

Chapitre IV

L'IMPORTANCE DES LOGICIELS DANS L'ECONOMIE :

LA "LOGICALISATION" DE L'ACTIVITE ECONOMIQUE

Les logiciels font partie des technologies de l'information et de la communication. Une première interrogation concerne l'importance des logiciels et son évolution au sein de ces technologies. Elle nécessite d'étudier la place prise par ces technologies, leur convergence éventuelle permise par la numérisation des contenus, leur impact sur l'ensemble de l'économie et de la société. En effet, le succès d'un certain nombre d'expressions (société de l'information, société fondée sur les connaissances) semble indiquer que l'information et les connaissances jouent un rôle de plus en plus important. Nous nous interrogerons sur la réalité de ces phénomènes en étudiant le poids des biens et services informationnels, mais également le rôle que jouent l'information et les connaissances dans la production de l'ensemble des biens et des services, et dans le fonctionnement de l'économie. Au-delà, pour certains auteurs, les technologies de l'information et de la communication seraient à la base d'un nouveau paradigme économique, ce que nous étudierons à partir d'une confrontation entre les différentes significations que peut prendre la notion de paradigme appliquée à l'économie et les principales tendances observées dans le fonctionnement de l'économie.

La première section est consacrée à l'analyse du rôle croissant des technologies de l'information et de la communication et de ses implications. La deuxième section montre l'aspect de plus en plus important pris par les logiciels au sein des technologies de l'information et de la communication, ce qui nous amènera à parler d'une "logicalisation" de l'activité économique et sociale.

Section I - Le rôle croissant des technologies de l'information et de la communication

L'économie est de plus en plus fondée sur l'information et les connaissances, au niveau de la consommation et de la production (A), ce qui est tout à la fois la cause et la conséquence du développement des technologies de l'information et de la communication, dont certains auteurs pensent qu'elles sont à la base d'un nouveau paradigme technico-économique (B).

A - LE ROLE CROISSANT DE L'INFORMATION ET DES CONNAISSANCES

Définir l'information comme un processus de communication de connaissances (cf. chapitre I) rend indissociables les deux notions utilisées pour désigner l'évolution actuelle, d'économie de l'information (ou "économie intensive en information", Werner Schwuchow, 1997, p. 116) et d'économie fondée sur les connaissances. En effet, l'économie ne peut être de plus en plus basée sur les connaissances qu'à la condition que se développent significativement les informations, grâce notamment à de nouvelles technologies, qui permettent de faire circuler les connaissances entre les agents économiques. Réciproquement, l'ampleur et la diversité que prend l'information sous toutes ces formes et à tous les niveaux dans l'économie contemporaine, ne peuvent être comprises qu'en réponse à des besoins croissants d'acquisition de connaissances de la part de l'ensemble des agents économiques. On peut du reste constater que les auteurs qui étudient l'économie de l'information soulignent qu'il est nécessaire de prendre également en compte "la montée des connaissances et le rôle accru des savoirs" (Pascal Petit, 1998, p. 16), et que les auteurs qui traitent de l'économie fondée sur les connaissances intègrent nécessairement la place prise par l'information. C'est pour cette raison que nous analyserons simultanément le rôle croissant de l'information et des connaissances.

Celui-ci peut être appréhendé sous deux aspects complémentaires : d'une part, le contenu informatif et cognitif de plus en plus important des biens et les services consommés par les ménages ou les entreprises (1), d'autre part, la place croissante de l'information et des connaissances dans la production de l'ensemble des biens et services (2). L'importance croissante de l'information et des connaissances a été confirmée par des études empiriques, dont certains auteurs concluent à l'avènement d'une nouvelle société (3).

1 - Les biens et les services ont un contenu informatif et cognitif de plus en plus important

On peut distinguer deux phénomènes. D'une part, les biens et les services dont la composante informative et cognitive est déterminante occupent une place croissante dans l'économie (a). D'autre part, l'ensemble des biens et des services a une dimension informationnelle qui est de plus en plus importante (b).

a - La place croissante des biens et services dont la composante informative et cognitive est déterminante

Les activités qui consistent à fournir des biens et services d'informations sont désignées, avec des contenus parfois légèrement différents, par les notions d'industrie de l'information, de secteur de l'information ou d'activités informationnelles. Le secteur, dans lequel sont intégrées les technologies de l'information et de la communication, est celui qui connaît la croissance la plus rapide dans l'économie (Werner Schwuchow, 1997, p. 114). En termes de biens, il comprend les biens électroniques (ordinateurs, équipements de télécommunication...) mais également les biens intangibles reproductibles sous des formes de plus en plus diverses. En termes de services, il englobe les services de télécommunications et les services de fournitures d'informations (depuis les bibliothèques jusqu'aux services télématiques). Certains auteurs considèrent que les services (aux ménages ou aux entreprises) dont l'activité principale est basée sur du traitement d'informations et de la transmission de connaissances en font également partie (sociétés de conseil, enseignement, voire les banques et les assurances) et relie cette croissance à la tertiarisation de l'activité économique (Pascal Petit, 1998). En se limitant à une conception plus restreinte des secteurs informationnels, on constate que l'essentiel de ces activités est tourné vers les entreprises : C. Jonscher (1984) indique qu'aux Etats-Unis en 1983, la consommation de services d'information ne représente que 7,8% de la consommation finale totale, contre 37,7 % des consommations intermédiaires de l'industrie, même s'il faut ajouter que la consommation des ménages en activités informationnelles croît rapidement sur la période récente.

b - L'importance croissante de la dimension informationnelle dans l'ensemble des biens et services

En plus de la croissance des biens et services informationnels, l'ensemble des biens et des services comprennent une dimension informationnelle de plus en plus importante Celle-ci résulte de deux phénomènes : la généralisation de l'utilisation de l'électronique, et le fait que

les prestations de services ou les ventes de biens s'accompagnent de plus en plus de la fourniture d'une quantité croissante d'informations.

Concernant le premier point, on peut noter d'une part que de plus en plus de biens intègrent des composants électroniques de plus en plus puissants : selon Jean-Benoît Zimmermann, la tendance est au doublement, tous les deux ans, du volume de code intégré dans les biens de consommation¹ (1998 A, p. 131), une automobile contient actuellement plus de puissance informatique qu'un micro-ordinateur (Daniel Kaplan, 1999), au Japon, les "bâtiments intelligents" ont un équipement électronique qui peut représenter jusqu'à 25 % du coût total (Chris Freeman, 1995, p. 29). Par ailleurs, de plus en plus de services sont réalisés sous forme électronique. Ces transformations permettent d'améliorer les caractéristiques techniques et les caractéristiques d'usage directes des biens et des services, par leurs possibilités de traiter une masse croissante d'informations saisies par l'utilisateur ou captées sur l'environnement (programmabilité, réactivité...).

Le deuxième point (cession conjointe d'informations) permet principalement d'améliorer les caractéristiques d'usages indirectes des biens et des services en aidant l'utilisateur à exploiter les potentialités d'un bien (conseils pour l'installation, l'intégration, l'utilisation, l'entretien), en améliorant ses compétences (notamment dans le cas de prestations coproduites) et en lui fournissant des informations complémentaires (par exemple, les clients de Federal Express peuvent savoir en temps réel où se trouvent les marchandises transportées). Ces aspects, qui sont une des dimensions de la compétitivité hors prix, deviennent de plus en plus important pour les consommateurs (particuliers ou entreprises). Eric Brousseau (1993, p. 286) cite l'exemple de Dupont de Nemours qui permet aux entreprises clientes de rapatrier des fichiers comprenant l'ensemble des caractéristiques des produits qu'elles ont achetés, ce qui leur permet de les intégrer directement dans leur système de conception assistée par ordinateur (CAO).

¹ Actuellement un rasoir intègre déjà deux kilo-octets de logiciel, une télévision 500 kilo-octets.

2 - La place croissante de l'information et des connaissances dans la production de l'ensemble des biens et services

Elle peut être appréhendée au niveau microéconomique (utilisation de l'information comme ressource économique critique pour les entreprises et les organisations) et à un niveau global (importance de l'information dans le fonctionnement de l'économie actuelle).

a - Au niveau microéconomique, l'importance des investissements immatériels et des systèmes d'information

Les informations et les connaissances sont un input de plus en plus important dans les produits des économies, certains auteurs allant jusqu'à considérer que l'information est devenue "la composante principale des biens comme des services" (Faïz Gallouj, 1994, p. 98). Cette place croissante de l'information "qui sert (...) de biens intermédiaires et d'investissement pour la sphère productive" (Michel Catinat, 1998, p. 44) correspond à la croissance des biens et services informationnels, dont nous avons souligné qu'ils étaient principalement utilisés par les entreprises (cf. 1 a).

Le champ des services informationnels est vaste. Jacques De Bandt (1995) repère parmi les services informationnels ceux liés à la relation de marché (étude de marché, mercatique), à la production (maintenance, organisation de la production, essai), à la stratégie de l'entreprise (conseils, formation, financement, recherche). Les achats de services informationnels sont considérés comme des consommations intermédiaires ou comme des investissements (immatériels), la frontière entre les deux n'étant pas toujours évidente.

L'investissement immatériel est défini par le Comité national de l'information statistique (CNIS) comme "une dépense qui, bien qu'inscrite en charge d'exploitation, développe la capacité de production et valorise l'entreprise en s'accumulant, sous la forme d'un capital amortissable, sur une production future et en constituant une valeur patrimoniale, cédable sur le marché" (Christine Afriat, Pierre Caspar, 1988, p. 21). L'appréhension des investissements immatériels, notamment sur un plan comptable, est délicate en raison de deux particularités propres à ces investissements : la part de production interne est beaucoup plus importante que pour les investissements matériels, d'où une plus grande difficulté pour mesurer le coût de ces investissements ; la relation entre l'investissement immatériel et la capacité de produire et de vendre est le plus souvent indirecte, ce qui complexifie l'analyse de leur rentabilité (Christine Afriat, 1992, p.99). Les investissements immatériels englobent des dépenses de prospection, de recherche-développement, d'études, de publicité mais également certains investissements

en commercialisation, en formation, en organisation et en amélioration du fonctionnement interne (Christine Afriat, Pierre Caspar, 1988, p. 17-18). La part des investissements immatériels a augmenté d'environ 50 % (en termes de points de PIB en une décennie), passant de 2,6 % à 3,7 % du PIB entre le milieu des années soixante-dix et le milieu des années quatre-vingt, alors que dans le même temps l'investissement matériel passait de 17,6 % du PIB à 15 % (OCDE, 1992, p. 113). J.W. Kendrick (1994) estime que le stock de capital intangible (éducation, formation, recherche-développement, santé) est devenu équivalent au stock de structures et équipement (principale sous-catégorie du stock de capital tangible) vers 1973 et qu'il est aujourd'hui largement dominant (cité par Dominique Foray et Bengt Ake Lundvall, 1997, p. 18).

La maîtrise de l'information et des connaissances est devenue un facteur décisif de compétitivité des entreprises. Jean-Claude Tarondeau (1998, p. 72) recense différentes études empiriques qui montrent que les actifs intangibles sont plus importants que les actifs tangibles dans l'explication des performances des firmes. De même, l'OCDE estime que "ce qui détermine la réussite des entreprises (...) dépend plus que jamais de leur efficacité à rassembler et à utiliser des connaissances" (OCDE, 1996, p. 14). Dans un régime d'innovation intense, il est nécessaire de reconstituer en permanence le capital de connaissances (Armand Hatchuel, 1996). Ikujiro Nonaka et Hirotaka Takeuchi (1997) estiment que le succès de certaines entreprises japonaises provient principalement de leur capacité à créer de nouvelles connaissances.

Selon Paul Davenport "les économies des nations marchandes évoluent rapidement vers un modèle mondial fondé sur la connaissance, qui exige une évolution rapide des systèmes d'information" (1997, p. 11). On peut définir le système d'informations comme "l'ensemble des informations formelles circulant dans l'entreprise ainsi que les procédures et les moyens nécessaires pour les définir, rechercher, formaliser, conserver et distribuer" (Christiane Dumoulin, 1986). Un "système d'information est un langage de communication de l'organisation, construit consciemment pour représenter, de manière fiable et objective, rapidement et économiquement, certains aspects de son activité passée ou à venir" (Jean-Louis Peaucelle, 1981, p. 24-25).

Le système d'information prend de plus en plus d'importance quand les besoins informationnels sont de moins en moins ceux que suppose la réalisation d'une tâche selon une démarche très "fordienne", mais ceux qu'implique la gestion de processus et d'événements, au

sein d'un système diversifié d'interactions internes à l'entreprise pour la réalisation complète d'un produit ou d'un service (Marie-Christine Monnoyer-Longé, 1997, p. 119). Quand, de plus, la concurrence entre les entreprises se transforme d'une "guerre de position", où la stratégie peut se permettre d'être statique, à une "guerre de mouvement" où l'essence de la stratégie d'une entreprise est la dynamique de son comportement (G. Stalk, P. Evans, L. E. Shulman, 1992, p. 62), le système d'information devient une composante essentielle des entreprises.

En même temps, les systèmes d'informations se transforment, dans une société où la fonction commerciale de subordonnée à la fonction productive tend à devenir l'activité première (Christine Afriat, 1992, p. 46-47). Ils doivent de plus en plus être orientés vers l'aval et vers l'extérieur de l'entreprise (Marie-Christine Monnoyer-Longé, 1997, p. 120). Godefroy Dang Nguyen montre comment les systèmes de réservation aérienne (SIR), projets gigantesques qui ont mis plus de trente ans pour être développés, ont été durant les décennies soixante-dix et quatre-vingt, un élément essentiel de la compétitivité des deux leaders du transport aérien américain, American Airlines et United Airlines (1995, p. 346). La richesse des interactions de l'entreprise avec ses partenaires, fournisseurs et sous-traitants, prend également de plus en plus d'importance (Anne Mayère, 1997, p. 207). Une "firme-réseau" comme Benetton, qui sous-traite 80 % de sa production à 350 petits producteurs et qui détient un réseau de 4600 magasins franchisés, n'a pu connaître le succès que grâce à l'existence d'un système d'information très performant reliant les magasins, le siège central et son informatique de gestion, et les fournisseurs (Godefroy Dang Nguyen, 1995, p. 199-200).

L'aboutissement de ces processus est, au moins dans l'industrie, la production en "flux tendus", qui associe dans un seul réseau d'information, un réseau de fournisseurs, assembleurs, transporteurs et distributeurs. Cette forme de production vise à réduire les stocks et les surcapacités (c'est à dire à substituer de l'information au capital) mais permet également d'individualiser la production pour répondre à la diversité et aux évolutions des demandes du marché (Daniel Kaplan, 1999). Pour rendre compte du fait que, de plus en plus, une entreprise "doit centrer les moyens qu'elle met en œuvre pour atteindre ses objectifs sur ses ressources en information", a été développée la notion "d'organisation basée sur l'information" (OBI), initialement introduite par Peter F. Drucker (Paricia D. Fletcher, Lester Diamond, 1997, p. 170). Le développement récent du management des connaissances (*knowledge management* ou *KM*) et de l'intelligence économique, témoigne également de cette évolution.

b - Au niveau du fonctionnement de l'économie

Les tendances analysées précédemment sur un plan microéconomique peuvent être extrapolées au niveau du fonctionnement de l'ensemble de l'économie. Logiquement la coordination entre des entreprises utilisant de plus en plus d'informations pour produire des biens et des services dont la dimension informative est de plus en plus importante, requiert des flux d'informations croissants. Dans certains cas (mode de fonctionnement en réseaux), "le marché a été remplacé par des flux d'information harmonisés en tant que mécanisme premier de coordination" (Sandra Braman, 1997, p. 89). Il faut toutefois préciser que la création de structures résiliables ne signifie pas nécessairement la disparition des relations marchandes : Eric Brousseau cite l'exemple, aux Etats-Unis, de la mise en œuvre en 1986 d'un "partenariat" entre de grandes entreprises de la distribution, de la confection, du textile et de la chimie, dont l'objectif était de gérer en flux tendus l'ensemble de la filière textile, par le développement de normes en matière d'étiquetage (code-barre) des produits et des emballages, des documents commerciaux (bons de commandes, facture, avis de paiement, etc.), ainsi que des logiciels de gestion des stocks et des commandes (1993, p. 302-303). Mais surtout, même quand le marché continue à jouer un rôle moteur dans les échanges, le fonctionnement des marchés ne s'appuie plus seulement sur les prix (pour lesquels l'information les concernant s'est fortement accrue), mais sur tout un ensemble d'informations concernant les qualités "cachées" du produit, ce que reflète l'importance prise par la "compétitivité hors prix" (Pascal Petit, 1998, p. 20-21). L'extension des marchés et des combinaisons productives à l'échelle planétaire (mondialisation), la variété des produits, leur disponibilité immédiate sans stock, la multiplication des activités bancaires et financières "en temps réel" complètent "cette image d'une sphère virtuelle où les flux d'information propulsent l'économie mondiale" (idem, p. 21). Ces flux d'informations jouent un rôle d'autant plus décisif que l'évolution du cadre général d'exercice des activités économiques (mutations techniques, globalisation des activités, libéralisation de très nombreux marchés) a tendance à accroître l'imprédictibilité concernant les évolutions quantitatives et qualitatives de la demande et des coûts, l'émergence de nouveaux produits ou process, l'arrivée de nouveaux concurrents (Eric Brousseau, 1997, p. 50).

Cette importance croissante de l'information sur le plan macroéconomique a fait l'objet d'un certain nombre d'études empiriques, confirmant selon certains auteurs l'avènement d'une nouvelle société.

3 - Justifications empiriques et avènement d'une nouvelle société

a - Les études empiriques

Les premières études empiriques réalisées aux Etats-Unis par Fritz Machlup (1962) portaient sur les "industries du savoir". Ce secteur, spécifiquement dédié à la production et au traitement de l'information, était défini comme comprenant des activités de communication, éducation et média, des machines informationnelles, des services informationnels et d'autres activités. Les industries du savoir représentaient environ 29 % du PNB aux Etats-Unis en 1958 et 49 % en 1980 (Fritz Machlup, 1984).

La deuxième étude d'envergure est le travail mené par Marc Uri Porat (1977) sur l'économie de l'information. Il distingue au sein de celle-ci, deux secteurs d'informations : le secteur d'information primaire, chargé de créer et de fournir au marché les produits et services d'information, et le secteur d'information secondaire qui regroupe les services d'information produits pour l'usage interne des entreprises et des administrations. La démarche, pour évaluer l'importance de l'économie de l'information, consiste à utiliser les données dont on dispose sur l'emploi et les professions, pour classer les emplois en fonction de leur contenu de recherche-développement, de savoir ou d'information. Sur cette base, les activités de l'information représentaient 47 % du PNB aux Etats-Unis en 1967. En reprenant les indicateurs de M.U. Porat, M. Castells et Y. Ayoama (1994) estiment qu'au début des années quatre-vingt-dix, 45 % des emplois non agricoles dans les pays du G7 consistaient à "traiter" de l'information.

On peut également citer l'étude de C. Jonscher (1984), qui montre qu'une part de plus en plus importante des inputs de l'industrie et des services "non-informationnels" est composée de flux de services informationnels. Pour les Etats-Unis, la contribution nette des secteurs informationnels (banques, édition, bases de données...) à la valeur des biens du secteur de la production vendus aux consommateurs finaux, est passée de 27,8% en 1947 à 42,7% en 1983.

b - L'avènement d'une nouvelle société ?

