

CHAPITRE II

L'HISTOIRE DE L'INFORMATIQUE : LA CONSTITUTION

SUCCESSIVE DE RESEAUX TECHNICO-ECONOMIQUES

STRUCTURES PAR DES STANDARDS.

Une analyse de l'économie du logiciel ne peut se passer d'une analyse plus générale de l'économie de l'informatique pour plusieurs raisons liées. Tout d'abord parce qu'un logiciel est un composant d'un "bien système", en l'occurrence un système informatique (cf chapitre I) et qu'en conséquence, l'économie du logiciel fait partie de cet ensemble plus vaste qu'est l'économie de l'informatique dont elle "subit" les évolutions notamment technologiques¹. Ensuite parce que l'on ne peut comprendre le rôle d'un certain nombre d'acteurs majeurs de l'économie du logiciel en faisant abstraction de leur rôle dans le reste de l'économie de l'informatique. En particulier, il est intéressant de comprendre comment on est passé d'une situation où l'économie du logiciel était dominée par des acteurs informatiques dont l'activité principale était autre que la production des logiciels (en premier lieu IBM) à une situation où ce sont des entreprises spécialisées sur la production des logiciels qui jouent un rôle majeur sur l'évolution de l'ensemble de l'informatique. Enfin, parce qu'un certain nombre des mécanismes économiques indispensables pour analyser l'économie de l'informatique (externalités de réseaux, rendements croissants d'adoption, effets "feedback", verrouillage technologique...), jouent également un rôle décisif dans l'économie des logiciels.

Le secteur informatique (du matériel et du logiciel) malgré sa jeunesse a connu des changements structurels importants. L'informatique se caractérise par une incertitude extrême

¹ Nous avons mis "subit" entre guillemets pour souligner qu'un des enseignements de l'analyse de l'histoire de l'informatique est que, de plus en plus, c'est l'évolution des logiciels qui joue un rôle déterminant dans l'évolution de l'ensemble de l'informatique.

sur son évolution, incertitude de nature plus socio-économique² que technique. Sur le plan technique, la fréquence des innovations ne doit pas masquer l'inertie technologique qui caractérise certaines dimensions importantes de l'informatique : par exemple, tous les ordinateurs reposent depuis l'origine sur les principes architecturaux énoncés par Von Neuman et la grande majorité des applications informatiques utilisées actuellement ont été écrites en Cobol. Sur le plan économique, l'histoire de l'informatique se singularise par l'importance stratégique que peut très rapidement acquérir une entreprise dont la position ne semble plus pouvoir être remise en cause³, et par l'apparition périodique de nouveaux acteurs dont certains réussissent à jouer un rôle majeur dans l'évolution de l'informatique. La meilleure illustration de cet agencement particulier a été la domination sur le plan mondial de l'ensemble de l'informatique par IBM, ce qui ne s'était jamais produit à un pareil niveau dans aucun secteur de l'économie, mais qui n'a pas empêché la naissance et le développement extrêmement rapide de Digital Equipment avec la mini informatique, de Sun avec les stations de travail, d'Intel avec les microprocesseurs, de Microsoft avec les progiciels, de Compaq et d'Apple avec les micros, de Netscape, d'AOL ou de Yahoo avec le développement d'Internet. Pour expliquer avec le même cadre d'analyse ces phénomènes apparemment contradictoires, il est nécessaire de prendre en compte *simultanément* les innovations techniques, les comportements stratégiques des producteurs mais aussi les changements concernant la nature des principaux utilisateurs, les types de problèmes qu'ils souhaitent résoudre, et les modifications de leurs attentes, liées à des évolutions culturelles et sociales plus générales. Si chacun de ces aspects a fait l'objet de recherches technologiques, économiques, sociologiques séparées, il n'existe pas, à notre connaissance, de tentative d'intégration dans une approche unifiée de l'ensemble de ces dimensions, ce que nous nous proposons de faire à partir de la notion de réseau technico-économique. L'objectif n'est pas seulement de comprendre les évolutions passées mais également de cerner les enjeux importants des changements structurels actuels.

Après avoir défini la notion de réseau technico-économique, puis ses particularités dans le cas de l'informatique (section I), ce cadre conceptuel est mobilisé pour analyser l'histoire de

² Parmi les multiples exemples d'innovations technologiques qui semblaient promises (à tort) à un développement rapide, on peut citer, pour la période récente, le cas des technologies *push* destinée à "pousser" les informations vers des utilisateurs ciblés, et le cas des micro-ordinateurs de réseaux (NC).

³ Les performances boursières de ces entreprises sont le reflet de l'appréhension de ces situations.

l'informatique (section II) ainsi que la situation actuelle et les perspectives d'évolution probable (section III).

Section I - Réseaux technico-économiques et informatique

A - LES RESEAUX TECHNICO-ECONOMIQUES

Notre conception des réseaux technico-économiques est largement inspirée des travaux de Michel Callon.

Premièrement, elle tente d'intégrer les deux approches existantes dans les travaux associant réseau et dynamique technologique : d'une part, les approches de la diffusion et de la compétition technologiques fondées sur l'existence d'externalités de réseaux et de rendements croissants d'adoption et de phénomènes d'interconnexion, développées par B. Arthur (1988), P. David (1985), M. Katz et C. Shapiro (1985), J. Farrell et G. Saloner (1986) ; d'autre part, les approches de l'organisation des relations inter-firmes en réseau dont les fondements renouvellent la problématique des choix d'internalisation - externalisation des activités technologiques des firmes (Nadine Massard, 1997, p. 336). L'objectif est de combiner ces deux conceptions en intégrant dans l'analyse des réseaux d'entreprises une appréhension des relations d'acteurs plus riche que la simple opposition interne-externe : en effet, des alliances entre entreprises concurrentes ou complémentaires peuvent contribuer à la conception et au développement d'un réseau technologique ; symétriquement, l'existence d'un réseau technologique peut aider à la création de réseaux d'entreprises entre acteurs ralliés au même choix technologique. Dans les deux conceptions de la notion de réseau, celui-ci est "une architecture qui engendre une stabilité de l'environnement de l'ensemble des éléments qui le constituent" (Pierre Garrouste et Sylvie Gonzalez, 1995, p. 136).

