous savez que la commission dit que l'effort doit être de 2 % pour l'industrie et 1 % pour le gouvernement !

En ce qui concerne le programme-cadre, les éléments véritablement importants sont les suivants :

une très forte concentration sur des priorités

une très forte intégration mais qui n'est pas simplement l'intégration disciplinaire, mais de tous les acteurs, toute la chaîne dont nous parlons, une intégration de toutes les technologies, une intégration de toutes les actions, les actions de recherche, y compris les actions qui complètent la recherche, qui font de la recherche un mini-programme qui peut arriver au marché.

Complémenter la recherche avec la diffusion de connaissances, avec les standards, les normes, avec les spin off et tout le reste, y compris probablement le capital risque, c'est très important et derrière l'intégration, c'est l'intégration de tous les instruments financiers qui existent au niveau européen. C'est très ambitieux. C'est cela le concept de projet intégré, mettre ensemble et intégrer tous les éléments que nous avons.

Au niveau des priorités, pour les industries de la microélectronique, compte tenu de la rupture, il faut se rendre compte qu'il y a une priorité traditionnelle qui vous assiste jusqu'au moment de rupture. A partir de la rupture, il y en a une autre, qui est la priorité n° 3 qui parle de nanosciences et de nanotechnologie et de matériaux du futur, ce qui devrait nous permettre déjà dès maintenant, avec un petit effort, d'utiliser pas mal d'activités sur le front des nanosciences, parce que c'est là que se trouve la véritable rupture.

Ce qui est très important dans ce programme, c'est que pour la première fois ce sont des priorités du même programme, ce qui signifie que les projets doivent être abordés avec une approche totalement nouvelle, qui intègre tout, y compris les différentes priorités, c'est-à-dire que ce serait une erreur de faire un projet qui réponde strictement aux priorités mais qui ne réponde pas à vos besoins.

Je crois qu'il faut mettre ensemble la masse critique, mettre ensemble tous les problèmes, sans se demander si cela déborde d'une priorité à une autre, ce qui est important c'est d'avoir les idées claires sur ce qu'est le centre de gravité. C'est un procédé, c'est un produit, c'est quelque chose auquel je dois répondre.

Je dirai que l'outil que nous avons mis à disposition est extrêmement important. C'est vrai que les ressources ne sont pas tellement importantes, mais peuvent permettre de résoudre un certain nombre des problèmes qui ont été soulevés toute la journée, masse critique, excellence, et intégration.

(Applaudissements)

M. Monnier - Merci Monsieur Andreta.

Simplement, c'est très difficile d'apporter des éléments complémentaires à cette table ronde, Monsieur le Sénateur, donc je voudrais la clore. Je crois qu'il y a un certain nombre d'éclairages qui ont été abordés et qui doivent permettre d'enrichir en particulier votre rapport, qui est absolument magnifique.

CONCLUSION DU COLLOQUE

M. Claude Saunier, sénateur - Merci Monsieur le Président, Mesdames, Messieurs, merci d'être patients, merci d'être si nombreux après une journée qui a été tout de même longue, riche, laborieuse.

J'en retiens deux ou trois idées simplement avant de passer à quelques axes de propositions.

D'abord, au cours de cet échange, au cours de ces témoignages, des échanges multiples qui ont pu intervenir au cours de la journée, je n'ai pas entendu de remise en cause radicale des conclusions du rapport que j'assume bien entendu, mais qui est un rapport collectif puisque plus d'une centaine d'entre vous avez accepté de porter témoignage, de donner des informations qui m'ont permis de dégager quelques pistes. Donc je retiens pour l'essentiel effectivement la confirmation d'un certain nombre de constats, la confirmation d'un certain nombre d'hypothèses.

Je constate aussi qu'au cours de cette journée, s'il n'y a pas eu remise en cause, il y a eu, comme vous le dites à l'instant, enrichissement réel de notre approche, il y a eu confirmation de chiffres, il y a eu apports nouveaux, il y a eu véritablement approfondissement des thèses de ce rapport. Cela a tourné autour, me semble-t-il, de deux ou trois idées. Je pense que vous y avez été sensibles comme moi.

Au cours de toute cette journée, sans arrêt, nous avons fait référence à la mondialisation. On parle beaucoup de mondialisation, parfois à tort et à travers, mais très concrètement au travers de votre expérience de chercheurs, au travers de votre expérience d'industriels, dans le secteur qui est le vôtre, celui de la haute technologie, de la très haute technologie, vous nous avez apporté la confirmation que la mondialisation n'était pas seulement un thème de débats d'intellectuels ou d'hommes politiques à la recherche de quelque chose qui peut intéresser l'opinion publique, c'est effectivement la dimension de l'action, de votre action concrète.