Ces études confortent l'idée de l'avènement d'une société post-industrielle, formulée initialement en 1960 par Daniel Bell, comme stade inévitable du développement des sociétés, qui prenait la suite des étapes agricole et industrielle. Les conceptions de cette société sont diverses. On peut citer la notion de "troisième vague" d'Alvin Toffler (1990), qui désigne le passage à une économie basée sur l'information, où la connaissance est la source par excellence du pouvoir. Peter Drucker (1993) va jusqu'à affirmer que le trait distinctif de la

nouvelle société est que la connaissance n'est pas seulement une nouvelle ressource qui s'ajoute aux facteurs de production traditionnels, mais la seule ressource qui ait une signification réelle aujourd'hui, d'où le rôle central dans la production des "travailleurs de connaissance". C'est une problématique voisine, synthétisée dans le concept "d'entreprise intelligente", qu'expose James Quinn (1993) : le pouvoir économique de l'entreprise moderne tient plus dans ses capacités intellectuelles et de service que dans ses actifs matériels ; la valeur de la plupart des produits et services dépend fondamentalement de la façon dont sont développés les "actifs intangibles basés sur les connaissances", tels que le savoir-faire technologique, le design des produits, la présentation marketing, la compréhension des clients, la création personnelle et l'innovation.

En parallèle avec ces approches essentiellement managériales, les nouvelles théories de la croissance (P. Romer, 1994, G.M. Grossman et E. Helpman, 1994) intègrent le rôle du savoir et de la technologie comme moteur de la croissance économique. L'OCDE parle de "l'économie fondée sur le savoir" (1996) pour désigner des économies "qui reposent directement sur la production, la diffusion et l'utilisation du savoir et de l'information" (p. 7), et où "plus de 50 % du PIB des grandes économies de l'OCDE reposent maintenant sur le savoir" (p. 9). Dominique Foray et Bengt Ake Lundvall (1997) utilisent la notion "d'économie fondée sur la connaissance" pour désigner "la formation d'un nouveau régime économique, dans lequel les agents doivent se préparer à poursuivre des activités où les processus de production, de transformation, codification et mémorisation des connaissances seront déterminants" (p. 21). Selon ces auteurs, l'avènement de l'économie fondée sur la connaissance s'exprime moins par l'expansion continue d'un secteur spécialisé que par la prolifération d'activités intensives en connaissance dans tous les secteurs de l'économie (p. 19). A partir d'une caractérisation de l'économie de l'information et des changements structurels interdépendants qu'elle comporte, Pascal Petit esquisse les traits d'un nouveau régime de croissance d'inspiration régulationniste (1998, 1999).

Par ailleurs, mais en lien avec les approches précédentes, le concept de société de l'information, apparu dès le début des années quatre-vingt², est devenu un thème central de débat ces dernières années, notamment avec le développement d'Internet et du World Wide

² Il faut toutefois noter que, au Japon, dès le début des années soixante-dix étaient utilisées les expressions d' "économie de l'information" et de "société de l'information" (OCDE, 1993 B, p. 21).

Web. L'incertitude sur les caractéristiques et les rouages de la société de l'information, qui va de pair avec la certitude de son émergence et de ses potentialités (Michel Catinat, 1998, p. 37), entraîne une multiplication des rapports des pouvoirs publics sur les mesures à prendre. On peut citer les conclusions de la présidence de la Conférence ministérielle du G7 sur la société de l'information (25-26 février 1995), les travaux de l'OCDE lors de la Session spéciale du Comité de la politique de l'information, de l'informatique et des communications sur les infrastructures de l'information (3-4 avril 1995), le rapport de Al Gore et Ronald H. Brown (1995) aux Etats-Unis. Pour la communauté européenne, la société de l'information a donné lieu au Livre Blanc "Croissance, Compétitivité, Emploi" de Jacques Delors en 1993, au rapport Bangemann "l'Europe et la société de l'information planétaire" en 1994, et à un rapport d'un comité d'experts présidé par Luc Soete "Construire la société européenne de l'information pour tous" en 1996.

La société de l'information est également un thème privilégié de création de forums de discussion et de clubs de réflexion, comme par exemple en France le Club de l'Arche qui réunit des hommes d'entreprises, des consultants et des chercheurs. Dans un texte désigné comme le "Manifeste de l'Arche", au titre évocateur ("L'aube d'un monde nouveau"), est effectuée une comparaison entre l'ère de la mécanisation et l'ère de l'informatisation "qui porte probablement en elle le germe d'une future société d'abondance" (p. 3). Entre ces deux phases sont mis en parallèle, la voiture personnelle et le micro-ordinateur, les autoroutes de béton et les autoroutes électroniques avec des conséquences comparables sur la révolution radicale du mode de vie de chacun : invention " de nouvelles façons d'aller au bureau, au supermarché, au cinéma, non plus en voiture, mais "en modem" (...). Les nouvelles technologies, en permettant un accès élargi à la connaissance, en inventant une nouvelle génération de loisirs, ou en permettant de "travailler" chez soi ou "au pays" (...) peuvent s'imposer comme un vecteur de sortie de crise" (idem).

Ce type d'approche passe d'une définition extensive de la société de l'information, à savoir une société où l'information joue un rôle déterminant, à une définition plus restrictive comme société des technologies de l'information.

B - LES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION A LA BASE D'UN NOUVEAU PARADIGME ?

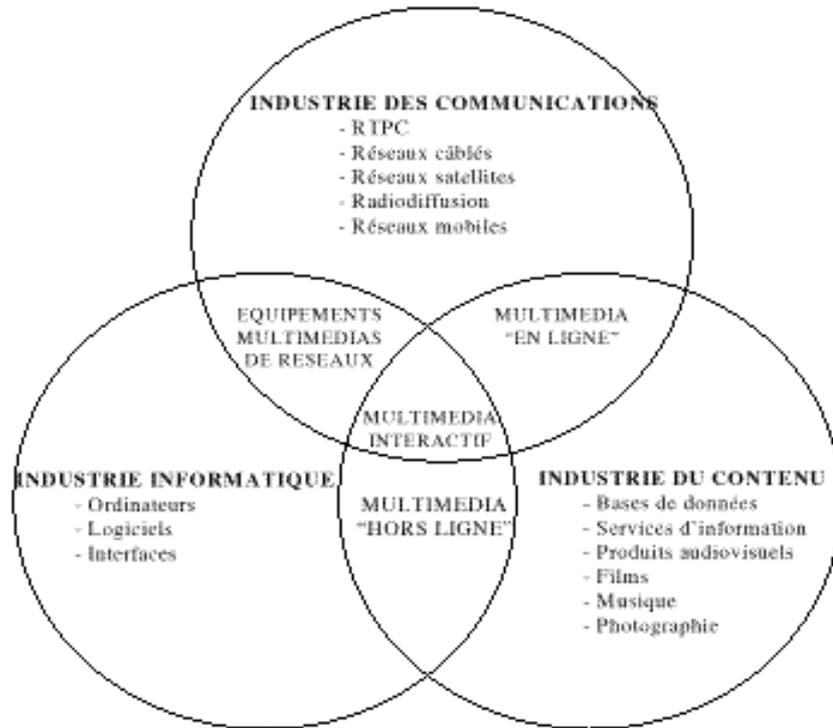
A partir de l'importance prise par les technologies de l'information et de la communication (1), certains auteurs concluent à l'avènement d'un nouveau paradigme qualifié de technologique, technico-économique ou de socio-économique (2). Si ces technologies jouent incontestablement un rôle de plus en plus essentiel dans les évolutions actuelles, il nous semble toutefois qu'il n'en découle pas nécessairement qu'un seul paradigme devienne dominant, et que, au contraire coexistent durablement plusieurs "paradigmes" différents (3).

1 - L'importance des technologies de l'information et de la communication

a - Le constat statistique : une croissance très rapide

Si la notion de technologies de l'information et de la communication est largement utilisée, le champ couvert par ces technologies est difficile à délimiter, ce qui a des conséquences importantes sur l'interprétation des évaluations statistiques existantes. Si on englobe tout ce qui est, utilise, incorpore, transforme, transporte et crée de l'information, l'ensemble des biens et services sont concernés. Par exemple, retenir tous les produits qui contiennent un microprocesseur conduirait tendanciellement à intégrer tous les produits manufacturés. A l'inverse retenir comme critère la numérisation de l'information, dont l'importance dans la convergence fonctionnelle de ces technologies est décisive (cf. supra, b) apparaît comme trop limitatif en excluant la part des télécommunications et la majorité de l'audiovisuel qui sont encore analogiques, et toute la sphère papier (anciennes technologies de l'information et de la communication). De ce fait la plupart des définitions des technologies de l'information et de la communication sont des définitions en extension, basées sur une nomenclature d'activités et de produits, élaborée de façon pragmatique (Secrétariat d'Etat à l'Industrie, 1999, p. 9). Cette nomenclature comprend trois composantes principales, l'industrie informatique, l'industrie des communications et l'industrie du contenu, dont l'articulation est représentée dans le schéma suivant, mais dont les frontières sont difficiles à délimiter : par exemple faut-il inclure la Poste dans l'industrie des communications, quelles sont les branches (édition, presse, audiovisuel...) qui font partie de l'industrie du contenu ?

Schéma VIII
Représentation du champ des technologies de l'information et de la communication



Source : OCDE (1997 A, p. 14)

Au centre des technologies de l'information et de la communication, se trouve le multimédia, combinaison d'informations de nature diverse (au moins textes, images et sons) et leur présentation sous des formes et sur des supports variés, avec des possibilités plus ou moins étendues d'interactivité contrôlée par un dialogue avec l'utilisateur. A partir des industries de "contenu" le multimédia n'a pu se développer de façon spectaculaire que grâce aux progrès de l'informatique et, pour la fourniture de produits "en ligne", des télécommunications.

Certes les problèmes de délimitation ne sont pas propres aux technologies de l'information et de la communication. Déjà en 1933, Edward H. Chamberlin notait que "le monde économique peut être considéré comme un réseau de marchés et de secteurs interdépendants, dont les frontières sont choisies de façon à rendre la représentation commode, mais qui sont essentiellement arbitraires". Toutefois les technologies de l'information et de la communication présentent des spécificités qui rendent leur impact

économique très difficile à mesurer : leur caractère d'emblée *mondial* alors que les conventions statistiques sont différentes selon les pays, l'importante évaluation *qualitative* qui exige de modifier les techniques statistiques traditionnelles, et le fait que l'effet le plus important de ces technologies se manifeste dans les *changements économiques indirects* induits par leur utilisation (OCDE, 1997 B, p. 6-7).

Pour les technologies de l'information et de la communication, le marché mondial était évalué à 1 227 milliards de dollars en 1994 (cf. tableau X), ce qui représente entre 5 et 6 % du PIB mondial. Si ce marché est légèrement inférieur au seul marché de l'équipement automobile neuf, il connaît une croissance beaucoup plus élevée que l'industrie manufacturière. Il faut noter également que les services représentaient 70 % du total en 1994, et que leur part augmente d'année en année au détriment des équipements (Godefroy Dang Nguyen, Pascal Petit, Denis Phan, 1997, p. 35-36).

Tableau X
Le marché mondial des technologies de l'information et de la communication en 1994
(en milliards de dollars courants)

	Télécoms	Informatique	Audiovisuel	Total
Equipements	95	198	86	379
Services (*)	430	233	185	848
Total	525	431	271	1 227
Etats-Unis	171	185	99	455
Europe	155	125	78	358
Reste du monde	199	121	94	414

(*) Y compris les progiciels pour l'informatique

*Source : OCDE / OMSYC
in Godefroy Dang Nguyen, Pascal Petit, Denis Phan, 1997, p. 36*

L'UIT pour la même année estimait le marché des technologies de l'information et de la communication à 1 425 milliards de dollars (Eurostat, 1995 A, p. 4).

Pour la France, à partir d'une définition légèrement différente des technologies de l'information et de la communication englobant pour les "industries du contenu", l'audiovisuel

(télévision, cinéma, vidéo et radio) mais également le domaine de l'écrit (édition et presse), celles-ci représentaient 4,6 % du PIB (Secrétariat d'Etat à l'Industrie, 1999, p. 116).

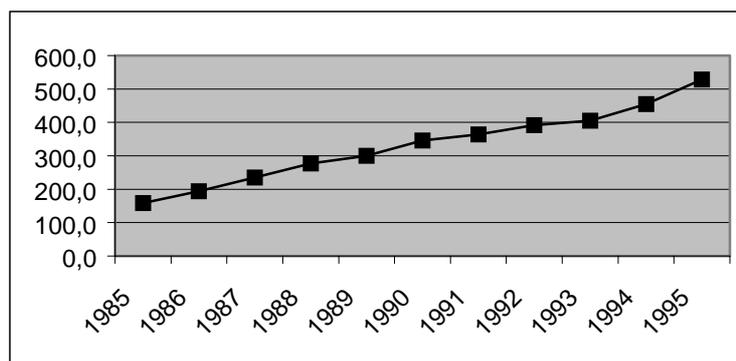
Au Japon les technologies de l'information, définies comme étant les télécommunications et l'informatique, sont depuis 1995 le premier secteur économique du pays. Elles représentent 10,3 % de la production industrielle et ont créé 760 000 emplois sur les 6 dernières années (Eurostaf, 1997 A, p.79).

Au sein des technologies de l'information et de la communication, ce sont les technologies de l'information, comprenant les ordinateurs, les équipements de communications de données, les logiciels et les services informatiques, qui connaissent la croissance la plus rapide.

Tableau XI
L'évolution du marché mondial des technologies de l'information
(en milliards de dollars courants)

Année	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Total des T.I.	158,3	193,5	235,1	276,6	300,3	345,4	364,0	391,6	405,1	455,0	527,9
Taux de croissance		22%	21%	18%	9%	15%	5%	8%	3%	12%	16%

Graphique I



Source : calculs et représentation effectués d'après des données IDC, citées in OCDE, 1997 B, p. 251.

Le taux de croissance annuel moyen a été de 12,8 % sur la période. On constate que la croissance très forte durant les années quatre-vingt (phase d'équipement à outrance) s'affaiblit au début des années quatre-vingt-dix sous la conjonction de plusieurs facteurs : érosion de la croissance des budgets informatiques sur fond de crise économique, marché de renouvellement plus que de premier équipement, forte baisse des prix liée au passage des

systèmes propriétaires aux systèmes ouverts dans le *hardware* et des logiciels sur mesure aux progiciels dans le *software* (Eurostaf, 1995, p.9). Toutefois cette phase de croissance plus faible, qui a eu des effets importants sur certaines entreprises du secteur habituées à une croissance très élevée (par exemple IBM voit ses effectifs passer de 407 000 salariés en 1986 à 220 000 en 1994) semble n'avoir été qu'une parenthèse. La reprise d'une croissance forte dans le secteur informatique, perceptible depuis le milieu des années quatre-vingt-dix, semble s'accélérer actuellement en raison de facteurs très conjoncturels (passage à l'Euro, bogue de l'an 2000) mais également plus structurels (croissance exponentielle d'Internet, meilleures perspectives économiques). Par exemple, aux Etats-Unis la part des technologies de l'information est passée de 30 % du budget d'équipement des entreprises en 1990 à 40 % en 1996 selon l'OCDE (1997 B, p. 13), Patricia Fletcher et Lester Diamond estimant que les investissements des entreprises dans les technologies de l'information ont même dépassé depuis 1991 les sommes consacrées aux équipements traditionnels, bâtiments, machines et autres actifs industriels (1997, p. 175).

Enfin il est important de noter que la part grandissante prise par les technologies de l'information et de la communication provient essentiellement de sa composante services (au sens large y compris les progiciels), la fabrication de matériel d'information et de communication représentant généralement 2 % du PIB et un peu plus de 1 % de l'emploi, chiffres qui n'ont guère évolué depuis les années 70 (OCDE, 1997 B, p. 6). Les investissements matériels sous formes d'ordinateurs et de moyens de télécommunications gardent une place modeste estimée à 11,7 % du stock net de capital fixe productif (seulement 2 % pour les ordinateurs et les périphériques) aux Etats-Unis en 1993 (Pascal Petit, 1998, p. 18). Ceci s'explique par la forte baisse des prix de ces matériels qui est un des facteurs de la rapidité de diffusion des technologies de l'information et de la communication.

b - Les facteurs de la rapidité de diffusion

Les deux facteurs principaux sont la numérisation qui est à la base d'une convergence fonctionnelle des technologies de l'information et de la communication (i) et la formidable baisse des prix notamment des composants électroniques (ii). L'interaction entre ces deux facteurs entretient un cercle vertueux qui assure la diffusion rapide des technologies de l'information et de la communication (iii).

i - La numérisation à la base d'une convergence fonctionnelle des technologies de l'information et de la communication

Un des facteurs explicatifs de la rapidité de diffusion actuelle, et qui permet d'anticiper une accélération prévisible de la pénétration des technologies de l'information et de la communication, est la numérisation. La numérisation consiste à exprimer sous une forme numérique discrète une information analogique continue, ce qui permet d'intégrer, de transmettre, de traiter, voire d'analyser des contenus de nature différente, traduits en des signaux techniquement identiques. La technologie numérique permet de réduire à la fois les coûts de reproduction et les coûts de distribution, qui sont des coûts distincts mais souvent confondus (Carl Shapiro, Hal R. Varian, 1999, p. 81). On peut considérer que la numérisation est un langage ou plus précisément un métalangage (langage des langages) si on définit le langage comme un système de signes remplissant une fonction de communication (Jean-Louis Caccamo, 1996, p. 44-45). La numérisation du signal se substitue progressivement au traitement analogique dans l'ensemble des secteurs des technologies de l'information et de la communication. Dans l'informatique, le choix de la technologie numérique a été effectué dès les débuts de l'informatique par l'ensemble des constructeurs, après la brève coexistence dans les années cinquante de deux familles d'ordinateurs analogiques et numériques. Dans les télécommunications, où l'analogique a régné en maître pendant trente ans, le numérique se généralise rapidement : la numérisation des réseaux dans les pays de l'OCDE est passée de 49 % en 1991 des lignes principales à près de 80 % en 1995 (OCDE, 1997 A, p. 11). Si la numérisation de la télédiffusion est plus récente, elle semble inéluctable.

La numérisation crée progressivement les conditions d'une connectivité généralisée dans l'environnement professionnel et domestique (Godefroy Dang Nguyen, Pascal Petit, Denis Phan, 1997, p. 35). Elle provoque une convergence fonctionnelle dans un espace numérique intégré entre les différentes filières informationnelles (télévision, radio, téléphone, informatique), au départ différenciées selon la nature particulière d'un signal technique de traitement, à la base d'un "métier" et d'une structure industrielle spécifiques (Jean-Louis Caccamo, 1996, p. 76). Les secteurs centrés initialement sur la communication incorporent une part croissante de traitement de l'information, avec les possibilités qu'offrent la numérisation en terme de compression, de cryptage, d'intégration de données de nature très diverses, alors que l'ordinateur dépasse sa fonction originelle de traitement de l'information pour devenir également un outil de communication.

Cette convergence fonctionnelle, entérinée sur un plan législatif aux Etats-Unis par le vote d'une loi le 1-2-96 qui prévoit la suppression de tout cloisonnement sectoriel à partir du 31-3-99, a contribué à des modifications importantes comme l'ouverture et déstructuration des réseaux informatiques et de télécommunications (Godefroy Dang Nguyen, Pascal Petit, Denis Phan, 1997, p. 58). Elle n'implique pas toutefois une fusion des marchés aussi différents que sont les télécommunications, l'édition, l'informatique ou l'audiovisuel. En effet, en anticipant une convergence des usages, des entreprises ont tenté de se redéployer dans d'autres secteurs (par exemple IBM vers les télécommunications et ATT vers l'informatique). Ces tentatives se sont la plupart du temps soldé par des échecs et la tendance actuelle consiste plutôt à se recentrer sur son métier de base (Godefroy Dang Nguyen, Denis Phan, 1997, p. 186-187, Gérard Dréan, 1996 A, p. 350)³, et c'est pour cette raison qu'un rapport récent préfère parler d'*infosphère* plutôt que de convergence.