Deuxièmement, un réseau est constitué "d'un ensemble d'entités humaines et non humaines individuelles ou collectives (définies par leur rôle, leur identité, leur programme...) et des relations dans lesquelles elles entrent" (Michel Callon, 1991, p. 204). La conception énoncée par Michel Callon, de façon quelque peu provocatrice, qui consiste à considérer que les acteurs d'un réseau peuvent être humains mais aussi non humains semble assez judicieuse dans l'informatique, où des objets matériels ou immatériels (ordinateur, voire même certains

de ses composants - microprocesseur, système d'exploitation, protocole de communication...) semblent s'être affranchis de leurs concepteurs en se dotant de capacités d'action autonomes, et contraignent les acteurs humains à "négocier" avec eux (cf. chapitre I).

Troisièmement, pour que ces acteurs hétérogènes puissent entrer en relation il est nécessaire que s'opèrent des *traductions*, "opérations de redéfinition de l'identité, des intérêts et des buts des entités humaines et non humaines qui se trouvent liées dans une même configuration organisationnelle" (Pierre-Benoît Joly et Vincent Mangematin, 1995, p. 44). La traduction "établit une équivalence toujours contestable entre des problèmes formulés par plusieurs acteurs dans des répertoires différents (...) ; en mettant en équivalence ces deux problèmes, l'opération de traduction identifie et définit les différents acteurs humains et non humains concernés par la formulation de ces problèmes et par leur résolution" (Michel Callon, 1989, p. 81). La réussite des opérations de traduction va permettre, par la convergence des points de vue et des intérêts des acteurs, l'émergence d'un réseau grâce à l'existence *d'intermédiaires* divers (textes, artefacts techniques, êtres humains et leurs compétences, monnaie...), qui désignent "tout ce qui passe d'un acteur à un autre et qui constitue la forme et la matière des relations qui s'instaurent entre eux" (Michel Callon, 1991, p. 197) ; un acteur est donc également un intermédiaire mais auquel "la mise en circulation d'autres intermédiaires est imputée" (Michel Callon, 1991, p. 206).

La constitution d'un réseau peut donc se résumer à la création "d'une chaîne de traduction [qui] se construit dans la controverse, [qui] est le produit d'une histoire qui en forme le contenu, [et qui] est (...) « dépendante de la trajectoire » (*path dependent*)" (Michel Callon et Bruno Latour, 1991, p. 33). Pour que cette épreuve fondatrice soit surmontée, il faut réussir à "*intéresser* d'autres acteurs qui vont s'allier à vous, à travers le dispositif que vous leur proposez, et pour les intéresser il faut accepter de traduire leurs demandes, attentes et observations dans le dispositif sous la forme de choix techniques appropriés" (Michel Callon, 1994 A, p. 12-13).

Pour stabiliser le réseau, il faut "*aligner*" le comportement des différents acteurs, ce qui est tout à la fois la cause et la conséquence de *l'irréversibilisation* du réseau. En effet, l'émergence d'une traduction, qui au départ n'est qu'une option ouverte parmi d'autres, crée de l'irréversibilité en rendant difficile le développement d'autres traductions concurrentes et en prédéterminant les traductions à venir (restriction de l'espace des possibilités).

"L'irréversibilité croît à proportion que des effets de systèmes se créent dans lesquels chaque élément traduit, chaque intermédiaire, chaque traducteur s'inscrit dans un faisceau d'interrelations : modifier un élément, c'est à dire le définir différemment, suppose que l'on s'engage dans un processus de retraduction généralisée (...). Plus les interrelations sont multiples et croisées, plus les éléments associés sont nombreux et hétérogènes (non humains, humains, conventions...), plus la coordination est forte et plus la probabilité de résistance des traductions est élevée" (Michel Callon, 1991, p. 219). Se déploie un processus d'autorenforcement, basé sur l'existence de rendements croissants d'adoption et d'externalités de réseaux, qui aboutit à une situation de *lock-in* sur une trajectoire technico-économique *path dependency*. La construction de cet environnement socio-technique peut prendre du temps mais, une fois établi, il aboutit à un réseau technico-économique qui évolue de manière relativement autonome, paraissant doté d'une volonté de reproduction et de développement (Sandra Braman, 1997, p. 106). Une telle situation d'irréversibilisation, caractérisée par un accroissement des liens internes au détriment des liens externes et par un renforcement des frontières entre le réseau et son "environnement", s'accompagne "généralement de la production de normes et de standards qui homogénéisent les comportements des acteurs et des techniques" (Michel Callon, 1992, p. 315).

Toutefois cette irréversibilisation n'est que relative ; au-delà des *reconfigurations restreintes* qui se caractérisent par un travail routinier de consolidation, d'amélioration continue et obstinée et qui voient les connexions se diversifier, l'irréversibilité augmenter et les rendements croître, existe la possibilité d'une *reconfiguration élargie*, plus improbable et plus radicale ; celle-ci, aboutissant à la constitution d'un nouveau réseau technico-économique, nécessite la création d'un nouvel espace de circulation qui doit être entièrement configuré : il faut convaincre, traduire des intérêts parfois contradictoires, créer des technologies compatibles, établir des infrastructures, former des spécialistes et parfois reconfigurer la société dans son entier (Michel Callon, 1993).

