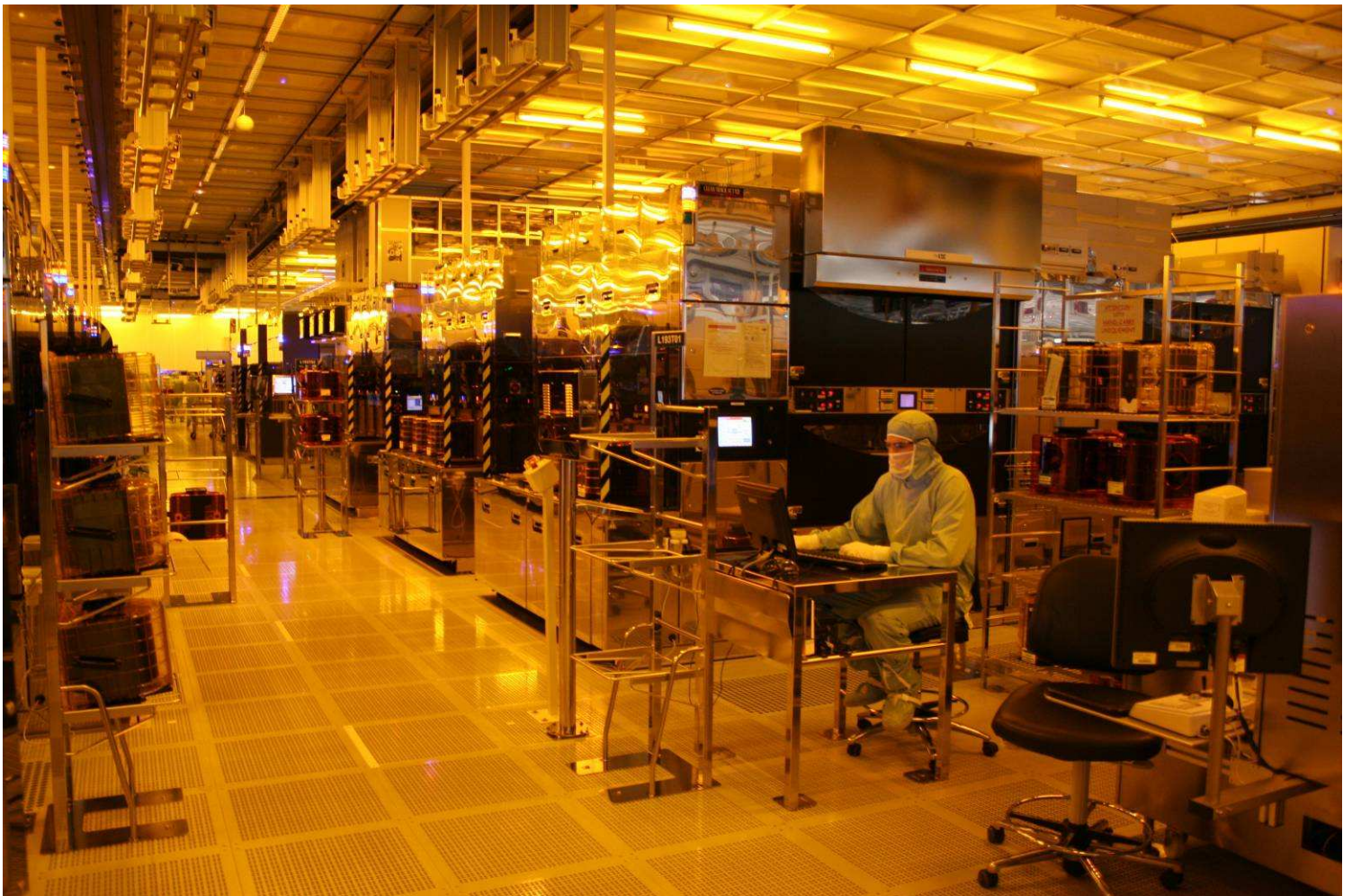


LES SITES FRANÇAIS DE PRODUCTION MICRO-NANOELECTRONIQUE

*Mission confiée par Christian Estrosi,
Ministre chargé de l'Industrie*



Laurent Malier

SOMMAIRE

A. SYNTHÈSE	p 7
B. LE SECTEUR DES COMPOSANTS MICRONANOÉLECTRONIQUES	p 9
1. Introduction	
2. Des Tendances Durables de Miniaturisation et de Réduction de Coûts de Production	<i>p 12</i>
i. <i>Une course à l'intégration</i>	
ii. <i>Réduction des prix</i>	
iii. <i>Des produits et des filières variées</i>	
3. Un secteur à fortes intensités de capital et de R&D	<i>p 15</i>
4. Les typologies d'acteurs industriels	<i>p 16</i>
i. <i>Les acteurs</i>	
ii. <i>Dynamiques d'évolution, Consolidations et Alliances</i>	
5. Un secteur stratégique, objet de politiques nationales volontaristes	<i>p 20</i>
i. <i>Le poids et l'ambition des Etats-Unis</i>	
ii. <i>Le développement en Asie</i>	
6. La situation en Europe	<i>p 23</i>
C. LES SITES INDUSTRIELS EN FRANCE	p 26
1. Cartographie et Positionnement des sites Industriels Français	<i>p 26</i>
i. <i>Les acteurs français</i>	
ii. <i>Positionnement des sites de semiconducteurs</i>	
2. Les enjeux et les éléments de stratégie	<i>p 31</i>
D. PROPOSITION DE PLAN D'ACTION	p 36
1. Vision globale	<i>p 36</i>
2. Propositions d'actions	<i>p 37</i>
3. Le modèle de Crolles	<i>p 39</i>
4. Mise en œuvre des actions de renforcement des sites de production	<i>p 40</i>
5. Synthèse	<i>p 40</i>



LE MINISTRE CHARGÉ DE L'INDUSTRIE

Paris, le 2 OCT. 2009

Monsieur le Directeur,

Comme j'ai pu le vérifier en visitant récemment vos installations de Grenoble, les technologies de la micro-nanoélectronique comptent parmi les plus critiques pour l'avenir industriel de notre pays.

C'est ainsi, par exemple, que les prochaines générations de composants de puissance sont au cœur des grands défis du développement durable (électrification des véhicules, transport de l'énergie...).

Dans le cas particulier des technologies de production « CMOS avancé », l'écosystème qui a été construit entre STMicroelectronics, Soitec, plusieurs autres entreprises et votre laboratoire se situe parmi le très petit nombre des pôles mondiaux du domaine, en étroite association avec l'alliance IBM.

Il existe ainsi un véritable « modèle » de Grenoble-Crolles, reposant sur deux caractéristiques principales :

- Il s'appuie sur un site de production rompu aux meilleurs standards internationaux. Il s'agit là d'un aspect essentiel, afin que les résultats de la R&D soient rapidement et efficacement exploitables industriellement.
- La forte ambition industrielle qui s'y manifeste se trouve portée par la coopération étroite entre un industriel leader et une plate-forme de recherche publique. Le CEA-LETI a su développer de la sorte un modèle de coopération lui permettant de valoriser son excellence scientifique au travers de feuilles de route technologiques précises, définies en étroite concertation avec les industriels.

Au-delà des technologies « CMOS avancé » de l'écosystème grenoblois, les besoins en composants électroniques diversifiés, qui émergent dans les filières liées aux transports, à l'énergie ou à la santé, constituent de nouvelles opportunités pour les autres sites français de la micro-nanoélectronique. Ces sites de production et de conception représentent, eux aussi, des atouts industriels majeurs pour la France.

Je souhaite que nous nous inspirions du modèle grenoblois pour les positionner parmi les leaders des filières d'avenir.

Monsieur Laurent MALIER
Directeur du CEA LETI
17, rue des Martyrs
38000 Grenoble

MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE
DE L'INDUSTRIE ET DE L'EMPLOI

Comme l'exemple de Grenoble-Crolles l'a montré, la plate-forme de recherche du CEA-LETI pourra jouer un rôle déterminant dans la réalisation de cette grande ambition industrielle et technologique.

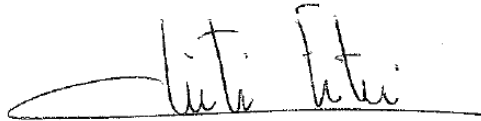
C'est pourquoi je vous demande de me proposer un plan d'action précis, au niveau national.

Il s'agit notamment de définir, en lien étroit avec les acteurs industriels, une stratégie cohérente pour l'ensemble du tissu industriel français en micro-nanoélectronique et d'identifier site par site des priorités de R&D. Cette stratégie devra également viser à favoriser la diffusion au sein des industries intégratives.

Pour mener à bien votre mission, vous pourrez utilement vous appuyer sur les services de la Direction Générale de la Compétitivité, de l'Industrie et des Services.

Vous voudrez bien me faire part de vos propositions avant la fin de l'année. Un rapport d'étape me serait utile début novembre.

Je vous prie de croire, Monsieur le Directeur, à l'assurance de mes sentiments les meilleurs.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Christian Estrosi', written over a horizontal line.

Christian ESTROSI

A. SYNTHÈSE

La micro-nanoélectronique est au cœur de la plupart des applications d'avenir. De l'économie numérique à l'économie verte, l'intégration de la micro-nanoélectronique permet la conception de dispositifs aux performances accrues, offrant des fonctionnalités en rupture. C'est pourquoi la maîtrise de cette technologie constitue un élément-clé de compétitivité industrielle.

Les composants de la micro-nanoélectronique, ont connu depuis plusieurs décennies un progrès considérable, intégrant un nombre toujours croissant de transistors pour un coût toujours plus bas. Ils peuvent aujourd'hui être intégrés dans la plupart des équipements de notre quotidien, qu'il s'agisse des voitures, de l'électroménager, des téléphones, des téléviseurs, des appareils photographiques **Ces composants représentent, de ce fait, à la fois une opportunité de croissance en eux-mêmes, mais aussi une industrie stratégique pour garantir la capacité d'innovation de l'ensemble de l'industrie, des systèmes aux services.**

Le marché des semiconducteurs, totalement mondialisé, est marqué par une féroce concurrence entre un petit nombre de leaders technologiques. **Les Etats, en Amérique du Nord comme en Asie, déploient des politiques volontaristes pour attirer l'activité industrielle de ce secteur stratégique** (réductions fiscales, soutien aux organismes publics, subventions ...).

L'exemple du pôle de Grenoble-Crolles (Isère) montre que la France peut être un acteur de premier rang dans cette compétition mondiale. En effet, ce pôle est aujourd'hui positionné parmi les meilleurs clusters mondiaux du domaine.

C'est à la lumière de cet exemple que le présent rapport a pour ambition, d'une part, d'analyser le positionnement des sites de production français dans le cadre d'une vision stratégique globale et, d'autre part, de proposer un plan d'actions pour l'ensemble du tissu manufacturier du secteur.

L'analyse développée dans le rapport permet de distinguer les différents sites de production selon un référentiel simple, construit selon deux axes :

- ⇒ le **type de technologie** concerné (composants CMOS avancés, fonctions Radio Fréquences embarquées, composants de puissance, passifs intégrés, « systems in package », microsystèmes (MEMS) ...) ;
- ⇒ la **génération technologique** maîtrisée (niveau de miniaturisation des transistors).

Ce référentiel permet de distinguer **quatre groupes de sites de production** et de clarifier les enjeux propres à chacun de ces groupes :

- ⇒ le groupe « numérique avancé », mobilisant des investissements importants pour rester à la pointe de la miniaturisation en CMOS ;
- ⇒ le groupe « numérique établi », où l'enjeu essentiel réside dans l'ajout de technologies différenciatrices, en particulier embarquées ;
- ⇒ le groupe « marchés de niche », constitué d'acteurs souvent de petite taille, maîtrisant des technologies anciennes pour des clients particuliers (comme la défense ou le spatial) ;
- ⇒ le groupe « à forte différenciation », qui repose sur une large diversification dans les types de technologies maîtrisées.

Cette analyse permet d'identifier les facteurs de compétitivité des différents sites. Elle montre qu'**au-delà des technologies CMOS les plus avancées, qui ne concernent que le premier groupe, la compétitivité des unités industrielles relevant des autres groupes passe par le développement de technologies différenciées, permettant d'ajouter de nouvelles fonctionnalités.**

L'analyse montre que la France possède un positionnement industriel solide dans le domaine de la micro-nanoélectronique. Pris comme un ensemble, ses sites de production présentent des atouts industriels complémentaires et peuvent saisir les opportunités de croissance dans le domaine des composants semiconducteurs et des secteurs applicatifs associés, notamment ceux de l'énergie, des transports et de la santé, secteurs dont les enjeux économiques et de souveraineté vont fortement se renforcer dans les décennies à venir. **La concrétisation de ces opportunités requiert de forts investissements, tant en R&D qu'en équipements, ainsi qu'un très étroit couplage entre recherche et production avancée dont l'analyse montre qu'il est essentiel à la compétitivité durable des sites. C'est sur de tels investissements que les Etats présents dans la course technologique conduisent des politiques de soutien à la fois massives et inscrites dans la durée.**

Conformément à la mission confiée au rapporteur, l'analyse des enjeux de chacun des sites débouche sur des propositions visant à renforcer son positionnement, en adaptant le modèle de Crolles. Le plan d'action ainsi défini se déploie selon deux axes :

- ⇒ **Un socle d'actions visant à mettre en place des programmes de R&D ambitieux sur les sites de production français.** Cela repose, en premier lieu, sur le déploiement et l'adaptation du modèle de Crolles, avec, pour chaque site, des engagements pluriannuels de l'entreprise et une coopération étroite entre l'industriel et une plate-forme publique de recherche technologique et intégrative. Ces programmes de R&D devront favoriser localement la dynamique de la filière microélectronique. Il convient, en second lieu, pour certains sites, de mettre en place une ligne pilote opérée conjointement entre cette plate-forme et l'industriel, afin d'accélérer le développement de certaines technologies à très fort risque.
- ⇒ **Des actions complémentaires visant à assurer la diffusion de ces technologies :**
 - ⇒ En aval, il est proposé de lancer des appels à projets visant à intégrer les technologies de la micro-nanoélectronique au sein des produits de diverses filières industrielles, afin de renforcer leur capacité d'innovation et leur compétitivité. Les secteurs pour lesquels la dynamique de filière et de coopération est à consolider sont plus particulièrement :
 - L'électronique pour la santé,
 - L'électronique pour la gestion de l'énergie,
 - L'électronique pour les transports innovants,
 - L'électronique pour l'éclairage intelligent
 - ⇒ En amont, pour renforcer le couplage entre laboratoires de recherche et industriels du secteur, et diffuser largement les problématiques pertinentes auprès de ces acteurs de recherche, des actions de maturation technologique et de preuves de concept pourraient être lancées, sous pilotage industriel

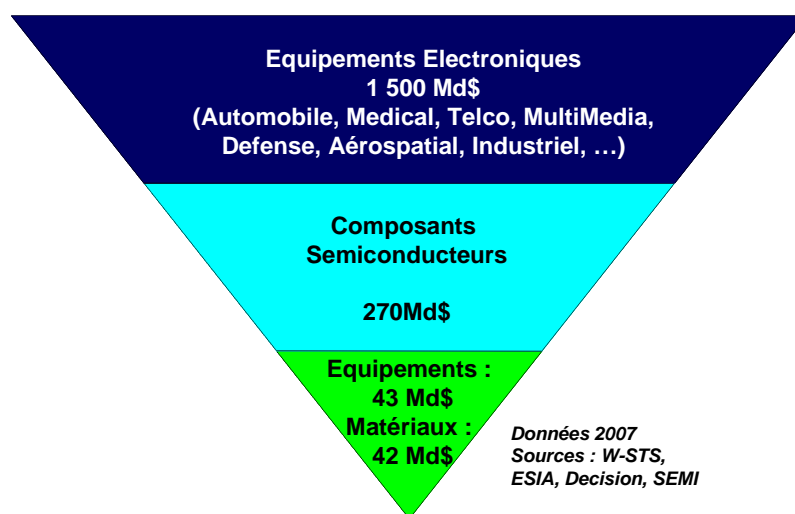
B. LE SECTEUR DES COMPOSANTS MICRONANOÉLECTRONIQUES

Cette partie regroupe les éléments les plus déterminants du secteur des composants micro-nanoélectroniques, pour permettre de mieux comprendre le positionnement des différents sites industriels français, et leurs facteurs d'évolution. Volontairement très synthétique, cette partie peut être utilement complétée par la lecture du Rapport de l'OPECST¹, établi par le Sénateur Claude SAUNIER, et présenté aux Assemblées le 25 juin 2008. Ce rapport, très complet, demeure d'actualité pour l'essentiel, et les paragraphes ci-dessous actualisent ou précisent certains constats, en particulier quant aux positionnements et stratégies des acteurs industriels.