S'il est vraisemblable que les industries numériques resteront différenciées au niveau des applications avec une diversification des champs de valorisation, elles s'homogénéisent au niveau des composants. Que la numérisation concerne des produits avec "l'information comme bien de consommation" (téléphone, radio, télévision, matériel Hi-Fi, jeux, informatique domestique) ou des processus avec "l'information comme bien intermédiaire" (Machines Outils à Commande Numérique, informatique d'entreprise), elle repose en amont des filières sur l'industrie des semi-conducteurs, principalement les mémoires et les microprocesseurs (Jean-Louis Caccamo, 1996, p. 51). Cette base commune et homogène permet de traiter l'ensemble des informations qui ne se différencient plus sur un plan analogique mais uniquement en termes de complexité numérique. Elle est un gisement potentiel d'économies d'échelle, qui peut permettre de prolonger la formidable baisse des prix des composants matériels des technologies de l'information et de la communication.

ii -La baisse des prix

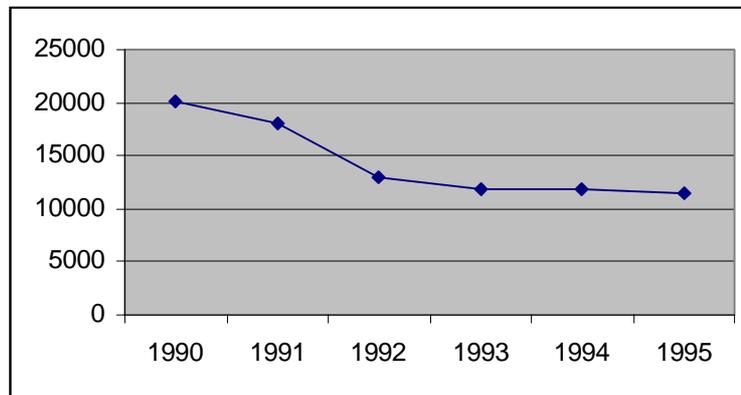
La baisse des prix dans les technologies de l'information et de la communication est particulièrement spectaculaire et sans précédent historique de par son ampleur et sa durée. Sergio Mariotti évalue la baisse du coût d'un ordinateur à 19 % par an sur la période 1958-1992 qu'il compare aux technologies révolutionnaires précédentes : le prix d'utilisation du télégraphe a baissé de 50 % en un siècle (ce qui représente une baisse de 0,7 % par an), le prix

³ Il est prématuré d'évaluer les effets de la fusion AOL Time Warner survenue récemment.

de l'énergie pour l'éclairage de 85 % sur la période 1883-1920, soit 5 % par an (1997, p. 159). Michel Catinat estime que le prix de traitement et de stockage d'une unité d'information a été approximativement divisé par cent tous les dix ans, tout en précisant que la mesure agrégée et précise du phénomène est délicate, tant il est difficile de séparer les effets qualités des effets prix pour les équipements et services liés aux technologies de l'information (1998, p. 38-39).

Par exemple, le prix moyen d'un PC en France a vu son prix moyen "seulement" divisé par deux en cinq ans (20 161 F en 1990 à 11 377 F en 1995) mais sa puissance et ses fonctionnalités se sont considérablement accrus sur la même période.

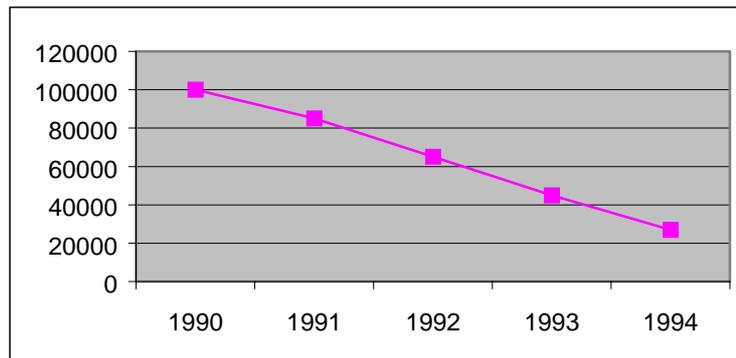
Graphique II
Evolution du prix moyen d'un PC en France (en francs courants)



Source : données IDC, in Eurostaf (1996 A, p. 81).

Pour tenir compte de l'augmentation de la puissance on peut étudier l'évolution du prix du MIPS (Millions d'Instructions par Seconde). On constate que pour les grands systèmes (*mainframes*), le prix du MIPS a été divisé par presque quatre en quatre ans.

Graphique III
Evolution du prix du MIPS grand système (en dollars courants)



Source : données IDC, in Eurostaf (1996 A, p. 78).

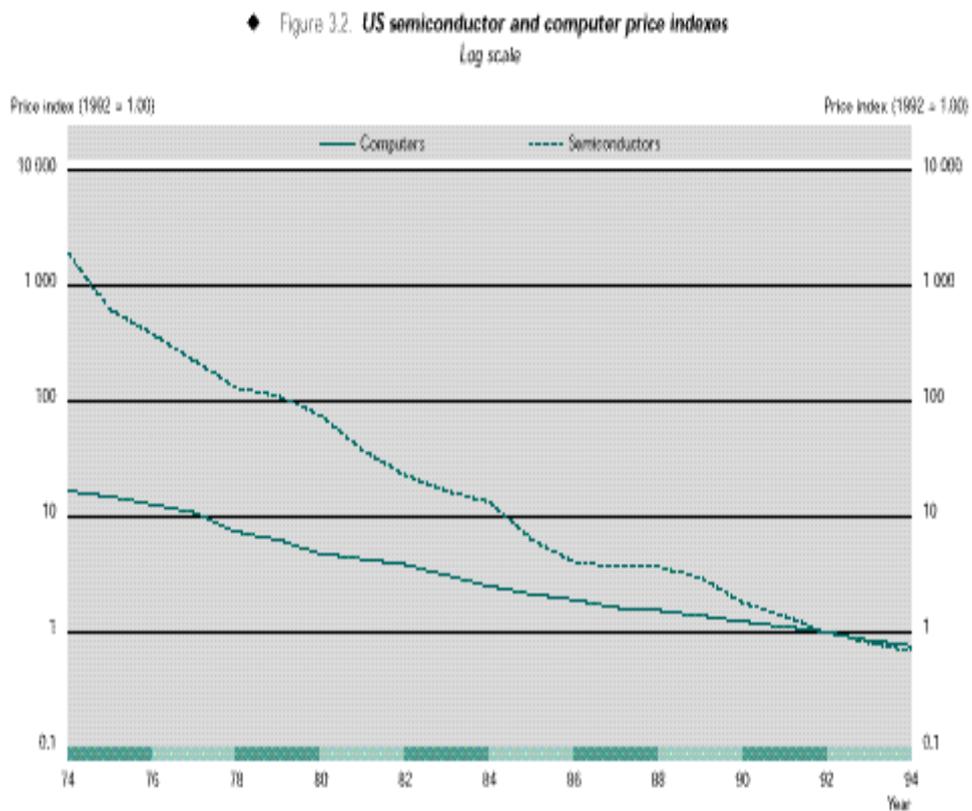
En prenant en compte l'évolution technologique des micro-ordinateurs (effet-qualité), qui ne se limite pas à l'augmentation de leur puissance de traitement, l'INSEE estime que l'indice des prix de vente industriels des micro-ordinateurs a été divisé par dix entre 1988 et 1996 (Secrétariat d'Etat à l'Industrie, 1999, p. 14).

Les estimations peuvent varier significativement selon les méthodes utilisées pour tenir compte de l'effet qualité. La méthode la plus simple et la plus utilisée est le traitement par chaînage (*linking* ou *splicing*) ou "remplacement en dissemblance" qui consiste à "chaîner" les variations de prix du nouveau et de l'ancien produit, en considérant que la différence de prix entre les deux produits à une période t est exactement égale à la différence qualité. Une autre méthode, statistiquement plus convaincante mais plus coûteuse, repose sur une estimation explicite de la différence de qualité (coût des options, estimations du coût de l'amélioration par les producteurs, par des méthodes économétriques souvent qualifiées d'"hédoniques"). Pour le marché des micro-ordinateurs en France, la différence entre ces deux méthodes a été estimée à $-4,4\%$ par an entre 88 et 91 : base 100 au premier trimestre 1988, l'indice des prix des micro-ordinateurs était à 70,9 au premier trimestre 1991 par la méthode de chaînage et à

61,6 en tenant compte de la performance des nouveaux produits (François Lequiller, 1997, p.13-14).

En utilisant des indices des prix hédonistes, on constate que le facteur principal de la baisse des prix des ordinateurs est la baisse du prix des semi-conducteurs (microprocesseurs et mémoires). L'OCDE (1997 B, p. 8) estime que de 1974 à 1994, le prix des semi-conducteurs a été divisé par plus de 1000, celui des ordinateurs par 10.

Graphique III



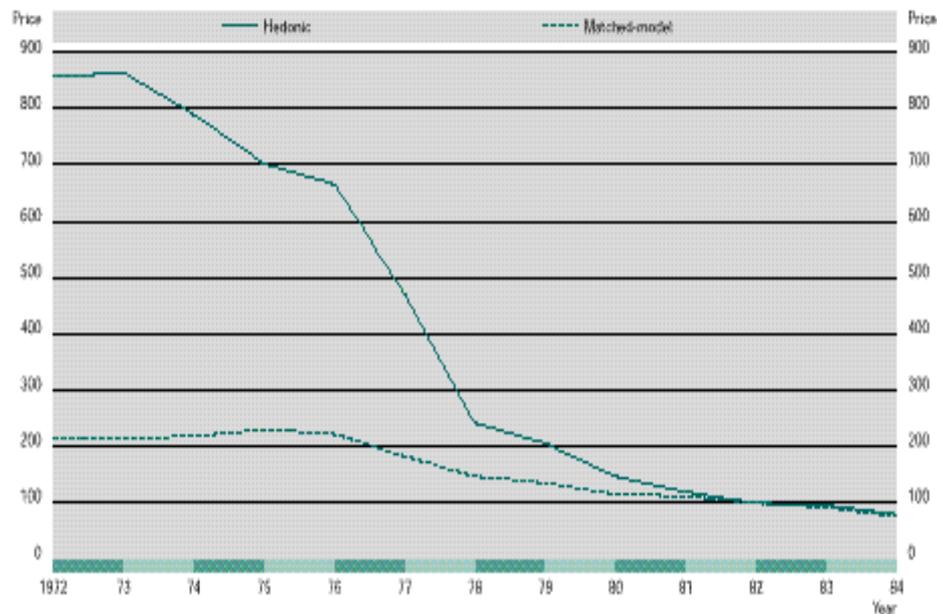
Source: Triplatt (1996).

Source : OCDE, 1997 B, p. 8.

Pour les semi-conducteurs également le choix de la méthode utilisée pour mesurer l'effet-qualité a des conséquences importantes (cf. graphique). La différence est spectaculaire entre l'indice des prix basé sur la technique de l'appariement de modèles (prix divisé par deux sur la période) et l'indice des prix basé sur la technique hédoniste (prix divisé par plus de huit).

Graphique IV

◆ Figure 3.1 Comparison of matched-model and hedonic price indexes for US computer processors: 1972-84
1982 = 100



Source: Cole et al. (1986).

Source : OCDE, 1997 B, p. 81.

Le marché des semi-conducteurs présente deux particularités. D'une part, il existe de très fortes instabilités conjoncturelles des prix. Par exemple, en raison de surcapacités le prix des DRAM (mémoires vives dynamiques) sur le marché international est passé en six mois en 1996 de 46-52 dollars à 16-18 dollars (OCDE, 1997 B, p. 69). En sens inverse, le prix des mémoires SDRAM (Synchronous Dynamic Random Access Memory) cadencées à 100 MHz, qui était d'environ 4 dollars l'unité en juillet 1999, était monté à 15 dollars en septembre en raison d'une forte demande sur le marché des ordinateurs (rentrée scolaire, approche de la saison des Fêtes), et l'annonce du séisme à Taïwan a fait instantanément grimper le prix à 20

dollars (selon Dataquest in PC World). Mais, indépendamment de ces fluctuations conjoncturelles, la caractéristique la plus importante des semi-conducteurs est la formidable baisse de leurs "coûts historiques", définis comme étant les coûts dont l'évolution "résulte du progrès technologique introduit par les entreprises d'une industrie particulière" (Jean-Luc Gaffard, 1990, p. 17-18).

Avec la numérisation, cette baisse a contribué à accélérer la réduction du coût des communications : Sergio Mariotti estime que les coûts unitaires de communication ont baissé en proportion de 1000 à 0,01 entre 70 et 90 (1997, p. 160), l'OCDE évalue la baisse du coût d'investissement par voie téléphonique sur liaisons intercontinentales de 6000 dollars en 1989 à 1000 dollars en 1996 (OCDE, 1997 A, p. 11).

iii - un cercle vertueux

La forte baisse des prix des technologies de l'information et de la communication s'insère dans un cercle vertueux "classique" de diffusion, constitué de croissance des volumes, d'économies d'échelle, d'effets d'expérience, d'innovations techniques et de baisse des prix (Eric Brousseau, 1993, p. 175). Ce qui dans le cas des technologies de l'information et de la communication fait que ce processus de diffusion s'est avéré particulièrement spectaculaire, c'est la conjonction de deux phénomènes. D'une part, la baisse des prix élargit continuellement le champ des utilisateurs de ces technologies. D'autre part, la baisse des prix n'entraîne pas une diminution des dépenses des utilisateurs déjà équipés, mais une augmentation des dépenses en matériels plus puissants, en logiciels plus performants, en croissance de trafic, avec la multiplication des fonctionnalités de ces technologies et le développement permanent de nouveaux usages (traitement et transmissions d'images par exemple) (Alain Rallet, 1997, p. 86). La vitesse de propagation de ces technologies semble même s'accélérer, comme l'illustre le processus d'adoption d'Internet, pour lequel on peut parler d'"effet d'avalanche" (Godefroy Dang Nguyen, Pascal Petit, Denis Phan, 1997, p. 72).

c - Des technologies "invasives"

On peut considérer les technologies de l'information et de la communication comme une méta-technologie, dont la spécificité par rapport aux grandes innovations précédente serait la généralité de ses applications (Herbert Simon, 1986). Premières technologies "globales" (Sergio Mariotti, 1997, p. 160) ou "polyvalentes" (OCDE, 1997 B, p. 76), elles se diffusent dans tous les secteurs économiques, toutes les activités humaines, toutes les structures sociales. Pouvant intervenir à tous les niveaux des processus productifs, elles concernent

l'ensemble des travailleurs (industrie et services, ouvriers, employés et cadres) et leurs possibilités apparaissent sans limite si ce n'est celle de l'imagination, même s'il existe des incertitudes importantes sur leur concrétisation, en raison de l'ampleur et de la nature des changements nécessaires (Michel Catinat, 1998, p. 41-42).

Le caractère diffus et envahissant des technologies de l'information et de la communication est particulièrement marqué dans le cas de l'informatique, phénomène qu'IBM a baptisé "*pervasive computing*". "L'informatique est par nature une technologie invasive susceptible d'être appliquée à d'innombrables usages par des utilisateurs très divers" (Gérard Dréan, 1996 A, p.311). Cette infinie variété d'usages a pour conséquence que la part relative de matériels et de services informatiques au sens strict (c'est à dire à caractère universel), risque de décroître au profit d'objets informatisés très divers et spécialisés pour une utilisation particulière (se substituant à des objets non informatisés) et de services informatisés (correspondant à l'informatisation d'activités déjà existantes). Cette évolution, avec la présence de microprocesseurs pour le traitement de l'information dans l'ensemble des biens, peut être comparée sur une échelle plus importante à celle qui s'est produite avec la diffusion des moteurs électriques. En faisant migrer des activités qui appartenaient initialement à l'industrie informatique vers les industries et les services utilisateurs, Gérard Dréan estime qu'à terme "l'industrie informatique perdra ses frontières et par-là même l'essentiel de son individualité" et que "l'histoire de l'informatique serait alors terminée en tant que telle" (1996 A, p. 355).

d - Les effets potentiels des technologies de l'information et de la communication

On peut décrire les possibilités qu'offrent objectivement le développement des technologies de l'information et de la communication, qu'illustrent des exemples concrets d'applications déjà réalisées, tout en soulignant que leur généralisation et leurs modalités (plurielles) d'évolution dépendent également de facteurs non technologiques (cf. 3). Ces possibilités sont jugées exceptionnelles, sans comparaison avec les progrès technologiques observés jusqu'à ce jour, à l'exception peut-être de l'imprimerie et de l'utilisation de la vapeur ou de l'électricité (Michel Catinat, 1998, p. 37).

Elles concernent tout d'abord leurs facultés à accélérer le temps et à agrandir l'espace, avec des conséquences importantes sur les espaces de temps et de lieu des activités économiques (Pascal Petit, 1998, p. 18). Les développements récents en matière d'information

privilégient trois axes : "l'ubiquité" avec la possibilité d'accéder à la même information sur n'importe quelle machine (ordinateur, téléphone, TV, console...), la "personnalisation" avec l'adaptation de l'information aux besoins de l'utilisateur et "l'instantanéité" avec un accès en temps réel à une information mise à jour en permanence⁴.

Les technologies de l'information et de la communication favorisent le développement des connaissances codifiées. Certes, les perfectionnements des technologies de stockage, d'enregistrement, de recherche et de diffusion des messages n'affectent pas directement la codification des connaissances, qui dépend du développement de nouveaux langages, de l'évolution des aptitudes à modéliser les phénomènes et les activités, et des avancées des technologies de codification (Robin Cowan, Dominique Foray, 1998, p. 311). Mais ils ont une influence importante indirecte sur l'augmentation du stock de connaissances codifiées pour deux raisons liées. D'une part, la baisse du coût du stockage et de la diffusion des connaissances codifiées, et l'élargissement du nombre d'utilisateurs augmentent le bénéfice social net qui résulte de la codification. D'autre part, il devient intéressant de codifier des connaissances de plus en plus complexes, qui requièrent de larges quantités d'informations variées (idem, p. 312-313).

De ce fait, "les progrès des technologies de l'information et de la communication permettent désormais de traiter, de stocker et de transmettre sans contrainte de temps ni d'espace ainsi que dans un rapport interactif, le savoir, le savoir-faire et le faire-savoir. En d'autres mots, le rapport social à distance a les traits de la communication vive à l'exception du toucher et de l'odorat. Au monde physique se superpose un monde du rapport social "en temps réel" sans contraintes spatiales" (A. Stekke, 1996, p. 1). "La programmabilité des technologies de l'information et de la communication permet d'incorporer à un support physique, reproductible et appropriable, une ressource auparavant difficilement transférable : le savoir-faire" (Eric Brousseau, 1993, p. 207). Avec la création de supports de l'information, qui ne sont plus simplement des supports de stockage mais qui ont la capacité de traiter l'information et qui sont accessibles à distance, les compétences et les connaissances nécessaires pour accomplir son travail, sont de plus en plus intégrées à des artefacts, ce qui permet de les faire circuler indépendamment des êtres humains et de les transformer en

⁴ Ces évolutions ont conduit à la constitution d'un label U.P.I. pour Ubiquité, Personnalisation, Instantanéité (La Lettre de la NetEconomie, n° 14, 8/10/1999)

marchandises informationnelles (Abbe Moshowitz, 1997, p. 23). La "matérialisation" de la compétence dans un système technique permet de dupliquer et de vendre la compétence, qui n'est plus totalement tributaire de son stockage par les individus et de sa difficulté de transfert (Eric Brousseau, 1993, p. 207). Les supports de l'ère pré-informatique (comme les livres) étaient des auxiliaires de la mémoire, qui pouvaient assister les êtres humains dans la production des connaissances, mais ne pouvaient par eux-mêmes ni créer, ni participer directement à l'application des connaissances, ce qui restait l'apanage des êtres humains. La reproduction des connaissances d'une société dépendait donc entièrement de l'acquisition des connaissances par chaque génération successive, alors que les systèmes informatiques savent générer de nouvelles connaissances et utiliser des connaissances existantes pour assumer des fonctions indépendamment de l'être humain (Abbe Moshowitz, 1997, p. 27). Jean-Daniel Dessimoz parle de "systèmes cognitifs artificiels" (ACS) pour désigner cette possibilité de comportement réactif complexe, ce qui est qualitativement nouveau pour des machines faites par l'homme (1997, p. 230). Les avantages économiques de ces marchandises informationnelles (faible coût de leur reproduction, malléabilité, adaptabilité) font qu'elles sont promises à un rapide développement, ce qui peut être considéré "comme une extension de la marchandisation du travail engendrée par l'industrialisation" (Abbe Moshowitz, 1997, p. 33). Cette évolution, qui "touche aux relations humaines les plus fondamentales (...) peut s'avérer encore plus profonde que les changements apportés par l'industrialisation" (idem).