Deuxième élément que j'ai retiré, que j'avais bien senti au cours des contacts que nous avons eus les uns et les autres : c'est la fabuleuse accélération de l'histoire. Bien entendu, on a évoqué la loi de Moore, mais même la loi de Moore, qui est quelque chose de relativement terrifiant pour des industriels comme vous puisqu'ils ont à concevoir de nouveaux produits, concevoir de nouveaux concepts de production tous les dix huit mois, même cette loi de Moore, vous l'avez dit à plusieurs reprises, s'accélère. Les choses vont encore plus vite.

Il y a une sorte d'emballlement et ce que je retiendrai moi aussi dans cette accélération de l'histoire, c'est la difficulté la plus grande que nous avons, les uns et les autres, à la fois en tant que producteurs, en tant que concepteurs, mais aussi en tant qu'utilisateurs de suivre cet emballlement des nouvelles technologies, des nouveaux produits, des nouveaux concepts qui sont derrière cet emballlement de la microélectronique.

Avec parfois effectivement des risques de décrochage, et ce que nous vivons, ce que vous vivez aujourd'hui, depuis quelques mois, au travers de votre secteur, est caractérisé, nous le savons bien, depuis plusieurs années, depuis trente ans, à la fois par une croissance générale mais aussi par des cycles qui, les uns et les autres s'expliquaient, sauf qu'aujourd'hui le cycle est beaucoup plus profond et qu'il est beaucoup plus long et généré par quelque chose que nous n'avions pas anticipé, c'est-à-dire la rupture dans l'usage de l'UMTS, il y avait un rendez-vous, il n'est pas là, les usages ne sont pas là, le marché est en décrochage et cela a des conséquences effectivement sur l'ensemble de la filière. Derrière, les choses sont claires jusqu'à présent, puisque nous vivons, vous vivez les uns et les autres, sur un schéma qui est l'exploitation de la filière silicium. Très bien.

On sait, maintenant, avec certitude, que cette filière va avoir encore de très beaux développements et qu'elle va apporter de nouveaux services, qu'elle va déboucher sur de nouveaux usages simplement par l'approfondissement des technologies qui sont maîtrisées mais dans trois, dans quatre, dans cinq ou six ans, ou dans dix ans peut-être – je vais être un peu plus optimiste que M. Andreta – peut-être quinze ans, il y aura effectivement une rupture.

Je ne veux pas du tout faire un discours catastrophiste, je pense qu'il y aura rupture technologique - mais cette rupture est déjà en germe - et qu'il y aura lissage des technologies, interpénétration de ces technologies, les unes dans les autres. Néanmoins, à un moment ou un autre, ce qui a fonctionné depuis trente ans devra être radicalement revu, ce sera dans une dizaine d'années.

Raison de plus pour se préparer à cette rupture-là, le plus tôt possible, ce sera indispensable. Comment s'y préparer ?

Eh bien, il n'y a pas d'autre solution que ce que vous avez dit, les uns et les autres, au cours de la dernière table ronde et au cours de toute la journée, il n'y a pas d'autre solution que la nécessité d'une action collective qui réunisse les pouvoirs publics et qui réunisse les acteurs de terrain, bien entendu les chercheurs, mais aussi les industriels, capables de définir des objectifs communs et capables de s'engager dans des actions communes.

Cette perspective-là m'a conduit à retenir un certain nombre de propositions qui ont fait l'objet avant-hier soir d'une validation par l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. Je présente neuf propositions. Elles ne balayent pas tout ce que vous espérez, elles ne balayent pas tout ce que nous pouvons imaginer comme réponses à des questions qui sont d'une infinie complexité, mais elles commencent à poser un certain nombre de jalons, autour de la nécessité d'améliorer l'efficacité collective de notre dispositif, autour de la nécessité de nous pencher sur une nouvelle approche plus pragmatique, plus souple de la formation, autour de la nécessité, dans les dispositifs fiscaux, de tenir compte de cette réalité dont nous avons tellement parlé au cours de toute la journée, à savoir que nous sommes, vous êtes, Mesdames, Messieurs, en concurrence avec d'autres secteurs du monde, avec d'autres Etats qui obéissent à d'autres règles et qu'en réalité il n'y a à l'échelle du monde, si j'ai bien compris, aucune règle véritable et que chacun tire au mieux, développe au mieux des intérêts de son propre territoire.