C'est cette dynamique de la création et de l'extension des réseaux technico-économiques, de leurs relations de coopération et de compétition (Michel Callon, 1994 A, p. 17) que nous voudrions étudier concrètement dans le cas de l'informatique.

B - L'APPLICATION DE LA NOTION DE RESEAU TECHNICO-ECONOMIQUE A L'INFORMATIQUE.

L'histoire de l'informatique peut ainsi s'analyser comme la constitution successive de réseaux technico-économiques cherchant à se développer. Pour étudier cette histoire, il est nécessaire d'examiner comment la notion de réseau technico-économique se concrétise dans l'informatique.

A un premier niveau se trouve le réseau élémentaire constitué par un acteur humain et un ordinateur. A l'origine il n'existe pas d'intermédiaire entre eux et l'informaticien utilise le langage machine pour pouvoir traduire les opérations qu'il souhaite en "instructions" exécutées par l'ordinateur. Ce réseau va s'étendre avec la multiplication des intermédiaires entre l'homme et la machine ; langage d'assemblage, puis langage de programmation de haut niveau permettant d'écrire du code-source qui est converti en langage machine (code objet) par des assembleurs, interpréteurs ou compilateurs, création de systèmes d'exploitation et surtout d'applications très diverses répondant aux différents besoins des utilisateurs. Dès lors le réseau se complexifie en mettant en interrelation des acteurs humains divers (utilisateurs, concepteurs d'applications, concepteurs d'outils logiciels utilisés par les précédents...) et des acteurs non humains (unité centrale de l'ordinateur, périphériques divers, dispositifs d'interconnexion avec d'autres ordinateurs, objets non informatiques mais reliés à un ordinateur par des capteurs et/ou des actionneurs...). Entre ces différents acteurs mobilisés doivent s'opérer de multiples opérations de traduction dont la réussite conditionne l'existence et la viabilité de l'ensemble⁴.

Dans le même temps se constituent de multiples réseaux autour de chacun des intermédiaires. En effet, "chaque intermédiaire décrit et compose à lui tout seul un réseau dont il est en quelque sorte le support et l'ordonnateur" (Michel Callon, 1991, p. 199). Concrètement les acteurs qui utilisent un même microprocesseur ou un même système d'exploitation ou un même langage de programmation ou une même application, forment un réseau, et l'informatique peut être représentée par un enchevêtrement de multiples réseaux concurrents ou complémentaires. La réduction du nombre de réseaux concurrents s'opère par

la standardisation de l'intermédiaire concerné, la standardisation pouvant se définir comme étant la "production des compatibilités nécessaires à l'exploitation des externalités de réseau afin de pouvoir bénéficier des avantages issus de l'intégration des réseaux" (Maryline Filippi, Emmanuel Pierre et André Torre, 1996, p. 91). La standardisation peut s'effectuer à de multiples niveaux : microprocesseur, matériel, système d'exploitation, outils logiciels, langage de programmation, application, interface utilisateur (Pamela Gray, 1993, p. 37). Les différents intermédiaires n'ont toutefois pas la même importance sur l'évolution de l'ensemble du secteur informatique, les intermédiaires qui jouent un rôle stratégique étant différents selon les périodes de l'histoire de l'informatique. La nature de l'intermédiaire standardisé, et surtout les caractéristiques du processus de standardisation (modalités concrètes, rôle des différents acteurs...) vont avoir une influence décisive sur la structuration de l'économie de l'informatique⁵.

C - LA QUESTION DECISIVE DE LA STANDARDISATION

Un certain nombre de travaux économiques ont étudié les questions de standardisation en s'appuyant notamment sur des expériences historiques. Après avoir dégagé quelques enseignements majeurs de ces travaux (1), nous verrons les particularités des questions de standardisation dans l'informatique (2).

1 - Diversité des processus de standardisation et standardisation optimale

a - Les externalités de réseaux comme facteurs d'une standardisation nécessaire et difficile

L'établissement d'un standard est un cas particulier de compétitions entre solutions techniques. Brian Arthur (1988), à partir de la notion de rendements croissants d'adoption, a mis en évidence les mécanismes "d'autorenforcement" qui se créent autour d'une technologie : l'action même d'adopter une technologie rend celle-ci plus attractive pour les utilisateurs potentiels, augmentant par-là même ses chances d'être adoptée dans le futur. Les sources des

⁴ C'est cet alignement que provoquent les multiples opérations de traduction pensées par d'autres que refusent les *hackeurs* en recherchant la communication directe avec le cœur de l'ordinateur en langage machine (Nicolas Dodier, 1995, p. 234)

⁵ "L'informatique finit inmanquablement par tourner autour de la notion de standard" (Datamation, 1/8/93, p. 72).

rendements croissants d'adoption sont l'apprentissage par l'usage, les externalités de réseaux, les économies d'échelle en production, les rendements croissants d'informations et les interrelations technologiques.