Les technologies de l'information et de la communication peuvent avoir également d'importantes conséquences sur la variété des produits (biens et services). Elles ouvrent des potentialités considérables de création de nouveaux types de services et de nouvelles prestations (Faïz Gallouj, Olivier Weinstein, 1997)⁵. Elles permettent de commercialiser des services jusqu'alors non négociables (Sergio Mariotti, 1997, p. 160). En permettant l'intégration de données très diverses, elles offrent de nouvelles possibilités de création culturelle. Elles permettent d'intégrer dans la vente des biens une part croissante de services, et de diversifier considérablement les produits fournis ; par exemple, le nombre moyen de produits vestimentaires offerts par les fabricants américains a augmenté de 63 % entre 1988 et 1992, avec également une augmentation importante du nombre de nouveaux produits et des produits abandonnés, ce que l'on peut mettre en relation avec le fait que, sur la même période,

⁵ Armand Hatchuel (1996) estime que 30 à 40 % des produits sur les marchés n'existaient pas il y a cinq ans.

la proportion d'entreprises de vêtements qui utilisaient l'échange électronique des données (EDI) est passé de moins de 5 % à plus de 30 % (OCDE, 1997 B, p. 204). Les technologies de l'information et de la communication peuvent permettre aux entreprises de gagner en flexibilité et en réactivité par rapport à des marchés plus variables.

C'est également une conséquence des changements permis par les technologies de l'information et de la communication à tous les niveaux des processus productifs (Pascal Petit, 1998, p. 18). Les technologies de l'information et de la communication prolongent un mouvement de rationalisation entamé depuis le XIX^{ème} siècle, en améliorant le contrôle au sens cybernétique du terme (systématisation de la collecte d'information) et la rationalisation des décisions (systématiser l'optimisation et l'effort de formalisation qui conduit à concevoir des procédures plus efficaces). Elles étendent l'automatisation de la production directe à la sphère de l'encadrement de la production et du travail indirect (Jean-Louis Caccamo, 1996, p. 15). Un nombre sans cesse accru d'opérations de manipulations de symboles, dont l'importance est croissante par rapport aux opérations manuelles, sont exécutées par des machines avec une grande rapidité, fiabilité et à faible coût (Eric Brousseau, 1993, p. 214). Il devient dès lors possible d'expérimenter des procédures différentes à ce niveau, vu que les machines sont plus faciles à manipuler que les hommes (Abbe Moshowitz, 1997, p.31). Par exemple, dans la fabrication des vêtements aux Etats-Unis, le doublement des investissements annuels consacrés aux systèmes d'information pour obtenir une gestion des stocks à "réaction rapide" a permis de réduire les stocks de 60 % depuis 1985 (OCDE, 1997 B, p. 17). On peut également citer l'exemple de l'entreprise Wal-Mart qui est devenu le premier détaillant mondial grâce notamment à des investissements très élevés⁶ dans un système de distribution informatisé, qui lui permet de renouveler automatiquement ses stocks mais également de faire de la modélisation prédictive (OCDE, 1997 B, p. 207). Un autre exemple est dans le domaine de la conception, où les technologies de l'information et de la communication ont permis à 4 000 ingénieurs et techniciens de Boeing, répartis en 230 équipes de conception interfonctions, de travailler simultanément à la conception du Boeing 777. Les gains estimés sont l'économie de plus d'un million d'heures de travail, l'élimination de 50 % des défauts de

⁶ Les investissements de Wal-Mart dans les technologies de l'information et de la communication ont atteint 600 millions de dollars entre 1987 et 1992. Ils ont permis à Wal-Mart de réaliser des économies estimées à un milliard de dollars par an par rapport à ses concurrents, en ayant des coûts de distribution beaucoup plus faibles, ce qui s'est traduit par un taux de croissance annuel moyen pour Wal-Mart de 30,6 % entre 1983 et 1993 (OCDE, 1997 B, p. 207).

conception, la réduction du temps de développement du nouvel appareil de 25 % et l'approbation de l'organisme de réglementation en un temps record (OCDE, 1997 B, p. 208). Enfin, une des potentialités importantes des technologies de l'information et de la communication réside dans leurs capacités à intégrer les processus de conception, de production et de distribution des biens et services ce qui leur "offrent de nouveaux moyens pour réduire les coûts, améliorer la qualité des produits, faciliter un contrôle flexible, favoriser l'adaptation aux évolutions du marché, et renforcer l'innovation organisationnelle et technique" (Abbe Moshowitz, 1997, p. 30). La forme la plus avancée de cette évolution est la réintroduction de la production "sur mesure" mais à bas prix, dont l'exemple le plus célèbre est l'entreprise Levi's qui produit des jeans personnalisés à partir de la saisie des mesures et des souhaits du client sur Internet.

Si les technologies de l'information et de la communication sont des "technologies de production", ce sont également des "technologies de transaction (...) mises en œuvre pour réaliser une partie des tâches de coordination induites par la division du travail : échange marchand, coopération, régulation hiérarchique, etc." (Eric Brousseau, 1993, p. 20). Elles permettent potentiellement d'améliorer les "capacités organisationnelles des entreprises" (Alfred D. Chandler, 1992) par une efficacité accrue du pilotage, une meilleure allocation des ressources, la réduction des coûts de coordination, et une plus grande efficacité des mécanismes incitatifs (individualisation des salaires par exemple) (Eric Brousseau, 1993, p. 228-236). Sont le plus souvent évoqués sur le plan interne, l'aplatissement des structures hiérarchiques et la responsabilisation des unités (Godefroy Dang Nguyen, Pascal Petit, Denis Phan, 1997, p. 42) et la montée en puissance des équipes d'experts en nouvelles technologies (Faridah Djellal, 1995, p. 39). Sur le plan externe, la diffusion des relations réticulaires (association/coopération au sein de réseaux réels ou virtuels) contribue à une certaine dilution des frontières de la firme (Godefroy Dang Nguyen, Pascal Petit, Denis Phan, 1997, p. 62). Enfin, la réduction des coûts de transaction devrait logiquement favoriser le "faire faire" au détriment du "faire", par l'externalisation de certaines fonctions, le développement de la sous-traitance.

Les technologies de l'information et de la communication peuvent avoir également un impact sur la société globale. Elles contribuent à transformer les grandes infrastructures de la société civile, en agissant directement pour les communications, et indirectement par substitution/complémentarité pour le transport et l'énergie (Sergio Mariotti, 1997, p. 162). Elles ont accompagné les phénomènes de globalisation et de mondialisation des marchés.

Elles ont participé à la transformation des marchés financiers en des marchés "quasi-parfaits", avec leurs conséquences sur les relations entre capital industriel et capital financier.

Selon certains auteurs, le "paradoxe de Solow" appartient à une époque révolue⁷, et les technologies de l'information et de la communication sont devenues un facteur endogène de croissance (Michel Catinat, 1998, p. 40). Aux Etats-Unis, un récent rapport du Department of Commerce estime que le secteur des technologies de l'information qui représente 8 % du PIB américain, a contribué à hauteur de 35 % à la croissance totale de l'économie entre 1995 et 1998 et a créé plus de 5 millions d'emplois durant cette période. Une des explications fréquemment avancées du différentiel de croissance entre les Etats-Unis et l'Europe sur la période récente, réside dans la différence adoptée par rapport à l'adoption de ces technologies : en 1996 les entreprises européennes n'ont investi dans les technologies de l'information que 936 dollars par employé contre 1598 dollars aux Etats-Unis ; elles ne consacrent que 4,3 % de leur chiffre d'affaires à l'informatique à comparer aux 6,2 % des entreprises américaines (Eurostaf, 1997 A, p. 5-6)⁸.

2 - La base d'un nouveau paradigme ?

En s'appuyant sur les potentialités des technologies de l'information et de la communication à transformer profondément les processus de production et de distribution que Alfred D. Chandler compare aux effets du chemin de fer, du télégraphe, du bateau à vapeur et du câble, dans le domaine des réseaux de transports et de communications pour la révolution industrielle (1992, p. 56), certains auteurs concluent à l'avènement d'un nouveau paradigme qualifié de technologique, de technico-économique ou de socio-économique.

a - Les paradigmes technologiques

Le concept de paradigme a été introduit en sociologie de la recherche fondamentale par T.H. Kuhn (1970). A partir d'une similitude, en termes de définition et de procédure, avec les paradigmes scientifiques, Giovanni Dosi définit des paradigmes technologiques. Selon

⁷ Ce constat confirmerait une explication couramment avancée du paradoxe de Solow, à savoir que sa validité provisoire s'expliquait par la lenteur des processus d'apprentissage et les délais historiques d'ajustement aux nouvelles technologies (cf. chapitre III).

⁸ De même l'OCDE montre qu'il existe une forte corrélation ($R^2=0,69$) pour les différents pays de l'OCDE entre les dépenses de technologies de l'information par habitant, et le PIB par habitant (OCDE, 1993 B, p. 19). Il faut toutefois préciser que des liens de causalité entre ces deux phénomènes peuvent exister dans les deux sens.

Giovanni Dosi, la technologie est "un ensemble de connaissances à la fois directement "pratiques" (liées à des problèmes et des appareils concrets) et "théoriques" (mais applicables en pratique bien que non nécessairement déjà mis en pratique), de savoir-faire, de méthodes, de procédures, d'expériences de succès et d'échec et aussi, bien sûr, d'instruments et d'équipements physiques" (Giovanni Dosi, 1982, p. 151-152). Un paradigme technologique est "un modèle de résolution de certains problèmes technico-économiques fondé sur des principes de connaissance hautement sélectionnés dérivés des sciences, conjointement avec des règles spécifiques conçues pour acquérir de nouvelles connaissances et les préserver, dans la mesure du possible, contre une rapide diffusion vers les concurrents" (Giovanni Dosi, 1988, p. 1127). Un paradigme technologique est une façon de penser l'état donné des solutions techniques et sa logique d'évolution, une vision des solutions acquises temporairement et des problèmes posés, des directions et des modalités du changement technique, à partir d'un programme de recherche. Par exemple, le paradigme électronique s'est constitué autour de l'agrandissement permanent d'une "base de connaissances", dont le noyau était les innovations radicales que constituaient le transistor, puis les circuits intégrés (Giovanni Dosi, 1984).

b - Les paradigmes technico-économiques

En étudiant le changement technologique sous un angle plus macroéconomique, Chris Freeman parle de paradigme technico-économique, "l'expression technico-économique [soulignant], plus que paradigme technologique, le fait que les changements impliqués dépassent le cadre technologique spécifique d'un produit ou d'un processus et affectent la structure des coûts d'entrée, ainsi que les conditions de production et de distribution à travers l'ensemble du système" (Chris Freeman, 1988, p. 48). Chris Freeman prend en compte "l'interdépendance existant entre certains groupes d'innovations du secteur technique, du management et de l'organisation, ainsi que le rôle du cadre institutionnel et social dans lequel se poursuit la diffusion" (idem, p. 46). Il établit une taxonomie du changement technologique en quatre catégories : les innovations progressives, plus ou moins permanentes et dont l'unique objet est le perfectionnement de la gamme des produits et des procédés existants ; les innovations radicales, événements discontinus introduisant des ruptures, dont la traduction est l'adjonction de nouvelles lignes et de nouvelles colonnes dans la matrice des tableaux entrées-sorties ; les systèmes de nouvelles technologies, "constellations" d'innovations entre lesquelles existent des interrelations techniques et économiques ; les changements de paradigme technico-économique qui entraînent de nombreux groupes d'innovations radicales et

progressives et renferment parfois un certain nombre de systèmes de nouvelles technologies (idem, p. 47).

La spécificité d'un changement de paradigmes technico-économiques réside dans l'impact qu'il exerce sur l'ensemble de l'économie, en affectant directement ou indirectement la presque totalité des branches de l'économie. Cette conception correspond à la "force de destruction créatrice" de la théorie des cycles longs de Schumpeter. Un nouveau paradigme technico-économique, "orientation technologique prédominante pour une phase entière de croissance et de développement économiques" (idem, p. 49), se développe initialement à partir de l'ancien paradigme, révélant ses avantages déterminants sur le plan technique, économique et social pendant la phase de dépression du cycle de Kondratiev précédent. A la base de tout paradigme nouveau, il existe un input ou un ensemble particulier d'inputs, "facteur clé" de ce paradigme, qui doit posséder des coûts très modérés et en baisse rapide, des possibilités d'approvisionnement pratiquement illimitées à long terme, et un potentiel manifeste d'utilisation quasi universelle (C. Perez, 1983). Ce facteur clé (ou "technologie permissive" selon l'expression de R. Barras) a été successivement le charbon et les transports à vapeur, l'acier, puis le pétrole. Les technologies de l'information et de la communication, technologies à très grande diffusion, porteuses d'une multitude d'applications et de possibilités nouvelles intéressant l'ensemble du système économique, présentent aujourd'hui les caractéristiques nécessaires à l'avènement d'un nouveau paradigme technico-économique (Chris Freeman, 1995, p. 35), et pourraient être le moteur d'un cinquième Kondratiev. Au-delà de ces dimensions technologiques (rôle déterminant de l'information à la place de l'énergie), ce nouveau paradigme intègre de multiples changements concernant les produits (différenciation, particularisation et évolution rapide des biens et des services), les équipements (systèmes de production flexibles), la place relative des services (les produits servent de support aux services, qui pour la première fois connaissent des changements techniques rapides), l'organisation de la production (recomposition du processus productif et intégration du design, du management, de la production et du marketing), l'organisation des entreprises (structures horizontales, intelligence répartie), les relations entre entreprises (réseaux d'entreprises), l'organisation du travail (main d'œuvre polyvalente)...

Cette conception des paradigmes technico-économiques comprend donc d'importantes dimensions organisationnelles et institutionnelles, complémentaires des changements technologiques. Toutefois les modifications sociales et institutionnelles apparaissent subordonnées aux évolutions technologiques : "les nouvelles technologies exigent une

transformation des techniques de gestion et des modes d'organisation ; très souvent elles exigent aussi de nouvelles formes de réglementation du marché et de nouveaux types de normes nationales et internationales" (Chris Freeman, 1995, p. 35). De même, C. Perez (1983) estime que les périodes de croissance soutenue sont des périodes où le cadre institutionnel est en phase avec le paradigme technico-économique. La crise survient quand l'émergence d'un nouveau paradigme technico-économique (due à l'irruption des innovations majeures, techniques et organisationnelles) ne peut plus être couplée avec les institutions existantes. Ainsi, selon Chris Freeman la situation actuelle se caractérise par un "processus d'ajustement long et douloureux" qui n'a "cependant pas encore amené tous les changements institutionnels et sociaux nécessaires pour favoriser la diffusion du nouveau paradigme technico-économique" (1995, p. 28), "l'immense potentiel de productivité que recèlent les technologies de l'information et de la communication [étant] neutralisé par les rigidités du système social" (idem, p. 32).

c - Les paradigmes socio-économiques

La conception de Chris Freeman a suscité des critiques. Michel Callon souligne que l'analyse de la genèse des innovations technologiques doit intégrer les aspects économiques, politiques et sociaux qui se manifestent dans les conflits entre de multiples acteurs dans la création scientifico-technique. Si ces facteurs interviennent pour Chris Freeman dans l'analyse des innovations secondaires ou d'accompagnement, ce n'est pas le cas pour les innovations majeures qu'il considère comme étant uniquement le produit de la logique propre du développement des connaissances scientifiques de base (Michel Callon, 1989, p. 71). De même, Pierre Dockès considère que "les aspects conflictuels à la source des innovations plurielles, les modalités spécifiques (...) de régulation des conflits et des innovations ne sont pas pris en compte" (1990, p. 39). De façon plus générale, Pierre Dockès souligne que dans la conception des paradigmes technico-économiques, "si la dimension sociale est présente, c'est "à côté" et non au sein du paradigme productif" et qu'il existe "une dichotomie entre, d'une part, le dynamisme innovateur au sein du paradigme technico-économique et, d'autre part, le contexte socio-économique qui doit s'adapter pour que la mutation globale se fasse et devienne performante" (idem).

Avec l'objectif d'éviter tout "déterminisme technologique", d'articuler étroitement les trois dimensions socio-organisationnelle, technique et économique, solidaires et inséparables, Pierre Dockès introduit le concept de paradigme socio-économique. Celui-ci ne peut être

appréhendé que dans sa globalité, il ne se structure plus autour d'un facteur clé, mais d'un rapport de production ou d'une forme particulière de celui-ci. Un paradigme socio-économique est "une façon dominante de penser la production au sens large (pas seulement le procès de travail), c'est à dire l'organisation sociale, économique et technique de la production partagée par l'ensemble des entrepreneurs et "décideurs" et qui tend à être diffusée dans l'ensemble de la population concernée" (Pierre Dockès, 1990, p. 39-40). A partir des mêmes préoccupations d'une approche plus sociale et institutionnelle des paradigmes, Faridah Djellal (1995) parle de paradigmes socio-techniques pour insister sur l'importance des interactions entre technologie et innovations organisationnelles et sociales, la technologie n'étant plus considérée comme le seul moteur de l'innovation sociale.

Cette volonté de combiner les aspects techniques, économiques, sociaux, culturels dans leurs multiples interrelations et sans hiérarchisation a priori, nous semble particulièrement intéressante et s'inscrire dans la même démarche que celle que nous avons utilisé pour analyser l'évolution de l'informatique comme la constitution successive de réseaux technico-économiques (cf. chapitre II). Par contre le terme de paradigme, appliqué à un cadre d'analyse macroéconomique et/ou macrosocial, nous semble problématique dans la mesure où il induit la vision d'un seul paradigme qui s'impose massivement où "on ne peut pratiquement plus penser autrement la production" (Pierre Dockès, 1990, p. 42). Certes, les différents auteurs envisagent l'existence de plusieurs paradigmes, mais les paradigmes "alternatifs" restent "marginaux", voire "purement virtuels" (idem p. 41), et c'est seulement pendant les périodes de transition entre deux paradigmes dominants, que coexistent momentanément l'ancien et le nouveau paradigme avant que ce dernier ne s'impose (Godefroy Dang Nguyen, Pascal Petit, Denis Phan, 1997, p. 57). Il nous semble au contraire qu'une vision "d'abord sociale et culturelle" et non "pas principalement technico-économique" des "paradigmes" (Pierre Dockès, 1990, p. 44) peut permettre de comprendre l'existence durable de plusieurs "paradigmes" différents, ce qui ne signifie pas qu'ils soient immuables.

3 - La coexistence permanente de plusieurs "paradigmes" différents

Les trajectoires technologiques ne sont pas seulement technologiques

Certes il existe des trajectoires technologiques, au sens où dans l'arbre des orientations possibles, les choix effectués à chaque étape éliminent d'autres directions qui étaient possibles (Pierre Dockès, 1990, p. 33-34). Ces trajectoires technologiques se caractérisent par la présence d'irréversibilités, de rendements croissants d'adoption, l'importance des "petits

événements" initiaux qui impliquent l'existence d'une contrainte de sentier. La numérisation est un exemple d'une telle trajectoire dans le traitement du signal, avec les bifurcations essentielles qu'ont constituées le choix du numérique par rapport à l'analogique, et, au sein du numérique, le choix de la représentation binaire. Si ces trajectoires sont technologiques au sens où elles concernent des choix techniques, les déterminants de ces choix eux sont multiples. Par exemple, dans le succès du numérique binaire, les considérations économiques (possibilité de produire des composants peu coûteux qui permettait d'introduire la logique de Boole) ont été essentielles (Jean-Louis Caccomo, 1996, p. 43).