1. INTRODUCTION

Les composants électroniques à base de semiconducteurs sont au cœur de tous les équipements électriques et électroniques. Ils sont partie prenante d'une part croissante des objets qui nous entourent et nous accompagnent, objets auxquels ils confèrent des fonctions de saisie, de stockage, de transmission ou de restitution d'informations (appareils photos, téléphones, TV, ...), de contrôle et commande, d'aide à la décision, de sécurité.

En trente ans, la part de valeur issue des composants semiconducteurs dans les équipements et les systèmes n'a cessé de croître, dans tous les secteurs économiques fournisseurs de produits matériels. Ce secteur constitue un bras de levier pour une part croissante de l'économie mondiale. Aujourd'hui, les composants agrègent plus de 20% de la valeur des équipements électriques ou électroniques, contre 7% en 1985, soit un marché mondial du secteur 'semiconducteur' de 270 milliards de dollars. Le secteur présente un taux de croissance supérieur à la croissance mondiale globale, avec des périodes de surproduction de durée inférieure à 18 mois. Cette tendance de croissance, marquée et durable, va se poursuivre, et les besoins sociétaux majeurs (maîtrise de l'énergie et de l'environnement, santé, communication et sécurité) vont renforcer la demande en intelligence 'embarquée' ou 'enfouie', telle que la permet l'intégration de composants électroniques.



¹ OPECST : Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques

Figure 1 : Place et effet de levier du secteur des composants semiconducteurs

Ces composants sont en effet au cœur de toutes les applications, que ce soit pour la ‘société numérique’ dont ils assurent à la fois le moteur et la mémoire, ou bien pour les améliorations attendues dans les domaines des transports, de l’aéronautique, de la santé, de la sécurité, de la gestion de l’énergie électrique au plus près de l’utilisateur ou au sein des réseaux de distribution. Le très haut débit accessible pour tous, la gestion intelligente et efficace de l’énergie dans les bâtiments, la télésanté, la route intelligente et les voitures propres ou bien encore le renouvellement de l’infrastructure électrique passent immanquablement par une utilisation accrue de composants électroniques à semiconducteurs plus complexes et plus performants.

Le nombre de composants livrés se compte en milliards de pièces par semaine (3,25 milliards d’unités/semaine à fin décembre 2009)

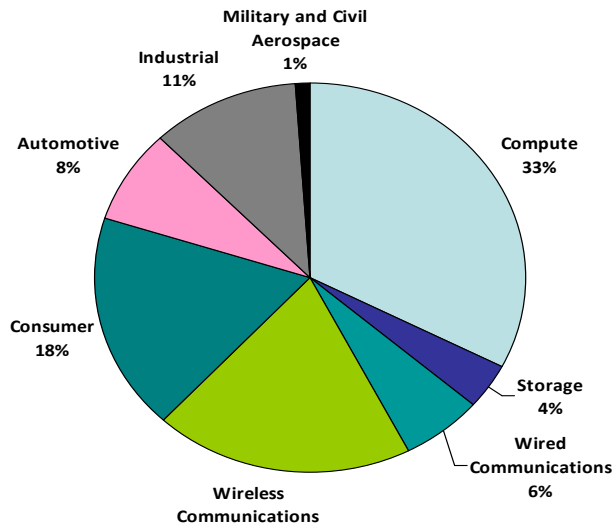


Figure 2 : répartition du marché mondial des semiconducteurs, par secteur industriel applicatif

Répartie sur ces différents segments applicatifs (industrie, automobile, grand public, communications sans fils et filaires, stockage, informatique, militaire, aérospatial, médical, ...), la croissance du secteur des composants est loin de se limiter aux seuls ordinateurs et téléphones portables, et s’avère soutenue sur les segments plus professionnels comme le médical, l’automobile ou les équipements industriels (figure 3).

Average growth trend of the semiconductor market per end application sectors, 2007-2012

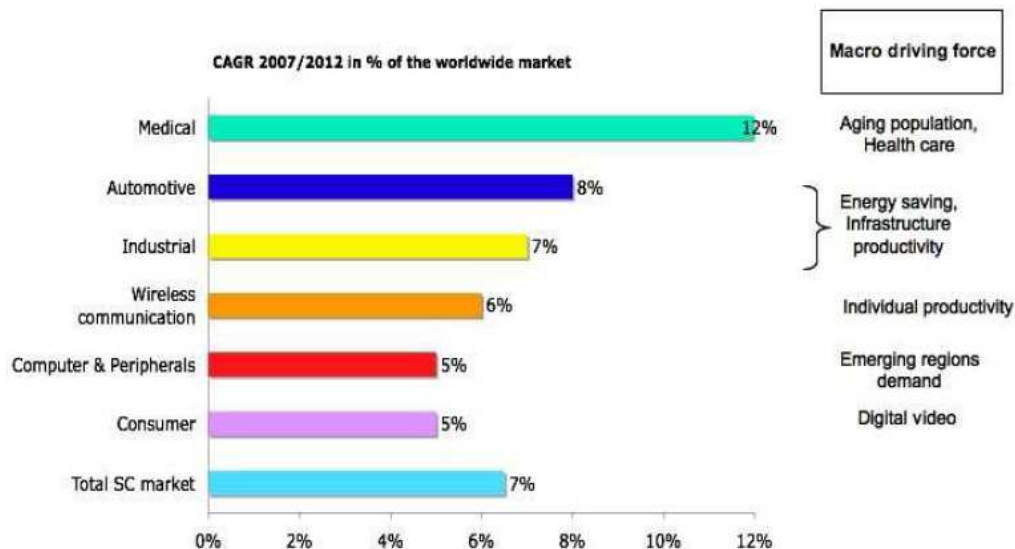


Figure 3 : Taux de croissance annuel et mondial

des différents segments du marché des composants semi-conducteurs (source DECISION).

La croissance de ce secteur est liée au fait que l'industrie des semi-conducteurs apporte une contribution majeure - voire majoritaire - à l'innovation dans les équipements et les systèmes, et au-delà, à celle dans les services. **Aujourd'hui, aucun secteur industriel n'est compétitif sans l'emploi de composants micro-nanoélectroniques avancés, qui sont à l'origine de l'introduction de nouvelles fonctions et de réductions de coûts. De ce fait, ces composants représentent à la fois une opportunité de croissance, mais aussi une industrie stratégique pour garantir la capacité d'innovation au niveau des systèmes et des services.** Si cela est évident dans l'économie des produits et services de l'information, cela est également le cas dans les secteurs de l'automobile et des transports, du médical et de la santé, de l'énergie, de l'environnement, de l'équipement industriel, de la sécurité ou de l'aérospatial.

A titre d'exemple, la figure ci-dessous illustre la multiplicité des composants électroniques désormais introduits dans un véhicule automobile, illustration limitée aux seuls capteurs, qui nécessitent en complément l'utilisation de nombreux microprocesseurs pour le contrôle, faisant d'un véhicule automobile un 'ordinateur roulant'. Ces composants couvrent des fonctions diverses, liées à la chaîne de traction, à la sécurité ou au confort. Avec le passage aux véhicules hybrides et électriques, la demande en composants va augmenter de façon critique, car ils seront au cœur du fonctionnement et de la commande du train. Il est ainsi attendu une multiplication par 20 du seul marché des composants et modules de puissance pour l'automobile dans la décennie à venir (environ 5 milliards de dollars en 2020).

Capteurs intelligents pour l'automobile

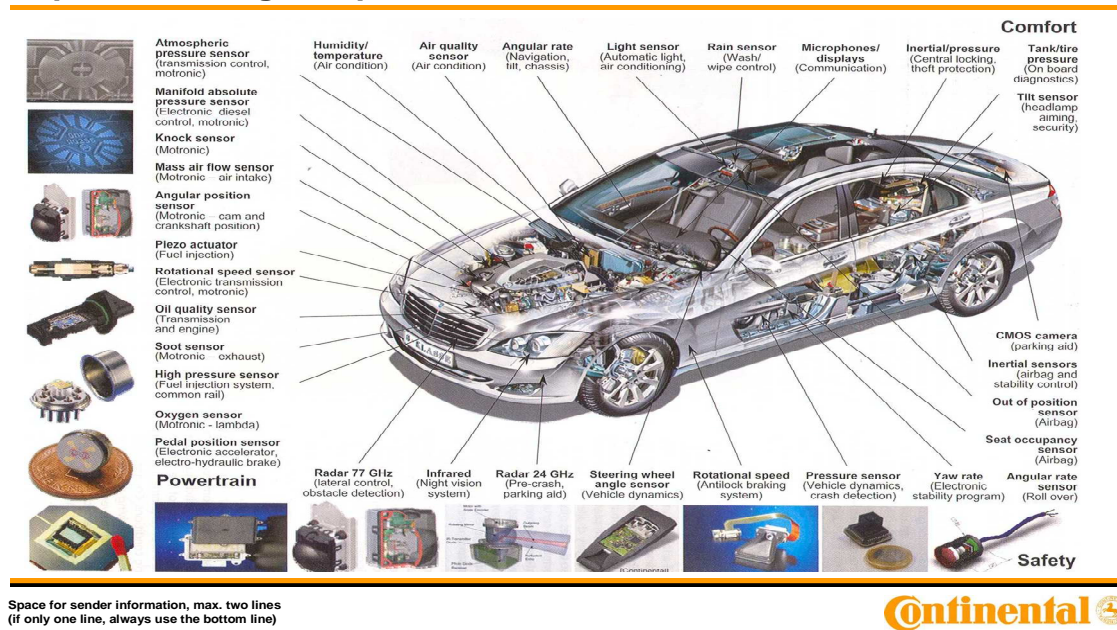


Figure 4 : Fonctions électroniques embarquées dans un véhicule à moteur thermique.
Source : Continental

Pour la plupart des secteurs industriels cités ci-dessus, l'Europe possède des ambitions fortes, et a comme atout majeur des industriels équipementiers ou systémiers de premier rang mondial. Pour les différents secteurs des équipements électriques et électroniques, ces industriels sont :

- ⇒ Automobile : Bosch, Daimler-Chrysler, Siemens, PSA, Renault, Groupe VW, ...
- ⇒ Médical : Siemens, Philips, ...
- ⇒ Puissance & Energie : Areva, Siemens, ABB, Schneider Electric, Alstom, ...
- ⇒ Industrie : Siemens, Alstom, Sagem, ...

- ⇒ Télécommunications et Wireless : Nokia, Ericsson, Alcatel-Lucent, Gemalto, ...
- ⇒ Aérospatial & Sécurité : Airbus, Thales, EADS, Safran,

Il est essentiel pour l'ensemble de l'Industrie Européenne qu'une capacité d'innovation et de production en semiconducteurs soit localisée en Europe, afin d'assurer un accès indépendant à cette source d'innovation. C'est d'une telle conclusion que découle la récente déclaration du commissaire G VERHEUGEN² mentionnant l'industrie des semiconducteurs comme prioritaire et critique pour **conserver une industrie Européenne forte et compétitive**. De même, les ministères allemands de la recherche et de l'industrie ont récemment souligné l'importance de ces technologies « capacitantes » (*enablers*) sur l'ensemble de l'économie³.

2. DES TENDANCES DURABLES DE MINIATURISATION ET DE REDUCTION DE COÛTS DE PRODUCTION

Cette pénétration croissante et continue des composants électroniques dans les équipements a été rendue possible par deux autres caractéristiques clés du secteur, qui ont été permanentes sur les quatre dernières décennies :

- ⇒ l'intégration croissante de fonctions sur le support matériel que constitue un circuit intégré en silicium, avec un renouvellement rapide des produits et des technologies,
- ⇒ la réduction continue des coûts de production et des prix unitaires.

2.1. Une course à l'intégration

Pour les marchés moteurs des mémoires, des processeurs et des circuits numériques spécifiques, la production est essentiellement basée sur les technologies CMOS. Ces technologies sont qualifiées par la dimension la plus critique des transistors qui les composent. Ainsi, le « nœud 40nm » correspond à la technologie où cette dimension minimale mesure 40 nanomètres. Aujourd'hui, la génération de production la plus agressive est le nœud 40nm, mais le nœud 28nm sera proposé en production dès le prochain semestre.

La réduction des dimensions auxquelles sont réalisées les transistors, composants élémentaires des circuits intégrés, est au cœur de deux évolutions fortes des produits :

- ⇒ La montée en performance (rapidité des transistors, liée à la taille minimale de ces composants élémentaires),
- ⇒ L'intégration d'un nombre croissant de transistors, dépassant aujourd'hui le milliard par circuit.

L'évolution des technologies permettant cette intégration croissante est rapide, et suit une prédiction empirique faite par Gordon Moore (cofondateur d'Intel), d'une intégration doublée tous les 18 mois. Fait inégalé dans quelque secteur industriel que ce soit, cette évolution technique des produits dure depuis quatre décennies (voir figure 5).

² Communication de la Commission au Parlement Européen, au Conseil, au Comité Économique et Social Européen et au Comité des Régions : «Préparer notre avenir: développer une stratégie commune pour les technologies clés génériques dans l'UE », {SEC(2009) 1257}

³ ICT 2020, "The High Tech Strategy for Germany", Federal Ministry of Education and Research : http://www.bmbf.de/pub/ict_2020.pdf.

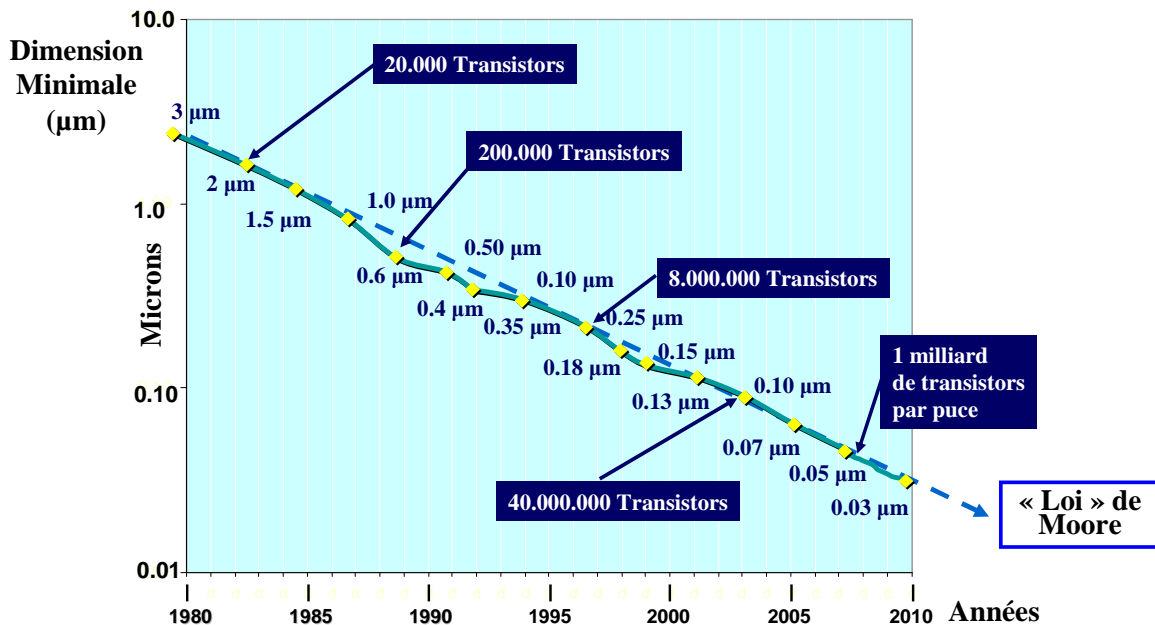


Figure 5 : Evolution des filières au cours du temps :
Dimension critique des transistors (µm) et nombre de transistors par circuit intégré

2.2. Réduction des prix

Au-delà de l'augmentation des performances techniques des produits, l'intégration croissante permet également la réduction des coûts de production de produits à complexité donnée, en ce qu'elle permet de réduire la surface de silicium nécessaire pour réaliser la fonction visée.

