

Fuite et circulation des cerveaux : les défis américains et asiatiques

Par Jérôme Fourel¹

Plus de la moitié des entreprises technologiques de la Silicon Valley créées en 2002 l'ont été par des immigrants Indiens et Chinois. Les business-plans présentés en 2003 aux venture-capitalists Américains incluent désormais très souvent la mise en place, dès l'amorçage, de centres de R&D en Inde, Chine ou Taïwan. Après la mondialisation de la production dans la période 1970-1999, la décennie 2000-2010 s'annonce comme celle de la mondialisation du savoir, conduisant à une compétition brutale entre les clusters techno-industriels du monde entier. Les gagnants seront certainement les nouvelles élites américaines et asiatiques, engagées depuis 20 ans dans des logiques très fécondes de co-développement. Y a-t-il aussi un avenir pour les ingénieurs et scientifiques européens, à qui les politiques sociales en Europe ont offert jusqu'ici une protection que la concurrence mondiale en matière de connaissance est en train d'éroder?

Cet article, volontairement provocant, propose une lecture "communautaire" de la mondialisation des "industries du savoir", afin d'illustrer les rapports de force économiques et industriels d'une manière sans doute plus inhabituelle que les lectures "régionales" traditionnelles qui me semblent, en Europe, sous-estimer l'intérêt de relations plus denses avec l'Asie.

Préambule : L'importance des immigrants asiatiques dans le secteur high-tech américain

Le "brain drain" d'immigrants étrangers et asiatiques joue depuis 20 ans une importance de plus en plus forte dans le développement du secteur high-tech aux USA, notamment dans la Silicon Valley:

- 1) Dès 1990, plus du tiers des ingénieurs/chercheurs de la Silicon Valley étaient des immigrants, les deux-tiers d'origine asiatique (en majorité d'origine chinoise et indienne)
- 2) Entre 1985 et 1996, 62% des doctorats en science/ingénierie délivrés aux USA à des étrangers l'ont été à des immigrants Chinois, Taïwanais et Indiens. Sachant qu'aujourd'hui plus de la moitié des doctorats scientifiques délivrés aux USA le sont à des immigrants.
- 3) Au moins 24% des entreprises technologiques de la Silicon Valley créées entre 1980 et 1996 l'ont été par des immigrants Indiens et Chinois. Ces pourcentages sous-estiment le niveau d'entrepreneuriat des élites immigrantes pour 2 raisons: (i) Ils n'incluent pas les sociétés fondées par des Indiens ou Chinois, mais dont le PDG est non-asiatique. (ii) le financement par du capital risque était souvent lié à la condition suivante: "hire non-Asian Senior Executives"
- 4) De nombreux témoignages conduisent à penser **qu'en 2002 au moins 50% des start-ups technologiques de la Silicon Valley ont été créées par des immigrants asiatiques.**

Table 1. Pourcentage des start-ups de haute technologie de la Silicon Valley dirigés par des Indiens et Chinois

1980 - 1984		1985 - 1989		1990 - 1994		1995 - 1998	
Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%

¹ Jérôme Fourel est co-fondateur et président du groupe X-Asie (réseau Asie des Anciens Elèves et des Elèves de l'X), entrepreneur, avec plus de dix ans d'expérience à Taïwan, au Japon et en Californie. Egalement co-fondateur et co-animateur d'AAEGE-Asie (réseau Asie des Anciens Elèves et des Elèves des Grandes Ecoles), regroupant aujourd'hui plus de 1,500 personnes d'une quinzaine d'Ecoles.

Indiens	47	3	90	4	252	7	385	9
Chinois	121	9	347	15	724	19	809	20
Autres	1,181	88	1,827	81	2,787	74	2,869	71
Total	1,349	100	2,264	100	3,763	100	4,063	100

Il y a de nombreuses success stories asiatiques au sein de la Silicon Valley :

(a) La plus emblématique: Vinod Khosla, d'origine indienne. Son parcours :

- Education : IIT (Indian Institute of Technology)-Delhi, MS Engineering Carnegie-Mellon, MBA Stanford
- Co-Fondateur de Sun Microsystems
- General partner dans le fonds de capital-risque Kleiner Perkins Caufield & Byers. Principales affaires : Juniper Networks, Extreme Networks, Cerent
- Classement "Midas" des "tech's best venture investors" : No. 1 (2001), No. 2 (2002)

(b) Le créateur du Pentium est Vinod Dham, un autre brillant ingénieur/entrepreneur d'origine indienne, retourné mi-2002 en Inde pour lancer quatre start-ups indo-américaines (R&D en Inde, Sales & Marketing aux USA)

(c) Du côté des entreprises du secteur réseaux (une des deux grandes filières d'investissement des VCs durant les années 1990), une large partie des sociétés d'ingénierie a été co-fondée par des entrepreneurs d'origine indienne (souvent VP Engineering) et chinoise.

En dépit de l'éclatement brutal de la bulle télécoms aux Etats-Unis, et du retournement de l'économie dans les années 2000-2002, la dynamique d'innovation de ces entrepreneurs asiatiques ne s'est pas atténuée, au contraire : elle s'est en revanche mondialisée, ce qui rend la traçabilité des évolutions du secteur beaucoup plus difficile. Cette mondialisation peut se diviser en plusieurs phases:

- 1985 – 1995: mondialisation de la fonction de production pour les TIC
 - co-développement de l'industrie informatique/électronique de la Silicon Valley et des clusters taïwanais de sous-traitance de production d'équipements électroniques ("modèle OEM" d'externalisation)
- 1995 – 2005: mondialisation de la fonction R&D
 - co-développement de l'industrie informatique/électronique de la Silicon Valley et des clusters taïwanais de sous-traitance de développement (R&D) d'équipements électroniques ("modèle ODM" d'externalisation)...et déplacement de la production vers les clusters chinois
- 2000 – 2010: mondialisation des fonctions de production, R&D, services
 - co-développement de l'industrie de semi-conducteurs de la Silicon Valley et du cluster taïwanais de semi-conducteurs
 - co-développement de l'industrie software de la Silicon Valley et des clusters indiens de sous-traitance de l'industrie software, puis des clusters de sous-traitance de services ("offshoring")
 - co- développement de l'industrie mondiale et de l'industrie chinoise? Pour mémoire, la Chine représentait 1% du commerce mondial en 1990, 5% en 2002.

"Ce que nous avons vu durant les dix dernières années n'est rien au regard des dix à venir" -- Vinod Khosla

1985 –1995 : la première mondialisation de la Silicon Valley - l'équation taïwanaise de la Silicon Valley du côté "production de systèmes" [OEM]

La décision d'IBM d'autoriser la fabrication de clones de son PC aux débuts des années 1980 a permis la standardisation d'un des produits-clés de la micro-informatique, et entraîné par ricochets une révolution de l'industrie informatique:

- la destruction du *business-model* traditionnel d'intégration verticale de 'systèmes propriétaires': en l'espace de quelques années, ce modèle (et ses géants: NCR, Bull...) a été balayé par un écosystème de 'systèmes ouverts' beaucoup plus complexe et dynamique, incluant des distributeurs, des intégrateurs-systèmes, des assembleurs, etc.
- l'apparition d'un véritable jumeau de la Silicon Valley à Taïwan, un cluster d'entreprises technologiques dont le business model est l'OEM (Original Equipment Manufacturer): ils fabriquent, à la demande des grands "marketeurs" internationaux (Dell, HP, 3Com, Toshiba...), des équipements informatiques.