De façon plus générale beaucoup d'évolutions qui apparaissent comme d'essence essentiellement technologique ne peuvent être comprises sans intégrer les dimensions économiques, sociales voire culturelles. Il en est ainsi de la "loi" de Gordon Moore (cofondateur d'Intel) énoncée fin des années soixante, selon laquelle la puissance des microprocesseurs et la capacité des mémoires doublent tous les 18 mois (cf. chapitre III). Cette "loi", qui s'est remarquablement vérifiée jusqu'à présent, est souvent considérée comme ayant "acquis une dynamique largement autonome, d'une régularité et d'une ampleur impressionnante" (Pascal Petit, 1998, p. 354). Or, si la vérification de cette loi nécessitait certes l'existence de possibilités technologiques (en termes de miniaturisation), celles-ci n'ont pu se réaliser qu'au prix d'une croissance spectaculaire des investissements. Pour les mémoires, Siemens fournit les chiffres suivant :

Tableau XII
Coûts fixes de production des mémoires (en millions de dollars courants)

Capacité	Introduction	R. & D.	Production
256 Kb	1985	400	180
1 Mb	1988	350	1300
4 Mb	1990	380	1600
16 Mb	1993	510	3700
64 Mb	1996	1000	6000

Source : Siemens, cité par Gérard Dréan, 1996 A, p. 126

Il est évident que sans les changements économiques et sociaux qui ont contribué à la diffusion massive de tels composants électroniques, de tels investissements n'auraient pu être rentabilisés et que la "loi" ne se serait pas appliquée.

De même, la loi de Grosh, dont l'inversion dans les années quatre-vingt explique le formidable succès de la microinformatique, est souvent interprétée comme étant d'essence technologique. La loi de Grosh affirmait qu'à coût égal un grand système informatique offrait plus de puissance que plusieurs petits systèmes. Cette loi qui était vérifiée dans les années soixante, va s'inverser radicalement (cf. tableau XIII), cette inversion s'amplifiant considérablement dans la période récente (cf. tableau XIV).

Tableau XIII
Inversion de la loi de Grosh
MIPS (millions d'instructions par seconde) pour un million de dollars courants

Ordinateur	1950	1960	1970	1980	1984
Grands systèmes (IBM 3084 en 1984)	0,03	0,11	0,6	1,2	2,1
Petits systèmes (IBM PC en 1984)	0,02	0,05	0,5	14,0	100,0

Source : Philippe Breton, 1987, p. 196

Tableau XIV
Evolution des coûts micros/mainframes

Dollar/MIPS (processeur)	Micros	Mainframes	Ratio
1990	700	100 000	143
1995	60	55 000	917
Dollar/Mega-Octet (mémoire centrale)	Micros	Mainframes	Ratio
1990	90	6 000	67
1995	6	1 500	250

Source : Siemens, cité par Gérard Dréan, 1996 A, p. 50.

Or les technologies utilisées ne sont pas radicalement différentes entre les grands systèmes et les micro-ordinateurs. Les différences constatées s'expliquent bien davantage par des facteurs économiques : la standardisation dans la micro-informatique a favorisé la spécialisation des entreprises sur des segments distincts et l'existence d'économies d'échelles, qui ont généré des cercles vertueux d'augmentation des volumes et de baisse des prix.

Par contre la prise en compte des facteurs socio-économiques n'induit pas qu'une trajectoire technologique puisse être considérée comme "la direction de l'évolution à partir d'un paradigme technologique" (Giovanni Dosi, 1982). L'existence de trajectoires technologiques n'empêche pas la coexistence durable de différents paradigmes, considérés comme des "façons de penser la production". Dans la constitution d'un paradigme interviennent les techniques, mais également les institutions économiques et sociales, les représentations et les stratégies d'acteurs individuels et collectifs, "où chacun cherche à infléchir à son avantage un environnement dont il apprend les règles au fur et à mesure de leur émergence, sans avoir toujours conscience de la contribution en partie non intentionnelle de son action à cette émergence" (Godefroy Dang Nguyen, Pascal Petit, Denis Phan, 1997, p. 64). Si l'on rejette l'idée que les institutions et la position relative des groupes sociaux seraient façonnées par les innovations technologiques, et qu'au contraire les institutions sont le produit de l'histoire (Pierre Dockès, 1990, p. 34), on peut comprendre qu'il se produise simultanément et durablement des évolutions différentes dans les façons de produire, que nous détaillerons ultérieurement (cf. chapitre VII). *De façon quelque peu schématique, le développement des technologies de l'information et de la communication peut tout à la fois contribuer à la constitution d'un nouveau paradigme technico-économique où "la diversité et la flexibilité à tous les niveaux remplacent l'homogénéité et la rigidité des systèmes" (Chris Freeman, 1988, p. 53), mais également offrir de nouvelles opportunités pour le développement du "paradigme fordiste".* En effet, les institutions et les pratiques qui influencent les évolutions ne sont pas identiques, elles sont le produit d'histoires différentes, selon les pays, selon les secteurs, voire selon les entreprises : "les points de contacts entre grappes d'innovation technologique et organisationnelle sont multiples, liés au contexte, au secteur, au pays" (Sergio Mariotti, 1997, p. 164).

Des différences selon les pays

Au niveau national, comme le souligne Chris Freeman, "les structures institutionnelles diffèrent considérablement d'un pays à l'autre puisqu'elles sont le reflet de l'histoire propre à

chaque pays, des conflits sociaux et politiques qui l'ont agité, des guerres, de la division internationale du travail, des traditions culturelles et de bien d'autres facteurs encore" (1995, p. 28). C'est ce que montrent les approches en termes de systèmes nationaux d'innovation qui insistent sur les spécificités nationales des schémas d'interrelations au sein des réseaux d'institutions dans les secteurs publics et privés (Jorge Niosi, Bertrand Bellon, Paolo Saviotti, Michaël Crow, 1992). Ces approches peuvent contribuer à expliquer les singularités de l'approche française des technologies de l'information et de la communication, "souvent considérées comme un simple moyen d'automatiser des processus existants, dans une perspective taylorienne élargie jusqu'aux services" (Daniel Kaplan, 1999). Ce constat est partagé par Ghislaine Clot-Lafleur et Hervé Passeron, qui soulignent, qu'en France, les technologies de l'information sont "conçues uniquement par la plupart des entreprises, comme un moyen de rationaliser l'organisation du travail, de "faire de la productivité" en remplaçant les hommes par des machines, ce qui est cohérent avec le fait de se situer trop souvent sur le seul terrain de la compétitivité/prix en négligeant la compétitivité hors prix" (1997, p. 130-131). Cette spécificité française a des racines profondes et multiples comme le montre l'étude de Marc Maurice, François Sellier et Jean-Jacques Silvestre (1982) qui au terme d'une comparaison entre la France et l'Allemagne concluaient que des entreprises technologiquement comparables présentaient des différences dans leurs organisations, leurs systèmes de travail, leurs structures hiérarchiques et d'encadrement.

Des différences inter et intrasectorielles

Le cadre socio-institutionnel pertinent n'est pas uniquement national, il est également sectoriel, ce qui peut expliquer des différences intersectorielles dans les conséquences de l'introduction des technologies de l'information et de la communication. Par exemple, dans le transport routier Ghislaine Clot-Lafleur et Hervé Passeron montrent comment l'introduction des bourses de fret télématiques a entraîné une précarisation de l'emploi (1997, p. 133), contrairement au postulat de "la plus grande stabilité de l'emploi qui devrait résulter de l'utilisation des technologies de l'information et de la communication " (Chris Freeman, 1995, p. 31). Si dans certaines branches d'activité, ces technologies ont permis d'augmenter la variété et la personnalisation des produits, dans d'autres activités (notamment de services, par exemple une partie de la restauration ou de l'hôtellerie) elles ont contribué à une plus grande standardisation des prestations. De même, dans certains secteurs, les technologies de l'information et de la communication peuvent permettre de développer des transactions directes (sans intermédiaires), alors que d'autres secteurs voient l'apparition de nouveaux

intermédiaires⁹, des "métamédiateurs" proposant des prestations intégrées (dont l'archétype est American Express autour de sa carte de paiement) ou au contraire des "inframédiateurs" dont l'originalité est d'avoir une offre particulièrement ciblée et réactive, comme Amazon.Com aux Etats-Unis ou Dégri"Tour en France (Godefroy Dang Nguyen, Pascal Petit, Denis Phan, 1997, p. 45).

Enfin à l'intérieur d'un secteur des différences significatives peuvent également exister bien que la base technologique apparaisse comme assez homogène. C'est notamment ce qu'ont mis en évidence des études sur certains services (tourisme, services d'aide aux personnes âgées). Un des éléments d'explication des différences intrasectorielles constatées est le fait qu'il y a codétermination de la technologie par ses producteurs et ses utilisateurs à travers des schémas complexes d'apprentissage de ses usages et de découverte de ses potentialités (Nathan Rosenberg, 1983). Selon Manuel Castells (1998), un des traits distinctifs de la révolution des technologies de l'information par rapport aux autres révolutions industrielles, est le fait qu'utilisateurs et acteurs se confondent "les utilisateurs [ayant] ainsi la possibilité de devenir maître de la technologie, comme dans le cas d'Internet". Ce rôle accru des utilisateurs dans l'évolution technologique est également pris en compte par Gennady M. Dobrov (1979) à partir de la notion *d'orgware*, définie comme la "la composante structurale d'un système technologique, spécialement conçue pour intégrer l'homme et ses compétences professionnelles et assurer le fonctionnement du *hardware* et du *software* du système ainsi que l'interaction de celui-ci avec d'autres éléments et avec des systèmes de nature différente". L'importance prise par *l'orgware* correspond à la "croissance de la fonction sociale de l'homme dans le système de production", qui explique que les caractéristiques organisationnelles ont un impact déterminant sur les utilisations d'une technologie. La diversité des *orgware* peut permettre d'expliquer les différences constatées dans la "façon de penser la production" à partir de la diffusion des mêmes technologies.

Les interrelations entre technologies et structures organisationnelles

Les choix effectués en termes de conception organisationnelle, produits de l'histoire et des rapports de force au sein de l'organisation, ont une influence importante sur les effets des

⁹ Beaucoup de sociétés qui ont connu récemment des succès spectaculaires sont le fait de nouveaux intermédiaires nés avec l'Internet (Auto-by-tel, E-trade, Ebay, Priceline, Amazon). A contrario vouloir contourner les intermédiaires n'est pas toujours évident : par exemple, Levis vient d'abandonner la vente directe par le Net, sur son propre site.

technologies de l'information et de la communication. La diversité des situations de départ va engager les organisations sur des trajectoires cognitives et organisationnelles hétérogènes qui permettent d'interpréter des observations, au premier abord contradictoires (Eric Brousseau, 1997, p. 59). En voulant dépasser le débat récurrent entre déterminisme technologique et déterminisme organisationnel, Eric Brousseau et Alain Rallet (1997) adoptent une approche reposant sur une relation dynamique entre technologie et organisation formulée en termes de co-évolution : il existe une grande variété de sentiers de co-évolution qui restent en grande partie indéterminés, et qui doivent notamment tenir compte des effets de verrouillage, de la résistance au changement organisationnel et de l'intervention d'événements contingents. Différentes études montrent que les technologies de l'information et de la communication peuvent provoquer un rééquilibrage des pouvoirs au sein de l'organisation en facilitant à tous la mise à disposition de toutes les informations, mais également renforcer la conception hiérarchique et bureaucratique des organisations (Jean-Louis Peaucelle, 1997, p. 26-27). Eric Brousseau et Alain Rallet soulignent que les technologies de l'information et de la communication peuvent "constituer un facteur d'adoption d'architectures centralisées et spécialisées dans la mesure où elles en renforcent l'efficacité relative" (1997, p. 298)¹⁰. C'est particulièrement net dans le cas du déploiement des technologies Intranet, qui s'effectue rapidement dans les organisations. Si, en contribuant à déplacer l'emploi depuis les tâches répétitives, "automatisables", vers des tâches faisant plus largement appel à la capacité d'adaptation, de décision et de création de chacun, les technologies de l'information et de la communication peuvent augmenter l'autonomie et l'initiative des salariés, elles peuvent aussi permettre d'augmenter le contrôle et la surveillance (Daniel Kaplan, 1999). C'est le constat qu'effectuent M. Cézard, F. Dussert et M. Gollac (1992) qui au terme d'une analyse statistique de l'impact de l'informatique sur l'organisation (dans une étude intitulée "Taylor va au marché" !) concluent à la possibilité d'un "taylorisme flexible" aux antipodes des conceptions "postfordistes". Cette diversité peut même s'observer au niveau d'établissements identiques en terme d'activité, de taille, de technologies utilisées et d'environnement : l'étude de deux hypermarchés de taille moyenne et identique, situés dans des banlieues populaires de grandes villes françaises et appartenant à la même chaîne, montre comment la même exigence de

¹⁰ Eric Brousseau et Alain Rallet notent que cette tendance à contre courant du "discours dominant fondé sur les vertus des modèles décentralisés et intégrés" est confirmée par la "recentralisation des systèmes d'information à l'étape des réseaux" et "le caractère contre-productif de l'intégration des tâches à laquelle pousse une certaine utilisation de l'informatique (le cadre qui réalise des tâches de secrétariat, le chercheur qui se transforme en documentaliste...)" (1997, p. 298)

flexibilité peut être obtenue dans un établissement par une "gestion des ressources humaines taylorienne à très court terme" et dans l'autre établissement par "une gestion de la flexibilité par l'implication et la fidélisation du personnel" avec des modalités opposées point par point (Jean Gadrey, 1999 B, p. 154-155).

Une pluralité de cohérences possibles

Cette insistance sur la diversité des évolutions ne signifie pas que toutes les combinaisons de technologies, d'organisations et de cadres institutionnels soient possibles. Il est impératif que les différents aspects soient cohérents. Mais il existe une pluralité de cohérences possibles, chacune reposant sur une configuration particulière de conventions entre acteurs. Ces configurations peuvent être considérées comme des paradigmes socio-économiques en adoptant la signification de paradigme – formulée avec un autre objectif – de Michel Callon et Bruno Latour : "une certaine manière de concevoir et de percevoir le monde, arbitraire, cohérente et irréductible à toute autre (...), mais également une organisation sociale avec ses règles, ses formes de solidarité, d'apprentissage, la définition d'une identité propre" (1991, p. 18). Toutefois, il nous semble qu'au-delà de "l'assemblage d'une multiplicité d'éléments techniques, culturels, sociaux dont la seule association explique la robustesse" (idem, p. 20), la notion de paradigme avait été introduit par T.H. Kuhn dans l'histoire des sciences pour rendre compte également de l'existence temporaire d'un paradigme dominant, auquel peut se substituer un nouveau paradigme lors d'une révolution scientifique. Dans la mesure où le champ socio-économique se caractérise à l'inverse par la coexistence durable de plusieurs "paradigmes" différents, il nous semble plus pertinent d'utiliser le concept de "monde de production" (cf. chapitre VII).

Section II - L'aspect essentiel du logiciel au sein des technologies de l'information et de la communication

"La caractéristique clé des nouvelles technologies de l'information est leur programmabilité (...). Au risque de faire une tautologie, la programmabilité accroît l'importance des programmes, et des activités d'écriture des logiciels" (OCDE, 1993 B, p. 22). Pourtant l'importance du logiciel au sein des technologies de l'information et de la communication a été longtemps sous-estimée (A). Malgré les difficultés statistiques, il est

patent que les logiciels prennent de plus en plus d'importance, ce que nous appelons la tendance à la "logicialisation" de l'activité économique et sociale (B). Elle intègre le fait que l'importance des logiciels est également qualitative (et non seulement quantitative), ce qui confèrent aux logiciels un caractère stratégique (C).

A - UNE IMPORTANCE LONGTEMPS SOUS-ESTIMEE

La sous estimation de l'importance du logiciel renvoie aux visions "industrialistes" dominantes¹¹. Cette "industrialisation théorique des économistes" (Jean Gadrey) a des racines historiques profondes, et peut s'expliquer par les difficultés de mesure et d'intégration dans les principaux cadres théoriques existants, des activités non industrielles. C'est le cas des activités de services, où les aspects innovatifs, les gains de productivité (qui posent des problèmes particuliers de mesure) sont rarement pris en compte, quand ce n'est pas le caractère productif de ces activités qui est mis en cause.

Dans l'informatique la focalisation sur les aspects matériels au détriment des aspects immatériels¹², a pris des formes particulières. "L'ordinateur était le mythe révééré, (...), le logiciel et le service [faisant] figure de parent pauvre, simple moyen de promotion pour la vente de l'objet précieux : la machine" (Jean-Marie Desaintquentin, Bernard Sauteur, 1991, p. 49). Ce fétichisme de l'ordinateur était déjà présent dans le choix du terme d'ordinateur pour traduire "*electronic data processing machine*" : le traducteur avait retenu le mot "ordinateur" "parce qu'au Moyen Age, Dieu était le grand ordinateur, celui qui mettait de l'ordre dans le monde" (cité par Jean-Yvon Birrien, 1990, p.4). L'ordinateur était une "machine à fantasmés"¹³, ce dont témoignent les articles que la presse lui consacrait¹⁴. L'aspect "visible" de l'acquisition d'un ordinateur était un des facteurs explicatifs de la prédilection des

¹¹ Pour un florilège des conceptions "industrialistes" cf. Jean Gadrey (1999 D).

¹² Jusqu'à une période récente, la plupart des études économiques consacrées à l'informatique ne traitaient que de l'industrie du matériel informatique.

¹³ Tite d'un chapitre du livre de Jean-Pierre Brulé (1993).

¹⁴ Jean-Marie Desaintquentin et Bernard Sauteur (1991) dressent un florilège d'articles de presse particulièrement instructifs, intitulé "la fascination du mythe". L'anecdote suivante est révélatrice de la survalorisation de l'ordinateur en tant qu'objet matériel : lors de la première estimation électorale informatisée réalisée par RTL pour le référendum d'avril 1969, le journaliste commentait : "je suis dans un immeuble de verre et d'acier, avec des machines partout, une multitude de boutons qui clignotent et, devant ces machines, des hommes en blouse blanche", alors que l'ordinateur en question, un Honeywell 1200, comportait en tout et pour tout dix voyants qui ne clignotaient pas, et était utilisé par des informaticiens habillés "normalement" (p. 7).

décideurs pour ce type d'investissement et les aides massives (avec des succès mitigés) que l'industrie du matériel informatique recevait des pouvoirs publics. Par rapport à la fascination exercée par l'ordinateur, la conception des logiciels apparaissait comme une activité mineure, dont les difficultés étaient largement sous estimées¹⁵. Il est significatif qu'il n'ait jamais existé d'entreprises publiques dont l'activité principale était de produire des logiciels, y compris dans des pays comme la France où la place importante du secteur public s'est traduit quasi uniquement par des efforts au niveau du matériel (notamment le Plan Calcul) avec les tentatives récurrentes et volontaristes de constitution de grands producteurs d'ordinateurs nationaux à partir des entreprises publiques¹⁶. De ce fait, les seuls logiciels produits par des entreprises publiques le sont par des entreprises dont l'activité principale est autre (matériel informatique, télécommunications, aéronautique, espace, banques...). La seule tentative d'intervention directe de l'Etat français dans le domaine des logiciels fut la création de l'Agence de l'Informatique (ADI) en 1979 destinée à financer et à aider le développement de logiciels français dans les domaines de la bureautique (projet Kayak), des logiciels sectoriels destinés à une profession particulière (experts-comptables, avocats...), dans la création d'une alternative française à Unix (projet SOL), et dans le lancement de "Projets nationaux" concernant le génie logiciel, l'enseignement assisté par ordinateur, la traduction assistée par ordinateur... Les échecs de ces différentes tentatives conduiront à la dissolution de l'ADI en 1986¹⁷. Il est également significatif qu'il a fallu attendre 1993 pour que le "Manuel de

¹⁵ Le "Centre Mondial Informatique et Ressource humaine", créé par l'Etat en 1982 et présidé par Jean-Jacques Servan-Schreiber, constitue une caricature en la matière. Il s'était uniquement centré sur la question du matériel informatique en considérant que les logiciels seraient créés par les utilisateurs, "la programmation s'apprenant en huit jours". La vision de Thierry Saint Antoine, directeur du Centre mondial, était significative : "les passionnés qui fréquenteront les ateliers pourront créer des logiciels (...). A raison de trois logiciels créés par an et par atelier, on arrive à 150 000. Après, nous pourrions créer un centre mondial du logiciel" (cité par Jean-Pierre Brulé, 1993, p. 27-28). De façon moins anecdotique, il fallut beaucoup d'efforts pour faire reconnaître une science informatique à part entière, qui ne se réduisait pas à la fabrication de matériels.