L'exemple le plus populaire et le plus connu est celui des mémoires à l'état solide. Celles-ci ont généralisé l'accès et la distribution de données numériques au travers de clés USB, dont le prix ramené à la capacité de stockage a diminué comme aucune des solutions techniques alternatives (disquettes, disques durs) n'a pu le faire précédemment. Elles ont permis la multiplication d'équipements nomades à fort contenu numérique.

Cette réduction des prix est générale au secteur, et dure depuis plusieurs décennies, comme l'illustre la figure 6. Ces données démontrent des gains de productivité inégalés, tant en ampleur qu'en rythme, gains qui profitent à tous les secteurs qui intègrent des composants.



Figure 6 : Evolution de la valeur équivalente d'un circuit d'un million de transistors

2.3. Des produits et des filières variées

Au-delà des tendances générales mentionnées, les produits semiconducteurs sont différemment liés à cette intégration rapide et à cette complexité croissante.

D'un côté, les **mémoires**, les **processeurs** (pour PC, cartes graphiques, serveurs, ou terminaux mobiles) et la plupart des **circuits intégrés spécifiques** sont des produits dont les marchés exigent un accroissement rapide de l'intégration, et justifient économiquement la poursuite de la loi de Moore. Les technologies sous-jacentes (dites « **More Moore** ») ont des performances qui dépendent directement de la réduction des tailles critiques des dispositifs. Pour ces technologies, l'émergence des nouvelles générations est rapide (tous les deux ans environ), mais l'arrêt de production des vieilles technologies peut être lent, et la croissance du marché global laisse une place réelle aux technologies anciennes, produites sur des outils amortis.

De l'autre, les **composants analogiques**, les **composants de puissance**, certains composants numériques de niche ou encore les **capteurs** offrent une importante capacité d'intégration de fonctionnalités dans les équipements, avec des coûts réduits pour les produits finaux correspondants. On peut citer les microsystemes, qui ont permis l'intégration de capteurs (les mêmes capteurs équipent les airbags de véhicules et la Wii), les composants radiofréquence et les imageurs qui ont révolutionné l'usage de la téléphonie portable et de la photographie, les biopuces qui permettent de revisiter le domaine du diagnostic (par exemple, détection précoce de la grippe aviaire), les LEDs qui révolutionnent l'éclairage basse consommation, les composants de puissance qui sont au cœur des véhicules électriques et des réseaux électriques de demain ... Les technologies associées permettent l'intégration de fonctions sur le silicium mais ne nécessitent pas une miniaturisation extrême. Elles sont dites « **More Than Moore** » et ouvrent la porte à de nouveaux produits miniaturisés. Les nouveaux marchés correspondants sont soit des marchés d'équipements de substitution pour lesquels la miniaturisation des produits amène un gain en termes de performances, de fiabilité ou de coût, soit de nouveaux marchés émergents qui n'auraient pas vu le jour sans ces innovations.

Ces deux types de technologies apportent des gains en intégration et en coût aux équipements et aux systèmes, mais les secteurs applicatifs ont une dépendance variable à ces technologies, comme le montre la figure 7 ci-dessous, issue d'une présentation de NXP. On voit en particulier que les secteurs des télécoms, des stations de jeux, gourmands en capacité de stockage de données et en traitement temps réel, dépendent fortement des composants CMOS (circuits numériques et mémoires). Parallèlement, les secteurs de la santé, du transport et de l'énergie sont plutôt des secteurs où les capteurs et le traitement analogique de signaux tiennent une place importante à côté d'une composante numérique qui va croissant.



Figure 7 : ventilation des grands domaines applicatifs en technologies micro-nanoélectroniques more moore ou more than moore.

3. UN SECTEUR A FORTE INTENSITE DE CAPITAL ET DE R&D

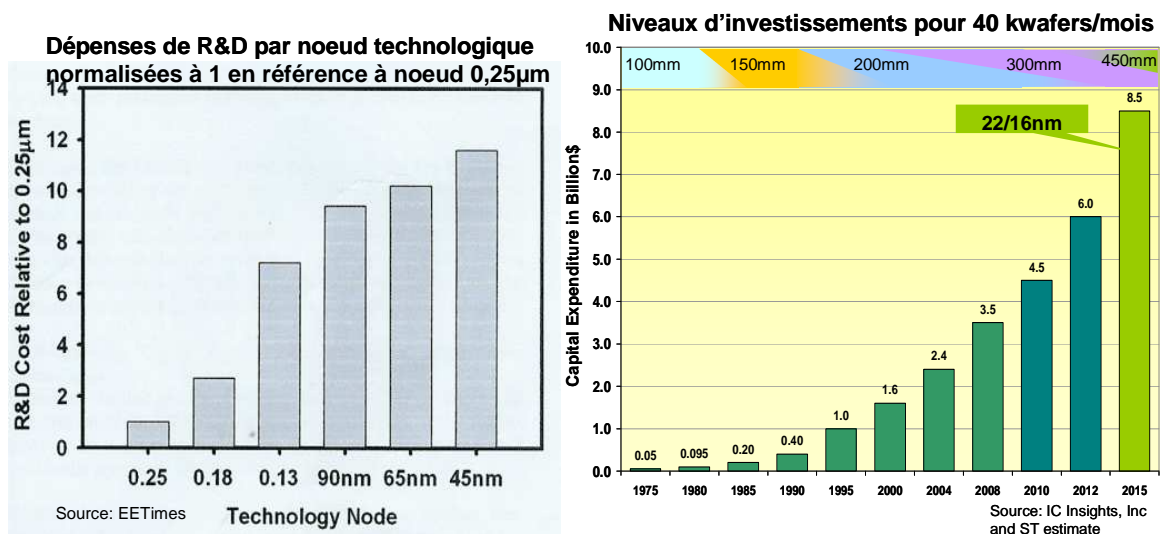
Avec des procédés à maîtriser aux échelles nanométriques et une exigence extrême de défektivité liée aux milliards de transistors constitutifs des composants, les circuits intégrés sont fabriqués dans des infrastructures à environnement propre et contrôlé, appelés « salles blanches ». La production de masse de circuits intégrés, avec des prix en réduction de 20% par an, requiert des moyens de production collective adaptés. En particulier, la réduction de coût a imposé l'augmentation progressive du diamètre des plaques de silicium traitées, dont le standard est aujourd'hui de 300mm pour les technologies avancées. Ces plaques sont 'travaillées' collectivement, par lots de 25 à 50, sur des équipements largement automatisés, et les centres de fabrication sont des lieux de lourds investissements, dont le coût est croissant avec les générations de technologies (aujourd'hui plus de 4 milliards de dollars pour une nouvelle unité de production au standard mondial).

Pour les filières requérant un rythme de renouvellement rapide, ces investissements sont rapidement obsolètes et doivent être fréquemment adaptés aux besoins des nouvelles technologies.

Parallèlement aux outils de production, la mise au point de chaque nouvelle génération de technologie demande une importante phase de R&D, avec la maîtrise de procédés à des échelles de plus en plus réduites et l'introduction de nouveaux procédés et matériaux. L'intégration technologique d'un nombre croissant d'étapes, et la maîtrise de la variabilité à ces échelles sont des défis amplifiés par la complexité croissante. Avec des circuits de plus d'un milliard de transistors, l'enjeu de la conception s'est amplifié, et les efforts associés se sont très fortement alourdis.

En conséquence de cet ensemble de tendances, le coût d'une unité de production comme le coût de la R&D ont fortement cru avec l'évolution des technologies. Ces coûts sont représentés sur les figures ci-dessous.

La complexité de la mise au point des nouvelles technologies impose aux acteurs de la microélectronique de mener la R&D technologique sur des lignes représentatives de la fabrication. En pratique, pour ne pas multiplier les coûts, les lignes de R&D sont utilisées aussi pour la production. Ce couplage entre R&D et production est une caractéristique clef de la micro-nanoélectronique et a débouché sur le concept de « lab-fab ». Il permet aussi de fournir plus rapidement les premières séries de produits.



Figures 8 : Evolution des niveaux d'investissement avec l'évolution des technologies
A gauche, dépenses de R&D nécessaires pour développer une filière CMOS, avec la filière 0,25µm en référence de dépenses à 1. **A droite**, dépenses d'investissement pour l'établissement d'une unité de production de 40 000 plaques (équivalent 200mm) par mois

L'ampleur de ces coûts a conduit de nombreux acteurs du secteur à développer des stratégies d'alliances, de mutualisation ou d'externalisation des coûts, tant en production qu'en R&D. Pour d'autres, elle a conduit à un abandon de la course à l'intégration, et à une focalisation sur les technologies différenciées de type « More Than Moore ». Une production nationale dans ces unités industrielles qui ne jouent plus la course à la miniaturisation extrême est possible, moyennant des adaptations et investissements de moindre ampleur, et ouvre une seconde vie à l'outil de production pour de nombreuses années.

Certains autres acteurs enfin ont renoncé à maîtriser la technologie. Ils sont devenus '*fabless*' et '*techless*', se cantonnant aux tâches en amont (la conception des produits) et faisant appel à des sociétés spécialisées en production (les 'fonderies de silicium'). Ce faisant, ils courent le risque de voir la valeur ajoutée de leurs produits capturée de plus en plus par leurs sous-traitants qui peuvent devenir leurs concurrents.

L'évolution des technologies CMOS est constituée d'évolutions incrémentales et d'évolutions radicales. C'est la maîtrise de ces dernières qui donne lieu aux coûts les plus élevés et qui sont l'objet de décisions stratégiques. En effet, décider de ne pas réaliser cet investissement conduit le site industriel à perdre (rapidement) sa compétitivité dans la production des composants les plus intégrés, et à évoluer à moyen terme vers des technologies « More Than Moore » ou vers des marchés de niche, ou bien à l'extrême à devenir '*fabless*'. Parmi ces verrous clés, on peut citer :

- ⇒ Vers l'an 2000, pour les nœuds 130 à 90nm :
 - l'introduction de la lithographie optique 193nm
 - le passage en plaques 300mm, qui permet de doubler le nombre de circuits réalisés par plaques par rapport au standard 200mm, moyennant de lourds investissements en équipements,
 - l'introduction de la technologie Cuivre, permettant d'accélérer les interconnexions entre transistors et de réduire les pertes,
- ⇒ Vers l'an 2005, pour les nœuds 65 à 45nm :
 - la lithographie à immersion, qui permet de descendre sous les 65nm, et dont l'équipement unitaire dépasse les 50 millions de dollars,
- ⇒ Vers 2010, pour les nœuds 32 à 22nm :
 - Introduction de la technologie de grille métal et de diélectrique de haute permittivité qui permet de réduire la fuite des transistors lors de leur miniaturisation (Hi-K/MG),
 - passage aux substrats de films minces de silicium (SOI) pour améliorer les performances des transistors aux plus petites dimensions,
- ⇒ Vers l'an 2014, pour le nœud 18-12nm :
 - la lithographie « EUV » (*Extreme Ultraviolet*).

4. LES TYPOLOGIES D'ACTEURS INDUSTRIELS

4.1. Les acteurs

Le monde des semiconducteurs constitue une filière complète. Les composants que sont les processeurs, les mémoires, les ASICs (circuits spécifiques), les FPGA (composants programmables), les micro-contrôleurs, les circuits intégrés mixtes ou analogues, les capteurs, ... sont fournis aux intégrateurs par deux types d'acteurs autour desquels la filière se structure :

- ⇒ Les « **IDM** » (Fabricants de dispositifs intégrés) qui gèrent la conception (*design*) des produits et leur production grâce à des capacités internes de production et de R&D. Intel,

Samsung et STMicroelectronics (ST) en font partie, selon des modèles différents. Intel produit et fournit essentiellement des processeurs pour applications de calcul (80% de parts de marché). STMicroelectronics est un fournisseur très diversifié, proposant des solutions pour les télécoms et la convergence multimédia, la gestion de la puissance, les capteurs ou actuators, ... ST est le leader mondial des systèmes-sur-puces (SoC : « *Systems-on-Chip* »). Verticalement intégré, des composants aux systèmes, Samsung fabrique des mémoires, des processeurs et des puces, notamment pour sa production propre d'équipements et de systèmes,

⇒ Les « **fabless** » (fournisseurs sans usine de production interne), dont l'activité se concentre sur le design et la vente de produits fabriqués sur des technologies silicium réalisées en externe. Qualcomm, NVidia, Broadcom sont des sociétés « fabless »

« IDM » et « fabless » capturent l'essentiel de la valeur du secteur.

La figure 9 montre la liste des 20 premières sociétés, classées dans l'ordre des recettes en 2008, et montre le peu d'acteurs dont le chiffre d'affaires dépasse 10 milliards de dollars.





















Rang 2008	Société	Pays	CA (M\$)	Parts de marché
 1	Intel Corporation	USA	33 767	13.1%
 2	Samsung Electronics	South Korea	16 902	6.5%
 3	Toshiba Semiconductors	Japan	11 081	4.3%
 4	Texas Instruments	USA	11 068	4.3%
 5	STMicroelectronics	FranceItaly	10 325	4.0%
 6	Renesas Technology	Japan	7 017	2.7%
 7	Sony	Japan	6 950	2.7%
 8	Qualcomm	USA	6 477	2.5%
 9	Hynix	South Korea	6 023	2.3%
 10	Infineon Technologies	Germany	5 954	2.3%
 11	NEC Semiconductors	Japan	5 826	2.3%
 12	AMD	USA	5 455	2.1%
 13	Freescale Semiconductor	USA	4 933	1.9%
 14	Broadcom	USA	4 643	1.8%
 15	Panasonic Corporation	Japan	4 473	1.7%
 16	Micron Technology	USA	4 435	1.7%
 17	NXP	Netherlands	4 055	1.6%
 18	Sharp Electronics	Japan	3 682	1.4%
 19	Elpida Memory	Japan	3 599	1.4%
 20	NVIDIA	USA	3 241	1.3%

Figure 9 : Les 20 premières sociétés du secteur en 2008
 Les fonderies ne sont pas incluses, pour éviter les doublons de chiffre d'affaires
 En vert, les « IDM ». En bleu, les producteurs de mémoires
 En rouge, les sociétés « fabless » (pour les technologies CMOS).
 A noter que Samsung est à la fois IDM, producteur de mémoires, et fonderie.

⇒ Les « **fonderies** » : partenaires naturels des « fabless », les sociétés dites de « fonderies » (ou fondeurs) produisent des puces et des plaques de circuits intégrés selon le design de leurs clients. Grâce à une forte capacité de production, elles proposent :

- Un accès à la production et aux technologies avancées pour les sociétés « fabless »
- De la flexibilité pour les « IDM » en leur permettant d'assurer une utilisation optimale de leurs usines et d'ajuster un volume de production variable en mode externalisé.