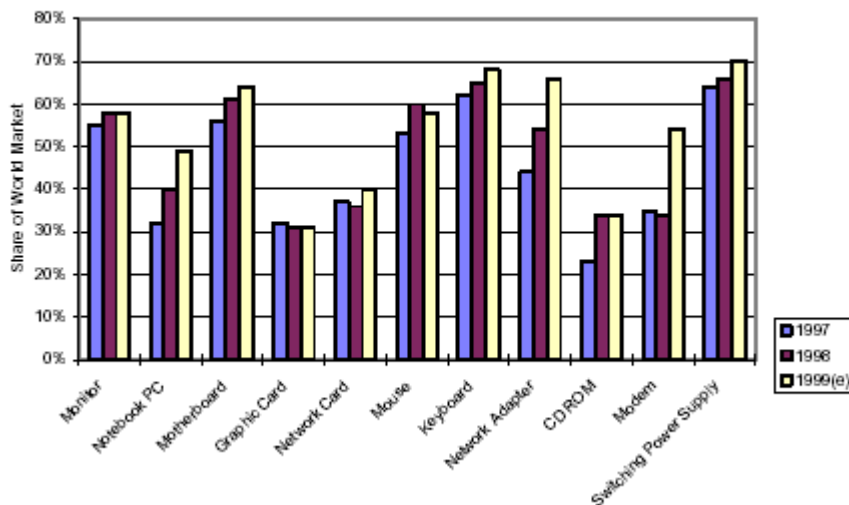
Ces clones taïwanais de la Silicon Valley sont un acteur essentiel de la commoditisation et dés-intégration du secteur informatique, permettant d'accélérer le développement de marchés de masse. Cas d'école: Quanta et Compal, les 1ers fabricants mondiaux d'ordinateurs portables (mais fabricants aussi de téléphones cellulaires), qui fournissent des équipements à tous les grands "marketeurs", notamment Dell, avec lequel ils ont grandi au même rythme. Les clusters OEM ultra-compétitifs de Taïwan sont devenus aujourd'hui:

- le point central de la production, concentrant 50% à 80% de la production des équipements informatiques et électroniques (PCs, scanners, imprimantes, PDAs, etc.) pour le compte des "marketeurs"
- un marché-clé pour tous les concepteurs de semi-conducteurs, car les géants OEM taïwanais sont de très importants clients

Le cluster "OEM/hardware" de Hsinchu compte aujourd'hui plus de 500 entreprises et pèse plus de 30 Mds\$. Tout un chapelet de parcs (chacun avec un focus différent) ont depuis été mis en place entre Hsinchu et Taipei : les 2 clusters de la banlieue de Taipei (Nehu : telecom; Nangang : software) pèsent aussi à eux seuls 25 Mds\$.

Table 1:

Market Share IT Manufacturing, Taiwan, 1997-1999



(Source: MIC)

Plus que le coût, l'avantage-clé de ces clusters taïwanais réside dans leur vitesse, qualité et flexibilité, avantage de plus en plus important dans un environnement, où les temps de cycle sont de plus en plus courts, et les délais de mise sur le marché un facteur compétitif déterminant.

Comment un petit pays (24M ha) a-t-il pu créer en 20 ans un des plus importants clusters high-tech au monde, si étroitement imbriqué à la Silicon Valley? Les 3 facteurs-clés dans le décollage de l'industrie électronique à Taïwan sont, en résumé:

1. une politique industrielle visionnaire de l'Etat taïwanais, qui a su mettre en place dans les années 70s-80s tous les ingrédients 'environnementaux' du succès:

- (i) mise en place à Hsinchu en 1973 de l'ITRI (Industrial Technology & Research Institute), un institut dont sont sortis de 30 à 50% des dirigeants/chercheurs de l'industrie locale, avec des programmes ciblés en électronique, semi-conducteurs, visant explicitement à un transfert de travaux de recherche appliquée vers l'industrie (spécifiquement les PME) dans un horizon de 5 ans
- (ii) mise en place en 1980 du parc "Hsinchu Science-Based Industrial Park" (HSIP) (avec le cocktail "classique" de mesures fiscales, etc.). Ce parc est largement inspiré du "Stanford Industrial Park" lancé après la 2nde guerre mondiale par le père de la Silicon Valley, Frederick Terman (alors Dean of the School of Engineering at Stanford University)
- (iii) mise en place d'une industrie locale de capital-risque
- (iv) mise en place de grandes universités techniques, fournissant la main d'oeuvre technique qualifiée, notamment : National Chiaotung University (No. 2), Qinghua University (No. 3), localisées à Hsinchu

2. une classe d'entrepreneurs taïwanais, extrêmement dynamique et aggressive, qui a su développer **un tissu extrêmement co-opétitif d'entreprises privées locales de petite et moyenne taille, avec une large variété de business-models** (acteurs spécialisés de niche, petits conglomérats, distributeurs, etc.), et **extrêmement ouverts vers l'international** (par nécessité, vu la petitesse du marché local)

3. une politique pro-active dans les années 1980s du gouvernement et des entreprises pour inciter au "retour au pays" de l'élite taïwanaise

Alors que les mesures structurelles de "construction du squelette" indiquées en (1) ont été implémentées dans un vaste nombre de pays, le gouvernement taïwanais a compris que rien ne marcherait sans:

- l'apport de "muscles" (2). A ce titre, bien que l'Etat ait un rôle initiateur important, la culture de Hsinchu est la même culture entrepreneuriale, extrêmement brutale et compétitive ("dog-eat-dog"), que la Silicon Valley: c'est une vraie réplique.
- l'apport de "sang neuf", via (3)

Pays encore sous-développé dans les années 70s, ne disposant que d'une industrie de biens intermédiaires de bas niveau (textiles, parapluies, montres, plastique...), mais disposant d'une élite intellectuelle bien éduquée, Taïwan a été une des premières "victimes" du brain drain vers les Etats-Unis : faute d'opportunités locales, les graduates de National Taiwan University (NTU), la meilleure université taïwanaise, sont allés, dans leur grande majorité, étudier aux Etats-Unis (notamment dans les universités d'élite, type Stanford), évidemment du cote de l'ingénierie (voie idéale de promotion sociale pour des immigrants), avant bien sûr d'entamer de brillantes carrières au sein de l'industrie technologique américaine, notamment dans la Silicon Valley.