¹⁶ Un bilan très critique de ces tentatives a été effectué Jean-Pierre Brulé, dans un ouvrage intitulé significativement, "L'informatique malade de l'Etat" et sous titré "Du plan calcul à Bull nationalisée : un fiasco de 40 milliards " (1993). Charles Goldfinger compare l'effort financier de quarante milliards de Francs consenti par les pouvoirs publics entre 1968 et 1993 en faveur de Bull, dont la "position concurrentielle, tant en France qu'à l'étranger, reste précaire", à l'absence de toute subvention de l'Etat pour Cap Gemini Sogeti, leader européen des services informatiques, réalisant plus de 80 % de son chiffre d'affaires à l'extérieur des frontières (1994, p. 63).

¹⁷ Ce constat ne doit toutefois pas masquer l'importance du rôle indirect de l'Etat dans l'économie des logiciels. Richard N Langlois et David C. Mowery (1996) soulignent le caractère déterminant des actions du gouvernement fédéral dans le développement de l'industrie américaine du logiciel : rôle des marchés publics notamment militaires (le Département de la Défense aux Etats-Unis est de très loin le principal consommateur de logiciels), des politiques de formation, d'aide à la recherche... En France, l'Etat représente près de la moitié (48 %) du chiffre d'affaires des SSII (données Syntec Informatique, citées in Abdelaziz Mouline, 1996, p. 24).

Frascati", dont l'objectif est de proposer un cadre méthodologique pour mesurer la recherche-développement, considère que certaines activités de création de logiciels peuvent être considérées comme de la recherche-développement (OCDE 1993 A).

Cependant un certain nombre d'évolutions récentes ont contribué à mieux prendre en compte l'importance du logiciel : le constat que si l'acquisition des équipements informatiques est de moins en moins coûteux, la mise en œuvre efficace de ces technologies paraît plus problématique (Pascal Petit, 1998, p. 18), les échecs de certains constructeurs informatiques et de certains grands projets (par exemple, les ordinateurs dits de "cinquième génération") en raison des difficultés dans le domaine des logiciels, le déplacement de la création de valeur et des marges dans la filière informatique, centré sur le *hardware* dans les années soixante-dix et quatre-vingt (modèle IBM et DEC), vers l'amont (les composants) et vers l'aval (logiciels et services) que symbolise le modèle Wintel, contraction de Windows-Microsoft et Intel (Eurostaf, 1995 B, p. 38-39)¹⁸.

B - LE CONSTAT STATISTIQUE : LA TENDANCE A LA "LOGICIALISATION" DE L'ACTIVITE ECONOMIQUE ET SOCIALE

1 - Malgré les difficultés d'évaluation, une évolution statistique incontestable

Une récente étude de l'OCDE (1998 A) consacrée au profil statistique du secteur du logiciel, souligne les difficultés pour appréhender cette activité. D'une part, il existe des problèmes de mesure pour l'ensemble de l'économie de l'information, qualifiée de "cible mouvante" : l'offre et la demande sont extrêmement mobiles, sous l'impulsion d'un changement technologique rapide et d'un marché international très dynamique ; les données quantitatives proviennent presque exclusivement de sources privées et sont "fréquemment défectueuses, quant à leur robustesse, au champ qu'elles couvrent ou à leur rigueur", et les statistiques officielles, "obtenues souvent avec retard, ne donnent qu'un aperçu assez sommaire" (OCDE, 1998 A, p. 5). D'autre part, le secteur du logiciel pose des problèmes spécifiques, (cf. l'"insaisissabilité" du logiciel analysée au chapitre III), qui se traduisent

¹⁸ Sont significatifs de cette évolution, les changements concernant les procédures d'agrément : dans les années soixante-dix et quatre-vingt, c'étaient les sociétés de services qui étaient des prestataires agréés par les constructeurs informatiques ; actuellement ce sont les constructeurs de matériels qui sont agréés par les éditeurs de progiciels. Il est également révélateur qu'un ouvrage récent intitulé "Techniques innovantes en informatique" (Luc Rubiello, 1997) soit exclusivement consacré au développement de logiciels.

notamment par les difficultés à saisir les frontières du secteur, en raison de la très grande variété des producteurs (David C. Mowery, 1996, p. 304).

De façon synthétique, l'OCDE estime que le logiciel représente environ 20 % du marché total des technologies de l'information, et qu'avec les services informatiques, souvent difficilement dissociables, son importance dépasse celle du matériel : la part du logiciel et des services informatiques au sein du marché mondial des technologies de l'information est passé de 32 % en 1980 à 46 % en 1987 et à 52 % en 1995¹⁹. Le logiciel est "un produit intermédiaire essentiel, et en forte croissance, pratiquement pour toutes les branches d'activités" (OCDE, 1998 A, p. 5). C'est le secteur des technologies de l'information et de la communication dont la croissance est la plus rapide (idem, p. 4).

Selon la Business Software Alliance (1999), les ventes de l'industrie américaine du logiciel ne cessent de s'accroître. Elles ont progressé de 17,8% en 1998, faisant passer la croissance annuelle moyenne du secteur de 10,6% durant la période 1990-1994 à 15,4% dans les années 1994-1998. Au total, le chiffre d'affaires du logiciel américain a atteint 140,9 milliards de dollars l'année dernière, tout juste devancé par l'automobile, et le secteur du logiciel devrait devenir le premier contributeur de l'économie américaine dès l'année 2000.

La croissance la plus rapide est celle des progiciels (cf. tableau et graphique). De 1985 à 1995, le taux de croissance annuel moyen des progiciels est de 16,3 % à comparer à un taux de croissance annuel moyen de 12,8 % pour l'ensemble des technologies de l'information. De ce fait, la part des progiciels passe de 13,5 % du marché mondial des TI en 1985 à 18,4 % en 1995.

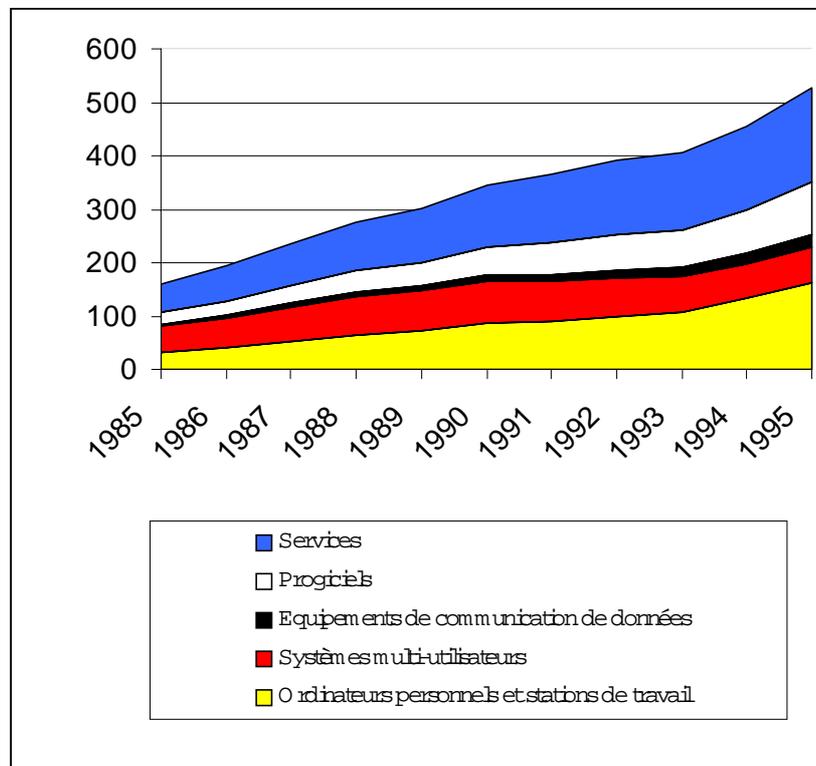
¹⁹ Il faut noter que, selon les sources, les chiffres peuvent être sensiblement différents : en 1996, Eurostaf estimait le marché mondial de l'informatique à 650 milliards de dollars qui se répartissaient en 440 milliards de dollars pour les logiciels et les services, et 210 milliards de dollars pour les matériels (Eurostaf, 1997 A, p. 5). Selon cette estimation, les logiciels et services représentaient donc 67 % du marché mondial de l'informatique en 1996 !

Tableau XV
Marché mondial des technologies de l'information par segment, 1985-95
(Pourcentages, sauf total mondial)

	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Ordinateurs personnels et stations de travail	20,9	21,2	21,8	22,9	24,2	25	24,4	24,8	26,7	29	30,5
Systèmes multi-utilisateurs	29,5	28,7	28,1	26,8	25,3	22,9	20,7	18,8	16,3	14,3	13
Equipements de communication de données	3	2,9	2,9	2,9	3	3,1	3,3	3,6	4,1	4,3	4,3
Progiciels	13,5	13,8	13,9	14,2	14,4	15,5	16,6	17,4	17,6	17,9	18,4
Services	33,1	33,3	33,3	33,2	33,2	33,5	35,1	35,4	35,3	34,6	33,7
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Monde (en milliards de dollars)	158,3	193,5	235,1	276,6	300,3	345,4	364	391,6	405,1	455	527,9

Source : calculs d'après des données IDC, citées in OCDE, 1997 A, p. 16.

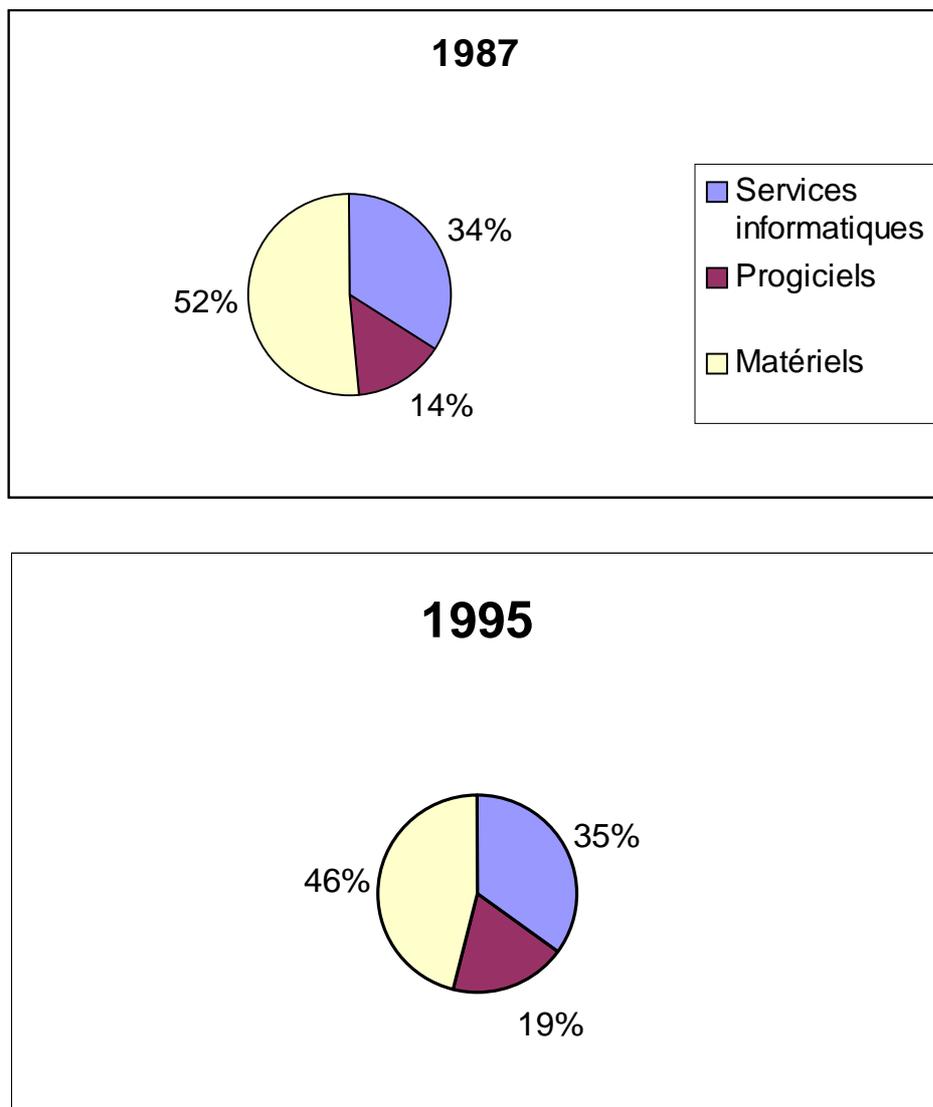
Graphique V
Marché mondial des technologies de l'information par segment, 1985-95
(en milliards de dollars courants)



Source : calculs et représentation effectués d'après des données IDC citées in OCDE, 1997 B, p. 251.

Pour les pays de l'OCDE uniquement (pays où les technologies de l'information sont les plus développées), l'importance prise par les progiciels est légèrement supérieure : la part des progiciels passe de 14,1 % en 1987 à 19,1 % en 1995 (cf. graphique). Sur cette période, le taux de croissance annuel moyen des progiciels (13,8 %) dépassait de 40 % celui de l'ensemble des technologies de l'information (9,7 %).

Graphiques VI
Répartition des technologies de l'information par segment,
(24 pays membres de l'OCDE)



Source : OCDE, 1997 B, p. 5.

Il faut noter que la part des progiciels est vraisemblablement sous-estimée pour plusieurs raisons. Premièrement, de par sa nature intangible, le progiciel est facile à dupliquer et à pirater, ce qui n'est évidemment pas le cas du matériel et des services (OCDE, 1998 A, p.

4). Deuxièmement, il existe dans le cas des progiciels une part non négligeable et croissante de production non marchande (les logiciels libres) qui sont fournis gratuitement ou vendus par des distributeurs à des prix qui ne couvrent pas les coûts de développement de ces logiciels. Troisièmement, les progiciels fournis par les constructeurs informatiques sans facturation séparée, ne sont pas comptabilisés. De plus, il existe des progiciels "indissociés", dont "le prix ne peut jamais être distingué de celui du matériel informatique avec lequel ils sont fournis" (Christine Afriat, 1992, p. 91). Ce phénomène, qui a toujours existé (par exemple dans les consoles de jeux), prend une importance grandissante au fur et à mesure que les frontières entre progiciels et matériel s'estompent : dans les réseaux de communication, les commutateurs logiciels remplacent les commutateurs matériels²⁰, et un éventail croissant de produits incorporent des progiciels (OCDE, 1998 A, p. 5). Il faut également tenir compte des progiciels qui sont fournis de façon intégrée avec des services informatiques (et éventuellement du matériel) dans le cadre de ce que l'on peut appeler un "marché des solutions informatiques" (Christine Babelon, 1987, p. 173).

Si la composante la plus dynamique du secteur des logiciels est sans conteste les progiciels, il faut également intégrer les logiciels sur mesure. Ceux-ci présentent deux difficultés sur le plan statistique : ils sont le plus souvent effectués dans le cadre plus général d'une prestation de service informatique ; une part importante est effectuée en interne. Les logiciels constituent le plus souvent une sous-catégorie des services informatiques, mais il importe de noter que la plupart des autres prestations de services informatiques intègrent, de façon variable et difficilement quantifiable, une part de réalisation de logiciels²¹.

La notion de services informatiques désigne l'ensemble des prestations liées à l'étude, à la mise en place, à l'utilisation, à l'exploitation et à la maintenance des systèmes et matériels informatiques. Chacune des sources d'information établit ses statistiques sur la base de définitions qui lui sont propres, et à partir de champs d'études qui se recouvrent plus ou moins. Il existe ainsi plusieurs classifications internationales officielles et des classifications nationales différentes selon les pays²². Il faut de plus prendre en compte les nombreuses

²⁰ Pour les télécommunications et les systèmes de production automatisée, le logiciel peut atteindre la moitié du coût total (Michel Delapierre, Jean-Benoît Zimmermann, 1984, p. 11).

²¹ Comme le souligne Gérard Dréan (1996 A, p. 195), "de nombreux services consistent en grande partie en développement de logiciels".

²² Une comparaison de ces différentes classifications est effectuée dans OCDE (1998 A, p. 7-12).

sources privées qui ont leurs propres classifications : IDC, Gartner Group, INPUT, Datamation et, pour la France, PAC (Pierre Audoin Conseil) et Syntec Informatique. De plus les différentes classifications sont fréquemment modifiées pour tenir compte de la rapidité des évolutions caractérisée par l'apparition et la disparition périodiques de certaines catégories de services. Par exemple l'INSEE qui recense les services informatiques depuis 1981, les avait classés dans deux secteurs de la NAP 600 : le 7703 (études informatiques et d'organisation) qui comprenait les sociétés d'études informatiques mais également les sociétés de conseil en organisation, et le 7704 (travaux à façon informatique), dont l'importance a considérablement diminué. Dans la nouvelle NAF établie en 1993, les services informatiques sont regroupés seuls dans une seule catégorie (72 Activités informatiques) avec un découpage interne sensiblement différent (cf. tableau).

Tableau XVI
Comparaison des deux nomenclatures de l'INSEE pour les services informatiques.

NAP 3000		NAF	
7703	Etudes informatiques et d'organisation	72	Activités informatiques
77031	<i>Conseil de direction, d'organisation, de gestion</i>	721	Conseil en systèmes informatiques
77032	<i>Formation du personnel des entreprises</i>	722	Réalisation de logiciels
77033	<i>Conseil en recrutement, sélection du personnel</i>	723	Traitement de données
77034	<i>Organisation, formation, recrutement</i>	724	Activités de banques de données
77035	Etudes en informatique, logiciels non standard	725	Entretien et réparation de machines de bureau et de matériel informatique
77036	Ventes ou location de logiciels	726	Autres activités rattachées à l'informatique
77037	Services informatiques		
7704	Travaux à façon informatique		
77041	Travaux à façon informatique, saisie de données		
77042	Locations d'heures machine		

La classification sectorielle pose également des problèmes en raison des fréquentes réorientations de l'activité économique dans ce secteur : changement des activités de base menées par les établissements d'une entreprise, modification de la structure organisationnelle de l'entreprise (fusions et acquisitions, démembrements) (OCDE, 1998 A, p. 15). Enfin il faut noter que beaucoup de données privées sont révisées a posteriori ce qui rend les séries chronologiques peu fiables : par exemple en 1993, IDC estimait le marché mondial des progiciels de 1991 à 51,05 milliards de dollars (à prix courants) ; en 1995 une nouvelle estimation d'IDC évaluait le marché mondial des progiciels de 1991 à plus de 60 milliards de dollars à prix courants (OCDE, 1998 A, p. 27).