On s'appuie sur l'exemple de Taï wan et on s'appuie sur l'exemple américain qui, dans d'autres secteurs, montre quand même que sa priorité principale c'est la défense des intérêts américains d'abord, avant d'autres considérations.

C'est ce qui m'a conduit donc à ces propositions que j'énonce très rapidement, vous me pardonnerez, je vois l'heure, je ne vais pas vous infliger un exposé trop long.

La première nécessité, me semble-t-il – vous l'avez dit les uns et les autres – **est de fixer des objectifs** et il y a un dispositif dans nos habitudes administratives en France. Pourquoi fixer des objectifs ? Fixer des objectifs non pas à long terme mais au moins à moyen terme c'est-à-dire sur trois, quatre, mettons cinq ans, et la réponse à la nécessité de fixer des objectifs communs et de définir un horizon sur 4 ou 5 ans c'est la proposition de l'élaboration d'une loi programme faisant l'objet d'un grand débat avec des professionnels, avec des partenaires etc., mais au moins le chemin est tracé.

Et puis après, la loi programme donne la stratégie et ensuite on ajuste.

Deuxième proposition, la coordination des acteurs. Très concrètement, je pense que même si on l'a souligné à plusieurs reprises, globalement, ce secteur industriel fonctionne assez bien, globalement il y a du partenariat entre les industriels, et il y a également du partenariat entre les industriels et les services de l'Etat et aussi entre les industriels, les chercheurs et l'université. Mais il faut aller plus loin, il faut institutionnaliser, il faut organiser ce partenariat.

Je propose la création d'un Conseil supérieur de la politique scientifique et technologique qui permettra effectivement, de façon régulière, d'organiser des rendez-vous.

En ce qui concerne la filière elle-même, je crois que tous les ans ou tous les deux ans, parce que les choses bougent, un rendez-vous s'impose, non pas de ce type-là, mais un rendez-vous qui permettra à tous ceux et à toutes celles qui sont sur le terrain de se retrouver pour ajuster le tir et pour rectifier éventuellement les objectifs si besoin était.

Troisième proposition, et là cela a été dit et redit à plusieurs reprises, les chiffres sont maintenant au terme de cette journée parfaitement établis.

L'ordre de grandeur, on l'a, il est de 40-50 millions d'euros pour la France, de l'ordre de 150 millions d'euros pour l'Allemagne, de 450 millions d'euros pour le Japon et de 2 milliards de dollars pour les Etats-Unis, **comme soutien à la microélectronique et aux nanotechnologies**. Je crois, comme cela a été dit par M. Andreta il y a quelques instants, que ni la France, ni l'Europe, n'échapperont à la nécessité d'un engagement de moyens à la hauteur des enjeux.

J'ai une proposition concrète, car quand on pose cette question au niveau européen on se heurte, comme en France on se heurte aux règles de Bercy, au Pacte de stabilité. Or, nous ne sommes pas dans le même horizon. Quand on parle de recherche on est dans un horizon qui s'inscrit sur dix ou quinze ans et je crois qu'il n'est pas raisonnable de mélanger des engagements financiers qui ont comme horizon dix ou quinze ans et des engagements à court terme et des obligations à court terme qui sont liés aux marchés monétaires internationaux.

C'est la raison pour laquelle je pense qu'il serait utile de réfléchir au fait qu'on devrait permettre aux Etats de retirer des déficits publics ce qui est affecté à la recherche, pour le calcul du pacte de stabilité.

Voilà une proposition très concrète qui donnerait aux uns et aux autres un peu de mou, un peu de souplesse.

Au niveau français comme au niveau européen, il y a quelques mois on a évoqué la perspective de la nécessité d'un engagement à hauteur de 3 % du PIB consacrés à la recherche, on sait que nous sommes dans une période où effectivement les choses évoluent, on sait que l'avenir de ce pays, l'avenir de ce continent passent par la maîtrise de l'intelligence et la capacité d'inventer, nous n'échapperons pas, sauf à prendre le risque d'un déclin qui sera en effet durable et irrémédiable, à la réalisation dans des délais raisonnables, on a donné l'horizon de 2010 – si c'est avant, c'est tant mieux –, mais nous n'échapperons pas en tant que Français et en tant qu'Européens à la nécessité d'engager effectivement au moins 3 % de notre PIB sur la recherche.

C'est une question de survie pour nous.