Dans le cas des standards ce sont principalement les externalités de réseaux qui sont à la base des rendements croissants d'adoption (Dominique Foray, 1990). Les externalités de réseau⁶ sont des externalités de consommation qui proviennent de l'interdépendance des décisions de consommation individuelle qui fait que la valeur d'un bien ou d'un service change quand il est acheté et consommé par d'autres utilisateurs : "on se trouve en présence d'un phénomène d'externalités de réseau lorsque les consommateurs d'un bien peuvent en tirer une jouissance d'autant plus grande que celui-ci est adopté par un nombre important d'utilisateurs" (Jean Tirole, 1998, p. 390). Ces externalités de réseaux peuvent être directes (effet de club direct) comme dans les cas du téléphone, du fax ou du courrier électronique où l'existence d'un nouvel abonné augmente pour chaque usager l'utilité de son propre appareil ; si elles sont généralement positives, il faut mentionner la possibilité d'externalités négatives en cas de saturation d'un réseau physique de communication où l'arrivée de nouveaux automobilistes ou de nouveaux "internauts" peut faire baisser la valeur du bien ou du service pour l'ensemble des utilisateurs (Patrick Cohendet, 1996). Les externalités de réseaux indirectes reposent sur le fait que l'importance de l'offre de produits complémentaires dépend de la taille du réseau (exemple des magnétoscopes d'un standard donné et de la diversité des films proposés pour ce type d'appareil) ; le réseau est constitué par les possesseurs du produit principal qui ne sont pas nécessairement reliés entre eux au sens physique du terme (M. Katz et C. Shapiro, 1985)⁷. La force des externalités de réseaux positives aboutit à ce qui est connu sous le nom de *loi de Metcalfe*⁸ : cette loi, qui est plus une systématisation approximative d'observations empiriques

⁶ Parfois également nommées effets de réseaux ou économies d'échelle liées à la demande.

⁷ De ce fait, les externalités de réseaux existent pour beaucoup de produits (l'automobile par exemple), mais la spécificité des biens d'information c'est que le produit peut ne plus avoir aucune valeur (Carl Shapiro, Hal R. Varian, 1999, p. 163).

⁸ Bob Metcalfe après avoir été l'inventeur au Xerox PARC, à la fin des années soixante dix, d'Ethernet, un standard de transmission de grosses quantités de données à grande vitesse développé pour les imprimantes laser, est le fondateur de la société 3Com, une entreprise qui propose des solutions de réseaux.

qu'une loi au sens propre, stipule que la valeur d'un réseau, réel ou virtuel, augmente comme le carré du nombre de ses utilisateurs.

Les externalités de réseaux sont cependant différentes des autres rendements croissants d'adoption (Dominique Foray 1989). En effet, dans le cas général, la valeur de la technologie ne change pas pour l'utilisateur une fois qu'il l'a adoptée ; les critères d'adoption d'un utilisateur dépendent seulement des comportements d'adoption passés des autres utilisateurs (le processus d'adoption est uniquement "*path-dependent*"). Par contre dans le cas des externalités de réseaux, les rendements associés à une technologie sont déterminés par les comportements passés et *futurs* des autres utilisateurs, le processus d'adoption est "*path-and-future-dependent*" (Dominique Foray, 1990, p. 122). Dans ce cas, "l'anticipation constitue l'élément fondamental du choix de l'utilisateur potentiel" (Dominique Foray, 1990, p. 124), l'utilisateur doit adopter la technologie qui l'emportera à terme mais il peut être extrêmement difficile de prédire quelle sera cette technologie : "certaines structures dynamiques ne généreront jamais de séries temporelles assez longues, pour que les agents concernés puissent former des estimations probabilistes robustes sur les futurs possibles" (Dominique Foray et Christopher Freeman, 1992, p. 16).

L'importance des anticipations explique que malgré la force des rendements croissants d'adoption, il ne se produit pas nécessairement une standardisation spontanée. On retrouve avec la production des standards, en raison de l'existence des externalités de réseaux, les problèmes ayant trait à la production des biens collectifs (Paul A. David, 1994).

b - Les standards peuvent être considérés comme des biens collectifs particuliers

Un standard définit précisément un procédé technique. Il constitue un langage commun qui permet d'assurer la production, l'échange mais aussi la compatibilité de la production des biens et services (Eric Brousseau, 1993, p. 203). Un standard correspond à une technique, un produit, une pratique qui est utilisé par une forte proportion d'agents, étant donné le nombre d'utilisateurs potentiels (Dominique Foray, 1996, p. 257). La notion de standard représente des réalités très diverses : des caractéristiques simples qui ont souvent un aspect relativement arbitraire (écartement des voix ferrées), des codes divers plus ou moins élaborés (depuis le Morse ou le code ASCII jusqu'aux protocoles de communication ou aux langages de programmation), des spécifications plus complexes de dispositifs techniques qui peuvent être

immatériels (format de fichier, format de stockage de données) ou matériels (caractéristiques des interfaces), voire ces dispositifs techniques eux-mêmes (logiciels ou matériels). On constate que la standardisation peut concerner seulement des spécifications d'interface en désignant des fonctionnalités mais sans spécifier le produit (système ouvert reposant sur des standards "non-proprétaires") ou porter sur un produit spécifique qui devra être adopté (standard "propriétaire") (Jean-Benoît Zimmermann, 1995 B).

Ce continuum recouvre une évolution des formes de propriété depuis des biens libres, où la valeur sociale du bien vient uniquement de son adoption, jusqu'à des possibilités de breveter ou de protéger par un droit d'auteur le standard ou le support matériel ou logiciel sur lequel il repose. La frontière entre ces deux situations dépend de la nature du standard mais est aussi l'enjeu de controverses juridiques célèbres depuis les brevets déposés sur le morse jusqu'aux possibilités de protéger l'utilisation d'une icône représentant une corbeille sur un écran d'ordinateur.

