

ANALYSE

Les microprocesseurs. Bâtir une stratégie industrielle européenne

Les microprocesseurs, circuits électroniques constitués de millions de transistors, constituent l'intelligence des systèmes numériques. Hautement stratégique, ce secteur est tenu par quelques grands constructeurs américains tels Intel et AMD, en concurrence depuis peu avec des entreprises asiatiques, principalement chinoises ou taïwanaises. L'Europe, considérant que l'industrie des microprocesseurs génériques lui était fermée, a reporté ses efforts d'innovation et de production sur des produits dédiés, les microcontrôleurs, et en tire aujourd'hui un avantage comparatif certain. Il lui faut néanmoins absolument consolider ses parts de marché en soutenant l'innovation dans ses domaines d'excellence et en menant une politique soutenue d'accompagnement de ses start-ups dans leur croissance par des mécanismes d'agrégation, avec l'aide de fonds d'investissement par exemple, et d'adossement à des plates-formes communes ou pôles de compétitivité. De plus, l'Europe, dans un domaine qui conditionne sa sécurité et sa souveraineté, devrait engager une politique ambitieuse visant à regagner une autonomie et à maîtriser l'ensemble de la filière. Cette stratégie reste à bâtir : elle pourrait notamment s'appuyer sur des marchés liés au développement de serveurs pour les besoins de sécurité et de défense, ainsi que sur la création, voire la reconnaissance, de deux ou trois pôles de recherche d'excellence sur les microprocesseurs dans l'Union européenne.

Présents dans un nombre toujours plus grand de biens manufacturés (informatique personnelle¹, électronique, téléphones portables, automobiles², avionique, instruments de mesure, technologies de santé, etc.), les microprocesseurs en assurent l'intelligence. Ils sont au cœur de l'innovation, notamment de l'économie numérique, laquelle représente désormais près de 10 % du PIB mondial.

La course à la miniaturisation qui caractérise ce secteur va bientôt atteindre les limites ultimes de la barrière atomique. Quelles sont les alternatives technologiques possibles pour progresser dans ce secteur, qu'il s'agisse de rupture architecturale (assemblage 3D, etc.) ou plus fondamentale (électronique moléculaire, ordinateur quantique) ? Dans ce contexte, quelle peut être à terme la place de l'Europe dans un domaine qui engage sa sécurité et sa souveraineté ?

Le microprocesseur, intelligence des systèmes et fonctions numériques : un défi technologique pour l'Europe

Qu'est-ce qu'un microprocesseur ?

Un microprocesseur, appelé aussi CPU (*Central Processing Unit*), est un composant électronique de petite taille (de l'ordre du cm³) capable d'exécuter des milliards d'opérations numériques par seconde. Il est constitué de millions de circuits électroniques de taille nanométrique³, composés de transistors (730 millions dans le cas du dernier modèle de microprocesseurs génériques d'Intel) et d'éléments passifs, implantés généralement sur une pastille de silicium (appelée *wafer* en anglais). La réalisation de ces

¹ En 2001, J. L. Hennessy et D. A. Patterson ont calculé que le microprocesseur représentait à lui seul 22 % du coût des composants d'un PC, contre 5 % pour la mémoire.

² Selon Michel Valette, responsable du secteur automobile du fabricant européen de semi-conducteurs NXP, « 90 % des innovations dans le secteur de l'automobile sont dues aux semi-conducteurs » : <http://www.innovationlejournal.com/spip.php?article4979>.

³ Un nanomètre est 10 000 fois plus petit que le diamètre d'un cheveu.

opérations résulte d'un dialogue entre des fonctions de calcul arithmétique et logique, et des registres mémoire capables d'archiver momentanément les données sous le contrôle d'une unité chargée d'adresser à l'ensemble du microprocesseur les instructions du programme. Elles sont effectuées de façon synchrone au rythme d'une horloge⁴, dont la fréquence détermine le nombre d'opérations par seconde et de ce fait la puissance du microprocesseur. Pour fonctionner, au sein d'un ordinateur ou d'un serveur, par exemple, un microprocesseur devra être associé à des capacités mémoire et des éléments d'interface.

Dans le cas d'applications dédiées à un seul usage, la simplification des systèmes permet de regrouper sur une seule puce de silicium, appelée **microcontrôleur**, un microprocesseur moins puissant, une capacité mémoire, les interfaces, les éléments de gestion de l'ensemble du système, en particulier les fonctions essentielles de commande et de contrôle des objets auxquels ils sont associés. Les microcontrôleurs se caractérisent, généralement, par une consommation électrique et une vitesse de fonctionnement moindres et surtout par un coût réduit par rapport aux microprocesseurs « polyvalents » fabriqués par les géants Intel et ADM et utilisés dans les ordinateurs personnels. Ils sont principalement destinés aux systèmes embarqués, dans l'automobile, la téléphonie mobile, l'électroménager, etc.