En 1992 le marché mondial des services informatiques se répartissait ainsi :

Tableau XVII
Marché mondial des services informatiques

	en milliards de dollars	en pourcentage
Traitements	36	15,9%
Réseaux	20	8,8%
Intégration de systèmes	16	7,0%
Organisation de systèmes	11	4,8%
Prestations intellectuelles	49	21,6%
Formation	7	3,1%
Conseil	10	4,4%
Logiciels outils de base	40	17,6%
Logiciels d'application	38	16,7%
Total	227	100,0%

Source : calculs effectués d'après les données de Datamation, citées in Eurostaf (1995 B, p. 21)

Entre 1990 et 1995, le marché américain des logiciels et services informatiques a connu un taux de croissance annuel moyen de 12 %, et se répartissait ainsi :

Tableau XVIII
Marché des services informatiques des Etats-Unis
(en millions de dollars courants)

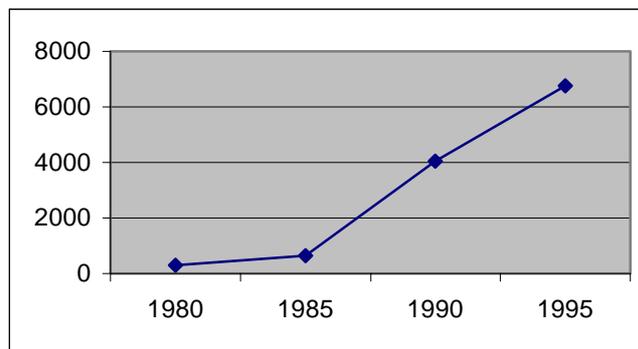
	1990	1995	Taux de croissance global	Taux de croissance annuel moyen
737 Services de programmation informatique, traitement de données, et autres activités de services informatiques rattachées	88 299	152 213	72%	12%
7371 Services de programmation informatique	21318	37447	76%	12%
7372 Progiciels	16523	31087	88%	13%
7373 Configuration de systèmes informatiques intégrés	12916	20592	59%	10%
7374 Préparation et traitement de données, services de traitement	17820	31144	75%	12%
7375 Services de récupération d'information	3547	5489	55%	9%
7376 Services de sous traitance informatique	1994	3110	56%	9%
7377 Location et leasing informatiques	2644	2213	-16%	-3%
7378 Maintenance et réparation informatique	7000	8228	18%	3%
7379 Services informatiques n.c.a.	4537	12903	184%	23%

Source : calculs effectués d'après les données de l'OCDE (1998 A, p. 23)

Sur une période de 10 ans, le taux de croissance annuel moyen de l'ensemble du secteur logiciel et services informatiques aux Etats-Unis a dépassé 13 %. Ce secteur qui représentait 1,1 % du PIB américain en 1958, en représente 2,7 % en 1995 (d'après les données OCDE, 1998 A, p. 18).

Au Japon, pour la même période, la croissance est encore plus rapide (le taux de croissance annuel moyen dépasse 26 % entre 1985 et 1995, et il atteint même 44 % sur la période 1985-1990), mais le poids du secteur dans l'économie japonaise demeure plus faible qu'aux Etats-Unis : il passe de 0,5 % du PIB en 1985 à 1,3 % en 1995 (d'après les données OCDE, 1998 A, p. 18).

Graphique VII
Logiciels et services informatiques au Japon
(en millions de dollars courants)



Source : représentation d'après les données de l'OCDE (1998 A, p. 18)

Pour le marché européen, l'évolution est la suivante :

Tableau XIX
Les différents segments du marché européen
(en milliards de dollars courants)

	1993	1994	taux de croissance 94/93	1999 (prévision)	TCAM 99/93 (prévision)
Prestations intellectuelles	20,5	21,0	2,4%	25,0	3,4%
Prestations matérielles	19,4	19,2	-1,0%	19,1	-0,3%
Logiciels systèmes	11,8	12,2	3,4%	14,5	3,5%
Systèmes clé en main	11,1	11,7	5,4%	16,6	6,9%
Logiciels applicatifs	9,3	10,1	8,6%	17,2	10,8%
Services de traitement	7,3	7,6	4,1%	9,0	3,6%
Services réseaux	4,9	5,6	14,3%	11,6	15,4%
Intégration de systèmes	4,1	4,6	12,2%	8,0	11,8%
Infogérance	2,5	3,2	28,0%	7,65	20,5%
Total	90,9	95,2	4,7%	128,65	6,0%

*Source : calculs effectués d'après les données Input,
citées in Eurostaf (1996 A, p. 25-26)*

Globalement, à partir des données de l'EITO (European Information Technology Observatory), la croissance du secteur du logiciel et des services en Europe serait de 22,1 % entre 1992 et 1996, soit près du double de celle du matériel (11,7 %). On constate que de même que le niveau d'équipement en matériel informatique reflète l'état de développement d'un pays, la part des logiciels et des services dans les technologies de l'information augmente avec le niveau de développement des pays. Par exemple, le marché des technologies de l'information en Chine en 1994 se répartissait ainsi :

Tableau XX
Répartition du marché des technologies de l'information en Chine
(en pourcentage)

Matériel	Logiciel	Communication de données	Services
87 %	3 %	8 %	2 %

Source : IDC et OCDE, citées in Eurostaf (1996 A, p. 24)

Il faut toutefois noter qu'à la même époque, le taux de piratage des progiciels en Chine était estimé à plus de 90 % !

En France selon Pierre Audoin Conseil, le secteur logiciels et services avait une croissance annuelle moyenne de 4,9 % entre 1991 et 1995 alors que les dépenses en matériel en 1995 étaient au même niveau qu'en 1991 (Eurostaf 1996 A, p. 206).

A partir de la nomenclature de l'INSEE, le chiffre d'affaires du secteur logiciels et services se répartissait ainsi :

Tableau XXI
Répartition du secteur logiciels et services en France
(chiffre d'affaires 1995 en millions de dollars courants)

		Chiffre d'affaires	Répartition 1995	Répartition 1996
72	Activités informatiques	25195	100%	100%
721	Conseil en systèmes informatiques	7387	29%	30%
722	Réalisation de logiciels	7488	30%	32%
723	Traitement de données	7515	30%	30%
724	Activités de banques de données	487	2%	2%
725	Entretien et réparation de machines de bureau et de matériel informatique	2318	9%	6%

*Source : données OCDE (1998, p. 23)
et INSEE (Secrétariat d'Etat à l'Industrie, 1999, p. 28).*

En termes d'emploi, l'évolution était la suivante :

Tableau XXII
Evolution des effectifs salariés en France

72	Activités informatiques	1981	1985	1989	1993	1996	TCAM 96/81
721	Conseil en systèmes informatiques	62532	100192	135216	148216	169156	6,9%
722	Réalisation de logiciels	5283	10938	21285	33639	52116	16,5%
723	Traitement de données	6197	14297	30540	45837	55837	15,8%
724	Activités de banques de données	27285	35110	41333	43232	40904	2,7%
725	Entretien et réparation de machines de bureau et de matériel informatique	1472	2477	3935	4255	4985	8,5%
726	Autres activités rattachées à l'informatique	22272	37359	38065	20918	14527	-2,8%

Source : calculs effectués d'après des données UNEDIC in DARES (1998, p. 4).

On dispose également pour la France des données Input, déjà utilisées au niveau européen :

Tableau XXIII
Les différents segments du marché français
(en milliards de Francs courants)

	1994	1995	Taux de croissance 95/94	2000 (prévision)	TCAM 2000/94 (prévision)
Prestations intellectuelles	38,8	39,4	1,5%	42,4	1,5%
Prestations matérielles	19,9	19,5	-2,0%	19,7	-0,2%
Logiciels systèmes	15,8	16,5	4,4%	19,3	3,4%
Systèmes clé en main	11	11,4	3,6%	15,8	6,2%
Logiciels applicatifs	14,9	15,6	4,7%	23,1	7,6%
Services de traitement	8,9	8,9	0,0%	10	2,0%
Services réseaux	8,3	9,1	9,6%	18,8	14,6%
Intégration de systèmes	5,4	5,8	7,4%	9,6	10,1%
Infogérance	4,7	5,5	17,0%	12,2	17,2%
Total	127,7	131,7	3,1%	170,9	5,0%

Source : calculs effectués d'après les données Input, citées in Abdelaziz Mouline (1996, p. 23)

On constate que la structure et les évolutions du marché français sont peu différentes du constat effectué au niveau européen.

Enfin, pour la France, on dispose également des données fournies par Pierre Audoin Conseil.

Tableau XXIV
Croissance annuelle des différents segments du marché français
(en %, sauf C.A. 1996 en millions de F.)

	1991	1992	1993	1995	1996	Chiffre d'affaires 1996
Progiciels	13,8	10,0	7,5	9,9	9,0	25,73
Conseil, Assistance, Réalisation	6,5	5,5		7,1	6,0	24,66
Maintenance matériel	2,4	-1,0	-2,5	-5,6	-2,9	14,41
Logiciel de base	10,0	6,5	2,0	2,0	3,0	12,63
Intégration de systèmes	12,0	11,0	4,5	7,5	9,0	11,56
Infogérance				13,7	13,0	11,67
Traitement	10,0	8,7	12	8,8	10,0	9,17
Ingénierie de solutions	4,7	5,3		6,2	6,0	9,29
Total	8,0	5,8	3,0	5,8	6,3	119,13

Source : d'après les données de Pierre Audoin Conseil, citées in Eurostaf, 1995 B p. 23 et Eurostaf 1997 B p. 246

Il importe de remarquer que toutes ces statistiques ne concernent que la production primaire de logiciels et de services informatiques, c'est à dire la production vendue sur le marché. La production totale de logiciels et services informatiques intègre également la production secondaire, c'est à dire les logiciels et les services informatiques réalisés par entreprises n'appartenant pas au secteur informatique, comme les cabinets d'experts-comptables ou les sociétés de conseil, ainsi que la production réalisée par les organisations utilisatrices (par exemple, le système de réservations aériennes Sabre d'American Airlines). En général, les statistiques publiques ou privées n'en tiennent pas compte alors que cette production est importante. Par exemple, en France le ratio entre logiciels produits pour

compte propre et investissements totaux en logiciels était estimé à 42 % en moyenne pour les années 1985-1990²³ (OCDE, 1998 A, p. 6).

Toutefois, lorsque la formation brute de capital fixe a été étendue aux logiciels lors de la mise en application du nouveau système européen de comptabilité nationale (SEC 95), a été définie une FBCF en logiciels qui prend en compte, en plus de l'acquisition des logiciels spécifiques et standards, les logiciels développés pour compte propre. Par contre la FBCF en logiciels n'intègre pas les logiciels fournis avec le matériel, comptabilisés en FBCF de matériel, ni les achats par les ménages, consommation qui reste encore faible en regard des achats des entreprises et des administrations.

Tableau XXV
Evolution de la FBCF en logiciels en France
(en millions de F. courants)

	1992	1993	1994	1995	1996
FBCF en logiciels	32 226	30 082	31 318	36 092	43 241
Taux de croissance		-6,65%	4,11%	15,24%	19,81%

Source : Données sur la FBCF issues des Comptes nationaux, citées par Jean-Pierre Berthier (1999, p. 12)

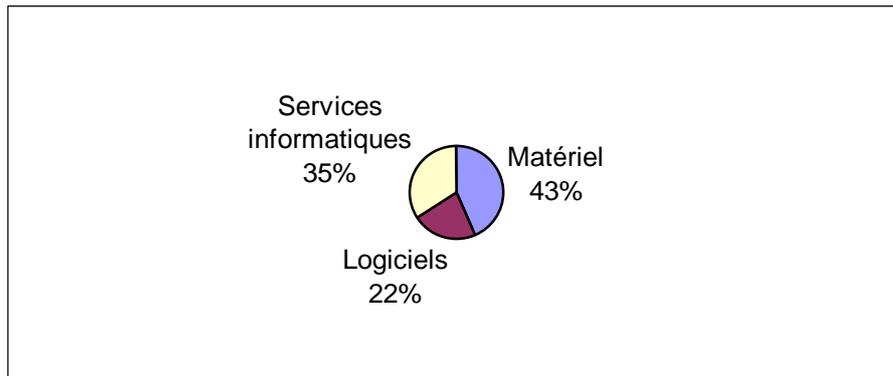
La forte croissance de la FBCF en logiciels (7,63 % de taux de croissance annuel moyen sur la période 1992-1996) confirme l'importance des logiciels dans les investissements immatériels mise en évidence dans des études plus anciennes. Une étude du Crédit National montrait que de 1974 à 1983, au sein de l'investissement immatériel lui-même en forte croissance, les logiciels étaient la seule composante dont la part relative avait augmenté (Christine Afriat, Pierre Caspar, 1988, p. 20) ; en 1983, l'investissement logiciel interne était estimé légèrement inférieur à l'investissement logiciel externe (idem, p. 63).

De même, certaines études des dépenses informatiques des entreprises intègrent pour les logiciels, les dépenses liées à la création de logiciels en interne. C'est le cas de l'étude du

²³ Une façon indirecte de mesurer l'ampleur de cette production est le constat qu'en mars 1997, en France, sur 281 000 informaticiens, 120 000 travaillaient dans le secteur des technologies de l'information et de la communication, et 161 000 dans d'autres domaines d'activités (Secrétariat d'Etat à l'Industrie, 1999, p. 162).

Secrétariat d'Etat à l'Industrie, sur les dépenses informatiques des entreprises industrielles (à noter par contre que les dépenses de logiciels ne comprennent, pour les acquisitions de logiciels, que celles qui sont dissociées du matériel informatique) :

Graphique VIII
Répartition des dépenses informatiques des entreprises industrielles
(France, 1997)



Source : *Enquête annuelle d'entreprise, Secrétariat d'Etat à l'Industrie (1999, p. 72)*

Aux Etats-Unis, l'investissement en logiciels, intégrant les logiciels développés pour compte propre, a été estimé par le US Bureau of Economic Analysis (1997).

Tableau XXVI
Initial Estimates of Investment in Computer Software
(en milliards de dollars courants)

	1987	1992	TCAM 1987-1992
Computer programming services	13,5	25	13,1%
Prepackaged software	10,5	21,2	15,1%
Own-account software production	51,4	81	9,5%
Investment in computer software	78,4	125,8	9,9%

Source : *calculs effectués d'après les données US Bureau of Economic Analysis (1997, p. 3).*

On constate la forte croissance sur la période de l'investissement en logiciels (près de 10 % de taux de croissance annuel moyen) dont la composante la plus dynamique est constituée par les achats de progiciels. Cette forte croissance a fait passer les investissements en logiciels de 1,67 % du PIB américain en 1987 à 2,01 % en 1992. Il faut noter que si les logiciels développés pour compte propre ont vu leur importance diminuer, ils continuent à constituer la part la plus importante des investissements en logiciels.

De façon plus générale, à partir de la connaissance des dépenses de recherche-développement en matière de logiciels pour certains pays, l'OCDE en déduit que "l'utilisation totale de logiciels par les entreprises est très supérieure à ce qu'indique seulement le chiffre d'affaires du marché" (OCDE, 1997 B, p. 68).

Le dernier problème statistique, pour apprécier l'importance acquise par les logiciels au sein de l'informatique et plus généralement de l'activité économique, concerne la nécessaire prise en compte de l'évolution des prix. Toutes les données que nous avons citées sont en monnaie courante. La mesure de la variation des prix des logiciels est particulièrement délicate. Elle combine trois problèmes qui renvoient à la nature particulière du produit logiciel. Le premier problème, qui existe également pour le matériel informatique, a trait aux différences selon les méthodes utilisées pour traiter l'effet qualité concernant des produits dont les caractéristiques changent rapidement (traitement par chaînage, méthodes hédoniques...). Le second problème plus spécifique au logiciel sur mesure, que l'on retrouve pour de nombreuses activités de services, concerne l'évaluation de la personnalisation du produit. Le troisième problème, commun aux biens intangibles, concerne la faiblesse des coûts de reproduction, qui tendent vers zéro avec les possibilités de livraison électronique. S'y ajoute dans le cas des progiciels, les stratégies particulières liées à la force des rendements croissants d'adoption et notamment des externalités de réseaux directes et indirectes. Il existe peu d'études sur la question. Une étude de la Software Publishers Association basée sur la méthode des modèles correspondants et portant sur les logiciels d'application pour ordinateur personnel en Amérique du Nord, estime à -2,7 %, le taux de diminution annuel moyen des prix des logiciels sur la période 1987-1993. Cette baisse est variable selon le type de logiciel : elle est de -1,1 % pour les traitements de texte, de -4 % pour les tableurs et de -4,2 % pour les systèmes de gestion de bases de données. Pour ce dernier type de logiciels, une autre étude menée en Allemagne entre 1986 et 1994 estimait la baisse annuelle moyenne des prix à -7,4

% par la méthode hédonique et à -9,3 % par la méthode des modèles correspondants²⁴ (OCDE, 1998 A, p. 41-42).

Certes cette baisse des prix est moins rapide que dans le matériel informatique, mais elle est par contre vraisemblablement plus rapide que dans la partie "services purs" des services informatiques. Le déplacement de la valeur ajoutée du matériel vers le logiciel est illustré par la boutade suivante du dirigeant d'un grand constructeur américain : "de 1950 à 1960, le matériel était vendu, le logiciel était donné ; de 1960 à 1990 le matériel et le logiciel sont vendus séparément ; à partir de 1990 le logiciel sera vendu et le matériel donné" (cité par Economie et prévision, 1986). Si ce pronostic ne s'est pas complètement réalisé²⁵, certains auteurs estiment que l'on assiste à une inversion de la règle des 80-20 qui caractérisait les parts relatives du matériel et du logiciel à l'ère de la "grande informatique" (Jean-Benoît Zimmermann, 1995, p. 183, David Mowery, 1996, p. 3).

L'importance acquise par le logiciel est illustrée par le fait que c'est un éditeur de progiciels (Microsoft) qui est devenu la première capitalisation boursière mondiale. La mutation d'IBM est également significative de cette évolution. IBM était essentiellement à l'origine un producteur de matériels informatiques. Elle domina longtemps de façon hégémonique l'informatique mondiale, et elle représente toujours le chiffre d'affaires le plus important dans l'informatique. Depuis 1995, la part du logiciel et des services a dépassé le matériel dans les ventes d'IBM, et son objectif est de réaliser les deux tiers de son chiffre d'affaires dans les logiciels et les services pour la fin de la décennie (Eurostaf, 1996 A, p. 136).

Cette évolution nous conduit à parler d'une "logicialisation" de l'activité économique et sociale.

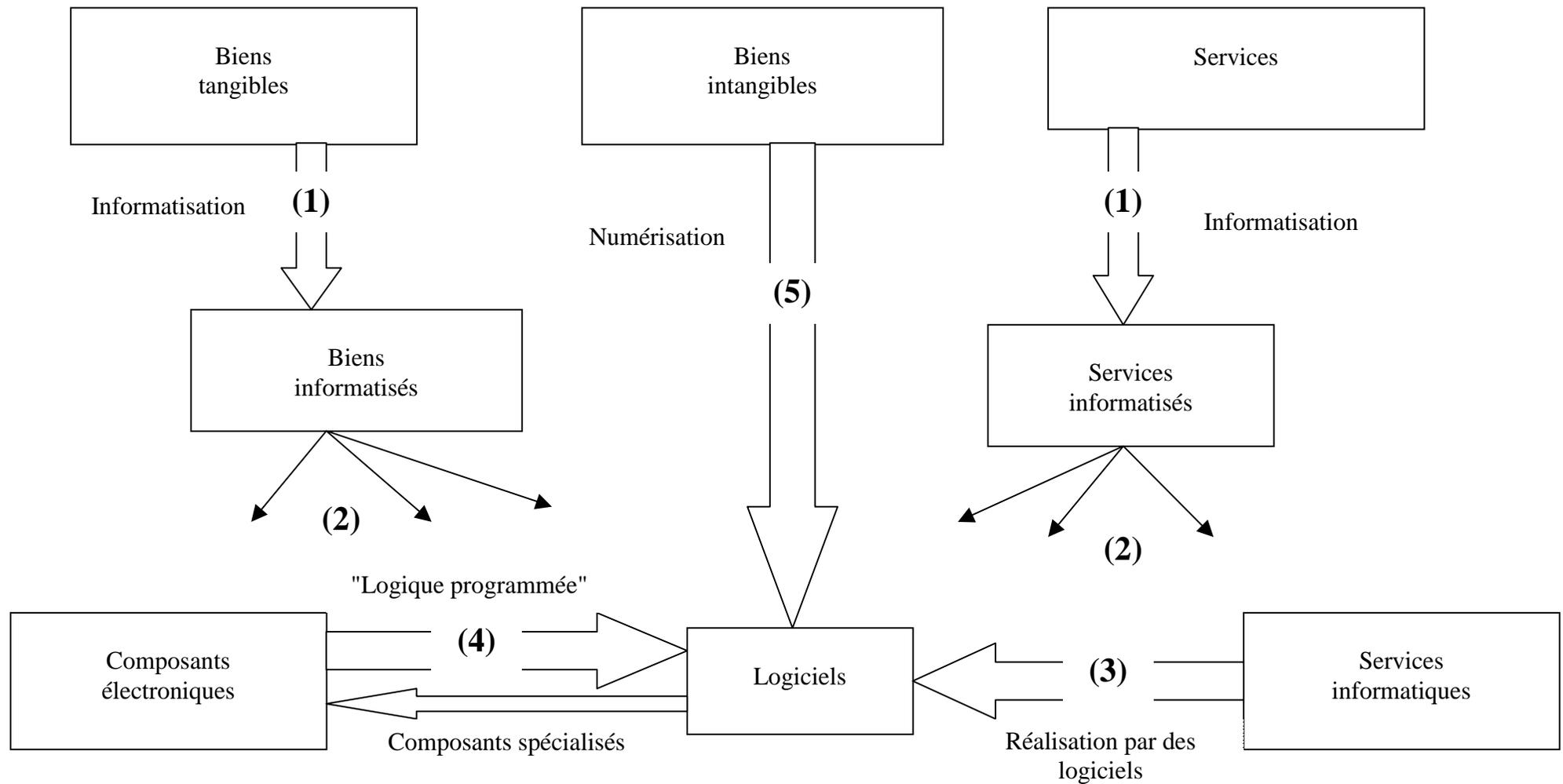
²⁴ La baisse plus rapide estimée par la méthode des modèles correspondants peut s'expliquer par la baisse forte des prix des anciennes versions d'un progiciel fréquemment observée en cas de commercialisation simultanée d'une nouvelle version.