Peu de sociétés proposent des services de fonderie dans les technologies les plus avancées. Jusqu'en 2008, elles étaient toutes localisées en Asie (TSMC et UMC à Taïwan, Chartered à Singapour, SMIC en Chine). Le marché global de fonderie en 2008 approchait les 20 milliards de dollars, principalement au bénéfice de TSMC, qui est, de loin, le premier fondeur au monde (près de 50% du marché). Avec des industriels « IDM » soucieux de réduire leurs coûts fixes, le marché de la fonderie croît plus rapidement que celui du secteur, mais souffre de difficultés de rentabilité pour la majorité des acteurs, et des risques liés au fait que les fonderies sont les premières à subir les crises de surproduction. Avec ce segment en croissance forte, quelques grands « IDM » (Samsung, Toshiba) ont ouvert leurs capacités internes de production, sur le même modèle que les fonderies.

Enfin, sur les technologies plus anciennes, pour lesquelles le marché est souvent fragmenté, il existe également une offre et des acteurs de fonderie, servant des marchés spécifiques, d'ampleur bien plus réduite, et où la compétition est souvent moindre. Le marché de fonderie adressable par les fonderies 200mm, en technologies 90nm ou moins agressive, est estimé à 11 milliards de dollars en 2012.

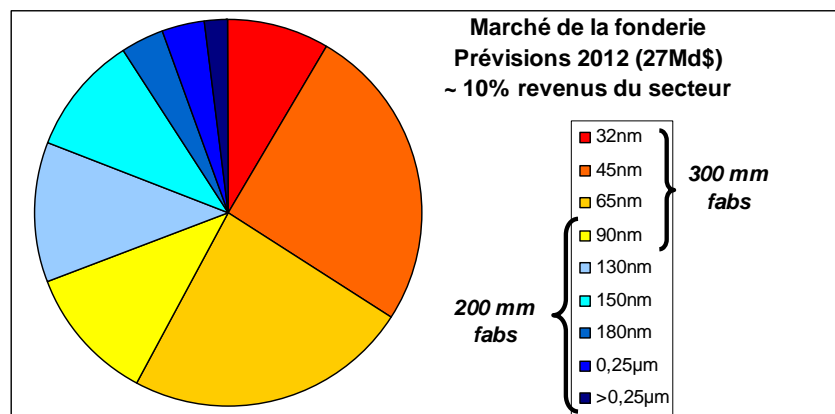


Figure 10 : Répartition du marché de la fonderie, à l'horizon 2012 (source IBS)

4.2. Dynamiques d'évolution, Consolidations et Alliances

Le §3 indiquait les verrous majeurs qui marquent l'évolution des filières de composants. Le passage de chacune de ces ruptures technologiques demande la mobilisation d'importants investissements matériels en recherche et développement. **C'est ce défi qui détermine l'évolution de chaque site de production. Face à ce besoin d'investissement, chaque industriel doit décider s'il poursuit la compétition sur les technologies avancées ou s'il fait évoluer son positionnement. Pour les sites de production concernée, la sortie de la course à la miniaturisation ne les condamne pas pour autant. Pour le site de production considéré, l'alternative à la poursuite de la loi de Moore peut être de quatre ordres comme indiqué dans l'encadré ci-après.**

Evolution possible des sites de production hors loi de Moore

- ⇒ L'absence d'investissement notable et le maintien sur des technologies qui deviennent progressivement obsolètes. Ceci n'est viable à terme que si la production est **focalisée sur des secteurs à barrière d'accès élevée** (« niches » de taille variable) ou si des gains de productivité sont régulièrement assurés,
- ⇒ **L'introduction de technologies différenciées** (de type « More Than Moore »), permettant, pour un niveau de miniaturisation donné, d'ajouter de nouvelles fonctionnalités sur la puce de silicium et d'ouvrir la porte à de nouveaux produits. **Sans changer radicalement l'outil de production, l'industrialisation de ces technologies différenciées redonne de la compétitivité à ces unités industrielles sorties de la course à la miniaturisation extrême, sur des périodes longues,**
- ⇒ **Le développement d'une offre de fonderie**, qui permet d'élargir la demande et le marché servis. Cet accroissement de demande peut éventuellement justifier d'une reprise forte des investissements et générer une nouvelle vague de développement du site,
- ⇒ La sortie complète du secteur, avec un site qui peut être ré-employé pour d'autres usages.

Ces enjeux concernent évidemment les sites de production français, et la partie C de ce rapport se concentrera sur les options ouvertes et les actions à entreprendre pour renforcer les atouts industriels nationaux.

a. Dans le secteur de la production :

Ces dernières années, plusieurs acteurs ont modifié leur positionnement :

- ⇒ Tout d'abord, la plupart des « IDM » ont filialisé leur branche « Mémoires », permettant la consolidation des acteurs de ce domaine. Par exemple, STMicroelectronics et INTEL ont filialisé et fusionné leurs opérations « Mémoires » pour créer NUMONYX, dont Micron a récemment annoncé le rachat, pour constituer le 3^{ème} industriel dans ce segment.
- ⇒ Dans l'objectif de réduire fortement leurs coûts fixes, et faute d'une capacité d'investissement apte au maintien d'une production compétitive, plusieurs industriels « IDM » ont décidé de devenir « fabless » en technologies CMOS : Texas Instruments, Freescale et NXP ont fait ce choix en 2007 en externalisant leur production dans les technologies CMOS et en conservant une capacité interne pour les produits reposant sur les technologies différenciées « More than Moore ». Les chiffres d'affaires de Freescale et NXP se sont en parallèle très fortement érodés.
- ⇒ Plusieurs « IDM » ont décidé d'amplifier l'externalisation de leur production, tout en maintenant en interne une certaine capacité de production, qui leur permet de négocier de meilleures conditions face aux fonderies. On parle alors de positionnement « fab-light », couplant production interne, à un niveau suffisant pour conserver une indépendance stratégique, et production externalisée.

Soumis à une concurrence sévère, le secteur de la fonderie voit également une forte évolution et des mouvements de consolidation :

- ⇒ AMD a externalisé ses sites de production, donnant naissance à un nouveau fondeur, Global Foundries (dont l'actionnaire principal est un fonds d'Abu-Dhabi) qui devient un acteur majeur et l'unique fondeur occidental à proposer une offre sur les technologies CMOS avancées. Récemment, il a lancé la mise en œuvre d'une nouvelle unité 300mm aux USA et racheté le singapourien Chartered. Global Foundries constitue le fondeur naturel et directement accessible pour les partenaires de l'Alliance IBM,
- ⇒ Tower (Israël) a racheté Jazz Semiconductor en 2008,
- ⇒ Les fondeurs chinois pourraient se rassembler autour de SMIC et UMC.

b. Dans le secteur de la R&D (Recherche et Développement) :

La R&D fait également l'objet d'une concurrence féroce en termes de technologie et de coûts. En effet, la disponibilité au plus tôt d'une nouvelle technologie est un facteur décisif de compétitivité sur les marchés des composants. Pour ceux qui rivalisent sur le segment « More Moore », les coûts de R&D en CMOS pour rester dans la course sont estimés autour de 700 millions de dollars par an. Ce coût ne comprend que la technologie et ne couvre ni les coûts de développement des plates-formes de conception, ni le coût de développement des produits. Par conséquent, étant généralement limités à 5% des recettes globales d'une entreprise, ces coûts de R&D technologique ne s'avèrent accessibles qu'à un nombre limité de sociétés, essentiellement celles dont les recettes dépassent 12 milliards de dollars, en faible nombre comme le montre le tableau 1.

Cette réalité a accéléré le basculement de certains IDM vers le modèle de société « fabless », au prix d'un abandon total de leur indépendance technologique, avec les risques correspondants à moyen et long terme.

Pour les IDM ayant choisi de ne pas dépendre d'un fournisseur de fonderie et de conserver un accès direct aux technologies, mais n'ayant pas la taille critique pour être entièrement indépendants, une stratégie d'alliance et de partage des coûts s'impose. Plusieurs alternatives ont été déployées ces dix dernières années, et il n'existe aujourd'hui qu'une alliance ouverte à l'échelle mondiale, animée par IBM qui propose des programmes de coopération en contre-partie d'une contribution financière annuelle. Les entreprises qui rejoignent ses programmes localisés dans l'Etat de New York (Fishkill et Albany) peuvent envoyer des chercheurs pour optimiser le partage et le transfert des résultats. Cette alliance regroupe un ensemble de partenaires industriels qui représentent ensemble plus de 30% de la capacité de production mondiale en CMOS avancé. Le CEA-LETI est l'unique centre de recherche partenaire de cette Alliance, auquel il participe dans le cadre d'un accord spécifique passé avec IBM et STMicroelectronics.

5. UN SECTEUR STRATEGIQUE, OBJET DE POLITIQUES NATIONALES VOLONTARISTES

A l'origine de l'innovation et des réductions de coûts, et captant une part croissante de la valeur des équipements et systèmes, les composants nanoélectroniques font l'objet d'une intense compétition à l'échelle mondiale. **Cette concurrence s'établit entre sociétés, mais également entre territoires. Ainsi, de nombreux gouvernements ont opté pour une stratégie agressive et ambitieuse de soutien à ce secteur**, porteur d'opportunités de croissance, mais aussi stratégique pour garantir la capacité d'innovation au niveau des systèmes et des services.

Des décisions stratégiques de renforcement de l'industrie du semiconducteur ont été prises aux Etats Unis et en Asie (Corée, Taïwan, Chine continentale, Singapour), car ce secteur y est considéré comme un élément de maîtrise des équipements et des systèmes, au-delà de sa valeur économique propre. Mesures fiscales (exemption d'impôts sur les sociétés et les salaires, crédit d'impôt sur la R&D, amortissement accéléré des investissements,...), terrains

mis à disposition, financements récurrents dédiés aux équipements (y compris de production), garanties d'approvisionnement en énergie à prix fixé, financements attractifs pour la R&D, aides à la formation des personnels : c'est généralement un bouquet de mesures qui est ainsi proposé aux entreprises qui viennent installer des capacités de fabrication dans ces pays.

En comparaison, la politique européenne très soucieuse de garantir des règles de non-concurrence interne, ne fait que décourager les acteurs qui souhaiteraient investir en Europe et augmenter la distance structurelle entre l'Europe et des pays volontaires qui investissent et protègent leurs intérêts en soutenant la R&D, la production et les investissements en équipements.

Ce fossé important entre l'Europe et les autres zones géographiques, lié à notre modèle social et fiscal, conduit à des biais importants de concurrence dans une guerre économique à l'échelle de la planète. En dehors des aménagements locaux (zones jugées défavorisées) et temporaires (période qui fit suite à la réunification de l'Allemagne, et qui favorisa les investissements en Allemagne de l'Est), les Etats et l'Europe doivent effacer une partie de ce fossé pour favoriser le développement en Europe d'une industrie compétitive.

5.1. Le poids et l'ambition des Etats Unis

Les Etats-Unis restent un acteur majeur dans le secteur des semiconducteurs, jugé prioritaire et stratégique, et massivement soutenu financièrement par le gouvernement fédéral et par certains Etats comme ceux de New-York, de l'Oregon (pour Intel), du Texas ou de Californie.

Si les Etats-Unis n'accueillent sur leur sol que 17 % des capacités de production (troisième producteur au monde derrière le Japon et Taiwan), les entreprises américaines consolident 49 % de la production mondiale, témoignant ainsi du leadership américain. Les Etats-Unis disposent de leaders mondiaux aussi bien parmi les sociétés intégrées (Intel, IBM) que parmi les fabless (Texas Instrument, Qualcomm, Broadcom).

La recherche dans le secteur de la microélectronique est financée à deux niveaux :

- ⇒ au niveau fédéral, au travers de plusieurs agences qui flèchent la nanoélectronique parmi leurs priorités : National Science Foundation (NSF), Département de la Défense et le Département de l'Energie ;
- ⇒ au niveau des Etats, afin de développer l'activité économique 'locale'.

C'est au niveau des Etats que se concentrent les aides au développement industriel et à la production. Au-delà des allègements fiscaux, des aides aux implantations et de l'assistance aux infrastructures, **l'Etat de New-York a financé l'université d'Albany à hauteur de 2 milliards de dollars sur 5 ans, pour consolider la position d'IBM et constituer le plus grand centre au monde aujourd'hui. Cette aide a notamment intégralement soutenu l'acquisition par l'Université des équipements technologiques les plus modernes au niveau mondial, pour installer des lignes pilotes et les rendre disponibles aux recherches conduites par les industriels.** De fait, en 5 ans, ce centre d'excellence a attiré le plus grand nombre d'industriels (IBM, AMD, Samsung, STMicroelectronics, NEC Electronics, Infineon, ASML, Tokyo Electron Ltd, ...) et plus de 7 milliards de dollars d'investissements. L'Université d'Albany a essentiellement permis une aide indirecte à l'industriel IBM, et son potentiel propre de recherche s'est développé beaucoup moins vite que celui du groupement d'industriels accueilli sur son site.

5.2. Le développement en Asie

Le rapport du Sénateur SAUNIER soulignait déjà l'existence d'un « **modèle asiatique caractérisé par une politique industrielle volontariste assortie de moyens financiers considérables**, transcendant les diversités économiques, démographiques et politiques de ces pays ». Basé sur le constat d'une relation claire entre la croissance économique et les dépenses de R&D, les plans d'actions portés par ces gouvernements confèrent souvent à l'électronique et au secteur des semiconducteurs une position prioritaire. Il est à noter que la crise récente qui a touché le segment des mémoires a vu les gouvernements taïwanais et coréens déployer des mesures d'aides d'urgence à leurs industriels, évitant à certains des difficultés dramatiques.

Types d'avantages offerts à une entreprise qui s'implante en Asie

Source : SEMI Europe

⇒ 1. Les aides à l'infrastructure :

- Accès gratuit au terrain pour les entreprises
- Pour le bâtiment et les équipements, système de leasing gratuit pendant 5 ans, puis à faible taux d'intérêt pendant les 15 années suivantes avec un engagement d'achat au bout de 20 ans à la valeur d'achat moins les déductions des intérêts payés.
- Consommables sont garantis à taux fixe pendant 10 ans pour l'électricité et pendant 5 ans pour l'eau et les gaz.
- Garantie sur les prêts bancaires.
- 10% des investissements réalisés pour la protection de l'environnement sont déduits de l'impôt sur le revenu des sociétés

⇒ 2. Les aides à la R&D

- Crédit d'impôt sur les sociétés allant jusqu'à 150 % pour les dépenses en R&D (développement de nouveaux produits, amélioration des technologies de production et l'utilisation de technologies avancées pour les procédés de fabrication).

⇒ 3. Les aides à la production

- Exonération d'impôt sur les sociétés (Corporate Income Tax) pendant les 5 premières années, puis à 70% les 5 années suivantes et à 40% jusqu'à 25 ans.
- 70% de la part locale des impôts sur le revenu des individus est reversée à l'entreprise pendant les 8 premières années d'installation.
- Aides pour la formation du personnel
- Conditions préférentielles offertes aux équipementiers venant s'installer. Pour les douanes, une zone libre de commerce est proposée avec des règles préférentielles concernant les taxes.

Les autorités s'engagent sur les mêmes conditions en cas d'un projet d'extension.

Avant même le Japon, Singapour ou la Corée, Taïwan est sans doute le pays qui déploie la plus forte volonté politique de développement du secteur. Dans ce pays, le secteur des semi-conducteurs représente désormais 50 % de la production industrielle, 12 % du PIB taïwanais et emploie 80.000 personnes.

En 2007, Taiwan est devenu le deuxième producteur mondial de semi-conducteurs après le Japon, avec une part de 18 % dans la production mondiale. A travers TSMC, UMC et d'autres fonderies plus petites, il détient 68,4 % des parts de marché de la fonderie. Par ailleurs, Taiwan se classe au deuxième rang mondial pour la production de mémoire DRAM (Dynamic Random Access Memory) après la Corée du Sud, avec 25 % du marché.