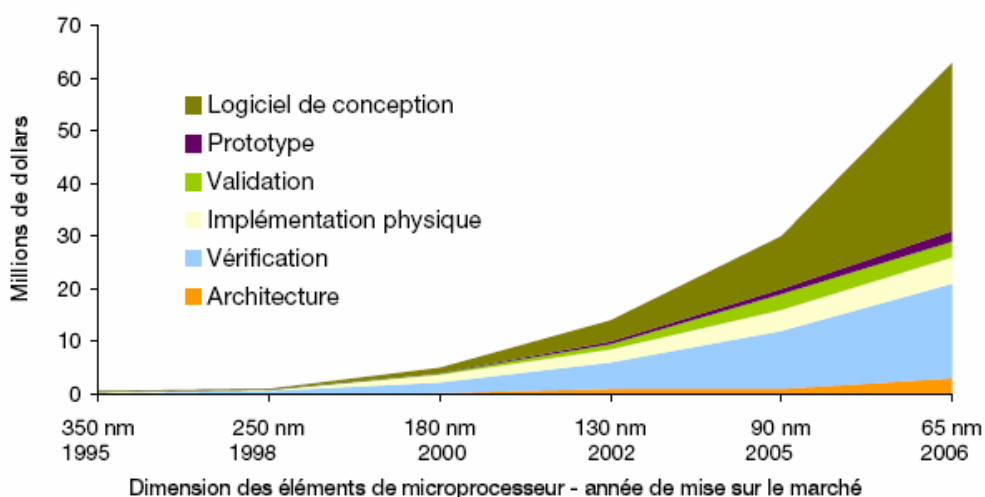
Le maintien du rythme d'évolution de la puissance de calcul des microprocesseurs, par l'invention de nouvelles architectures ou une rupture technologique, **constitue un défi majeur**.

Historique de l'évolution des microprocesseurs

En 1965, Gordon E. Moore, cofondateur d'Intel, avait annoncé que : « la puissance des ordinateurs croîtrait de façon exponentielle »⁵ : de nature empirique, et non physique, la « loi de Moore » représente une feuille de route implicite décrivant et stimulant les progrès de l'industrie des microprocesseurs. Rétrospectivement, les capacités des microprocesseurs ont peu ou prou doublé chaque année de 1959 à 1965 puis tous les 18 mois à partir de 1975. Cette évolution résulte d'une part de la miniaturisation de plus en plus importante des transistors (dont la taille peut atteindre de trente à quarante nanomètres, ce qui permet d'en augmenter le nombre par unité de surface), de l'accroissement du rythme de l'horloge qui cadence l'ensemble des opérations, de l'architecture interne du microprocesseur et de la maîtrise de plus en plus complexe des programmes, capables de gérer ces millions de transistors. Dans cette compétition industrielle, le logiciel interne au microprocesseur devient une priorité essentielle de sa fabrication, non seulement par le coût qu'il représente (*figure 1*), mais aussi par la complexité de sa réalisation, qui mobilise en permanence, pour les derniers produits d'Intel, plus de 1 000 ingénieurs.

Ainsi, selon la feuille de route tracée par l'ITRS⁶, la miniaturisation physique (taille des connexions internes et des transistors, etc.) pourrait atteindre ses limites, d'ici une dizaine d'années. En réduisant la finesse de gravure, les industriels se heurtent aux propriétés singulières de la matière à l'échelle nanométrique régies par les lois de la mécanique quantique. L'industrie des semi-conducteurs n'entrevoit pour l'instant aucune solution alternative véritablement sérieuse aux technologies actuelles. Pour autant, les microprocesseurs vont continuer à évoluer, d'une part, par la conception de leur architecture interne, d'autre part, par l'installation de plusieurs processeurs parallèles traitant plusieurs tâches simultanément.

Figure 1 : Une explosion des coûts de conception



Source : EECA-ESIA, données Synopsys.

⁴ L'horloge désigne ici un signal régulier, imposant un rythme au circuit et assurant éventuellement une synchronisation avec les autres composants, tels que la mémoire.

⁶ L'ITRS (*International Technology Roadmap for Semiconductors*) est une instance regroupant la grande majorité des acteurs mondiaux du semi-conducteur. Elle est chargée d'actualiser chaque année la feuille de route des développements technologiques du secteur des semi-conducteurs.

Exemples	
<p>Le microprocesseur : Intel® Core™ i7 860 utilise quatre processeurs logiques sur une seule puce. Il a la capacité d'augmenter automatiquement sa fréquence en fonction de sa charge. Ainsi, si une application n'utilise qu'une seule unité centrale, le Core i7 860 pourra fonctionner jusqu'à 3,46 GHz en restant dans la limite des 95 Watts de consommation.</p> <p>Caractéristiques techniques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gravure : 45 nm - Fréquence de l'horloges : 2,8 à 3,46 GHz - Codage : 64 bits - Nombre d'unités centrales (<i>cores</i>) : 4 - Consommation : 95 Watts <p>Une version à six <i>cores</i> de ce microprocesseur devrait être commercialisée dans les prochaines semaines.</p>	<p>Le microprocesseur de demain : le « single-chip cloud computer » : les chercheurs d'Intel viennent de faire la démonstration du fonctionnement d'un microprocesseur expérimental, regroupant sur une seule puce 48 cores. Par son agencement, il peut être assimilé à un centre de calcul à lui tout seul. Outre son architecture, il repose sur deux innovations majeures :</p> <ul style="list-style-type: none"> - le transfert de données directement d'un cœur à l'autre sans passer par la mémoire principale ; - la gestion de la consommation. Elle peut varier dans un rapport de un à cinq, 25 à 125 Watts. <p>Caractéristiques techniques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gravure : 45 nm - Nombre d'unités centrales (<i>cores</i>) : 48 Pentium class IA-32 - Consommation : 25 à 125 Watts

Quelles évolutions technologiques à moyen et long termes ?