Les standards peuvent être considérés comme des biens collectifs. Dans le cas où les standards portent sur des caractéristiques inappropriables, il s'agit de biens collectifs purs dont on retrouve les déterminants d'indivisibilité (les dépenses de mise au point du standard sont indépendantes du nombre d'utilisateurs), de bien non-rival (le standard ne se détruit pas dans l'usage et peut donc être adopté par un nombre infini d'utilisateurs), et de non-exclusion de l'usage (on ne peut empêcher un utilisateur d'adopter le standard) (Dominique Foray, 1995). Dans le cas où il est possible de protéger le standard, il s'agit de biens collectifs mixtes avec externalités (Yves Crozet, 1997) caractérisés par une indivisibilité partielle ; en effet, dans ces situations, d'une part, les systèmes de protection légale (brevets, copyright) nécessitent de fournir de l'information notamment sur les caractéristiques du produit ou du procédé qui sont souvent des éléments déterminants d'un standard (Olivier Weinstein, 1989) ; d'autre part, si le producteur peut vendre l'utilisation du produit ou du procédé concerné, il lui est impossible de facturer *ex-ante* (avant la réalisation du processus de standardisation) son hypothétique futur caractère standard, qui demeure donc un bien collectif ; certes, *ex-post* (une fois le processus de standardisation réalisé) le producteur pourra internaliser la valeur supplémentaire qui résulte du caractère standard qu'a acquis son produit⁹, mais cela suppose que le processus de

⁹ Cette possibilité n'existe que si le standard ne résulte pas d'un processus formel par un organisme de normalisation. En effet, lorsqu'une technologie est retenue dans le cadre d'un standard formel, l'entreprise qui l'a

standardisation (ou production d'un standard) ait été effectué ou que les utilisateurs anticipent le succès d'un tel processus ; comme le notent Dominique Foray et Christopher Freeman (1992, p. 18) "il n'y a pas matière à différencier des phases de création et de diffusion : c'est l'adoption et l'usage qui confèrent au bien son mode d'existence. (...) Le processus de création recouvre dans ce cas la constitution du réseau, non pas la mise au point de l'artefact".

Concrètement lorsque apparaît un nouveau produit ou une nouvelle technique et que donc différentes solutions peuvent apparaître aussi légitimes ou performantes, la tentation est forte de chercher une "différenciation des produits et des méthodes de production, y compris par l'utilisation de stratégies créant des incompatibilités de réseau de façon à rendre certains consommateurs captifs" (Paul A. David, 1994, p. 265). Dans ce type de situation, l'existence de barrières à la mobilité élevées augmente le pouvoir de marché de l'initiateur d'un système "propriétaire" (Eric Brousseau, 1993). C'est ce qui explique que "l'émergence de toute technologie de réseau (canaux, chemins de fer, télégraphe et téléphone) s'est accompagnée de la prolifération de systèmes concurrents incompatibles et, en conséquence, de l'impossibilité d'exploiter des externalités latentes de réseau" (OCDE, 1991 B, p. 40). Chaque producteur espère que c'est sa solution technique qui constituera le futur standard et on a de multiples exemples de coexistence durable de plusieurs techniques incompatibles : l'existence des grands systèmes informatiques qualifiés de "propriétaires", le demi-siècle nécessaire pour normaliser l'écartement des voies de chemin de fer en Angleterre (Dominique Foray, 1989), le réseau ferré australien sur lequel subsistent encore trois écarts de voies différents (Robin Cowan, 1995), la concurrence pour un standard entre 18 protocoles différents pour les programmes de télévision numérique par voie terrestre aux Etats-Unis (LMB Actu, 15/01/98)¹⁰.

Ces situations de sous-standardisation, quand elles perdurent, peuvent entraver le développement du secteur considéré ; on peut citer l'exemple de la dépression de l'industrie du

produit doit s'engager en contrepartie à licencier les brevets essentiels à l'adoption du standard "loyalement, raisonnablement et de façon non discriminatoire", le qualificatif de "raisonnable" correspondant à ce que le détenteur du brevet aurait obtenu dans un contexte de concurrence ouverte, par opposition à ce qu'il est en mesure d'extorquer une fois que le standard couvert par son brevet est adopté (Carl Shapiro, Hal R. Varian, 1999, p. 213).

¹⁰ On peut ajouter comme facteur secondaire des difficultés de standardisation, la présence d'acteurs économiques qui tirent leurs revenus de la coexistence de plusieurs standards : Carl Shapiro, Hal R. Varian citent le cas de Erie en Pennsylvanie où existaient trois écartements des rails différents, et où des rumeurs de

disque après 1948 lorsque surgirent en même temps deux standards techniques nouveaux pour succéder au 78 tours : le 33 tours de CBS et le 45 tours de RCA, l'exemple des modems à haut débit (56 600 bauds) où une guerre des standards retarda leur adoption¹¹, ou l'exemple extrême de la guerre (suicidaire) de standards pour la radio stéréo AM qui empêcha l'émergence de cette technologie prometteuse (Carl Shapiro, Hal R. Varian, 1999, p. 232).

La crainte de devenir des "orphelins révoltés" (*Angry Technological Orphan*), c'est à dire de se retrouver piégé sur un mauvais choix technologique quand un standard s'imposera, peut aller jusqu'à l'absence de production comme l'illustre l'échec du son quadriphonique sur le marché grand public avec l'existence de deux standards concurrents en 1971, Columbia et JVC (Emmanuelle Le Nagard, 1997), ou les difficultés à s'imposer du DVD (Digital Video Disc) support réinscriptible destiné à remplacer les CD et CD-ROM. De même, l'importance des externalités indirectes peut bloquer le développement d'un produit par défaut de standardisation de celui-ci dans une situation de cercle vicieux ou "syndrome de l'œuf et de la poule" (Emmanuelle Le Nagard, 1997). Les débuts de la microinformatique étaient caractérisés par une telle situation : les différents types de micro-ordinateurs étaient incompatibles, générant des marchés segmentés et donc de taille trop limitée pour rentabiliser la production de progiciels diversifiés indispensables à leur utilisation par un large public, freinant ainsi le développement des micro-ordinateurs et donc la production des progiciels.