La stratégie de Taïwan repose sur trois axes : i) un volontarisme politique fort, ii) des plans de développements nationaux fixant les grandes orientations industrielles pour l'avenir et iii) des agences gouvernementales qui jouent un rôle stratégique dans la planification et la mise en œuvre des politiques économiques.

L'industrie des semi-conducteurs a donc bénéficié depuis les années 1980 d'un environnement très favorable pour l'investissement industriel : des parcs scientifiques regroupant sur un même lieu universités, industries et centres de recherche ont été créés comme à Hsinchu qui accueillait en 2006 194 sociétés dans le secteur de la microélectronique (dont TSMC et UMC) et employait près de 68.000 personnes.

Exemple de ce soutien matériel, le taux d'imposition de TSMC, premier fondeur de semiconducteurs au monde, a été en 2005 de 0,26 % de ses bénéfices. Globalement, le taux moyen d'imposition des bénéfices des entreprises installées dans le parc de Hsinchu a été de 1,3 % (Sources : Industrial Development Bureau et Institut français de Taipei).

Un soutien technologique est par ailleurs accordé aux entreprises avec la création de plusieurs centres de recherche travaillant en étroite collaboration avec l'industrie (ex de l'ITRI). Enfin un effort particulier a été réalisé en matière d'enseignement supérieur afin de disposer d'une main d'œuvre susceptible de satisfaire les besoins des futurs développements industriels.

Le gouvernement taïwanais a lancé un plan de développement national visant à augmenter la valeur ajoutée de l'industrie et à encourager le développement d'entreprises dans des secteurs jugés stratégiques. **Là encore, le domaine des semiconducteurs fait partie de ces priorités.** L'enjeu est de maintenir la position de leadership de Taïwan en fonderie, en l'amenant à être l'un des quelques centres mondiaux de production en 450 nm et lui apportant une spécialité dans le développement des générations futures de mémoire DRAM et dans les « systems-on-chip » afin de faire de Taïwan le centre de conception et de production mondial de ce type de circuits à partir de 2015. Ce domaine des semiconducteurs est perçu comme un secteur permettant à Taïwan d'assurer la montée progressive de son industrie dans la chaîne de la valeur.

6. LA SITUATION EN EUROPE

La figure 9 montre le peu d'acteurs européens parmi les leaders du secteur, classés en volume d'activité. Cependant, au-delà de ses grands industriels intégrateurs dans les différents secteurs applicatifs des équipements et systèmes électroniques, l'Europe dispose de sociétés ayant un leadership mondial dans ce secteur des composants :

- ⇒ **STMicroelectronics** : leader mondial sur les systèmes-sur-puce (SoC), et numéro 5 mondial du secteur,
- ⇒ **ST-Ericsson**, issu de la consolidation globale des activités de composants pour terminaux mobiles des sociétés ST, Ericsson et NXP (donc Philips),
- ⇒ **SOITEC**, leader mondial des substrats avancés pour applications en électronique et optoélectronique,
- ⇒ **BOSCH** et **STMicroelectronics-Italie** : deux des 3 premières sociétés en composants micro-systèmes (MEMS),
- ⇒ **ASML**, leader mondial des équipements de lithographie optique pour la microélectronique.

L'Europe dispose également d'autres atouts : des instituts de recherche technologique au premier rang de la recherche technologique mondiale, l'existence de quelques '*clusters*' d'ordre mondial, qui associent localement R&D et production autour d'acteurs variés sur la chaîne de la valeur, ainsi que des cadres collaboratifs permettant la réalisation de programmes transnationaux.

Pour les instituts de recherche, le CEA-LETI, l'IMEC (Belgique) et le Fraunhofer (Allemagne) comptent parmi les rares instituts développant la recherche en nanoélectronique au plus près des standards industriels. Sans équivalent au Japon ou aux Etats-Unis, et fonctionnant sur des modèles très différents, ils servent de façon complémentaire les industriels. Le CEA-LETI, privilégie les partenariats bilatéraux, et le développement de valeur ajoutée et d'avantages compétitifs avec les industriels européens avec lesquels il travaille (ce modèle a par exemple permis l'émergence et le développement de SOITEC). L'IMEC, avec un modèle ouvert et rassemblant de nombreux concurrents dans un même cadre de coopération, structure ses activités autour des industriels que sont INTEL, TSMC, PANASONIC et les fabricants de mémoires ; il a permis le développement d'ASML. Le Fraunhofer de Dresde travaille de façon intégrée à Infineon et Qimonda, en leur offrant notamment la disponibilité de lignes pilote financées par l'Etat ou le Land de Saxe.

Sur plusieurs régions, l'Europe est organisée en '*clusters*', porteurs de fortes dynamiques locales ; c'est en particulier le cas en Irlande (pour Intel), en Allemagne autour de Dresde (Infineon et Global Foundries), en Italie (STMicroelectronics : Milan et Sicile ; Micron : Rome et Sicile), dans le corridor Nijmegen-Leuven-Aachen et en France, tant autour de Grenoble qu'en Région PACA. Selon les cas, ces clusters organisent la collaboration au sein d'une filière industrielle ou animent les coopérations pour développer l'innovation tout au long de la chaîne de la valeur. Les clusters français ont développé cette dynamique en alliant R&D puissante et capacité de production qui en permet l'exploitation rapide. Ainsi, en Rhône-Alpes, autour de ST, l'écosystème d'innovation et de transfert a servi de modèle pour l'établissement des Pôles de Compétitivité. En PACA, la microélectronique présente une forte dynamique de filière, avec 10.000 emplois, une centaine d'établissements, près du tiers de la production de semi-conducteurs en France, la première communauté de conception microélectronique en Europe (2.500 ingénieurs de conception), et, là encore, un étroit couplage entre une forte activité de R&D et une activité industrielle importante.

Lorsqu'il est nécessaire de rassembler des masses critiques de forces de R&D plus importantes et seules à même de lever certains verrous technologiques clefs, un outil tel que CATRENE (cluster EUREKA pour la nanoélectronique) permet de fédérer les acteurs européens entre eux. Par sa souplesse et sa compatibilité avec les stratégies industrielles, cet outil a démontré sa capacité à faire avancer l'Europe de la micronanoélectronique.

Mais l'Europe de la micronanoélectronique souffre de plusieurs faiblesses.

Le premier est celui de la forte appréciation de l'euro par rapport au dollar. La concentration des acteurs, la standardisation des produits et la facilité de transporter les puces électroniques font du marché des semi-conducteurs, un marché mondial. Le dollar en est donc la monnaie de référence avec laquelle sont effectuées toutes les ventes. A l'inverse, une part importante des coûts de production est en monnaie locale (salaires, amortissements, taxes, eau, énergie ...). Les usines situées en Europe sont donc ainsi nettement pénalisées : face à leurs concurrents fabricant en zone dollar, leurs coûts de revient sont majorés alors que leurs ventes ne peuvent qu'être alignées sur celles de leurs concurrents.

Un second handicap est celui de l'absence d'une politique volontariste à l'échelle européenne, bien que cette industrie soit jugée stratégique. Ce point est d'autant plus handicapant que d'autres régions ont fait le choix de politiques très volontaires en matière de subvention ou de fiscalité, afin d'attirer sur leur sol les usines. Ces politiques ont été si efficaces en Asie pour la génération 300mm que ce territoire rassemble sur quatre pays la majorité des usines construites dans le monde.

Ces deux handicaps limitent le nombre et la taille des usines de semi-conducteurs en Europe, alors que le facteur d'échelle est essentiel à la compétitivité dans ce secteur. Les usines européennes sont donc à nouveau désavantagées.

Enfin, un dernier facteur pénalisant l'industrie européenne du semi-conducteur est le manque de certains acteurs industriels clés :

- ⇒ Acteurs pour les outils de conception informatique et d'équipements de fabrication. Dans le domaine des logiciels de conception, les trois principaux acteurs du domaine sont tous les trois américains.
- ⇒ Equipementiers du secteur, qui sont à majorité asiatiques ou américains, à l'exception notable d'ASML,
- ⇒ Un déclin marqué de la production d'équipements électroniques grand public et d'équipements informatiques,.

Globalement, l'Europe présente une situation contrastée dans ce secteur économique. Ainsi, les produits de très grands volumes, à faible marge et différenciation (appelés « commodities »), comme les mémoires ou les microcontrôleurs standards, sont sans doute peu accessibles à la production européenne pour les raisons structurelles mentionnées. Il en va différemment des produits plus fortement différenciés, pour lesquels un couplage étroit

aux industriels intégrateurs est important. Là, l'étroite association de la R&D technologique et de la production, telle qu'elle existe sur certains sites français, est un atout majeur, qui peut et doit renforcé.

Avec des champions industriels dans les secteurs des transports, de l'énergie, de l'aéronautique et de la santé, la France et l'Europe peuvent tirer bénéfice d'une industrie des composants au meilleur niveau mondial, bien au-delà de ce seul secteur économique. Cela ne se fera que si les entreprises présentes sur le territoire national peuvent relever le défi de la concurrence internationale en investissant suffisamment, tant en R&D qu'en outil productif pour rester compétitives.

Par ailleurs, en Europe, la France est le pays qui présente le meilleur positionnement industriel, avec des sites aux atouts solides, comme le détaillera la partie suivante. C'est le pays qui peut au mieux saisir ces opportunités de croissance, mais aussi développer et renforcer sa capacité d'innovation au niveau des systèmes et des services.

C. LES SITES FRANÇAIS DE PRODUCTION INDUSTRIELLE

Cette partie est centrée sur la situation française et adresse l'objet central de la mission à l'origine de ce rapport. Elle précise tout d'abord une cartographie des différents sites de production microélectronique. Le modèle de développement de Crolles est ensuite explicité, pour en dégager les éléments qui pourraient être transposés au profit d'autres sites de production. A partir de ces constats, des propositions d'actions prioritaires sont explicitées.

Remarque : les informations spécifiques relatives à chaque entreprise contiennent des secrets d'affaires et n'ont pas été conservées dans la version publique du rapport.

1. CARTOGRAPHIE ET POSITIONNEMENT DES SITES INDUSTRIELS FRANÇAIS

1.1 Les acteurs français

La France dispose de plusieurs sites de production en composants micro ou nanoélectroniques, qui sont représentés sur la carte de la figure 11.

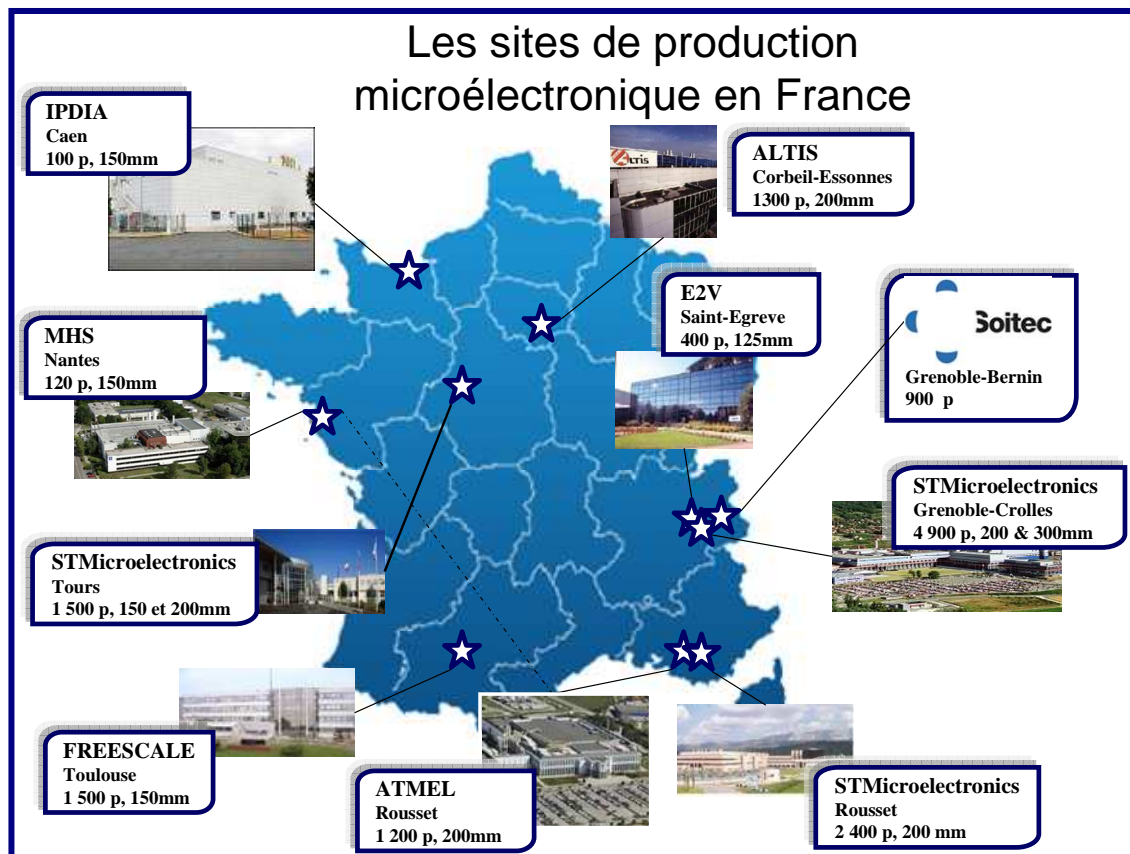


Figure 11 : Carte des sites industriels français de production
Seuls les emplois directs sont mentionnés, sans intégrer les sous-traitants employés sur site

Dans ce paysage, seul le site de Crolles (près de Grenoble) produit des technologies CMOS avancées. Parmi les trois sites industriels européens offrant du CMOS avancé sur plaques 300mm (Dresde en Allemagne pour Global Foundries, Leixlip en Irlande pour Intel), seul Crolles allie très étroitement recherche de pointe et production à un niveau suffisant pour délivrer les produits

avancés, les deux autres étant des sites de production dans lesquels sont transférées les technologies développées sur les sites pilotes des maisons mères aux Etats-Unis.

Pour des raisons d'économie d'échelle et de rationalisation, les autres sites français de microélectronique situés à Rousset (ST, ATMEL), Tours (ST), Toulouse (Freescale), Caen (IPDIA, ex-NXP), Corbeil-Essonnes (Altis), Nantes (MHS) et Grenoble (E2V) n'ont pas suivi la course à l'extrême miniaturisation, et sont restés sur des outils industriels de générations précédentes utilisant des substrats 200 ou 150mm. Cela ne les condamne pas pour autant et ces sites sont diversement positionnés, sur des marchés qui ne requièrent pas une extrême miniaturisation ou qui emploient des technologies différenciatrices, de type « More than Moore ».

Deux autres acteurs clés du secteur et très couplés aux sites de production doivent être intégrés à l'analyse :

- ⇒ **SOITEC**, issue du CEA-LETI, fournisseur de substrats complexes pour l'électronique et l'optoélectronique. Il est leader mondial sur son secteur, et propose des solutions permettant d'améliorer les performances des composants nanoélectroniques. Fort de 1 000 personnes globalement, son implantation majeure, à proximité de Grenoble-Crolles, est complétée de capacités de dépôts épitaxiés aux Ulis (91) et d'une usine à Singapour.
- ⇒ **ST-Ericsson** est la société issue de la fusion des divisions « Wireless » de STMicroelectronics et d'Ericsson et intègre la division Wireless de NXP, acquise précédemment par ST. Avec 2 000 employés en France, STE est focalisée sur la fourniture de solutions pour télécoms et terminaux internet mobiles, et intègre des circuits et modules issus de ST. En concurrence avec des sociétés intégrées (Infineon) ou fabless (Qualcomm, Broadcom, Mediatek), elle constitue le premier client pour les technologies avancées de STMicroelectronics, et donc du site de Crolles.