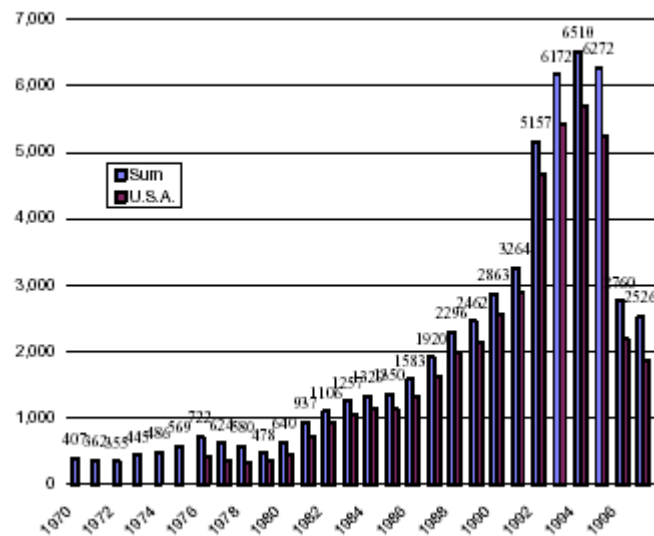
L'équation "coût/opportunité" a ensuite commencé à changer pour ces émigrants:

- (a) Au début des années 1980, l'apparition de l'industrie des "clônes PC" a permis l'amorçage de l'industrie taïwanaise du PC, bénéficiant d'un avantage-coût, d'une

- population d'ingénieurs électroniques qualifiés et de relations privilégiées avec les ingénieurs des entreprises informatiques américaines...souvent d'origine taïwanaise. Très compétitifs, mais demeurant au stade 'production bas-de-gamme'.
- (b) Durant les années 1980, alors que l'industrie taïwanaise s'affirmait comme un leader du modèle OEM le gouvernement et les industries locales ont adopté une politique proactive d'attraction des élites taïwanaises, via notamment des incitations financières et structures sociales (associations d'émigrants, écoles bilingues, etc.). Cependant, l'économie locale n'était pas encore assez développée, ni le "ceiling glass" assez proche pour convaincre les élites migrantes de revenir.
 - (c) Au début des années 1990s, la transition se fit enfin au rythme d'environ 350 "returnees" par an : extrêmement qualifiés, avec plus de 10 ans d'expérience dans la Silicon Valley, les compétences techniques et organisationnelles, le savoir-faire managérial, l'expérience entrepreneuriale et la connection avec les marchés high-tech les plus innovants au monde, ceux des USA.

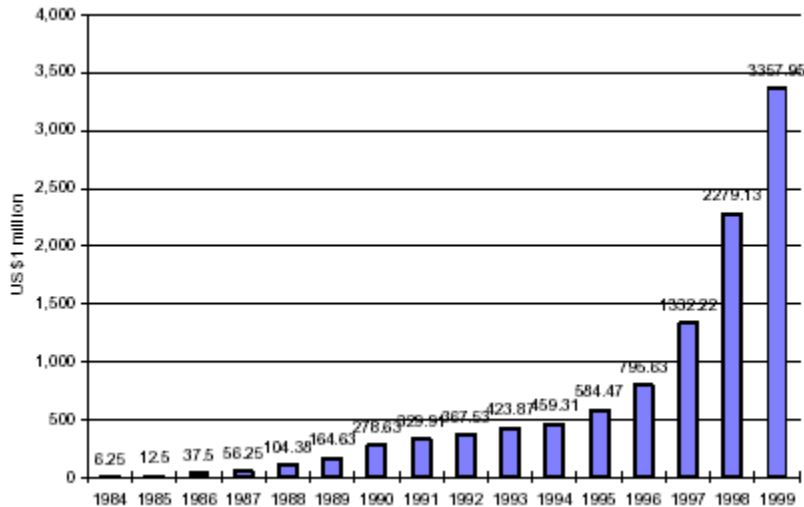
Ces quelques 2,500 "returnees" ont eu un impact considérable, étant à l'origine de la création de plus de 40% des entreprises du Hsinchu Science Park dans les années 1990 [Ce parc pesant en 2000 près de 30Mds\$, le retour sur investissement de chacun de ces returnees est donc très grossièrement de l'ordre de 12,5M\$ par tête. Estimation probablement bien en deçà de la réalité car Hsinchu Science Park n'est qu'un des nombreux parcs high-tech de Taïwan, même s'il demeure le plus gros]. Le décollage de la population des "returnees" dans les années 1990 a coïncidé avec une soudaine explosion des ventes de Hsinchu Science Park, et une croissance très rapide des investissements en capital-risque: cela suggère très fortement que ces "sang neuf" venu de Silicon Valley a été aussi important, sinon plus, au succès du secteur high-tech taïwanais durant les années 1990s que ces éléments structurels (parcs, capital-risque).

Table 2 – Nombre de "Returnees" depuis les Etats-Unis à Taïwan: 1970 – 1997



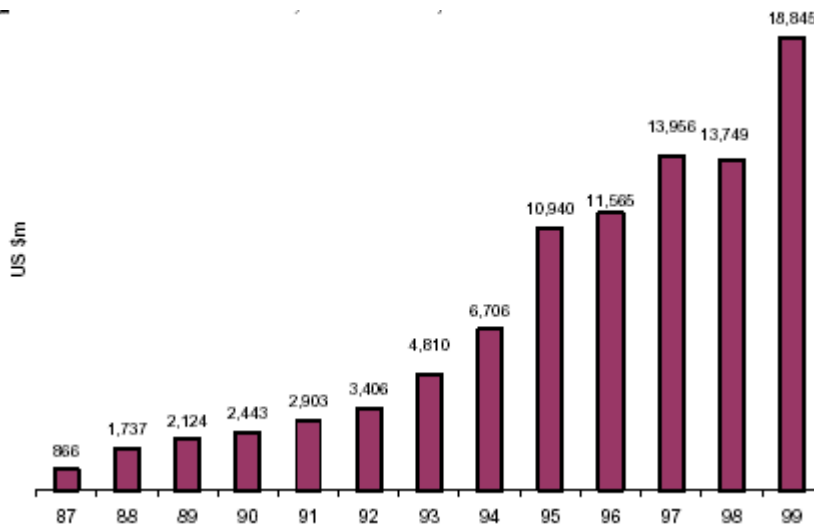
Source: National Youth Commission, Taiwan

Table 3 – Volume cumulé des investissements de capital-risque à Taïwan: 1984 – 1999



Source: TVCA, Venture Capital in Taiwan

Table 4 – Hsinchu Science Park, ventes annuelles: 1986 – 1999



Source: Science Park Administration, HSIP

Cette arrivée de “sang neuf”, bi-culturel, a en effet entraîné plusieurs cercles vertueux:

- Professionalisation du management des entreprises locales (via infusion de compétences adéquates au niveau managérial et entrepreneurial, “Silicon Valley-like), essentielle à la croissance d’entreprises devenues grandes et complexes [Taiwan compte désormais des dizaines d’entreprises high-tech de taille 500M\$ - 5 Mds\$]
- Développement d’une industrie de capital-risque de premier ordre [Taiwan comptait en 1999 153 firmes de capital-risque, ayant investi plus de 1.08 Mds\$ dans des sociétés high-tech, ce qui la met au rang de l’industrie israélienne du capital-risque...et juste derrière celle de la Silicon Valley]
- Accès privilégié, rapide, aux technologies et aux marchés de la Silicon Valley...et au top-management des entreprises de la Silicon Valley, rendant désormais possible des partenariats plus poussés