Les travaux sur les évolutions technologiques des microprocesseurs donnent lieu à une activité de recherche intense largement soutenue tant aux États-Unis qu'en Europe par des programmes exploratoires sur fonds publics. Des innovations et des ruptures technologiques qui pourraient en découler dépend la place future de l'Europe.

À **moyen terme**, le développement des prochaines générations de microprocesseurs devrait résulter d'une évolution dans trois directions :

- **la miniaturisation** avec une amélioration en précision de la lithographie, qu'elle soit optique ou par faisceau d'électrons ou d'ions. La lithographie optique, technique classique de fabrication des circuits par projection de lumière au travers d'un masque, serait utilisée jusqu'en 2016 et permettrait d'atteindre les 22 nm avant que la lithographie directe par faisceau de particules, actuellement réservée à l'élaboration des masques de lithographie optique, prenne le relais.
- **l'architecture interne** au microprocesseur peut se traduire soit par des évolutions physiques de gravure (transistors verticaux, gravure 3D, empilement des puces en 3D, etc.) soit par un agencement différent des composants du microprocesseur, aboutissant au regroupement des divers composants sur la même puce. Ces systèmes nécessitent sans cesse de nouveaux outils de conception et de vérification car ils possèdent de plus en plus de fonctionnalités (plusieurs cœurs de processeurs, de la mémoire, des co-processeurs et des interfaces).
- **l'architecture externe** au microprocesseur, avec notamment l'installation de plusieurs processeurs parallèles traitant diverses tâches simultanément, d'où l'importance grandissante des fonctions d'arbitrage entre processus. Peuvent être associés dans une même structure des éléments très différents comme des circuits intégrés, des MEMS (systèmes électromécaniques), des batteries, voire des modules de traitement biologique.

En outre, ces dernières années, de nombreux travaux ont été réalisés pour évacuer la chaleur des puces : *Peltier Pad*, caloporteur microfluidique intégré. En effet, l'augmentation de la densité de transistors dans les microprocesseurs va de pair avec celle de leur température, laquelle devient l'un des facteurs dimensionnants et une limite à l'accroissement de leurs puissances de calcul.

À **plus long terme**, plusieurs scénarios d'évolution sont possibles :

- **dans la continuité, une miniaturisation ultime des transistors :**
 - o **les transistors 1D.** Un transistor à effet de champ peut être réalisé avec un nanotube ou un nanofil de carbone semi-conducteur. Le passage du courant est modulé par l'effet de champ résultant d'une tension appliquée sur une troisième électrode, la grille, isolée du nanotube ;
 - o **les transistors à électron unique**, utilisant des boîtes quantiques semi ou supraconductrices, dans lesquels une électrode de commande, placée entre la source et le drain, utilise l'effet tunnel pour contrôler un à un le passage des électrons dans un réservoir de charges électriques.
- **des ruptures physiques et technologiques fondamentales :**
 - o **la spintronique** repose sur les propriétés du spin⁷ des électrons au lieu de leur charge. L'intérêt de la spintronique s'est développé après la découverte de la magnétorésistance géante (GMR) en 1988

⁷ Le spin de l'électron peut être représenté comme une sorte de minuscule aimant, il interagit avec les matériaux possédant aussi une aimantation, tels les matériaux ferromagnétiques.

- et sa mise en œuvre, en moins d'une décennie, dans les systèmes de lecture des disques durs. Ce domaine, très actif en France, a vu ses travaux récompensés par l'attribution du prix Nobel de physique à Albert Fert et Peter Grunberg en 2007 ;
- o **la nanophotonique** consiste à remplacer l'électron par le photon comme « porteur de l'information » et s'appuie ainsi sur les propriétés physiques de la lumière à l'échelle du nanomètre ;
 - o **l'électronique moléculaire** consiste à utiliser des molécules pour développer des fonctions semblables à celles des transistors et autres composants. Elle permet une miniaturisation des composants qui pourrait descendre jusqu'aux tailles limites des atomes et des molécules mais également une production industrielle à moindre coût grâce à des moyens de fabrication plus précis que la lithographie ;
 - o **l'informatique quantique**. De telles machines peuvent réaliser la superposition de deux états quantiques. Potentiellement, la vitesse de calcul et les algorithmes à disposition des ordinateurs quantiques seront sans commune mesure par rapport aux ordinateurs classiques. Toutefois, l'informatique quantique se heurte pour l'instant au problème non résolu de stabilité lié à des perturbations extérieures.

Comment l'Europe se prépare-t-elle à ces évolutions technologiques en matière de R & D ?

Les dépenses de R & D sont le principal moteur de ces innovations et ruptures technologiques. Elles demandent un investissement important et dans la durée. Une position compétitive de l'Europe du microprocesseur à l'horizon 2020 est à ce prix.