Par ailleurs, il existe d'autres acteurs industriels du secteur semiconducteur, occupant des segments de taille plus limitée. En concertation avec le Ministère, ces sites ne sont pas inclus dans l'étude. Il s'agit en particulier :

- ⇒ pour les **microsystèmes (MEMS)**, de TRONIC's, société de 40 personnes, basée à Bernin (38), disposant de ses moyens de conception et de réalisation de ses composants sur silicium,
- ⇒ pour les **composants optoélectroniques** :
 - 3SPhotonics, spin-off d'Avanex, qui produit des composants optoélectroniques pour télécommunications optiques, basé à Marcoussis (91) et forte de 120 personnes,
 - Sofradir, issu du CEA-LETI, qui produit des détecteurs infrarouges refroidis à base de semiconducteurs « II-VI », pour applications de haute performance (sécurité, défense, industriel). Forte de 250 personnes, basée près de Grenoble, elle est l'un des 3 leaders mondiaux de son secteur,
 - ULIS, issu du CEA-LETI, qui produit des détecteurs infrarouges non refroidis, bas coût, réalisés à partir d'une technologie silicium, pour applications de grand volume (sécurité automobile, contrôle qualité, contrôles thermiques dans l'habitat et les installations électriques, défense, industriel,...). Avec 80 personnes, également basées près de Grenoble, ULIS est l'un des deux leaders mondiaux de son secteur,
- ⇒ pour les **composants radio-fréquences réalisés à base de matériaux III-V** :
 - OMMIC, issu historiquement de Philips, sise à Limeil-Brévannes (91), qui produit des composants intégrés haute fréquence, à base de semiconducteurs « AsGa » et « InP », pour applications télécoms,
 - UMS, JV entre Thales et EADS, co-localisée à Palaiseau (91) et Ulm (All.), qui produit des composants radio-fréquences de forte puissance, à base de semiconducteurs « AsGa » et « InP », pour applications d'infrastructure, de sécurité et de défense.

1.2. Positionnement respectif des sites de semiconducteurs

Les positionnements respectifs des sites illustrés en figure 11 peuvent s'exprimer selon différents critères. En taille de substrats traités tout d'abord, qui traduit la capacité de production collective des composants :

- ⇒ en 300mm, le site de Crolles (ST),
- ⇒ en 200mm, les sites de Corbeil-Essonnes (Altis), Crolles (ST), Rousset (ATMEL, ST) et Tours (ST),
- ⇒ en 150mm, les sites de Caen (IPDIA), Grenoble (E2V), Nantes (MHS), Toulouse (FREESCALE), et Tours (ST, disposant des deux standards).

Ces différents sites mettent par ailleurs en œuvre des technologies différentes selon les marchés qu'ils adressent, technologies que l'on peut schématiquement distinguer de deux façons :

- ⇒ par le type de composants réalisés : mémoires, composants numériques complexes, composants analogiques, composants discrets pour la puissance, capteurs miniaturisés (MEMS) ou encore modules intégrés (SiP : 'systèmes-in-package') réalisés en microtechnologies silicium,
- ⇒ par les dimensions minimales des transistors sur lesquels elles reposent (génération ou nœud, exprimé en nanomètres (nm)).

Comme précédemment montré, STMicroelectronics est, de loin, le premier industriel européen du secteur ; il est en particulier le leader mondial des 'systèmes-sur-puce' (SoC pour 'Systems-on-Chip'). Société franco-italienne de plus de 50 000 employés, il possède plusieurs sites de production hors de France :

- ⇒ En Europe : en Italie (Agrate et Catane) et à Malte (usine d'assemblage, STM étant le 1^{er} employeur privé de ce pays),
- ⇒ En Asie : à Singapour (Ang Mo Kio),
- ⇒ Aux Etats-Unis, où la fermeture des deux sites de production a été annoncée en 2008 et sera achevée en 2010 : Carrollton (Texas) et Phoenix (Arizona)

En dehors de STMicroelectronics, les autres sites de production français sont détenus par des sociétés aux caractéristiques variées :

- ⇒ ALTIS : société détenue en co-propriété par IBM et INFINEON, ayant pour seule implantation Corbeil-Essonnes,
- ⇒ ATMEL : société américaine (env. 6 000 employés) ayant deux sites en France : Rousset, avec une production de composants, et Nantes, centré sur la conception de composants,
- ⇒ E2V : société britannique (env. 1 800 employés) ayant racheté le site de Saint-Egrève à ATMEL en 2006, et possédant en Angleterre un second centre de production de semiconducteurs (sur tranches de 125 mm),
- ⇒ IPDiA : société indépendante française, ayant pour Caen pour unique implantation, « spin-off » de NXP,
- ⇒ FREESCALE : société américaine (env. 20 000 employés), dont les sites de production sont implantés à Austin, Phoenix (Etats-Unis), Sendai (Japon) et Toulouse (31),
- ⇒ MHS : société française de 120 employés situé à Nantes (44), offrant des services de fonderies et de réalisation de composants spécialisés.

La figure 12 propose un cadre permettant de positionner de façon comparée les productions issues des différents sites. Sont représentées en horizontal les générations technologiques (nœuds exprimés en nm), et en vertical les différentes familles de produits et de technologies, en s'éloignant progressivement de celles qui reposent sur l'emploi direct de la technologie CMOS. Sur cet axe vertical, viennent en premier les mémoires et les circuits numériques, puis les technologies embarquées (mémoires embarquées, imageurs, et fonctions RF embarquées), constituant des apports différenciés au CMOS et ne pouvant exister sans cette capacité de production de base. Viennent enfin les filières de puissance, de passifs intégrés ou de micro-systèmes (MEMS), qui existent industriellement indépendamment des capacités CMOS.

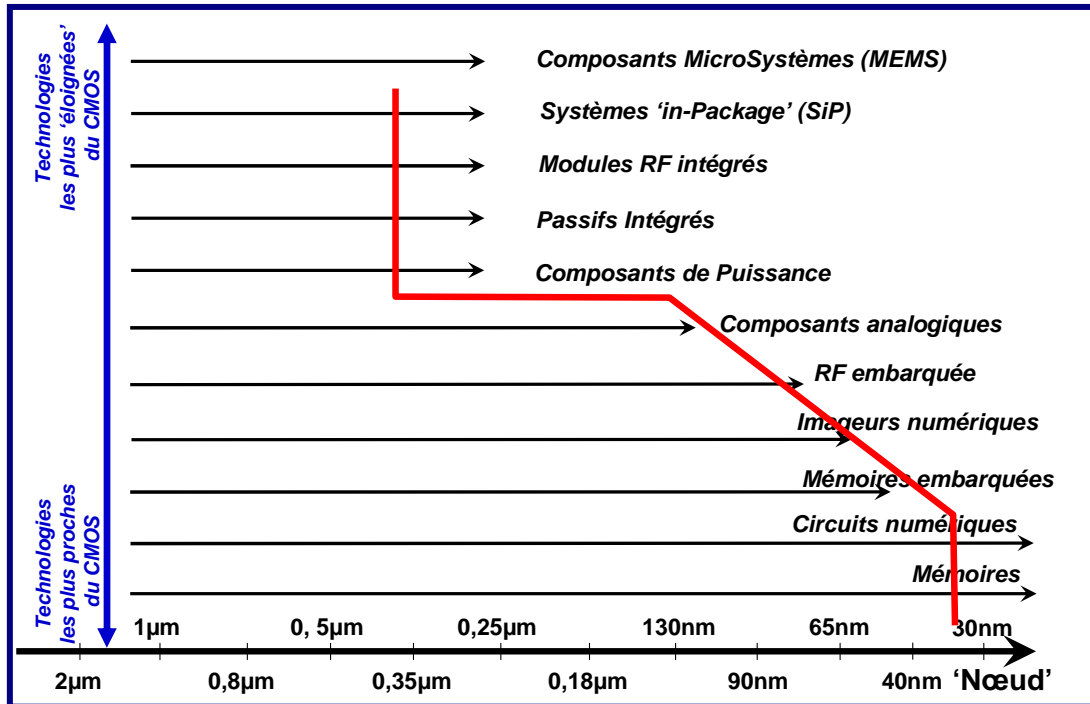


Figure 12 : Cadre permettant le positionnement respectif des technologies produites sur différents sites

La ligne rouge précise l'état de l'art industriel actuel, toutes les productions se situant à 'gauche' de cette ligne. Ainsi, le vide du quartier 'haut-droit' de la figure est général à l'échelle mondiale, car les produits correspondants à ces lignes ne présentent pas d'exigence de miniaturisation ultime.

Sur la base de cette trame, la figure 13 récapitule le positionnement des sites de production considérés.

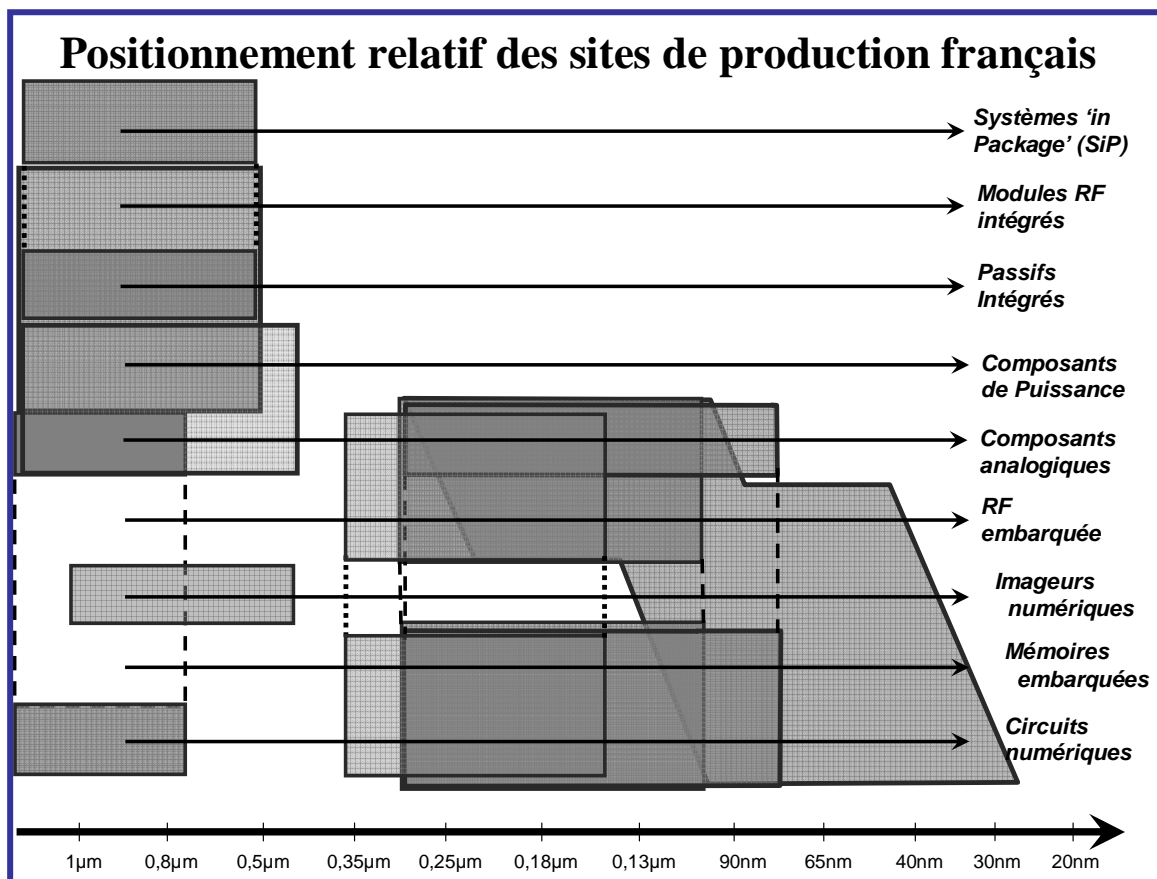


Figure 13 : Positionnement global des productions des sites français

Le rapprochement des figures 12 et 13 illustre la compétitivité de l'offre des sites industriels français : **pris comme un ensemble, les sites industriels français sont à l'état de l'art mondial**, représenté par le trait rouge de la figure 12 qui montre l'état des technologies les plus avancées pour chacune des familles considérées. On notera la place spécifique détenue par le site de Crolles, véritable « navire amiral » du secteur en France et qui est le seul à couvrir le champ des circuits et technologies les plus avancées.

Si l'on se projette à 10 ans, les technologies CMOS les plus avancées seront réalisées sur des dimensions de 15 à 11 nm. Les filières 'embarquées' et les composants analogiques se seront déplacés d'autant. Au contraire, ce ne sera pas le cas des technologies de composants de puissance, de passifs intégrés et de 'systèmes-in-package', pour lesquels l'innovation passe surtout par l'intégration de nouveaux matériaux, des nouvelles options en assemblage et gestion de la thermique, ainsi que de nouvelles architectures et la conception de nouveaux produits.

En dehors des réductions de dimensions critiques, une autre évolution technique de la prochaine décennie pourrait être l'introduction d'un standard de plaques de silicium de 450mm. Uniquement pertinente pour les marchés de très grands volumes, comme les mémoires, cette évolution implique des investissements matériels considérables et ne concernera aucun des sites français, qui n'en seront pas pour autant fragilisés, puisqu'ils sont tous positionnés sur des

secteurs où le passage au 450nm ne fait pas de sens économique à cette échéance. A l'échelle européenne, le passage au standard 450nm représente un enjeu pour certains fournisseurs d'équipements (ex ASML) ou de consommables (ex SOITEC) mais n'est pas un enjeu pour les sites de production de circuits.

La figure 14 illustre cette évolution de l'état de l'art, projeté sur les dix prochaines années. L'avance du front technologique sur la miniaturisation dégage un espace compris entre les traits rouges et verts, espace qui contiendra, à l'horizon 2020, environ 25% du chiffre d'affaires mondial du secteur.