On retrouve ici typiquement les problèmes de production des biens collectifs : les agents économiques n'ont, chacun isolément, aucun intérêt à prendre une initiative qui serait pourtant profitable à chacun si tous la prenaient simultanément¹². Toutefois ceci n'implique pas que la seule solution pour atteindre une situation de standardisation soit le recours à la contrainte

standardisation provoquèrent des émeutes de la part des ouvriers spécialisés dans le chargement et le déchargement des wagons (1999, p. 186).

¹¹ Cette guerre qui opposait U.S. Robotics d'un côté et Rockwell/Lucent de l'autre faillit déboucher sur une impasse au moment où la plupart des fournisseurs adoptait une technologie, alors que les utilisateurs privilégiaient l'autre technologie, d'où le risque que personne ne bénéficie de la vitesse de transmission accrue de ces modems. Finalement ces modems ne furent massivement adoptés qu'après qu'un standard international (V. 90) ait été édicté par l'ITU (Carl Shapiro, Hal R. Varian, 1999, p. 235-237).

¹² "La normalisation soulève les problèmes classiques de "bien public" : un coût de diffusion proche de zéro et des bénéfices qui ne peuvent être intégralement internalisés par les entreprises. Un sous-investissement privé est de ce fait à craindre et justifie une intervention publique" (Michel Catinat, 1998, p. 46).

notamment étatique. Pour que puisse s'enclencher un processus de standardisation, il suffit qu'il existe "une accumulation précoce de choix en faveur d'une même variante - même si ces choix ont été largement influencés par un ensemble de circonstances exceptionnelles et transitoires" (Paul A. David, 1994, p. 268-269). En effet, l'utilité pour un agent du ralliement à une variante constitue une fonction croissante du nombre d'agents ayant adopté cette variante. Dès que cette utilité dépasse les avantages escomptés d'une stratégie de différenciation, la variante considérée semble dotée d'un "magnétisme intrinsèque", jouer un rôle de "point focal" vers lequel convergent les comportements constituant une "convention auto-renforçante" (Robert Boyer et André Orlean, 1994, p. 220). Des comportements de "mimétisme rationnel" peuvent permettre l'existence d'équilibres sans autre raison que la croyance partagée dans leur existence : le nombre d'adhérents partageant le même point de vue impose celui-ci (Pierre-Yves Gomez, 1994). Les interactions dynamiques entre les utilisateurs ralliés à une solution et les utilisateurs potentiels, les *feedbacks* positifs qui en résultent (Paul A. David, 1994), font qu'une solution adoptée au départ par une proportion significative mais minoritaire des acteurs concernés peut devenir un standard. Le fait que le nombre des adopteurs (réels ou potentiels) d'une solution technique dépasse un seuil critique permet de faire converger les anticipations vers cette solution, la transformant en standard *de facto*. Différents acteurs peuvent à la faveur de certains événements être à l'origine du déclenchement d'un tel processus.

c - Les différentes modalités de la standardisation

La première de ces modalités est l'action de l'Etat. Celle-ci s'exerce plutôt sur les caractéristiques des produits (standards-interface) que sur les produits eux-mêmes (standards-produits) (Jean-Benoît Zimmermann, 1995 B). Elle peut s'appuyer sur l'existence d'organismes de normalisation ou comités représentant les producteurs et parfois les utilisateurs concernés, que l'Etat peut soutenir et dont il peut reprendre les décisions en amplifiant l'effet d'annonce de leurs recommandations. L'Etat peut agir directement sur la standardisation en édictant des normes (standard *de jure*) qui s'imposent à l'ensemble des producteurs concernés. Dans certains cas cette intervention peut être très efficace. Par exemple, dans le cas des téléphones portables, la diffusion rapide de cette technologie en Europe s'explique par la décision administrative d'adopter un standard, le système GSM (*Global System for Mobile*

Communication), alors qu'aux Etats-Unis l'approche libérale consistant à laisser faire le marché a abouti à la coexistence de trois technologies incompatibles et à un développement beaucoup plus faible du téléphone portable (Carl Shapiro, Hal R. Varian, 1999, p. 233). Mais l'Etat peut aussi agir indirectement et déclencher un processus de standardisation en tant qu'acheteur, en spécifiant des caractéristiques à respecter lors des appels d'offre pour les marchés publics (Robin Cowan, 1995). Cependant l'efficacité de l'intervention de l'Etat sur la standardisation peut être limitée : par exemple, dans le cas de la télévision couleur aux Etats-Unis, l'adoption par la FCC (Commission Fédérale des Communications) en 1950 du système CBS contre le système RCA à l'issue d'un test entre les deux systèmes, n'empêcha pas sur le marché ce soit le système de RCA qui se soit imposé en raison de sa compatibilité avec la télévision noir et blanc (Carl Shapiro, Hal R. Varian, 1999, p. 191-192). Surtout l'action de l'Etat est plus problématique dans les cas de plus en plus fréquents où c'est le niveau international qui constitue l'espace pertinent de la standardisation. En effet, d'une part il est fréquent que les Etats utilisent des normes nationales spécifiques et des exigences de certification pour protéger les marchés intérieurs (Richard Hawkins, 1995), même si à terme il est difficile de conserver une norme nationale différente d'une norme internationale qui se serait imposée (on peut citer l'exemple de l'abandon par la France à la fin des années 60 de sa propre technologie nucléaire au profit de la technologie qui dominait le marché mondial) (Robin Cowan, 1995). D'autre part, il est difficile pour les Etats d'agir sur une standardisation directement au niveau international : le temps nécessaire pour parvenir à s'accorder sur des spécifications communes en présence d'intérêts divergents - déjà important au niveau national - peut devenir rédhibitoire au niveau international, surtout en présence de techniques et de problèmes qui évoluent rapidement ; les institutions internationales comme le GATT, ou depuis 1995 l'OMC, ne disposent pratiquement d'aucun pouvoir pour faire respecter les décisions qu'elles adoptent (Richard Hawkins, 1995), et il n'existe pas d'équivalent des marchés publics au niveau international.