- ‘Montée en gamme’ technologique de l’industrie taïwanaise depuis le modèle OEM jusqu’au modèle ODM (au niveau systèmes), et vers la conception de semi-conducteurs (étape technologique clé, concentrant une part toujours plus importante de la valeur de toute la chaîne du secteur high-tech)

1995 – 2005 : la deuxième mondialisation de la Silicon Valley - l’équation taïwanaise de la Silicon Valley du côté “conception de systèmes” [ODM]

A partir de 1995, le modèle OEM de sous-traitance de la production à des assembleurs taïwanais s’est tellement généralisé que les grands marketeurs (HP, Dell, 3Com, etc.) ont transféré de plus en plus de responsabilités à leurs partenaires taïwanais : s’est ainsi mis en place le modèle ODM (Original Design Manufacturing), dans lequel le partenaire ODM prend en charge tout le processus de développement de nouveaux produits, incluant les phases de conception, d’ingénierie, de production, de gestion des stocks et de logistique mondiale. Modèle win-win permettant :

- Au marketeur (américain ou japonais) de se focaliser sur le développement et marketing des produits plus haut-de-gamme, tout en conservant la distribution des produits de masse, conçus par le partenaire ODM
- Au partenaire ODM de permettre le ‘cost-down’ et réduction des temps de développement² des équipements de 2nde génération, permettant de créer ainsi des marchés de masse

Du point de vue du client final, ces partenariats ont été extraordinairement utiles, car ils ont permis la propagation en un temps record de technologies-clés au niveau informatique/communications :

- Ethernet / LAN dans les années 1990s³
- PC dans les années 1990s, et aujourd’hui les portables
- ADSL/haut-débit dans les années 1990s, et aujourd’hui le WiFi
- ...et la plupart des technologies informatiques/électroniques qui ont réussi

Cette logique de partenariat ODM, développée initialement par les acteurs de l’informatique, se généralise à tous les pans de l’industrie électronique et télécoms. Pour ne citer que quelques exemples :

- Dell et HP font à la fin 2003 leur rentrée dans le marché de l’électronique grand public (MP3 players, LCD-TV, etc.) via recours à des partenaires ODM taïwanais (Lite-On et Amtran Technology, pesant chacun quelques milliards).
- Dans le segment “LCD-TV” (en cours d’explosion), le Taïwanais BenQ (via sa filiale optoélectronique AU Optronics) est le No.3 mondial (12%) en parts de marché derrière LG Philips (22%) et Samsung (19%).

² Typiquement, les temps de développement sont divisés par deux (de 1 an à 6 mois) – en tout cas pour les produits déjà relativement standardisés. Cela est dû largement, à la dynamique du cluster polyvalent qui permet un processus d’accrétion des savoir-faire, dans une atmosphère de type “rice cooker” très différente de celle de nombre de centres de R&D occidentaux ...

³ Exemple dans le secteur réseaux: Accton Technology a internationalisé sa clientèle au début des années 1990, via notamment le recrutement d’un “returnee” avec une très grande expérience des ventes internationales. La signature d’un des premiers partenariats ODM avec la société 3Com a résulté (i) pour 3Com, dans des ventes supérieures à 1 Mds\$, en faisant un leader dans le secteur réseaux du côté PME (ii) pour Accton, dans une accélération de sa transformation en leader technologique du segment “networking ODM”

- La division “Home-Networking” de Microsoft, pesant déjà près d’un milliard (avec seulement 300 personnes aux USA) réalise une partie très importante du développement et de la production à Taïwan et en Chine. Tous les produits WiFi sont notamment “ODM-isés” par Accton Technology, un des pionniers et leaders du “networking ODM” à Taïwan.
- En 2001, de l’ordre de 5 à 10% des 400M de téléphones portables ont été OEM-isés (notamment par BenQ, Compal), mais 40% devrait être ODM/OEM-isé d’ici 2005.

Derrière cette logique industrielle se cache une symbiose complète entre la Silicon Valley et Hsinchu :

- a) Complémentarités stratégiques: la Silicon Valley multiculturelle demeure le centre de l’innovation haut-de-gamme, tandis que Hsinchu peut adapter et commercialiser plus rapidement des technologies développées ailleurs
- b) Echanges permanents, de haut niveau, entre les ingénieurs, équipes de marketing, dirigeants américains et taïwanais. Les transferts tacites de connaissances sont constants, et requièrent une vie d’”astronautes” pour bon nombre des personnes-clés de chaque côté du Pacifique
- c) La logique de “réduction du temps” est telle que désormais tous les géants américains (Dell, HP, Intel) ont désormais mis en place à Taïwan des R&D Centers, afin de pouvoir suivre le rythme fou des temps de cycle (< 6 mois) et de coût.

Derrière cette symbiose se cachent trois facteurs-clés de succès:

- 1) Facteur **humain** : **présence d’une communauté transnationale, composée d’une élite entrepreneuriale, technique et managériale “américano-taïwanaise”**, aussi à l’aise aux USA qu’à Taïwan qu’en Chine.
- 2) Facteur **géographique** : **importance critique des connections inter-clusters dans une économie de plus en plus mondialisée**. L’intégration aux réseaux globaux de la chaîne de valeur high-tech est un avantage-clé. Notamment la connection avec les clusters chinois de production est ainsi critique pour la compétitivité des sociétés industrielles taïwanaises, dont plus de 80% des usines sont désormais implantées en Chine.
- 3) Facteur **“innovation”**: l’intégration à la “mère de tous les clusters”, la Silicon Valley, est aussi un avantage considérable, car il permet d’identifier rapidement et répondre aux opportunités, à l’innovation technologique et aux co-opérateurs potentiels.

Le facteur à mon avis le plus important en termes compétitif sur le long terme, mais aussi le plus difficile et le plus long à bâtir est le premier : comment bâtir des réseaux transnationaux, bottom-up, entre les élites de la Silicon Valley, les clusters asiatiques...et les clusters européens, très absents hélas de ces échanges.

A titre personnel, pour l’avoir expérimenté en tant qu’immigrant dans la Silicon Valley taïwanaise, je partage pleinement les remarques suivantes d’AnnaLee Saxonian, spécialiste de ces questions de “communautés techniques transnationales”:

“

In the current era, this entrepreneurial and bottom-up construction of long distance professional and business ties may prove to be as important as the global connections created by multinational corporations. This suggests that the multinational corporation may no longer be the preferred organizational vehicle for transferring knowledge or personnel across national borders.

Transnational communities provide an alternative and potentially more flexible and responsive mechanism for long distance transfers of skill and know-how—particularly between very different business cultures.