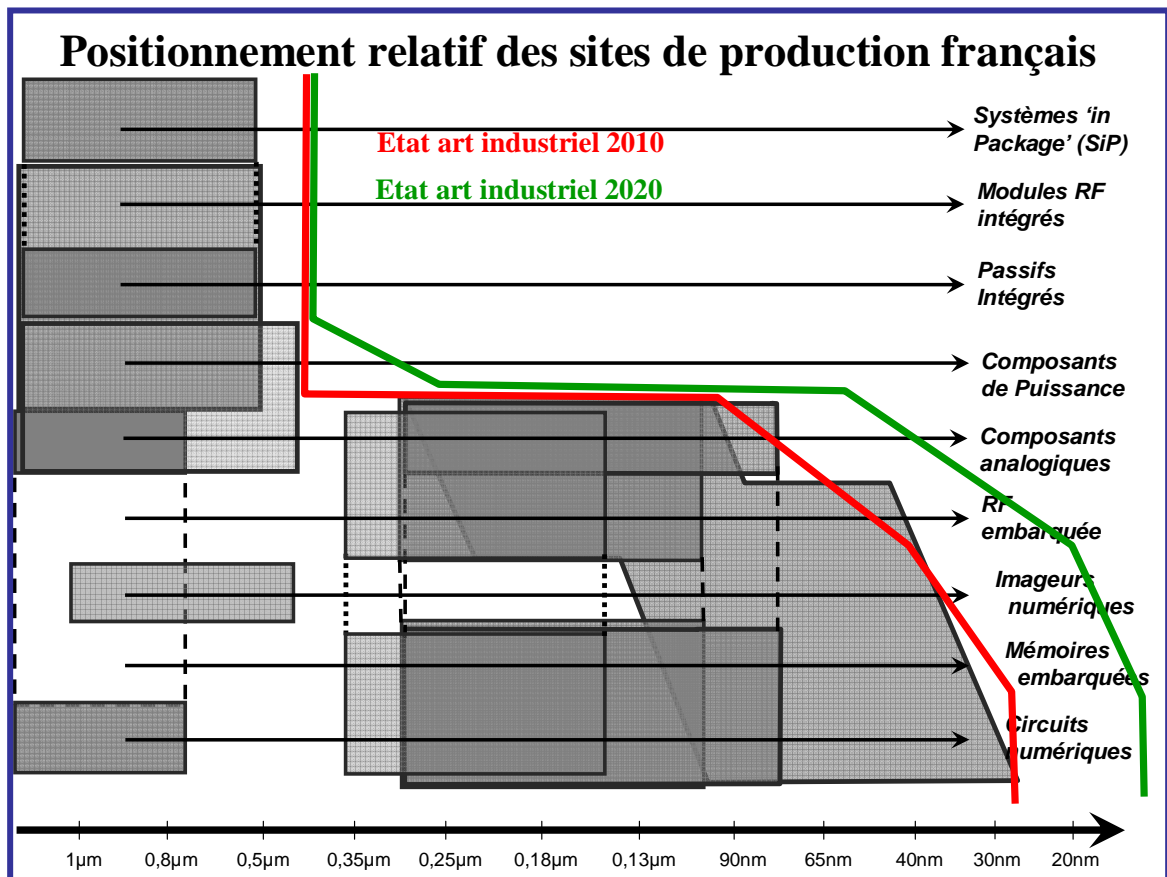


Figure 14 : Positionnement global des sites industriels français, comparé à l'état de l'art industriel actuel et projeté à 10 ans

2. LES ENJEUX ET LES ELEMENTS DE STRATEGIE

2.1. Différentes types d'enjeux

En restant toujours sur la même cartographie, on peut schématiquement distinguer 4 zones au sein desquelles les acteurs partagent les mêmes enjeux. Cette vue est naturellement très simplifiée, et la partie suivante du document explicitera les enjeux propres aux différents sites de production français :

- ⇒ En jaune, une zone « **Numérique avancé** ». La compétition se joue ici sur la rapidité de mise au point et de disponibilité des nouvelles technologies CMOS (en performances et en rendement dès les premiers mois de production) et de la plate-forme de conception permettant de réaliser des produits avancés. Un fort niveau d'investissement est impératif

pour les acteurs de cet espace, ainsi qu'une exécution rapide selon des feuilles de route technologiques (*roadmaps*) partagées.

- ⇒ En rouge, une zone « **Numérique établi** » de sites positionnés sur le numérique et les technologies embarquées en 200nm. Sur ces sites, la technologie numérique contribue marginalement à la différenciation, et celle-ci est difficile à établir sur le long terme. La compétition se joue fortement sur les coûts de production et la solidité des relations clients-fournisseurs. Les acteurs doivent d'une part assurer l'élargissement de leur offre par ajout de technologies différenciatrices (en particulier embarquées) et d'autre part l'élargissement de leur marché, soit par un ancrage fort à un client leader de son secteur, soit par une plus large diversité de clients (servis en mode fonderie ou non). **Avec le temps, cette zone se déplace avec la zone jaune, et les acteurs ne peuvent donc demeurer longtemps sans investir dans l'évolution de leur offre.** Les choix d'investissements sont ouverts, schématiquement entre deux options radicales : la consolidation de l'outil de production sur son offre présente, ou le développement d'une offre très différente, diversifiée, visant éventuellement à échapper entièrement à cette zone pour rejoindre « la zone verte ». Quel que soit le choix, l'absence d'investissements sur une période dépassant quelques années conduit généralement à une forte perte de compétitivité de l'offre et du site.
- ⇒ En bleu, une zone où les acteurs opèrent des technologies anciennes, voire obsolètes, qui servent des **marchés de « niche »**, de taille restreinte, mais souvent associés à des besoins de forte pérennité et de stabilité de production. Ces marchés sont à faible dynamique, tant à la croissance qu'à la décroissance. Une fois positionnés sur une telle niche de taille suffisante pour les stabiliser économiquement, les sites correspondants sont peu concurrencés et ont peu de besoin d'investissement (limités à l'entretien de l'outil de production). Avec la migration progressive de leurs marchés vers des technologies plus avancées (éventuellement sur plus de 20 ans), ils sont toutefois confrontés à des difficultés à long terme.
- ⇒ En vert, une large zone de **sites à forte différenciation, basée sur une diversification à partir des technologies CMOS**. Les offres des différents acteurs se distinguent fortement, tant par les technologies et familles de produits que par les marchés adressés. Les fonctionnalités des produits sont enrichies grâce à l'introduction de matériaux variés qui donnent accès à des technologies spécifiques, mais aussi grâce à des architectures et conceptions de composants adaptés aux spécificités des marchés qu'ils adressent. Matériaux, technologies, conception et marchés applicatifs sont les éléments de différenciation, et la course à la miniaturisation ne s'applique pas ou peu. Le niveau d'investissements requis est très variable et dépend directement du positionnement de l'entité considérée, sans qu'une tendance générale ne puisse se dégager. Cette zone peut également s'étendre au-delà des technologies recensées, vers les MEMS, l'électronique organique ou les composants photovoltaïques ...

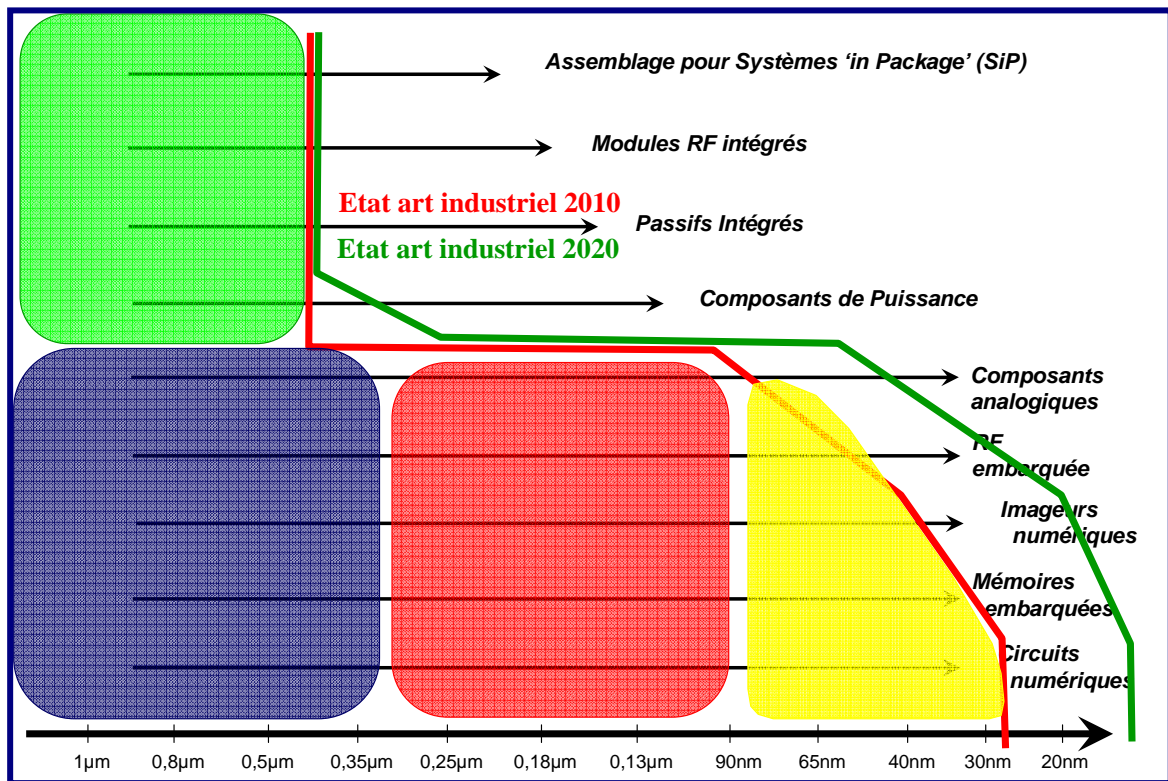


Figure 15 : Répartition schématique en zones 'homogènes' en types d'enjeux

Avec le temps et l'évolution des technologies, les périmètres de ces zones évolue également :

- ⇒ la zone de diversification (verte) ne migre guère sur ce diagramme,
- ⇒ la zone du « numérique avancé » (jaune) migre vers la droite, sans changer de forme et en restant 'collée' à l'état de l'art (trait vert pour 2020)
- ⇒ la zone du « numérique établi » s'étend sur la droite, pour rester au plus près de la zone du « numérique avancé ». C'est cette migration qui rend impératif le besoin d'investissement continu pour les acteurs ayant ce positionnement, à moins qu'ils ne se stabilisent progressivement sur un marché de niche.

Face à ces enjeux systémiques et stratégiques, les sites considérés précédemment peuvent donc être confrontés à deux types de défis, de façon très diverse :

- ⇒ Le développement et l'introduction en production d'**évolutions ou de ruptures technologiques**. Cet enjeu est permanent, plus ou moins intense, selon le positionnement du site considéré. Cela est particulièrement crucial pour les sites engagés dans une compétition intense sur la disponibilité de technologies au fort rythme de renouvellement (CMOS le plus avancé, comme pour le site de Crolles, et pour ST-Ericsson en termes de conception des nouveaux produits correspondants). Cela est également vrai pour les sites qui ont l'ambition et l'opportunité de se développer sur de nouveaux marchés, souvent émergents, et pour lesquels la vitesse de développement et de qualification des technologies et des produits sera déterminante.
- ⇒ Le **repositionnement et/ou l'évolution du « business-model »**. Cet enjeu est central pour les sites sur lesquels les entreprises propriétaires ont décidé de ne plus investir, de façon durable, et dont la compétitivité s'effrite plus ou moins lentement. A moins de servir une niche spécifique, où la compétitivité repose par exemple sur les engagements clients à très long terme (cas du spatial, par exemple), la pérennité du site est en jeu. Pour ces sites, une « seconde vie » est envisageable, éventuellement au travers d'un changement de l'offre et des marchés adressés. Cette évolution peut être facilitée par un

changement de propriété ou d'actionariat du site considéré, si celui-ci est au cœur de la stratégie de l'acquéreur, comme le montre l'exemple d'IPDiA.

2.2. Les enjeux de la diffusion dans les industries intégratives

L'importance des composants électroniques pour la maîtrise des fonctionnalités et le développement de l'innovation des équipements et systèmes électroniques a déjà été soulignée. Celle-ci diffère fortement d'un secteur applicatif à l'autre, et les composants les plus déterminants ne sont pas les mêmes selon ces secteurs. La figure ci-dessous explicite l'importance des différentes familles de composants au profit des différents secteurs applicatifs.

	SECTEURS APPLICATIFS							
	Télécoms	PC & Multimedia	Equipements industriels	Automobile	Energie	Eclairage	Médical Santé	Spatial Aéronaut. Défense Sécurité
MEMS, capteurs								
SiP								
Passifs intégrés								
Puissance								
Composants analogiques								
RF embarquée								
Mémoires Embarquées								
Imageurs Numériques								
CMOS avancés								
CMOS 'anciens' (nœud 90nm et au-delà)								

Figure 16 : Importance des familles de composants dans les différents secteurs applicatifs.
 «Grosses bulles» : composants clés pour les équipements et systèmes.
 «Petites bulles » : composants contribuant à des fonctionnalités de second rang.

La tendance à l'introduction croissante d'électronique dans les équipements et systèmes va s'amplifier dans les secteurs de la gestion de l'énergie, du transport et de la santé. Bien sûr, ces secteurs ne sont pas ceux qui déterminent au premier ordre l'évolution des technologies de composants électroniques. Ici, l'enjeu est d'exploiter au mieux les potentialités apportées par les nouvelles générations de composants pour innover dans ces secteurs. **Cet enjeu concerne potentiellement des entreprises de toutes tailles, y compris des entreprises dites « traditionnelles », jugées comme éloignées du monde des hautes technologies, qui peuvent développer des produits et services à plus haute valeur ajoutée.** Dans tous les cas, cette intelligence embarquée passe par l'introduction de puces de silicium, de capacités de communication, d'énergie embarquée et de couches logicielles permettant une capacité à reconfigurer les produits.

Cette tendance à l'intégration complexe intègre de plus en plus une composante logiciel embarqué, et nécessite un étroit couplage entre procédé technologique et produit, et un recours quasi-systématique à la co-conception matériel-logiciel.

L'introduction d'une électronique embarquée dans de multiples produits offre des opportunités de différenciation à des sociétés confrontés à une forte concurrence sur leurs marchés de la part des pays à bas coût de main d'œuvre et dont les technologies sont plutôt basées sur de la transformation de matériaux. L'intégration d'innovations de rupture et d'électronique dans leurs produits permet de développer des services à plus haute valeur ajoutée.

Ces opportunités de différenciation, d'accroissement de valeur ajoutée et de compétitivité renforcée dans de multiples secteurs ne se réalisera que s'il existe, au sein des différents secteurs applicatifs, une pratique de coopération et d'innovation suffisamment dynamique. Ces écosystèmes de filières doivent rapprocher les différents acteurs que sont les concepteurs de composants (notamment les fabless), les développeurs de services, et les développeurs de solutions électroniques (de niveau équipements ou systèmes), ainsi que les laboratoires de recherche.

Pour plusieurs des secteurs applicatifs mentionnés dans le tableau, ces réseaux et cette dynamique de filière existent. A l'inverse, pour les secteurs plus émergents, comme l'électronique de santé, la gestion électronique de la puissance et de l'énergie ou les équipements d'éclairage intelligents, cette dynamique collective peut et devrait être renforcée. A défaut, le risque est grand de voir la compétition étrangère s'adapter et intégrer mieux et plus vite ces innovations, et nos industries intégratives confrontées à une concurrence accrue.

D. PROPOSITION DE PLAN D'ACTION

1. VISION GLOBALE

Les constats précédents et la vision prospective dégagée dans la partie ci-dessus montrent les enjeux de la production micro-nanoélectronique en France, et que ces enjeux dépassent largement ce seul secteur. De ce fait, il convient de mettre en place une stratégie nationale de développement de la filière industrielle française de la micro et nanoélectronique, qui vise deux objectifs :

- ⇒ **Saisir les opportunités de croissance** liées au développement de l'électronique dans certains secteurs applicatifs, en revitalisant les sites de production qui peuvent être positionnés en adéquation, et en favorisant l'appropriation par les industries intégratives,
- ⇒ **Disposer, de façon durable, des technologies clés** du secteur des composants nanoélectroniques, en regard des secteurs applicatifs critiques pour la France et l'Europe : télécoms (composants numériques avancés et systèmes-sur-puce), énergie, sécurité, santé, transports, aérospatial.

Une telle stratégie devra s'appuyer sur les volets complémentaires suivants, ciblés sur les enjeux décrits dans la partie C :

- ⇒ la pérennisation de la compétitivité du site industriel de Crolles ainsi que de l'écosystème d'innovation grenoblois de la nanoélectronique à l'échelle mondiale. Ce volet garantit notamment l'accès aux technologies clés pour les systèmes embarqués.
- ⇒ la revitalisation et le renforcement pérenne de la différenciation de la majorité des sites industriels français de la micro-nanoélectronique. Ces actions seront assurées au travers du développement ou du renforcement **d'écosystèmes** autour du site de production considéré, selon des modalités qui sont détaillées plus loin. Ces programmes devront renforcer le couplage recherche-production avancée, dont dépend fortement la compétitivité des sites, et impliquer de nombreux acteurs pour renforcer l'écosystème autour du site de production.