Quatrième proposition, soutenir l'ensemble de la filière. Les uns et les autres, à plusieurs reprises vous avez insisté sur le fait qu'il s'agit bien d'une filière, qu'il y a un chaînage étroit entre la recherche fondamentale, la recherche appliquée, la découverte de nouveaux process de fabrication, qu'il y a une véritable intégration, eh bien nous devons tenir compte de cette réalité, tenir compte de cette spécificité et engager tous les échelons de la filière, je le dis clairement, y compris les échelons s'appliquant à la recherche fondamentale.

Lorsqu'on voit tel ou tel laboratoire qui travaille sur la physique quantique et qui travaille sur un des secteurs qui sera peut-être porteur dans quinze ans ou vingt ans, ou peut-être pas du tout, si nous ne mettons pas maintenant les quelques millions d'euros dont ces équipes très restreintes ont besoin pour s'inscrire dans la compétition internationale, nous condamnons notre pays, nous condamnons l'Europe, dans dix ou dans quinze ans, parce qu'ils seront hors circuit. Il faut avoir le courage de mettre de l'argent, y compris dans des recherches aujourd'hui perçues comme aléatoires mais qui conditionnent effectivement notre avenir.

Ce matin, j'ai dit à M. Schmidt que parmi ces efforts à faire, il fallait définir une politique spécifique vis-à-vis des équipementiers. On le voit bien, c'est aussi une des

conditions d'une certaine indépendance, en tout cas d'une capacité d'autonomie de la France ou de l'Europe par rapport à des intérêts qui ne sont pas forcément convergents avec nos propres intérêts locaux.

Cinquième proposition, et je m'adresse en particulier à des intervenants qui ont une très bonne connaissance de la dimension européenne, je crois qu'il faudra que nous sachions **adapter la réglementation européenne**.

Lui donner un peu plus de souplesse, gérer mieux les délais dans un secteur comme le vôtre qui est caractérisé par la capacité de réagir immédiatement, j'allais dire en quelques semaines, on ne peut pas accepter que les procédures administratives se comptent en mois, quand je dis en mois c'est plutôt en semestres, quand ce n'est pas en années.

Donc, raccourcir les délais me semble indispensable. De même qu'il faudra qu'il y ait un accord politique au niveau de la Commission européenne pour que le volontarisme exprimé par votre Direction, Monsieur, ne se heurte pas à des règles définissant les conditions de la concurrence intracommunautaire et qu'on n'oppose pas des interdictions à telle Direction d'apporter un concours financier, sous prétexte que ce concours financier créerait des distorsions de concurrence à l'intérieur même de l'espace européen. Les Taïwanais ne nous attendent pas, et les Américains encore moins, il va falloir prendre conscience de ces données-là.

Sixième proposition, je ne l'évoque que pour mémoire, mais elle me semble indispensable, elle s'adresse en particulier aux universitaires. Je crois qu'il faudra que nous intégrions l'idée que la filière industrielle que vous représentez soit caractérisée par la **pluridisciplinarité**, par la **convergence des disciplines** et il faudra donc que nous sachions réfléchir effectivement au **niveau de la formation** à donner à ces jeunes qui rentreront dans les laboratoires, dans les centres de recherche, cette capacité de s'adapter et cette capacité de s'ouvrir, cette capacité à intégrer les apports de la biologie, voire des sciences humaines.

Une intervention de ce matin nous a montré que nous aurions le plus grand intérêt à être attentifs, y compris à ce que peuvent nous apporter les sciences humaines, la sociologie et la psychologie. Décloisonner donc les disciplines.

Septième proposition, je l'ai évoquée déjà, j'y reviens très rapidement : il me semble indispensable, compte tenu du caractère spécifique de votre secteur, de **revoir le cadre fiscal**.

Pour tout vous dire, je ne suis pas véritablement un fanatique de la réduction d'impôts. J'ai vu à cet instant, aujourd'hui même, dans un journal du soir qui généralement fait autorité, que l'un des personnages qui a le plus façonné probablement le paysage économique, mondial de ces dernières décennies, je veux parler de M. Milton Friedman,

évoque le fait que, pour les Etats, moins d'impôts c'est moins de projets et moins de volonté d'agir.

Néanmoins, à partir du moment où effectivement nous sommes, comme nous le savons, dans un champ délibérément international, mondial, nous ne pouvons pas ne pas tenir compte des conditions objectives réelles de la concurrence.

Effectivement, nous devons, compte tenu de la spécificité de votre industrie, imaginer d'autres formes de fiscalité spécialement adaptée, pas seulement pour faire plaisir, Monsieur le Président Faure, aux industriels que vous représentez – ce ne serait pas ma volonté première – mais parce que derrière c'est l'ensemble de l'économie et ce sont des dizaines et des centaines de milliers d'emplois qui en dépendent.