“

Taiwan a ainsi su substituer au “brain drain” une “brain circulation” à l’origine d’un des plus grands succès en termes de développement industriel et technologique⁴. Ce succès du “brain circulation” et “co-développement inter-clusters” se poursuit aujourd’hui à Taiwan au niveau de l’industrie des semi-conducteurs, et est émulé actuellement de manière accélérée par les nouvelles élites indiennes et chinoises.

2000 – 2010 : la troisième mondialisation de la Silicon Valley- l’équation chinoise et indienne de l’économie mondiale du savoir du côté “industries” et “services”

Le “business model” taïwanais de co-développement via des communautés transnationales n’aurait guère d’intérêt, si l’histoire économique n’en démontrait pas la portabilité à d’autres industries et à d’autres communautés. Il est trop tôt pour en juger, mais il semblerait que les nouvelles élites indiennes et chinoises soient en train d’appliquer à la lettre depuis 10 ans le “business model” taïwanais, avec les différences suivantes:

- Les élites indiennes et chinoises ont une taille (en quantité et en qualité) globalement bien plus importantes que l’élite taïwanaise issue d’un pays de 24M de personnes
- Les élites indiennes et chinoises couvrent tout le spectre des savoirs, de l’informatique à l’aéronautique, des biotechnologies aux sciences du management et de l’économie, et toute les secteurs économiques [industries low-tech/mid-tech/high-tech ; industries de grands systèmes et industries de composants ; services]
- La Chine est d’ores et déjà une puissance industrielle majeure, avec un marché intérieur déjà large, et avec la capacité et la volonté de définir ses propres standards industriels et technologiques (c’est déjà le cas pour la téléphonie de 3^{ème} génération)

Il est impossible de faire en 2003 une synthèse sur l’avenir des clusters indiens et chinois (en phase d’émergence et de transformation rapide) mais voici ci-dessous une liste de faits fondamentaux et quelques prévisions, d’ordre quantitatif et qualitatif:

(1) Nombre d’étudiants en sciences et ingénierie:

	Bachelor’s [undergraduate-level]		Master’s and PhDs [graduate-level]	
	1989	1999	1989	1999
Chine	127.000	322.000	19.000	41.000
Inde	165.000	251.000	64.000	63.000
Philippines	40.000	66.000	255	937
Mexique	32.000	57.000	340	63.000
USA	196.000	220.000	61.000	77.000

(source: National Science Foundation; Business Week)

⁴ Pour en savoir plus sur l’ ”équation Silicon Valley – Hsinchu”, je conseille la lecture de:

[1] "The Silicon Valley - Hsinchu connection: Technical Communities and Industrial Upgrading", AnnaLee Saxonian

[2] “Taiwan’s Hsinchu Region: Imitator and Partner for Silicon Valley”, AnnaLee Saxonian

Nombre total de diplômés d' "advanced research degrees" en 2000 dans l'OCDE: 147.000 (source: OCDE)

Une lecture 'géographique' de ces chiffres indique déjà d'un point de vue quantitatif que l'Inde et la Chine [résumé par "I+C" ci-dessous, avec un sens territorial ou ethnique suivant le contexte] ont individuellement la même masse critique que les USA. Qualitativement, on rétorquera que les 77,000 étudiants américains font de l'"innovation" et ont une puissance bien plus forte que les 104,000 étudiants "I+C" qui font de l'"implémentation".

Une lecture "communautaire" du nombre d'étudiants "I+C" au niveau mondial donne cependant un déséquilibre des rapports de force...en faveur du côté asiatique :

- 1) Les Américains "natifs" ne comptent pour guère plus que 50% des doctorants scientifiques américains et sans doute guère plus de 70% des étudiants en Master's. Donc moins de 53,000 étudiants de niveau "graduate". Une proportion infime de ces étudiants parle et pense en chinois, les rendant sous-adaptés à l'implémentation de relations techniques de long terme avec Greater-China.
- 2) Les immigrants asiatiques aux Etats-Unis comptent pour au moins 30% des doctorants, et sans doute 20% des étudiants en Master's. Ce qui rajoute environ 15,000 étudiants "I+C" parfaitement biculturels, et parfaitement capables de travailler avec leurs 104,000 homologues en Asie.⁵

(2) Chiffres-clé de la R&D

Source: OECD's Science, Technology and Industry (STI) Scoreboard 2003

Dépenses de R&D (2001):

Rang	Pays	Dépenses R&D en 2001 (US\$)
1	USA	US\$282bn
2	Japon	US\$104bn
3	Chine	US\$60bn
4	Allemagne	US\$54bn
Top 10	Inde	US\$19bn
	Brésil, Russie, Taïwan	Comparable aux autres pays du G7 et à la Corée

Equilibres OCDE / non-OCDE:

- Principaux pays non-OCDE : 17% des dépenses mondiales de R&D
- Part des principaux pays non-OCDE dans l'innovation: 1.5% du nombre mondial de brevets vs. > 95% pour les pays de l'OCDE

Nombre de chercheurs (2001):

Rang	Pays	Nombre de chercheurs
1	USA	1.300.000
2	Chine	743.000
3	Japon	648.000

⁵ Mon expérience personnelle à Stanford, et celle de nombreux amis du MIT, Berkeley, etc. semblent indiquer que, dans les filières les plus prestigieuses d'ingénierie (Electrical Engineering, et Computer Science), la domination numérique (voire qualitative) des étudiants asiatiques (et ceux venus des pays émergents), issus des meilleurs rangs des meilleurs départements des meilleures universités de leurs pays d'origine (Tsinghua-University/Beijing, IIT/Inde, Univ-Téhéran, tc.) sur les étudiants "Blancs" est déjà une réalité depuis au moins 8 ans...

Une lecture ‘géographique’ indique déjà l’émergence au niveau “développement” de l’Inde et de la Chine.

Une lecture ‘communautaire’ de l’innovation, prenant en compte le fait qu’aux USA la recherche (en université et en entreprise) est *de facto* dominée par de nombreux jeunes immigrants venus de pays émergents et notamment I+C⁶, donne une lecture très différente des rapports de force à venir entre les USA et I+C, surtout si le “reverse brain drain” venait à se produire pour les Indiens et les Chinois. Or, tout indique que ce phénomène a déjà commencé, et s’est en fait accéléré depuis 2001 sous l’effet concomitant de trois événements quasi-simultanés:

- 1) **Géopolitique**: raidissement post-9-11 des Etats-Unis, notamment vis-à-vis des étudiants et travailleurs “F-1” étrangers. Montée en puissance des nationalismes des jeunes élites indiennes et chinoises.
- 2) **Economique**: la crise économique américaine et la maturation de l’industrie high-tech donnent un poids critique aux paramètres “coût” et “time-to-market”. D’où purge de masse des “white-collars” occidentaux (déjà effective aux USA, moins amorcée en Europe) et délocalisation accélérée vers des pays à bas- coût, non seulement des fonctions de bas-niveau (manufacturing, back-end services), mais aussi des fonctions de haut-niveau (R&D, Business Process Management, analyse financière, etc.).
- 3) **Communautaire**: de nombreux éléments laissent à penser que les termes de l’équation “coût/opportunité” sont en train de changer pour les immigrants I+C, arrivant aujourd’hui à l’âge de maturité et l’âge des choix, comme leurs homologues taïwanais il y a 10-15ans:
 - Du côté américain, la prise de conscience du déplacement structurel vers l’Asie de la chaîne de valeur se fait. Les business-plans présentés en 2003 aux venture-capitalists Américains incluent désormais très souvent la mise en place, dès l’amorçage, de centres de R&D en Inde, Chine ou Taïwan. Fruits de décisions opportunistiques en 2001-2002, ces délocalisations se font aujourd’hui pour des raisons stratégiques: l’exploitation des ressources asiatiques et des marchés asiatiques est devenu critique.⁷