Par ailleurs, les composants électroniques constituant un bras de levier dans de nombreux secteurs, il est souhaitable de compléter les axes ci-dessus par un ensemble d'actions visant à renforcer leur diffusion au profit des autres acteurs nationaux et à accélérer l'innovation par l'introduction de solutions électroniques intégrées, notamment au sein de secteurs applicatifs : santé, transports, énergie. Ces actions pourraient être structurées selon deux axes majeurs :

- ⇒ en aval, pour renforcer l'innovation au sein de filières ciblées, en couplant plus étroitement les acteurs concernés (notamment les fables et les start-up). Ces actions de R&D pourraient être structurées autour d'appels d'offres dédiés, largement ouverts aux industries intégratives, en particulier les PME. Ils viseraient l'exploration des solutions apportées par l'introduction de nouvelles fonctions électroniques intégrées dans des équipements et systèmes innovants ;
- ⇒ en amont, par la mobilisation des nombreux acteurs de la recherche publique travaillant directement sur les technologies des composants nanoélectroniques ou sur leurs usages au profit d'applications variées. Leur couplage avec les industriels du secteur est très variable et peut être amplifié pour renforcer le passage des résultats de recherche des laboratoires vers les industriels. A l'instar d'actions développées aux Etats-Unis, il est

proposé d'établir un fonds d'actions de maturation technologique et de preuve de concept, piloté par les industriels

2. PROPOSITIONS D' ACTIONS

2.1. Actions de renforcement des sites de production micro-nanoélectronique en France

Pour renforcer les atouts de la France dans la micro-nanoélectronique, un plan d'action global pourrait être lancé rapidement avec des modalités reposant sur :

- ⇒ **Des programmes de R&D stratégiques**, pour les sites où l'enjeu central est le développement et l'introduction d'une nouvelle technologie. Pour chaque site, ces programmes seraient conduits de façon coopérative entre acteurs privés et acteurs publics, dans le cadre de conventions pluri-annuelles précisant les obligations de chaque partie. chaque programme viserait les développements les plus stratégiques pour le site industriel et serait complété d'un volet plus long terme exécuté au sein des laboratoires publics. Avec ses différentes composantes, cette modalité est au cœur du modèle de Crolles, et peut être transposée à plusieurs sites français.
- ⇒ Des investissements en **équipements de R&D et de ligne pilote** sur les filières émergentes à très fort risque, **acquis et portés par les laboratoires publics et exploités conjointement avec les industriels concernés**, dans le cadre de partenariats public-privé de R&D. Ces équipements auraient vocation à être transférés à l'industriel une fois la phase à très fort risque passée avec succès (selon des modalités à définir : par exemple, au bout de 3 ans, rachat par l'industriel des équipements ou renonciation à toute exclusivité dans l'exploitation des résultats du programme coopératif de R&D). Cette modalité, où la puissance publique finance intégralement ces investissements à forts risques, est employée avec succès aux Etats-Unis, en Allemagne, ou au Japon. Elle s'avère très efficace pour permettre le développement d'une nouvelle technologie de rupture et la prise précoce de positions par l'industriel avant introduction en production. Elle est en particulier reconnue comme un facteur clé du succès du « cluster » IBM d'Albany (New York State). Elle résulte aussi du couplage nécessaire entre R&D et production en microélectronique pour réduire les délais, faciliter la prise en compte de la complexité et ne pas multiplier les coûts.

Comme le suggérait déjà la lettre de mission, le modèle de partenariat de Crolles, dont les caractéristiques ont été détaillées au §3 et qui a prouvé son efficacité, est transposable et adaptable à nombre des sites objets de ce rapport. En particulier, il convient de conserver le principe d'une convention pluriannuelle définissant les engagements des parties (industriel et pouvoirs publics), qui couvre :

- ⇒ Le programme de R&D ambitieux, qui ne pourrait être mené sans soutien public, et qui permet de garder la maîtrise technologique dans des domaines stratégiques pour l'ensemble de l'industrie française,
- ⇒ Les investissements en équipements de production (et/ou R&D, dans le cadre de lignes pilotes),
- ⇒ Le niveau d'emploi,
- ⇒ Certains engagements ou orientations stratégiques.

2.2. Diffusion

En aval :

Le bras de levier qu'offre la microélectronique au profit des secteurs utilisateurs n'est exercé que si l'innovation portant sur de nouvelles applications est réalisée en étroite relation avec les développements de nouvelles technologies de composants. Cette innovation conjointe repose sur une étroite coopération entre les acteurs, impliquant les industriels utilisateurs et concepteurs. Pour renforcer l'innovation et la compétitivité au sein des acteurs utilisateurs des technologies de semiconducteurs, des appels d'offres à projets de R&D et expérimentation pourraient être lancés. Ceux-ci viseraient des projets coopératifs, permettant de coupler plus étroitement les acteurs concernés (industries intégratives, fabless, PME et start-ups). Ils viseraient l'exploration des solutions apportées par l'introduction de nouvelles fonctions électroniques intégrées dans des équipements et systèmes innovants. Il permettrait également l'émergence et le développement de sociétés « fabless », adaptées au développement de nouveaux marchés. Ces appels à projets cibleraient en particulier les filières pour lesquelles la dynamique de filière et de coopération n'est pas encore pleinement développée, ou les secteurs applicatifs pour lesquels l'écosystème et la dynamique de réseau est encore émergente ou à consolider comme :

- ⇒ L'« électronique pour la santé »
- ⇒ L'« électronique pour la gestion de l'Energie »
- ⇒ L'« électronique pour transports innovants »
- ⇒ Les « solutions électroniques pour l'éclairage intelligent »

En amont :

Il existe en France une force importante de laboratoires de recherche publique travaillant directement sur les technologies des composants nanoélectroniques ou sur leurs usages au profit d'applications variées, de bon niveau et reconnue internationalement. Le couplage avec les industriels du secteur est très variable et peut être amplifié pour renforcer le passage des résultats de recherche des laboratoires vers les industriels. A l'instar d'actions développées aux Etats-Unis, il est proposé d'établir un fonds d'actions de maturation technologique et de preuve de concept, piloté par les industriels. A partir de résultats issus des laboratoires publics, les projets portés par ce fonds viseront à la réalisation de démonstrateurs d'intégration technologique, permettant à la fois de développer de la propriété intellectuelle, et aux industriels de juger de l'intérêt potentiel de la technologie et du concept, et de juger de la pertinence de lancer un développement ultérieur

Le comité de pilotage, représentant tous les sites industriels nationaux, validera les projets avant leur démarrage. Les projets seront portés par les laboratoires publics dont sont issus les concepts, et les laboratoires d'intégration du type du CEA-LETI. Ils mettraient en œuvre les laboratoires technologiques du CNRS ou du CEA et les instituts Carnot impliqués dans les technologies de l'information et les micro-nanotechnologies. La propriété intellectuelle sera ainsi conservée au sein de la puissance publique.

Cette action conduirait à constituer un outil fort de recherche technologique, coordonné en amont et en support des industriels du secteur et des intégrateurs

3. LE MODELE DE CROLLES

Depuis plus de quarante ans, le pôle grenoblois a développé un savoir-faire unique dans le domaine de l'innovation en micro puis en nanoélectronique. Le partenariat intense qui s'est développé entre le CEA-Léti, laboratoire public de rang mondial et la société STMicroelectronics (dont la partie grenobloise est une ancienne spin-off du CEA-Léti) constitue le socle de cet écosystème d'innovation. Le soutien de l'Etat français aux côtés des collectivités locales a permis la constitution de cet écosystème autour du site de Crolles, qui est à la pointe des technologies CMOS, en association avec la seule alliance industrielle ouverte de dimension mondiale, l'Alliance IBM. La convention Nanoélectronique 2012 signée entre l'Etat, les collectivités locales, STMicroelectronics et le CEA-Léti a renforcé cet écosystème et ce modèle de coopération étroite qui allie un grand industriel moteur, un laboratoire de recherche technologique, et un ensemble d'industriels partenaires pour les années 2008 à 2012.

En Europe, les sites d'Intel et de Global Foundry constituent des sites projetés d'entreprises américaines, et ne disposent pas d'un écosystème de même nature que celui de Crolles. **La force majeure de l'écosystème de Crolles réside dans le couplage très étroit existant entre une capacité de R&D technologique fortement innovante d'une part et d'autre part une capacité de production couplée à la conception des nouveaux produits, capable de transformer rapidement les innovations générées en réalité industrielle et en produits permettant de capter tôt des parts de marché.**

Souligné par la lettre de mission de Mr le Ministre chargé de l'Industrie, ce modèle de Crolles a fait ses preuves sur la base suivante :

- ⇒ Leadership en R&D : développement et maturation de nouvelles technologies, transfert rapide aux industriels par le CEA-Léti, accès à des docteurs et ingénieurs formés aux nanotechnologies et aux métiers de la conception, investissement élevé et constant de STMicroelectronics dans la R&D pour rester collé au marché, fort soutien des pouvoirs publics et des collectivités locales ;
- ⇒ Ecosystème de l'innovation : qui permet de rassembler la masse critique autour de la R&D, du design, de la fabrication et des centres d'application au sein d'un tissu d'industriels, de grands groupes, de PME, de start-ups, et de laboratoires. Le **Pôle de Compétitivité MINALOGIC** est un cadre dynamique de structuration central à cet écosystème ;
- ⇒ Positionnement sur des marchés stratégiques où les technologies avancées des semi-conducteurs et le design sont porteurs de différenciation.

Ces caractéristiques vont de pair avec les modalités suivantes :

- ⇒ Vision partagée sur une ambition et des objectifs pour le site industriel ; roadmap industrielle dont découle le programme de R&D stratégique,
- ⇒ Soutien public à un programme de R&D partenariale de grande ampleur, porté par l'industriel leader du site, qui ne pourrait être mené sans ce soutien,
- ⇒ Engagement global des partenaires industriels,
- ⇒ Convention cadre pluriannuelle définissant sur la durée les obligations et engagements réciproques des bénéficiaires et des financeurs publics (Etat et collectivités locales),
- ⇒ Rôle déterminant, dans ce programme, des actions de levée de risques et des transferts de technologies provenant de laboratoires publics, modèle de coopération stratégique et contractualisée avec l'industrie, qui permet de stabiliser la propriété intellectuelle sur le sol.
- ⇒ Intégration plus large dans le cadre des Pôles de Compétitivité au service des secteurs industriels locaux

4. MISE EN ŒUVRE DES ACTIONS DE RENFORCEMENT DES SITES DE PRODUCTION

Les actions prioritaires consistent en des programmes de recherche et développement, et, pour certains sites, en l'établissement de lignes pilote permettant de cibler des marchés nouveaux avec des technologies de rupture à fort risque.

Des programmes de R&D ambitieux sont indispensables pour garder la maîtrise technologique dans des domaines stratégiques pour l'ensemble de l'industrie française. Ils ne pourraient être menés sans un important soutien public ; cela tient à la fois à l'ampleur des moyens de R&D requis, au contexte de compétition technologique intense avec les autres zones développées (Asie, Amérique du Nord) et au rôle déterminant que l'intervention publique joue dans cette compétition. Le niveau du soutien de l'Etat résultera d'une négociation, et peut varier selon les spécificités de chaque site, pour en maximiser l'impact.

L'ensemble des coûts des programmes de R&D nécessaires est estimé à 1 450 M€.

Par ailleurs, les comparaisons internationales montrent qu'un complément important peut être apporté aux programmes de R&D, au travers de la mise en place de lignes pilotes. Cette modalité ne fait sens que pour les sites visant à se positionner sur des marchés nouveaux avec des technologies en rupture. Dans ce cas, le poids des investissements importants constitue une barrière forte et conduit à un facteur de risque rédhibitoire. Sur la base des modèles étrangers déjà cités, il est proposé la mise en place de lignes pilote :

- ⇒ portées, dans une première phase, par un organisme public,
- ⇒ opérées conjointement par l'organisme public et l'industriel sur le site de production,
- ⇒ faisant l'objet d'engagements financiers de la part de l'industriel.

Complémentaires des programmes de R&D, ces lignes pilotes nécessitent des investissements que l'on peut estimer à environ 110 M€.

A l'image de la partie C du présent rapport, cette partie détaille les attendus propres à chaque site, informations au contenu sensible pour chaque entreprise en regard de sa concurrence, et qui n'ont pas été conservées dans la version publique du rapport

5. SYNTHÈSE :

Les composants issus de la micro-nanoélectronique sont au cœur de toutes les applications. **De l'économie numérique à l'économie verte, les composants sont et seront à l'origine de l'innovation et des réductions de coûts ; ils constitueront une part croissante de la valeur des équipements et systèmes. De ce fait, les composants nanoélectroniques représentent à la fois une opportunité de croissance, mais aussi une industrie stratégique pour garantir la capacité d'innovation au niveau des systèmes et des services.** Comme les Etats-Unis, de nombreux pays asiatiques investissent dans le développement de cette industrie

La France possède un positionnement industriel solide dans le domaine de la micro-nanoélectronique. Ses sites de production présentent de forts atouts industriels et peuvent saisir les opportunités de croissance dans le domaine des composants semiconducteurs et des secteurs applicatifs associés, notamment ceux de l'énergie, des transports et de la santé, secteurs dont les enjeux économiques et de souveraineté vont fortement se renforcer dans les décennies à venir.

La concrétisation de ces opportunités requiert de forts investissements, tant en R&D qu'en matériel. C'est sur ces investissements que certains pays conduisent des politiques de soutien importants et durables.

En réponse à la lettre de mission confiée, les enjeux des sites ont été dégagés, ainsi que la possibilité de renforcer leur positionnement en adaptant le modèle de Crolles. Le plan d'action proposé vise à saisir ces opportunités de croissance et à consolider la capacité d'innovation des industries intégratives françaises. Il se déploie sur deux plans :

5.1. Renforcement des sites de production micro-nanoélectronique français

Le premier axe, focalisé sur le renforcement des sites de production français, vise le développement de nouvelles générations de composants qui permettront de consolider le positionnement de ces sites dans la durée, et d'assurer la disponibilité des composants électroniques pour l'énergie, le transport, la santé, la sécurité ... marchés à fort potentiel sur lesquels ces sites peuvent devenir leaders.

Les modalités de ces actions reposent sur le déploiement et l'adaptation du modèle de Crolles, avec des engagements industriels pluriannuels et une coopération intense entre l'industriel et des partenaires publics de recherche (avec comme modèle le rôle du CEA-LETI à Crolles). Il se complète, sur quelques sites, par la mise en place de lignes pilote acquises par un organisme de recherche et opérées conjointement avec l'industriel sur le site de production, pour accélérer le développement de certaines technologies à très fort risque, sur le modèle américain d'Albany.

Les programmes de recherche et développement seront complétés par des engagements spécifiques des industriels, lors de la négociation que l'Etat mènera avec les acteurs concernés.

Pour l'ensemble des sites concernés, un tel plan représenterait des dépenses de R&D (privées et publiques) de l'ordre de 1 450 M€. En complément et articulé à ces programmes de R&D, la mise en place de lignes pilote sur quelques sites ciblés requerrait un investissement de l'ordre de 110M€.

5.2. Diffusion au profit des acteurs nationaux

En aval :

Il est proposé de lancer des appels d'offres à projets de développement expérimental et de prototypes pour renforcer la compétitivité au sein des acteurs utilisateurs des technologies de semiconducteurs. Les secteurs pour lesquels la dynamique de filière et de coopération est à consolider sont plus particulièrement :

- ⇒ L'« électronique pour la santé »
- ⇒ L'« électronique pour la gestion de l'Energie »
- ⇒ L'« électronique pour transports innovants »
- ⇒ Les « solutions électroniques pour l'éclairage intelligent »

Le volant global d'actions qui serait concerné pourrait être de 500 M€ et faire l'objet de plusieurs appels à projets lancés annuellement.

En amont :

Pour renforcer le couplage entre laboratoires de recherche et industriels du secteur, et diffuser largement les problématiques pertinentes auprès de ces acteurs de recherche, un fonds d'actions de maturation technologique et de preuves de concept, pourrait être lancé, sous pilotage industriel. Il permettrait la réalisation de démonstrateurs d'intégration technologique, et le développement de la propriété intellectuelle.