Il faut donc que nous donnions à ces outils industriels les moyens de jouer leur rôle, de prendre leur place et donc il faut que nous revoyions les règles de la taxe professionnelle, de même qu'il faut que nous revoyions, à la marge ou de façon radicale, un certain nombre de dispositions de caractère fiscal ou parafiscal sur le financement de la recherche, à l'évidence, et sur les crédits, et les crédits formation. On a eu suffisamment d'exemples, qui montrent cette nécessité, qui nous viennent d'ailleurs.

J'évoquais la **connaissance**, c'est **l'avant-dernière de mes propositions**, la proposition n° 8. Je crois qu'il est indispensable, j'irai très vite parce que c'est tellement prégnant et au cœur de vos préoccupations, de **moderniser la gestion de la connaissance**.

Je n'en dis pas beaucoup plus, je l'ai déjà évoqué, décloisonner, donner un coup d'accélérateur aux vocations scientifiques. Cela ne se décrète pas mais cela se construit. Je voudrais dire quand même que c'est un de nos grands atouts à l'extérieur, vous le savez, on reconnaît à l'Europe, on reconnaît en particulier à la France, ce grand, cet immense atout d'avoir effectivement un vivier de jeunes, un vivier de jeunes étudiants, un vivier de chercheurs de très grande qualité. Il faut savoir préserver cet atout et le valoriser, y compris par un certain nombre d'autres dispositions concrètes dont j'ai parlé.

la dernière proposition, je l'ai gardée pour la fin mais c'est vraiment le hasard, je me demande s'il ne serait pas temps de réfléchir à un **nouveau type de financement de certains aspects de la recherche**.

J'observe que dans d'autres pays du Monde, je pense en particulier aux pays anglo-saxons, on a trouvé en revoyant le paysage de la fiscalité, en particulier l'impôt sur l'héritage, l'impôt sur les fortunes, des moyens d'orienter une partie des ressources vers des sources de financement qui peuvent déboucher sur des leviers nouveaux en matière de formation et en matière de découverte.

Je pense aux fondations. Je crois qu'il faudrait que nous ayons le courage d'ouvrir ce dossier-là, sans a priori, mais en se disant qu'effectivement si des gens que la vie et les circonstances ont dotés de grandes fortunes ont la passion de certains métiers ou de certaines disciplines, ou la passion de soutenir l'avenir du pays qui les a vu naître, se développer, et

vivre, eh bien il faut leur permettre aussi de mettre l'argent qu'ils ont gagné au service de cette passion et au service de ce pays.

Voilà les quelques propositions que je compte transmettre aux autorités ministérielles et je vous remercie de votre attention.

(Applaudissements)

Le programme prévoyait, prévoit un échange, y compris sur certaines de ces propositions....

M. Monnier - C'est une petite réflexion que nous avons autour de la table ronde, votre résumé est tellement clair, tellement synergique avec ce que nous pensons, qu'il est certainement très difficile d'avoir des questions. De mon côté, ce sera difficile de vous interroger.

M. Claude Saunier, sénateur - Monsieur Monnier, ce n'était pas délibéré !

En tout cas, je vous remercie de vos propos. Je vous remercie de votre attention. Je vous remercie de ce qu'un grand nombre d'entre vous avez apporté.

Le rapport que j'ai l'honneur de signer, c'est votre rapport, c'est votre outil et je voudrais vous en remercier.

(Applaudissements)

(La séance est levée à 18 heures).

Depuis plus de trente ans, la microélectronique a porté une grande part de la croissance de l'économie mondiale ; elle a irrigué notre quotidien d'objets nouveaux : ordinateurs, téléphones portables, lecteurs de DVD, etc., qui ont profondément modifié nos usages sociaux.

Les microsystèmes qui y sont, dès à présent, associés et les futurs nanosystèmes vont encore accroître le rôle de ce secteur.

Il s'agit donc d'une chance à saisir.

Dans la compétition mondiale qui s'annonce sur ces marchés essentiels, les principaux concurrents de la France et de l'Europe font preuve d'un volontarisme d'État qui contraste avec la timidité de nos propres réponses.

C'est pourquoi Claude Saunier, tirant les leçons du constat effectué dans cette étude, avance des propositions permettant de soutenir nos filières de haute technologie, dont dépend, en définitive, notre avenir économique.

Ces propositions ont été débattues à l'occasion d'un colloque, tenu le 23 janvier 2003 au Sénat, dont les actes sont publiés dans ce volume.