Le processus de standardisation peut également être enclenché par une entreprise (ou une alliance entre entreprises¹³) en position de force sur le marché du produit concerné voire sur un marché complémentaire. Dans le cas où la standardisation porte sur des caractéristiques

¹³ Carl Shapiro, Hal R. Varian signalent toutefois qu'aux Etats-Unis, une coopération avec des entreprises concurrentes pour l'adoption d'un standard, peut être considérée comme une violation des lois interdisant les cartels et les ententes (1999, p. 263).

non-appropriables (standard-interface) elle aboutit à la production de produits compatibles¹⁴ par les autres producteurs ralliés au standard. L'entreprise à l'initiative de la standardisation détient néanmoins un avantage sur les entreprises concurrentes dans sa capacité à faire évoluer le standard en fonction de ses intérêts. Dans le cas où il est possible pour l'entreprise de protéger par brevet ou copyright le produit ou le procédé qui fait l'objet du standard, l'entreprise peut en retirer un profit important soit parce qu'elle peut se retrouver en situation de monopole sur le marché, soit par la vente de licences aux autres producteurs. C'est ce qui explique que pour imposer un standard une entreprise peut recourir à différents moyens : baisse des prix (voire même distribution gratuite du produit) qui pourra être compensée par une hausse quand l'entreprise sera en situation de monopole technologique ou par des stratégies de rentabilité croisée sur des produits complémentaires, multiplication des effets d'annonce¹⁵ et des alliances pour déclencher des anticipations autoréalisatrices qui se forment souvent de manière subjective (Emmanuelle Le Nagard, 1997).

Enfin indépendamment des cas précédents, il peut exister des situations, notamment lorsque le produit ou le procédé sont radicalement nouveaux, où de "petits événements" exogènes suffisent pour produire un effet de localisation du progrès technique sur une technologie particulière à partir des choix des premiers utilisateurs qui ont dans ce cas une extraordinaire importance (Dominique Foray, 1990).

Les différents cas précédents peuvent se combiner ; par exemple des circonstances particulières peuvent permettre à une entreprise de développer un standard qui peut être validé par un organisme de normalisation et légitimé par l'Etat. Mais dans tous les cas rien ne garantit que le standard qui s'imposera soit optimal.

d - La standardisation peut ne pas être optimale...

¹⁴ Le terme compatible est ambigu ; il peut aussi bien désigner les possibilités d'intégration avec des produits complémentaires (une imprimante compatible avec un ordinateur MacIntosh) que le fait qu'un produit de par ses caractéristiques soit parfaitement substituable au produit qui fait l'objet du standard (un micro-ordinateur compatible IBM PC).

¹⁵ L'importance des effets d'annonce peut conduire à des pratiques douteuses : dans l'affrontement entre U.S. Robotics et Rockwell/Lucent pour imposer leur technologie de modems à haut débit (cf. supra), chacun des deux camps affichait sur un site Web la liste des entreprises ayant choisi leur technologie. Une vérification effectuée par la magazine PC World montra que seule une minorité des entreprises citées offraient effectivement une connexion de ce type (Carl Shapiro, Hal R. Varian, 1999, p. 236-237).

On peut analyser le choix d'un standard comme un processus de sélection d'un équilibre de coordination au sein d'une multiplicité d'équilibres possibles et rien ne garantit que l'équilibre auquel on parvienne soit le plus efficace (au sens de Pareto). Comme le montre Laurent Thévenot (1989) dans un cadre plus général, des conventions conduisent à choisir un équilibre parmi les possibles sans qu'on puisse juger de son optimalité. En effet, ce qui conduit le processus à converger vers un équilibre donné ce sont essentiellement des circonstances initiales historiques particulières. Par la suite les choix effectués par les agents qui adoptent la même solution ne sont pas seulement (ni même principalement) dictés par leurs préférences personnelles indépendamment des décisions des autres agents¹⁶, mais par les externalités résultant du choix effectué par d'autres agents en faveur de cette solution. En retour, le ralliement à cette solution augmente les externalités positives pour les autres agents. On comprend que ce type de processus "autorenforçant" puisse conduire à des situations de standardisation exagérée ou à une standardisation trop précoce (une fois le processus engagé, d'autres possibilités même plus performantes ne parviennent pas à s'imposer) ou à l'adoption de standards non-optimaux (on peut citer les exemples du VHS par rapport au Betamax dans la vidéo, et du clavier QWERTY contre les claviers Ideal ou Dvorak). Il se produit un "verrouillage en raison d'accidents historiques" (*accidental lock-in*, Paul A. David, 1994). "Ce n'est pas parce qu'elle est moins efficace qu'une technologie n'est pas choisie et dès lors disparaît, mais c'est parce qu'elle n'est pas choisie qu'elle devient moins efficace que sa rivale" (Dominique Foray, 1990, p. 119). Les solutions abandonnées pouvaient offrir des perspectives très supérieures, malgré des défauts de jeunesse résultant éventuellement de leur nature plus novatrice (OCDE, 1991 B). De même l'événement historique (technologique ou économique) qui avait enclenché le processus de standardisation peut ne plus être pertinent rendant le standard inefficace (la disposition du clavier QWERTY avait été choisie de façon à éviter la frappe de touches voisines qui emmêlaient les marteaux des machines à écrire)¹⁷.