De nombreux programmes ont été lancés ces dernières années, au niveau communautaire, **pour soutenir la compétitivité du secteur des semi-conducteurs et renforcer la maîtrise de technologies stratégiques pour l'industrie européenne :**

- **le programme CATRENE, dédié à la micro-nanoélectronique silicium**, porte sur les technologies de base et les applications (télécommunications, multimédia, cartes à puce, électronique automobile) afin de favoriser les coopérations verticales entre industriels du semi-conducteur et systémiers électroniques. Sa durée initiale couvrant la période 2008-2011 pourrait être prolongée jusqu'en 2016. 6 milliards d'euros devraient y être consacrés, dont un tiers en provenance des États⁸ ;
- les programmes-cadres de recherche et développement technologique (PCRD) dont l'objectif est de structurer l'espace européen de la recherche en fédérant l'ensemble des acteurs et en concentrant les ressources sur quelques pôles d'excellence scientifique et technologique : le 6^e PCRD, couvrant la période 2002-2006, disposait d'un budget de 1,4 milliard d'euros pour le domaine de la microélectronique. **Le 7^e PCRD (2007-2013)** devrait y consacrer 5,5 milliards d'euros, notamment **dans le cadre des Initiatives Technologiques Conjointes ARTEMIS et ENIAC**, nouvelles formes de partenariats public-privé associant les industriels, les États membres et la Commission européenne, pour soutenir des activités de R & D coopératives, **respectivement dans les domaines des systèmes informatiques embarqués et de la nanoélectronique**.

Cet effort de R & D doit aussi porter sur la miniaturisation des composants, élément essentiel de la course à la compétitivité – une initiative telle que « Nano 2012 » cherche y à répondre – de même que sur l'architecture interne du microprocesseur, notamment à travers la programmation du code embarqué et des logiciels de conception.

Une industrie européenne des microprocesseurs en situation de fragilité

Fortement mondialisée, à la fois géographiquement dispersée et régionalement spécialisée, **l'industrie microélectronique**, dont les intensités capitalistique⁹ et technologique¹⁰ sont parmi les plus importantes de l'industrie manufacturière, **est caractérisée par des cycles d'innovation courts** : deux ans pour un nouvelle génération de microprocesseurs et parfois pas plus de six mois pour certains produits électroniques grand public. Autre caractéristique de ce secteur, la baisse sans équivalent des prix des

⁸ « European Design Automation Roadmap », 6th édition: http://www.medeaplus.org/web/communication/publ_edu.php.

⁹ Les dépenses en capital représentent annuellement environ 20 % du chiffre d'affaires (80 % en équipements de fabrication de *wafers*, 12 % pour l'assemblage et 8 % pour les appareils de test). Pour une nouvelle unité de production, le ratio « coût du capital / coût de la main-d'œuvre » est de 0,1 contre 0,5 pour une usine plus ancienne déjà amortie. La compétitivité des usines de fabrication de semi-conducteurs – dont les microprocesseurs – est relativement peu sensible au coût de la main-d'œuvre, en comparaison d'autres activités de la microélectronique (assemblage et tests) ou d'autres industries plus intensives en main-d'œuvre.

¹⁰ Selon le tableau de bord 2009 de l'investissement industriel en R & D édité par l'IPTS, le ratio « dépenses de R & D / chiffres d'affaires » – qui indique l'intensité technologique d'un secteur – était de 14,7 % pour le secteur des semi-conducteurs contre 16,5 % pour l'industrie pharmaceutique et les biotechnologies, 9,6 % pour le secteur du logiciel ou encore 4,1 % pour l'aéronautique-défense.

microprocesseurs constatée depuis trente ans : le prix hédonique¹¹ des microprocesseurs grand public d'Intel a diminué d'un facteur 10 000 entre 1995 et 2005¹².