⁶ Sans pouvoir extrapoler sur d’autres industries, ayant travaillé au sein d’un ODM taïwanais de l’industrie des communications/réseaux (Accton) et d’une société taïwanaise de conception de puces du côté WiFi, j’ai interfacé en continu avec une cross-section assez large de l’industrie high-tech américaine, au niveau “marketeurs” (Sun, 3Com, Cisco, HP, Dell, etc.), ODM/OEM et communications chip-vendors (Intel, Broadcom, Marvell, sans parler de plus de 80 start-ups de 10+ pays: USA, Japon, Corée, Israël, Inde, Irlande, France, etc.):

(i) côté ingénierie, la majorité des "system architects" que j’ai croisés dans des grands groupes américains et les start-ups était d’origine...indienne. La démographie de la R&D d’Intel est particulièrement éclairante: de 20 à 30% des équipes de R&D est d’origine indienne, mais mon expérience personnelle me laisse à penser que la proportion est nettement plus forte pour la tranche 25 - 35 ans. Conséquence de cette démographie, le titre "IIT" bénéficie dans la Valley d’un prestige, que les Grandes Ecoles françaises auront bien du mal à conquérir.

(ii) côté management, l’"ethnisation" de la Valley se ressent également, en tout cas du côté hardware : qui dit fondateurs d’origine taïwanaise dit forcément une partie plus notable du management d’origine taïwanaise, en tout cas du côté 'back-end' (engineering manager, product manager, etc.). A titre anecdotique, que je me retrouve à Hsinchu, San Jose, Boston ou Redmond, chez des géants du secteur ou dans des start-ups, lorsque je suis dans des meetings techniques, je suis en général toujours une minorité ethnique face à mes homologues indiens et chinois! Et, des 2 côtés du Pacifique, la maîtrise du chinois s’avère très utile pour pouvoir suivre de bout en bout toutes les discussions...

⁷ A titre anecdotique, j’ai interagi depuis 2 ans avec la quasi-totalité des acteurs, au niveau semi-conducteurs, d’un secteur très “chaud”, le WiFi. Notamment une 20aine de start-ups (taille typique: 20 ~ 100 personnes, 80% d’ingénieurs d’élite), dont les deux-tiers sont bi-nationales: R&D dans un pays combinant {bons ingénieurs, bas-coût} [Taïwan, Israël, Corée, Grèce, etc.]. La plupart des start-ups purement américaines ont aujourd’hui disparu (2 acquises par des géants, les autres en faillite) – seuls celles présentant une vraie différenciation technologique, sur le très haut de gamme, peuvent avoir un retour

- L'explosion et montée en gamme des clusters high-tech de Bangalore et de Hyberdad du Sud de l'Inde est avérée depuis 3 ans : un scénario relativement similaire au scénario taïwanais se déroule, à la différence que la spécialisation se fait à d'autres niveaux de la chaîne de valeur, les points forts étant actuellement les services (administration – "business process outsourcing"), les logiciels, les bases de données de propriété intellectuelle critiques pour la conception de semi-conducteurs. Il se met en place un écosystème complexe, mêlant {filiales de grands groupes occidentaux, sociétés autochtones très entrepreneuriales (comme Infosys, Wipro, Reliance Group), start-ups bi-nationales} et {"returnees" de la Silicon Valley, entrepreneurs autochtones}
- Du côté chinois, il semblerait que la montée en gamme au niveau de l'industrie high-tech se fasse à la fois via les multinationales (52,7Mds\$ investis en Chine au cours de la seule année 2002) et via la "filiale taïwanaise" (Taïwan aurait investi un stock de capital supérieur à 100 Mds\$ en Chine), et peu encore via les "returnees", le brain drain vers les USA étant toujours d'actualité. Mais les autorités de Beijing s'inspirent visiblement de la "leçon taïwanaise" de "brain circulation", et le point de retour des "returnees" de la Silicon Valley (et d'ailleurs) semble proche⁸ : sauf crise économique majeure (toujours possible) la période 2005-2015 devrait être la véritable période de décollage des clusters chinois, si j'en crois les entrepreneurs taïwanais (dont déjà 1 million vivent dans la région de Shanghai)

(3) Le développement de la délocalisation : état des lieux et prévisions

La désintégration des chaînes de valeur, par délocalisation non seulement de la production mais aussi des fonctions avancées, est probablement une tendance structurelle irrémédiable, et au final positive pour tous les acteurs (après une phase de transition).

Quelques annonces de délocalisations durant l'été 2003:

Société	Nb. Travailleurs & Pays	Type de travail délocalisé
---------	-------------------------	----------------------------

sur investissement positif. Le marché des puces WiFi de 1^{ère} génération (802.11b, 11Mbps), totalement commoditisé, est (hormis le cas des "ordinateurs portables" avec les puces Centrino d'Intel) le théâtre d'une compétition brutale entre Asiatiques: compétition entre 7 sociétés taïwanaises (start-ups et acteurs de taille moyenne) du côté modem; des sociétés taïwanaises, coréennes du côté radio. Les acteurs occidentaux conquièrent les marchés de 2^{nde} génération (802.11g, 54Mbps) et de 3^{ème} génération (802.11a/b/g), sachant que les acteurs taïwanais arriveront sur le marché 802.11g fin 2003 (moins de 6mois - 1an derrière les acteurs américains), dont la commoditisation est déjà sévère. Cette co-opétition féroce (il y a aussi de nombreux partenariats entre acteurs occidentaux et asiatiques) engendre une grande diversité de choix et une chute rapide des coûts, permettant l'explosion du marché WiFi.

⁸ Un article du 6 Novembre 2003 de *The Economist* indique le rôle-clé que les dirigeants politiques chinois attendent du retour de ces élites migrantes (surnommées "tortues de mer" en Chine). Le Président Chinois Hu Jintao a ainsi accueilli récemment à bras ouverts dans le prestigieux Grand Hall du Peuple du Congrès chinois 4 000 "returnees". La Chine compte sur les talents de cette élite éduquée en Occident pour "réaliser la grande réjuvenation de la nation chinoise". Même si le brain drain continue (parmi les 600 000 étudiants partis à l'étranger depuis 25ans, seuls 160 000 sont revenus), le nombre de "returnees" augmente, passé de 9 000 en 2000 à près de 18 000 en 2002. La contribution intellectuelle et économique de ces élites est gigantesque: simplement à Beijing, il y a déjà 3 300 entreprises créées par des "returnees", notamment quelques-unes des plus grandes sociétés privées de Chine comme Sohu.com (le 2^{ème} portal chinois, créé par Charlese Zhang, un Ancien doctorant en physique du MIT – et dont le directeur général actuel est un de mes camarades de promotion en Electrical Engineering à Stanford...) et UTStarcom, un équipementier télécoms/réseaux. Le gouvernement chinois a également ouvert plus de 70 parcs scientifiques à l'usage des ces "returnees" – notamment le parc de Zhongguancun près de Beijing, considéré comme la Silicon Valley chinoise.