²⁵ Si ce sont développées récemment quelques initiatives spectaculaires de fourniture gratuite d'ordinateurs personnels, elles sont liées à la consommation de certains services (par exemple d'accès à Internet) ou à un financement indirect par de la publicité (voire dans certains cas, à l'acquisition de données fines sur les utilisateurs, permettant de constituer des "profils" valorisables ultérieurement). Le modèle (matériel donné, services facturés) fit le succès du Minitel en France. Il faut toutefois prendre en compte, dans le cas du micro-ordinateur, le fait qu'il peut être utilisé pour d'autres usages que le service facturé lié, et il est prématuré pour se prononcer sur la viabilité économique à terme de ce type de pratiques.

2 - La tendance à la "logicialisation" de l'activité économique et sociale

Nous définissons la "logicialisation" de l'activité économique et sociale comme étant la combinaison de deux phénomènes : l'informatisation des biens et des services qui entraîne le développement du secteur informatique (matériels, logiciels et services informatiques) ; au sein du secteur informatique, la part de plus en plus importante prise par le logiciel au détriment du matériel et des services informatiques. La "logicialisation" intègre également un phénomène plus récent mais dont la croissance est très rapide, à savoir la numérisation progressive de l'ensemble des biens intangibles et ses conséquences (cf. schéma IX).

Schéma IX : La "logicalisation" de l'activité économique



En suivant les flux du schéma IX, on peut effectuer les remarques suivantes. L'informatisation des biens et des services (1) a été déjà largement analysée. L'informatisation des biens consiste à doter les biens de fonctions informatives, de possibilités de programmation par l'utilisateur et de réaction à l'environnement, de plus en plus sophistiquées. Elle concerne une part croissante des biens de consommation, et la majorité des biens d'équipements (Machines Outils à Commande Numérique, automates programmables, robots...). L'informatisation de services de plus en plus divers se développe rapidement, comme en témoigne le fait que c'est le secteur qui est le principal utilisateur des technologies de l'information dans toutes les économies développées (OCDE, 1993, p.14)²⁶ avec notamment le développement de nombreuses situations de self-service (Jonathan Gershuny, 1978)²⁷. La forte croissance des biens et des services informatisés, à laquelle il faut intégrer la création de nouveaux biens et services d'emblée informatisés, a induit une demande importante en matériel informatique divers, en composants électroniques, en logiciels et en services informatiques (2).

A l'intérieur de ce secteur informatique en forte croissance, on constate statistiquement que la part des logiciels augmente. La première explication est qu'une proportion croissante des services informatiques est réalisée par des logiciels (3). C'est notamment le cas pour les services de support (formation, aide à l'installation et à l'utilisation, maintenance et gestion de systèmes...), ce qui expliquerait que ces services n'aient pas connu la croissance exponentielle que prévoyaient ceux qui se fondaient uniquement sur la croissance des besoins de support dus à l'existence de nouveaux produits et de nouveaux usages, en lien avec l'impressionnante augmentation de la puissance informatique installée (Gérard Dréan, 1996 A, p. 279-280).

La deuxième explication est qu'une part croissante des traitements informatiques qui étaient effectués directement par des composants matériels sont réalisés par des logiciels (4). Il faut à ce niveau prendre en compte le fait que, techniquement, les possibilités de

²⁶ Ce même rapport souligne "qu'il est donc paradoxal que la plupart des travaux statistiques détaillés sur les technologies de l'information soient toujours axés principalement sur l'industrie", alors que les logiciels et services informatiques représentent, à eux seuls, plus du quart des dépenses de recherche-développement des entreprises du secteur des services des pays de l'OCDE (OCDE, 1998, p. 4). De même, plusieurs études convergentes indiquent que "les services regroupent 85 % du total des investissements privés dans les technologies de l'information" (Jean Gadrey, 1996, p. 150).

²⁷ Il faut toutefois noter que de même que l'automatisation du travail industriel a révélé l'importance de certains aspects du travail qui n'étaient pas formellement reconnus, l'automatisation de certains services dévoile l'utilité de certaines dimensions des services, notamment relationnelles, quand elles sont supprimées.

substitution entre composants matériels et composants logiciels existent dans les deux sens, et il existe des exemples d'opérations logicielles qui en étant gravées dans le silicium sont transformées en composants matériels : par exemple, les premiers micro-ordinateurs comprenaient fréquemment un interpréteur BASIC gravé dans la mémoire morte (ROM) de l'ordinateur ; récemment IBM a développé un processeur spécialisé pour protéger la confidentialité des documents contenus sur un ordinateur ou envoyés sur Internet, aspect décisif notamment pour le développement du commerce électronique, alors que les fonctions d'encryptage des fichiers et de signature électronique pour authentifier l'auteur ou l'émetteur d'un document sont habituellement réalisées par des dispositifs logiciels (18h.com Le quotidien de l'Expansion, 27/9/99). Un exemple intéressant est le choix opéré par les concepteurs du Mac de placer l'interface graphique dans la mémoire morte de la machine, ce qui incitait fortement les développeurs d'application à utiliser cette interface plutôt que d'en construire une spécifique à l'application (Frederick P. Brooks, 1996, p. 229-230). Ceci a contribué à la facilité d'utilisation de cette interface devenue standard pour toutes les applications Mac et donc à la facilité d'utilisation du Mac qui contribua grandement à son succès. Mais ceci s'avéra également un sérieux handicap quand se développa une interface graphique concurrente (Windows) avec la nécessité pour les développeurs d'applications d'effectuer un double développement de leurs applications.

Les considérations économiques expliquent qu'au-delà de ces cas particuliers, c'est la substitution du logiciel au matériel qui l'a largement emporté sur l'opération inverse : plus grande flexibilité de ce qui est exécuté par des logiciels que par des dispositifs matériels²⁸, ce qui est un atout décisif vu la rapidité des évolutions et des corrections nécessaires, possibilité de fabriquer des composants matériels moins spécialisés source d'économies d'échelle déterminantes dans ce secteur. C'est ce que Jean-Benoît Zimmermann (1995, p. 183) appelle le passage d'une "logique câblée à une logique programmée". Une illustration de ce phénomène est l'introduction dans les années quatre-vingt et le rapide développement au début des années quatre-vingt-dix, des processeurs à architecture RISC (*Reduced Instruction Set Computing*). A la différence des processeurs CISC, les processeurs RISC ont un répertoire d'instructions exécutables par le matériel extrêmement réduit, ce qui permet des gains en

²⁸ C'est ce qui explique que la tentative de Digital Research de faire graver par Intel son système d'exploitation CP/M (l'un des premiers systèmes d'exploitation pour micro-ordinateurs) n'ait pas abouti et n'a jamais été reprise par un autre producteur de logiciel par la suite.

termes de coût et de rapidité, toutes les opérations plus complexes étant réalisées par une "couche" supplémentaire de logiciels. Il est vraisemblable que la même évolution s'opérera, pour les mêmes raisons (flexibilité et économies d'échelle), pour l'ensemble des biens qui contiennent à l'heure actuelle des composants électroniques spécifiques, dédiés à un usage particulier, et qui, au fur et à mesure de l'augmentation de leur puissance de traitement et de leur interconnexion, seront progressivement remplacés par des composants électroniques universels, la différenciation de leurs fonctions étant assurée par des logiciels (Jean-Benoît Zimmermann, 1998 A, p. 131-132).

La dernière dimension de la "logicialisation" concerne les conséquences de la numérisation, qui se généralise rapidement, de l'ensemble des biens intangibles quelle que soit leur forme originelle (écrit, image, photo, son, film...). D'une part, la production, la diffusion, la consommation de ces biens nécessite du matériel adéquat mais également de plus en plus de logiciels²⁹ (cf. par exemple l'importance des logiciels de compression de données³⁰). D'autre part, les possibilités accrues d'interactivité avec les utilisateurs et d'intégration de documents existants à l'origine sous des formes très variées, offrent de nouvelles opportunités de création, notamment culturelles, et estompent la distinction avec la création de logiciels (5).

Les logiciels vont donc certainement continuer à voir leur poids augmenter dans l'activité économique. L'OCDE considère qu'il est déjà le "secteur le plus important économiquement, et qu'il est à l'économie fondée sur le savoir ce que les secteurs de l'acier et de l'automobile étaient à l'économie industrielle" (1998 A, p. 4). Mais au-delà de ces aspects quantitatifs, c'est également sur un plan qualitatif que l'importance des logiciels est croissante.

C - L'IMPORTANCE QUALITATIVE DES LOGICIELS

C'est tout d'abord par rapport à l'ensemble de l'informatique que les logiciels jouent un rôle qualitativement de plus en plus important. Certes il existe des relations de complémentarité techniques mais également économiques entre le matériel et le logiciel,

²⁹ Asdrad Torrès souligne que les "principaux bénéficiaires du multimédia pourraient bien être (...) les entreprises de logiciels" (1996, p.16).

³⁰ Par exemple, le développement de la vidéo numérique ne peut s'effectuer qu'à l'aide des logiciels de compression, qui permettaient en 1995 de réduire les 45 millions de bits par seconde à 1,2 (Nicholas Negroponte, 1995, p 30).

comme l'illustre la course-poursuite entre matériels de plus en plus puissants et logiciels de plus en plus "gourmands". Aux origines de l'informatique, c'était le matériel qui était la question la plus importante, ce qu'atteste le poids qu'avaient les constructeurs informatiques sur l'évolution de l'ensemble du secteur. C'est avec l'irruption de la micro-informatique qu'un basculement décisif se produisit. Les succès initiaux de la micro-informatique sont largement dus à un logiciel (Visicalc, premier tableur en 1979) et la forte croissance ultérieure de la micro-informatique doit beaucoup aux services de plus en plus diversifiés qu'offre un micro-ordinateur grâce à une gamme de plus en plus étendue de logiciels dans les domaines les plus divers. Il est significatif qu'à cette époque la question des standards décisifs en informatique se soit déplacée du matériel vers les logiciels (cf. chapitre II) et que les producteurs de logiciels soient devenus les acteurs déterminants de l'évolution de la filière.

En même temps que le matériel se banalise, les logiciels, qui confèrent au matériel son utilité³¹, occupent une place de plus en plus stratégique au sein de l'informatique. C'est la conclusion à laquelle parviennent différentes études sur le sujet, dont l'évolution est éloquent, les plus anciennes mentionnant également parfois les composants et les services comme éléments déterminants : "deux des nœuds technologiques les plus importants de la filière électronique sont les composants électroniques et les logiciels qui représentent une partie des clés de la domination de la filière" (Eric Labat, 1984, p.15) ; "le logiciel représente à la fois l'enjeu majeur de l'industrie informatique et son principal goulot d'étranglement" (Christine Babelon, 1987, p. 21) ; "le logiciel est l'élément essentiel des systèmes de technologies de l'information et la principale source de coûts" (OCDE, 1991, p. 9) ; "le logiciel et les services sont les moteurs de la croissance" (Daniel Weissberg, 1992, p.73) ; "plus que jamais l'évolution [du logiciel] est au centre de toute l'industrie informatique" (Gérard Dréan, 1996 A, p. 255) ; "le logiciel devient le cœur du système informatique, apportant de l'intelligence à un produit banalisé (...) ; [il] se positionne de plus en plus comme le produit stratégique dans les systèmes d'information au détriment du matériel" (Eurostaf, 1996 C, p. 5 et 13).

³¹ Comme le note Gérard Dréan, "le logiciel est au sens propre l'âme du matériel, c'est à dire ce qui l'anime. Un ordinateur peut être défini comme « une machine à exécuter des programmes », et le matériel n'est qu'un corps vide inerte capable de recevoir une grande variété d'âmes sous forme de programmes" (1996 A, p. 195).

L'évolution est également sensible sur le plan des innovations, Alors qu'il ne s'est pas produit d'innovations majeures dans le matériel depuis vingt ans (Christian Genthon, 1995, p. 93)³², mais essentiellement la poursuite des tendances passées (miniaturisation, augmentation des capacités de traitement, de mémorisation et baisse des coûts), les innovations dans le domaine du logiciel deviennent de plus en plus déterminantes dans l'évolution de l'informatique actuelle et future (cf. chapitre III), même si elles sont fréquemment sous-estimées³³. Déjà en 1985, Christine Afriat et Pierre Caspar relevaient que même les fabricants d'ordinateurs consacraient une part de leur budget de recherche plus importante pour les logiciels (55 %) que pour la mise au point des matériels (45 %), alors que ces parts étaient respectivement de 35 % et de 65 % en 1981 (1988, p. 66).

Il faut noter également que la poursuite des progrès dans les composants électroniques devient de plus en plus tributaires des perfectionnements en matière de logiciels, que ce soient pour les logiciels présents sur les microprocesseurs (microprogrammes), comme pour les logiciels indispensables pour produire des composants intégrant des millions de transistors. La mise au point du logiciel capable d'exploiter les 350 millions de transistors que l'on prévoit de pouvoir intégrer sur un microprocesseur en 2006 constitue un redoutable défi (Jacques Printz, 1998, p. 49). De plus, de nombreux experts, dont Gordon Moore lui-même, considèrent que la "loi" de Moore (doublement du nombre de transistors présents sur un composant tous les 18 mois) s'arrêterait d'ici une dizaine d'années, en raison de limites physiques : la poursuite de la miniaturisation serait impossible, le plus petit composant de transistor à base de silicium mesurerait à peine 4 à 5 atomes d'épaisseur ce qui empêcherait l'isolation. Les autres solutions envisagées (ordinateurs moléculaires, ordinateurs ADN et ordinateurs quantiques) en sont encore au stade expérimental. Dès lors les limites physiques à la poursuite de l'augmentation de la puissance des microprocesseurs ne pourraient plus être contournées que par les progrès en matière d'architectures et de logiciels (Michel Catinat, 1998, p. 39). Par exemple, des recherches sont en cours au MIT (projet Oxygen) sur les perspectives apportées par la

³² Constat partagé par Gérard Dréan qui affirme : "l'innovation et la création des standards ont échappé aux grands fournisseurs de matériels, qui semblent livrer des combats d'arrière garde plutôt que contribuer aux progrès de l'informatique" (1996 A, p. 4).

³³ La sous-estimation de l'innovation dans des activités de type services a été analysée par Faïz Gallouj, qui souligne la "tendance à privilégier les aspects "matériels" des phénomènes d'innovation" et qui l'explique par la "transposition de concepts industrialistes et technologistes" (1994, p. 5).

possibilité de rendre le câblage des puces modifiable par les logiciels, de manière à rendre le microprocesseur configurable en fonction des besoins de chaque application.

Le caractère de plus en plus stratégique des logiciels ne se limite pas au secteur de l'informatique. "Les systèmes logiciels sont devenus quelque chose de vital dans l'exploitation des entreprises de haute technologie aussi bien que des entreprises commerciales, vital aussi pour les organisations gouvernementales et militaires" (Capers Jones, 1989, p. 14). Les logiciels jouent un rôle de plus en plus important, notamment dans l'architecture des systèmes d'informations (Jean-Benoît Zimmermann, 1995, p. 183) : "avec la généralisation des technologies numériques, le logiciel conquiert progressivement une dimension essentielle, en tant qu'outil déterminant de cette mutation puisqu'il apparaît comme le support organisateur des flux multiples d'informations traités par les systèmes électroniques" (Jean-Louis Caccomo, 1996, p. 11). Les investissements en logiciels sont un facteur déterminant des différentiels de productivité, à équipement égal, d'une firme à l'autre (Alain Rallet, 1997, p. 88), ce qui explique que les activités consacrées au logiciel représentent une part croissante des activités de recherche-développement des entreprises pour atteindre un cinquième ou plus de la recherche-développement totale des pays où ces chiffres sont mesurés (OCDE, 1997 B, p. 6). La conception des logiciels a une influence croissante sur le type de produits réalisés et surtout sur la façon de les produire, selon des modalités proches des choix concernant les machines auparavant.

L'importance qualitative des logiciels ne se limite pas à la sphère productive. Elle se retrouve dans des domaines très divers depuis les opérations militaires³⁴ jusqu'à de multiples activités sociales et culturelles : les logiciels "commencent déjà à déterminer la façon dont on apprend, dont on travaille, dont on se distrait, dont on se soigne, dont on consomme et aussi dont on forme son opinion" (Roberto Di Cosmo, Dominique Nora, 1998, p. 17). Les logiciels ont une influence sur nos modes de pensée mais sont également déterminés par ceux-ci (Pascal Petit, 1998, p. 29) : par exemple, une étude menée par des chercheurs de la Open University, l'Université de Bournemouth et l'University Hertforshire montre comment les plus grandes difficultés des filles anglaises face à l'informatique, alors que globalement leurs

³⁴ Dans ce domaine, "la guerre du golfe a suffisamment montré le poids du soft sur le théâtre d'opérations : guidage des missiles, logistique générale, traitement d'images satellitaires, simulation d'environnements" (Daniel Weissberg, 1992, p. 73).

résultats scolaires dépassent ceux des garçons, s'expliquent par les "images à caractère masculin" utilisées dans les logiciels (Les News 10/5/99).

Au terme de cette analyse, il apparaît nettement que l'information et les connaissances jouent un rôle croissant dans l'économie, que ce soit au niveau de l'importance prise par les biens et services informationnels, ou au niveau du fonctionnement des organisations comme de l'ensemble de l'économie. Les technologies de l'information et de la communication, technologies "invasives", ont joué un rôle majeur dans cette évolution. Par contre elles ne nous semblent pas conduire à l'existence d'un seul nouveau paradigme, même qualifié de socioéconomique, en raison de la diversité des évolutions dont elles sont porteuses et de la pluralité durable des configurations productives, représentant différentes cohérences possibles entre changements socio-organisationnels, changements techniques et changements économiques.

Le deuxième enseignement majeur concerne le rôle des logiciels au sein des technologies de l'information et de la communication. Malgré une sous-estimation durable de leur importance, et en dépit des difficultés d'évaluation statistique, le rôle croissant des logiciels nous semble un phénomène incontestable et appelé à se poursuivre, ce que nous avons désigné par la "logicialisation" de l'activité économique et sociale.