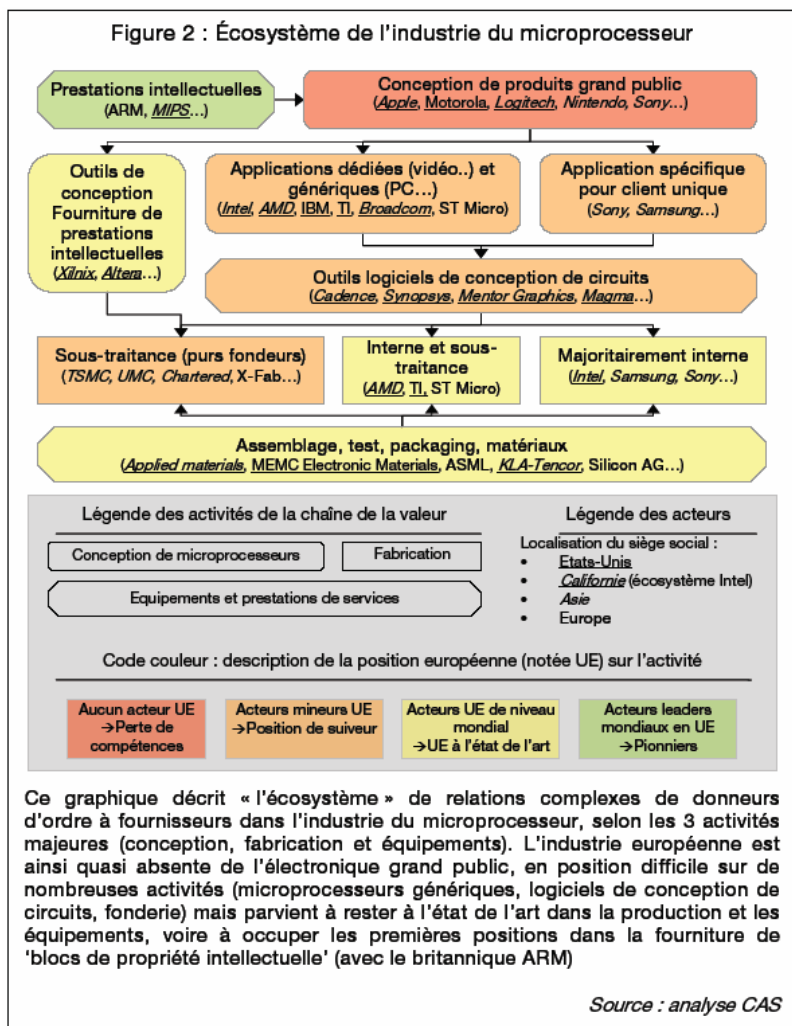
Une chaîne de valeur segmentée

La fabrication de microprocesseurs, intégrée verticalement dans les années 1970, a connu ses principaux bouleversements dans les années 1980, menant à **une segmentation de la chaîne de valeur entre designers et fondeurs**¹³ dans les années 1990. Cette tendance à la désintégration du marché traditionnel s'est poursuivie pour donner naissance à un « **écosystème** » de relations complexes d'interdépendance (figure 2), qui dessine une division internationale du travail¹⁴ et que l'on pourrait simplifier de la manière suivante :

- en amont, les purs concepteurs de circuits (dits « *fabless* », sans fabrication associée à la conception), situés pour la plupart en Occident, tels que le britannique ARM ou l'américain MIPS, rémunérés par la vente de licences et de royalties. À forte valeur ajoutée, ce segment s'appuie sur les performances des logiciels de conception électronique ;
- des sociétés plus ou moins intégrées (l'américain Intel, l'européen ST Microelectronics, etc.), présentes sur la majorité des opérations et segments de la chaîne de valeur, ont la capacité de mettre au point des circuits et de les fabriquer, tout en faisant au besoin appel aux acteurs en amont et en aval pour certains produits. C'est le cœur historique de la fabrication des microprocesseurs ;
- en aval, les purs fondeurs (la plupart asiatiques tels que TSMC à Taiwan, Chartered Microelectronics à Singapour...) fabriquent les microprocesseurs selon les spécifications de leurs clients en amont. Les coûts fixes en équipements, prépondérants, expliquent pourquoi la marge est plus faible sur ce segment.

Cette évolution dans les spécialisations géographiques, commerciales et technologiques des acteurs s'explique notamment par un niveau de technicité toujours croissant et le **besoin de mutualiser certaines dépenses**¹⁵ :

- de recherche amont, par des alliances entre industriels et centres de recherche à l'instar du programme « Nano 2012 » regroupant IBM, ST Microelectronics et le CEA-Léti ;
- de développement de produits, à travers les acteurs *fablite / fabless* (Qualcomm et Broadcom aux États-Unis, ARM en Europe, etc.) ;
- de développement d'investissements de production à travers les fondeurs sous-traitants spécialisés¹⁶.



¹¹ Prix à utilité du produit constante, c'est-à-dire dans le cas du microprocesseur à nombre d'opérations par seconde constant.

¹² Le taux annuel moyen de décroissance des prix dits hédoniques a été de 52,3 % entre 1991 et 1999, contre « seulement » 30,8 % pour les composants mémoire.

¹³ Entre 1979 et 1995, aux États-Unis, le ratio « nombre d'entreprises de design / nombre d'entreprises de fabrication » est passé de 2/23 à 28/56.

¹⁴ Bureau international du Travail, « The production of electronic components for the IT industries: Changing labour force requirements in a global economy », 2007 (<http://www.ilo.org/public/english/dialogue/sector/techmeet/tmiti07/report.pdf>).

¹⁵ Pour chaque saut technologique (de 90 nm à 65 nm puis à 45 nm), la part des logiciels dans le développement augmente respectivement de 30 %, 50 % et 66 %.













¹⁶ Selon l'Association européenne de l'industrie du semi-conducteur (EECA-ESIA), les coûts de conception ont augmenté d'un facteur 10 entre 2002 et 2007, la part des logiciels de conception représentant désormais la majorité des coûts (la productivité du logiciel augmentant d'un facteur 2 tous les 5 ans – contre un facteur 2 tous les 24 mois pour la réduction de la taille des composants et

La chaîne de valeur évolue en permanence à un rythme soutenu ; la valeur ajoutée se déplace vers l'amont et la conception des circuits intégrés¹⁷. Ainsi, après s'être positionnés avec succès au cours des années 1980 sur la fabrication pure de microprocesseurs, les fondeurs asiatiques tentent désormais de capter la valeur ajoutée située en amont en se positionnant sur la conception de microprocesseurs et non plus uniquement sur leur fabrication¹⁸.

Une dégradation des positions de l'industrie européenne

Depuis une quinzaine d'années, bien que premier consommateur mondial de microprocesseurs, l'Europe perd des parts de marché, au profit notamment des pays d'Asie du Sud-Est. Si ce mouvement de basculement de l'activité visant à se rapprocher des clients situés dans les zones en croissance semble inéluctable, la performance des entreprises européennes du secteur s'est fortement dégradée depuis 2005¹⁹. Plus généralement, la figure 3 montre que sur certains secteurs de la chaîne de la valeur, le premier industriel européen reste loin de la première entreprise mondiale.