Accenture	5.000 aux Philippines d'ici 2004	Comptabilité, software, back-office work
Conseco	1.700 en Inde, 3 centres de plus prévus	Processing des plaintes d'assurance
Delta Airlines	6.000 contractuels en Inde, Philippines	Réservations de billets, service-clients
Fluor	700 aux Philippines	Plans architecturaux
General Electric	20.000 en Inde d'ici fin 2003; gros centre R&D à Shanghai	Finance, support informatique, R&D pour les branches médicales, lighting et aéronautiques
HSBC	4.000 en Chine, Inde	Cartes de crédit, processing des prêts
Intel	3.000 en Inde d'ici 2005	Conception de puces, support technique
Microsoft	500 en Chine, Inde d'ici fin 2003	Conception de logiciels, support informatique
Oracle	Doublement dy staff indien a 4.000	Conception de logiciels, support client, comptabilité
Philips	700 ingénieurs en Chine	R&D d'électronique grand-public
Procter & Gamble	650 aux Philippines, 150 en Chine	Support technique, comptabilité

Source: Gartner Inc., McKinsey & Co., Forrester Research Inc., Business Week

Quelques prévisions sur les délocalisations depuis les USA vers des pays à bas-coût (Inde, Chine, Philippines, Mexico, ...) (2005 – 2015):

Nombre d'emplois allant "offshore":

Secteur	2005	2010	2015
Sciences de la vie	3.700	14.000	37.000
Droit	14.000	35.000	75.000
Art	6.000	14.000	30.000
Management	37.000	118.000	288.000
Opérations	61.000	162.000	348.000
Informatique	109.000	277.000	473.000
Architecture	32.000	83.000	184.000
Ventes	29.000	97.000	227.000
Support/Administration	295.000	791.000	1.700.000
TOTAL	588.000		3.300.000

Source: Forrester Research Inc.,

Pour reprendre un propos résumant bien la problématique de la délocalisation :

"We know how this movie ends," the executive [Paul Vivek] said during an interview in the company's U.S. headquarters in Mountain View. "If a decade ago we discovered that manufacturing can be done anywhere, in this decade we are learning that knowledge can be learned anywhere.""

--- Paul Vivek, PDG de Wipro (une des stars du secteur high-tech indien)

Même si ces deux nations ont des défis sociétaux colossaux à relever, l'Inde et la Chine ont aussi de nombreux atouts pour devenir d'ici une décade des acteurs très significatifs de l'univers des services et des industries, car les Indiens et les Chinois, immigrants aux Etats-Unis ou non, sont

d'ores et déjà les acteurs moteurs au niveau mondial d'un des secteurs les plus riches en connaissances, le secteur high-tech.

Les jeunes élites taïwanaises, chinoises et indiennes, que je côtoie depuis 10 ans, ont de puissants avantages pour réussir dans la prochaine décade:

- Au niveau individuel, beaucoup possèdent une confiance dans le futur, des capacités d'adaptation à de nouvelles cultures et de nouvelles technologies, et une volonté de réussir et de bâtir à tout prix des entreprises et des sociétés prospères, qualités dont les jeunes élites européennes devraient à mon avis s'inspirer
- Au niveau environnemental, ces jeunes ont aujourd'hui l'opportunité de pouvoir bâtir des carrières de très haut niveau, internationales, via des expériences techniques et managériales dans les clusters asiatiques (en développement rapide) et dans les clusters américains. Elles bénéficient aussi de la proximité de marchés très dynamiques, déjà très grands (Japon, Chine), pionniers des nouvelles technologies (Corée), et de plus en plus inter-dépendants au niveau régional (la Chine est d'ores et déjà le 1^{er} partenaire commercial de la Corée et le 1^{er} fournisseur industriel du Japon)

(4) Les Américains prennent en tout cas conscience du glissement rapide de l'innovation vers l'Asie, et de l'importance d'améliorer rapidement l'efficacité du système américain

Ainsi le 30 octobre, Samuel Palmisano, dirigeant d'IBM, estimait-il dans le cadre du conseil de la compétitivité américain réuni pour créer une "initiative nationale d'innovation" que les Etats Unis devaient accélérer le rythme de l'innovation pour compenser les flux de métiers technologiques vers l'outre-mer. Il estimait à 13 millions le nombre d'emplois qui seraient créés dans les deux ans à venir dans le monde, en particulier dans les pays à croissance rapide comme la Chine, l'Inde et la Corée du Sud. "Nous sommes à un moment critique, dit-il, car si nous ne sommes pas assez vigilants, les Etats Unis manqueront la marche des nouvelles réalités de l'innovation, au risque que les innovateurs et preneurs de risques aillent ailleurs -car désormais ils le peuvent : d'autres pays deviennent plus compétitifs non seulement en niveaux de salaires mais en termes d'éducation, de savoir-faire de métiers, et de réseaux d'infrastructures". Il estimait que pour que les Etats Unis ne laissent pas à d'autres pays les principales innovations, ils devaient travailler davantage dans l'entrepreneuriat des entreprises, des universités, des salariés et du gouvernement, et promettait un rapport sous 9 mois pour en traiter, avec un sommet sous 12 à 15 mois.

Fin octobre 2003, Craig Barrett, dirigeant d'Intel, expliquait que les investissements de sa société suivaient ses marchés pour 70% hors Etats Unis, si bien qu'elle n'envisageait pas de nouveaux investissements en Californie. Plus tôt ce mois-ci Andrew Grove estimait que la domination américaine dans les secteurs technologiques était contrebattue ; évoquant le sort de la sidérurgie américaine, il estima que "ce serait un miracle si cela n'arrivait pas dans l'industrie du logiciel et des services". Six mois auparavant Larry Ellison (Oracle) prophétisait la mort de la Silicon Valley en tant que lieu central des start ups technologiques.