Figure 3 : Positionnement de l'Europe dans l'industrie du microprocesseur

Position concurrentielle sur la chaîne de la valeur *		Acteurs & données clés					
Aval		Acteur [rang]	Activité	CA (G€)	P. de marché (%)	Employés**	R&D (%CA)
Fabrication	Fonderie (pureplayers)	 TSMC [1]	Généraliste	7,3	52%	22,8	6,4
		 X-Fab [7]	Composants divers	0,28	2%	2,5	6,5
Intégration	Intégration (généralistes)	 Intel [1]	Microprocesseurs pour PC	27,04	80% (PC) – 12% ***	83,9	15,2
		 ST Micro [5]	Microcontrôleurs...	7,04	3,5% ***	51,8	21,9
	Conception (purs fabless)	 Qualcomm [1]	Appareils mobiles	8,02	~19% (ens. fabless)	15,4	20,5
		 ARM [>10]	Vente de licences	0,39	~2% - 30% (embarqués)	1,7	24
Equipements	Procédés de fabrication	 Applied Materials [1]	Généraliste	5,85	NC	14,8	13,6
		 ASML [3]	Gravure par lithographie	2,95	65% (lithographie)	6,8	18,1
	Matériaux	 SUMCO [NC]	Silicium sur isolant	3,11	NC	9,7	2,5
		 Siltronic AG [NC]	Plaques de silicium	1,36	NC	5,4	NC
	Logiciels de conception	 Synopsys [1]	Conception de circuits électroniques par ordinateur	0,95	26%	5,7	29,5
		 MunEDA [NC]		<0,1	NC	<0,1	NC

Amont

* De vert (position forte) à rouge (absence de compétences)

** En milliers de personnes

***Par rapport à l'ensemble du marché des semi-conducteurs

NC : non connu

Source : rapports annuels, IPTS, analyse CAS

Ce tableau présente les principales caractéristiques de l'acteur de premier rang par le chiffre d'affaires, en Europe et hors d'Europe. Il permet ainsi de comparer aisément la position de l'Europe vis-à-vis du reste du monde, pour chaque grand segment de la chaîne de la valeur.

La question du paysage industriel de la fabrication des microprocesseurs à l'horizon 2020 doit ainsi être posée : le succès de la commercialisation des produits grand public (ordinateurs fixes ou portables par exemple) va incontestablement renforcer le positionnement des industriels qui les fabriquent. Dès lors, l'alternative envisageable pour l'industrie européenne est la suivante :

10 mois pour la taille du logiciel embarqué – il a fallu augmenter la taille des équipes de développeurs). De même, la seconde loi de Moore indique que les coûts de production augmentent d'un facteur 2 tous les 4 ans ; ainsi, d'ici fin 2012, Intel va dépenser 5 milliards d'euros pour construire une usine de fabrication pour les technologies de 32 nm.

¹⁷ IPTS, *The future of semiconductor intellectual property architectural blocks in Europe*, décembre 2009 (<http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=2799>). Ce rapport indique que le marché de la conception de circuits intégrés a été multiplié par 4 entre 1999 (0,4 Md €) et 2008 (1,6 Md €).

¹⁸ Alors que la conception de circuits intégrés (CI) faisait partie des priorités du 11^e plan quinquennal et des plans d'aide du gouvernement chinois, le nombre d'entreprises concevant des CI a été multiplié par 5 entre 2000 et 2007 et les Chinois représentent d'ores et déjà la seconde communauté de développeurs pour le compte du leader britannique ARM. Or, si actuellement l'écosystème chinois n'est pas encore suffisamment innovant pour créer des CI – et a fortiori des microprocesseurs – de pointe, plusieurs facteurs pourraient à terme mener à l'émergence d'acteurs de premier plan en Chine : le retour au pays des ingénieurs et scientifiques formés dans les meilleures universités mondiales, le nombre de développeurs de logiciels ou encore une relative homogénéité – en comparaison de l'Europe – dans la taille des entreprises chinoises de conception de circuits. Source : IPTS, *op. cit.*

¹⁹ Au-delà des seuls microprocesseurs, BNP Exane estime que l'ensemble de l'industrie européenne des semi-conducteurs a vu son résultat d'exploitation chuter de 10 % entre 2005 et 2008, contre 4 % pour son équivalent américain.

- soit tenter de **revenir sur le segment des produits de masse** (microprocesseurs de serveurs, ordinateurs personnels, etc.) ;
- soit **se concentrer sur les microprocesseurs dédiés à des applications à fort potentiel** (automobile, gestion de l'énergie, terminaux mobiles, etc.).

Cette dernière branche de l'alternative, outre la dépendance stratégique qu'elle entretient vis-à-vis des microprocesseurs génériques, présuppose que les microprocesseurs dédiés restent compétitifs en termes fonctionnels et financiers au regard de produits génériques, ce qui n'est pas certain.

Pour une stratégie industrielle européenne volontariste

L'Europe compte quelques entreprises majeures comme ST Microelectronics, ARM (conception), ASML (lithographie) ou Silitronic (plaquettes de silicium) ainsi que plusieurs centaines de PME. Mais leur poids relatif s'amenuise et la tendance à la recherche « fabless » se renforce. Ne serait-ce que pour maintenir ses positions, l'Europe doit impérativement renforcer son engagement en faveur de l'industrie des microprocesseurs.

Reconnaître la dimension stratégique et duale de la technologie du microprocesseur

Peut-on fonder durablement une économie, dans laquelle les composants numériques prennent une part croissante et, dans bien des cas, stratégique, sans en maîtriser l'intelligence des systèmes que sont les microprocesseurs ?

À cette question **les États-Unis** répondent sans ambiguïté en réaffirmant dans un rapport²⁰ récent du *Department of Commerce (DOC)* que : « **La capacité de concevoir et de fabriquer des circuits intégrés conditionne la sécurité économique et nationale** ». En particulier, prenant acte de l'externalisation croissante de la production, il souligne qu'« *en matière de sécurité nationale des États-Unis, le principal problème associé à cette diminution de capacité de conception et de fabrication des circuits intégrés est une diminution sensible de la fiabilité des composants utilisés dans les applications critiques. Cette préoccupation recouvre plusieurs dimensions, notamment la qualité de fabrication des composants, la protection de la propriété intellectuelle et l'assurance que les fonctions des composants ne sont pas compromises par des modifications de design effectuées dans un contexte hors de contrôle* ». Termes diplomatiques pour signifier les risques d'altération ou de compromission volontaire des fonctions des microprocesseurs sans qu'il soit possible de les détecter compte tenu de la complexité des circuits.

La Chine partage cette analyse et mobilise d'importants moyens pour remonter dans la chaîne de la valeur et **maîtriser non seulement la fabrication de microprocesseurs dédiés (contrôleurs), mais bien celle de microprocesseurs génériques pour serveurs et ordinateurs**.

Que dire de **l'Europe** qui dépend entièrement, pour les composants les plus élaborés, des approvisionnements externes ? Bien sûr, comme il est décrit ci-dessus, elle est loin d'être inactive en matière de processus d'élaboration des microprocesseurs : elle en **maîtrise à peu près toutes les étapes de conception et de fabrication** et elle a un potentiel humain capable de rivaliser avec les meilleurs. Cependant, elle **éprouve les plus grandes difficultés à traduire ces atouts en projets industriels ambitieux** et à agréger ses forces autour de leaders reconnus. Faute d'une dimension Défense affirmée et d'une reconnaissance du caractère éminemment stratégique²¹ des microprocesseurs, elle ne peut se reposer que sur les forces du marché.

Ainsi, considérant que l'industrie des microprocesseurs génériques lui était, sauf rupture technologique improbable, fermée pour les prochaines décennies, elle a reporté ses efforts sur ce qui était dans un premier temps un sous-produit de l'activité des microprocesseurs, à savoir les microcontrôleurs, pour en faire, avec le développement des systèmes embarqués, une gamme de produits innovants à haute valeur ajoutée tant par leurs fonctions annexes que par la partie processeur. **L'industrie européenne a ainsi particulièrement développé la partie programmation logicielle des microprocesseurs ce qui, au regard de l'évolution et du basculement des coûts logiciels sur la partie matérielle dans la conception de la nanoélectronique, pourrait lui donner un avantage compétitif à terme.**

Cela étant, cette situation ne peut perdurer longtemps sans dommages majeurs pour notre économie. Même s'il est possible d'**envisager de bâtir une société de la connaissance s'appuyant** très largement

²⁰ *Defence industrial base assessment: U.S. integrated circuit fabrication and Design capability*, U.S. Department of commerce, Bureau of industry and security, Office of technology evaluation, mai 2009 (http://www.bis.doc.gov/defenseindustrialbaseprograms/osies/defmarketresearchrpts/bis_ote_ic_report_051209.pdf).

²¹ Une technologie est dite stratégique et de souveraineté si sa détention procure un avantage stratégique ou si sa privation engage la souveraineté de l'État ou du groupe d'États car ne faisant pas l'objet d'une diffusion de masse par des acteurs multiples et n'étant pas maîtrisée par des industriels opérant dans le même contexte juridique. Cette cohérence des règles juridiques et commerciales apparaît être un point majeur. Elle est garantie à l'intérieur d'un État, elle est presque certaine en Europe, elle n'existe pas notamment entre les États-Unis et l'Europe.

sur les outils numériques sans en posséder la maîtrise de ses principaux composants, à savoir les microprocesseurs génériques, l'Europe resterait alors, pour des composants stratégiques quant à leurs performances et intégrité, dépendante de tiers, au prix, de plus, d'un déséquilibre probablement croissant de la balance commerciale. Les microprocesseurs génériques ne sont pas seulement le cœur des ordinateurs individuels mais de tous les serveurs divers et variés, civils et militaires, embarqués ou non. Ils constituent, de même, des éléments centraux du *cloud computing* et des fermes de serveurs associés qu'il est prévu, à juste titre, de soutenir fortement.

Enfin, il est à souligner que les caractéristiques propres de l'industrie du numérique s'appliquent aussi à celle des microprocesseurs : les coûts de conception sont sans commune mesure plus élevés que ceux de reproduction. Cela signifie que la barrière à l'entrée, contrairement aux industries traditionnelles, devient très rapidement considérable. Tout attentisme se paie au prix fort.