(5) Une vision du futur (?): la mondialisation de la "fabless IC industry"

Si l'on prend le pouls de l'une des parties les plus innovantes du secteur high-tech, le segment de la conception "pure" de semi-conducteurs [ie les 'fabless IC design house', où toutes les fonctions de testing, de production, etc. sont externalisées à des tiers], une des industries les plus mondialisées et "dés-intégrées" qui soient, l'heure est en tout cas définitivement à l'Asie, et notamment à la "Grande Chine":

1. La révolution “fabless IC” de l’industrie des semi-conducteurs, depuis le modèle d’intégration verticale de toute la chaîne de valeur [modèle IDM “Integrated Design Manufacturer” comme Intel] jusqu’à un modèle dés-intégré, a été rendue possible par l’“OEM-isation” de la production de circuits-intégrés (ie production sur ordre de puces pour le compte de tiers) à la fin des années 1980 par TSMC, la première fonderie des semi-conducteurs. TSMC est l’exemple parfait du “business model” taïwanais : résultat d’un spin-off de l’ITRI (l’institut de recherche industriel national), co-investé par l’ITRI, Philips et des investisseurs locaux, et transformé en un leader mondial, redoutablement efficace, par son PDG Morris Chang, un des plus fameux “returnees” (PhD EE Stanford, et ex-VP a Texas Instruments).
2. Plus compétitif que les unités de production des IDM (grâce aux effets d’échelle supérieurs, intrinsèques, du modèle OEM), TSMC “démolit” le business-model des acteurs IDM, par ailleurs incapables de suivre les investissements capitalistiques faramineux liés à la mise en place des unités de production de nouvelle génération, toute l’industrie des semi-conducteurs se déplace vers le modèle “fabless” ou “fab-lite” (outsourcing partiel à des fonderies)
3. Grâce aux avantages compétitifs liés à (i) la présence locale de principales fonderies au monde (TSMC et son frère ennemi, UMC, - 73% de parts de marché mondial à eux deux), gage d’un bas coût (ii) la présence locale des principaux clients mondiaux des concepteurs de puces, ie les ODM/OEM, Taïwan a créé en l’espace de 10 ans la 2^{ème} industrie de la conception sans usine des semi-conducteurs au monde derrière les Etats Unis, avec 30% de parts de marché et une croissance supérieure à celle du reste de l’industrie, et avec plus de 300 entreprises de conception (“design houses”) de toutes tailles.
4. Ajoutez à ceci la mise en place de liens très puissants avec le marché chinois (déjà le 1^{er} ou 2^{ème} plus grand au monde, suivant les segments technologiques) les clusters OEM ultra-compétitifs de Chine, et les clusters émergents des semi-conducteurs chinois, et vous obtenez un écosystème “taïwano-chinois”, dont le poids pèsera lourd dans une des industries les plus dynamiques de l’industrie high-tech, l’électronique grand public...

Il sera intéressant de voir quels acteurs en sortiront gagnants, mais les asiatiques et américains y auront certainement une place majeure :

- Les acteurs verticalement intégrés comme Sony ou Samsung?
- Les “écosystèmes taïwano-chinois”?
- Les méga-distributeurs américains (comme Dell)? Ultra-puissants en Occident, experts de l’exploitation de la formidable “machine de guerre” asiatique ODM/OEM, mais qui ne font que distribuer des équipements et composants de plus en plus 100% conçus en Asie

La “fabless semi-conductor association” (FSA) américaine en tout cas fait son choix. La FSA a ouvert en octobre sa division asiatique, basé évidemment à Taïwan, en présence du Premier Ministre taïwanais, de Morris Chang, et d’autres personnalités. Et la FSA souhaite mondialiser au plus tôt son “Board”, qui à son avis sera dominé par les Asiatiques d’ici 10ans.

La FSA prend logiquement acte d’une réalité incontournable: la mondialisation de son secteur d’activité, à tous les niveaux de la chaîne de valeur, véritable mille-feuilles américano-asiatique (et un peu européen⁹):

⁹ L’Europe compte heureusement 3 leaders des semi-conducteurs dans le Top 10: ST, Infineon et Philips Semiconducteurs, qui ont tous une stratégie agressive de développement au niveau mondial. ST a les moyens de faire des acquisitions majeures aux Etats-Unis (Motorola?) et au Japon, et Infineon a déjà prévu d’investir 600M\$ dans les 3 prochaines années à Taïwan. Derrière le Top 10, la consolidation des “midsize fabless IC players” a déjà commencé: s’est ainsi formé un géant du segment “digital home entertainment”

1. Marketeurs - centrés sur les marchés dominants: USA, Japon, Chine
2. Concepteurs/Producteurs de systèmes (ODM/OEM) – de plus en plus centrés sur les agrégateurs dominants à Taïwan et en Chine
3. Concepteurs “fabless” de puces – centrés sur les clusters les plus innovants (USA, Europe) et les plus efficaces (Taïwan)
4. Librairies de composants pour semi-conducteurs - centrés sur les clusters les plus innovants (USA) et efficaces (Inde, en émergence)
5. Fondateurs de semi-conducteurs - centrés sur les agrégateurs dominants à Taïwan et en Chine (en émergence)

Il est impossible de prédire le futur, mais je terminerai cet article par une citation de Charles Zhang, le fondateur de Sohu:

“Si nous regardons en 2100 la période actuelle, nous trouverons cette période très similaire à la Renaissance en Europe, ou à la Restauration de Meiji au Japon” – Charles Zhang

Indépendamment des révolutions et chocs économiques et sociaux (qui affecteront la Chine et l’Inde dans les prochaines décades), il y a urgence pour les jeunes élites européennes à bâtir des logiques de co-développement avec les jeunes élites chinoises, indiennes et asiatiques au niveau de l’éducation, de la recherche, des entreprises...et simplement au niveau humain et communautaire. Elles et nous avons tout à y gagner.

via acquisition en Novembre 2003 par Conexant du leader des composants ADSL, GlobeSpanVirata, qui avait lui-même acquis en Juillet 2003 le leader des composants WiFi, Intersil. L’Europe a aussi un cluster important des semi-conducteurs, notamment près de Grenoble: l’investissement de 1.4Md\$ faits conjointement par ST, Philips, Motorola (et TSMC) dans le site de recherche de nouvelle génération. Tout cela devrait permettre à l’Europe de jouer un rôle significatif dans la mondialisation du secteur des semi-conducteurs. L’écosystème européen, trop orienté “mono-culture de type très-grandes-entreprises” est hélas faible du côté de la création de start-ups par rapport aux écosystèmes américains et asiatiques. Or, ces start-ups sont au coeur de l’innovation technologique. Il est loin d’être évident que l’Europe puisse maintenir la position de “innovation-leader”, qu’elle avait réussi à obtenir dans les années 1990 dans un secteur-clé, le secteur wireless: autant le GSM s’était imposé comme standard mondial pour la téléphonie de 2^{ème} génération (et aboutissant à la formation/régénération rapide de géants européens comme Nokia, Ericsson, Alcatel, Vodafone, etc.), autant l’UMTS [standard européen de la téléphonie 3G] a de plus en plus de mal à s’imposer hors Europe, face au standard américain (W-CDMA, qui gagne du poids en Corée, Chine et Inde) et au standard propriétaire chinois (1^{er} marché mondial de la téléphonie mobile dès 2002). L’ironie veut aussi qu’en termes de niveau technologique, les Coréens et Japonais soient désormais positionnés dans le segment haut-de-gamme des téléphones portables (e.g. téléphone-caméras), les Européens (Siemens, Alcatel...) se positionnant du côté bas-de-gamme.