Regagner une autonomie européenne et développer une industrie compétitive maîtrisant l'ensemble de la filière

Il est plus que nécessaire de :

- consolider, par tous les moyens, l'industrie européenne, et l'aider à maintenir sa part de marché actuelle en soutenant l'innovation sur ses créneaux d'excellence. C'est l'ambition que se donnent les différentes études²², relayées par les instances nationales et européennes, qui, récemment, se sont penchées sur le devenir de l'industrie de la microélectronique. Toutes prônent l'expression d'une volonté politique et d'une **stratégie industrielle associée à un soutien à l'innovation** et au développement en pointant le handicap lié à la **parité euro-dollar** ;
- engager une vraie **politique européenne d'accompagnement des start-ups** dans leur croissance. Dans ce domaine, comme en général dans l'économie numérique européenne, il existe une dynamique forte de création de petites entreprises particulièrement innovantes et compétitives sur leur créneau, souvent étroit, qui n'ont ni la capacité ni même la volonté de changer de paradigme industriel et qui faute de pouvoir s'adosser ou être intégrées à un grand groupe sortent de l'écosystème européen au profit de régions plus attractives. Les conséquences pour le tissu industriel européen sont d'autant plus graves que ces *start-ups* ont généralement bénéficié d'aides diverses, notamment publiques. Il convient d'affirmer avec force combien le maintien et le développement de ces PME, par des mécanismes financiers d'agrégation (avec l'aide du Fonds stratégique d'investissement, par exemple) et d'adossement (plates-formes communes, pôles de compétitivité, etc.), doivent être une priorité au regard, en outre, de leurs aspects stratégiques. Cet aspect, s'il est régulièrement cité, n'a pas, à notre sens, trouvé suffisamment d'écho au niveau européen.

Cependant, au-delà des actions précédentes, certes indispensables mais essentiellement défensives, il convient de nourrir une véritable ambition sur le long terme afin de regagner une autonomie européenne, et de développer une industrie compétitive maîtrisant l'ensemble de la filière, seule réponse crédible à la hauteur des défis économiques et de sécurité. Une possibilité, compatible avec les règles de l'OMC, serait de **s'appuyer sur des marchés liés au développement de serveurs pour les besoins de sécurité et de défense**, par exemple.

Ces développements permettraient à l'industrie européenne d'exister sur ce créneau et, par ce biais, d'élargir ses activités aux microprocesseurs génériques. Cette politique pourrait se concrétiser par **la création**, voire la reconnaissance, **de deux ou trois pôles de recherche d'excellence sur les microprocesseurs dans l'Union européenne** dédiés non seulement aux nanotechnologies, mais aussi à l'ordonnancement interne des microprocesseurs et à leur programmation. Ils pourraient relever du volet sécurité du programme communautaire de R & D mais aussi des programmes de l'Agence européenne de défense.

À cet égard, la coopération engagée en mars dernier, entre les pôles spécialisés en micro et nanoélectronique de Dresde (Allemagne) et de Grenoble (Minalogic), dans l'objectif de prendre rang dans la concurrence mondiale, constitue un premier pas.

Cette stratégie requiert des investissements conséquents, probablement de l'ordre de dizaines de milliards d'euros sur au moins une décennie, mais sans doute indispensables pour répondre aux enjeux industriels,

²² *Strategic Research Agenda*, ENIAC (2007) (http://www.eeca.eu/data/File/ESIA_Broch_CompReport_Total.pdf) ;

"Mastering Innovation – Shaping the Future", European Semiconductor Industry Association (2008)

(http://www.eeca.eu/data/File/ESIA_Broch_CompReport_Total.pdf);

Recommendations to the European Union and National Governments to Increase Europe's Microelectronic Industry Competitiveness, Semiconductor Equipment and Materials International (SEMI, 2008)

(http://www.semi.org/cms/groups/public/documents/web_content/ctr_026216.pdf) ;

« L'industrie de la microélectronique : reprendre l'offensive », Claude Saunier, OPECST (2008) (http://www.senat.fr/rap/r07-417/r07-417_mono.html).

de sécurité et de défense de l'Union européenne, dont les prérogatives en la matière sont renforcées par le traité de Lisbonne.

Forte de ses positions technologiques et commerciales en microprocesseurs dédiés, l'Union européenne doit veiller impérativement à consolider ses parts de marché en soutenant l'innovation et en menant une politique volontariste d'accompagnement de ses *start-ups*. Dans un domaine qui conditionne sa sécurité et sa souveraineté, elle doit engager une politique ambitieuse visant à regagner une autonomie et à maîtriser l'ensemble de la filière.

Les pistes évoquées demandent à être déclinées, au plus tôt, en actions concrètes planifiées dans le temps et associées à des ressources budgétaires. Ce devrait être l'objet d'un groupe de travail de haut niveau devant être mis en place par la Commission européenne.

Plus largement, ces orientations devraient s'inscrire dans la dynamique de la Stratégie Europe 2020 et témoigner de cette volonté de préparer l'Europe industrielle de demain dans laquelle le secteur des microprocesseurs sera une pièce maîtresse.

> *Pierre-Henry Suet, Jean-Loup Loyer, Joël Hamelin, Dominique Auverlot,
Département Recherche Technologies Développement durable*