¹⁶ On est en présence d'un comportement de "*mimétisme stratégique*" où un individu copie les autres individus en considérant que "le fait qu'ils aient raison ou tort est secondaire" mais "qu'il est plus avantageux, en termes de risque, de rendement ou de réputation, d'être en accord avec la majorité" (André Orléan et Yasmina Tadjeddine, 1998, p. 187).

¹⁷ De même l'écartement des rails de 4 pieds et 8 pouces et demi qui existait dans le nord des Etats-Unis, et qui finira par s'imposer dans tous les Etats-Unis avait été choisi conformément à la tradition anglaise, laquelle remontait à l'époque des Romains : elle correspondait à l'écartement optimal... d'un chariot en pleine charge tiré par un cheval (Carl Shapiro, Hal R. Varian, 1999, p. 186).

e - ...et malgré tout perdurer

En effet, quand un standard existe, pour qu'une nouvelle solution, même jugée préférable par l'ensemble des utilisateurs, réussisse à s'imposer spontanément, il est indispensable d'une part, que les coûts résultant du changement de standard soient inférieurs aux bénéfices attendus de l'utilisation du nouveau standard, d'autre part qu'il existe une *information complète* au sein de la communauté des utilisateurs sur les intentions de chacun d'entre eux. Cette information complète est nécessaire pour que puisse s'enclencher un processus de "raisonnement à rebours" (*backward induction*) : le dernier utilisateur n'adoptera la nouvelle solution qu'une fois que tous les autres utilisateurs l'auront adoptée, l'avant-dernier utilisateur doit anticiper correctement le comportement du dernier utilisateur et ce processus d'anticipations correctes en chaîne doit exister jusqu'au premier utilisateur qui ne modifiera effectivement son comportement que s'il anticipe que tous les autres utilisateurs suivront son exemple. Il suffit donc que l'hypothèse d'une communication *parfaite* entre les utilisateurs ne soit pas totalement vérifiée (ce qui est le cas dès que le nombre d'utilisateurs dépasse un certain seuil) pour que ce processus ne puisse se dérouler¹⁸. Comme le note Paul A. David (1994, p. 269), "le problème que posent ces communautés est que l'intercommunication y est assez développée pour engendrer des effets d'entraînements suffisamment puissants pour produire un consensus, même autour de conventions sous-optimales, mais qu'elles ont rarement atteint le degré extrême de communication sociale - la production d'une information complète sur les intentions de chacun des membres du groupe - qui permettrait de défaire ces conventions une fois qu'elles ont été établies".

On peut caractériser la convention qui se crée autour d'un standard comme relevant d'une stratégie évolutionnairement stable (Robert Boyer et André Orlean, 1994, p. 222-224). Ces auteurs reprennent le concept de stratégie évolutionnairement stable ou SES, proposé initialement par J. Maynard-Smith et G.R. Price (1973) : "une stratégie telle que si elle est adoptée par tous les membres d'une population, aucune stratégie mutante ne pourra venir envahir cette population par les mécanismes de la sélection naturelle". Robert Boyer et André Orlean soulignent que dans le cas d'une SES, aucune autre stratégie ne peut s'imposer, même

¹⁸ Il est très difficile pour les utilisateurs de coordonner leur passage à une nouvelle technologie incompatible avec la précédente. Les coûts collectifs de changement peuvent être extrêmement élevés et ne sont pas linéaires : il est proportionnellement plus difficile de convaincre dix personnes appartenant à un réseau

si cette nouvelle stratégie est elle-même une SES et qu'elle est supérieure à l'ancienne. En effet, un petit groupe qui suit une autre stratégie obtient de moins bons résultats et est condamné à disparaître progressivement. "Une telle situation d'excès d'inertie, qui peut donc se maintenir en dépit de préférences individuelles pour le changement, affectera principalement les marchés au sein desquels les externalités de réseau sont importantes et où donc un comportement de changement isolé ferait supporter à son auteur des coûts particulièrement élevés" (Dominique Foray, 1990, p. 126)¹⁹. Toutefois si les rendements croissants d'adoption proviennent principalement des externalités de réseau la situation de *lock-in* n'est pas irréversible (Dominique Foray, 1989) : une nouvelle convention peut émerger si elle est adoptée *simultanément* par une proportion d'individus dépassant un certain seuil critique²⁰.

f - La nécessaire évolution des standards : l'efficacité dynamique

Le raisonnement, basé sur les travaux de Dominique Foray (1990), est le suivant : "le processus d'élaboration d'un standard, en tant qu'activité de création, contient en lui-même des forces considérables d'inertie technologique". Or la standardisation dans le domaine des technologies de réseau intervient toujours à la fois trop tôt en bloquant le développement technologique et "trop tard car dès l'émergence de plusieurs réseaux incompatibles, des économies externes latentes ne sont pas exploitées". La logique de l'efficacité dynamique porteuse d'une évolution des standards est contradictoire avec la logique de l'efficacité statique qui vise à exploiter les externalités de réseaux en fixant les utilisateurs sur un standard déterminé. Quel que soit le mode de coordination (Etat ou marché) c'est toujours la recherche de l'efficacité statique qui est privilégiée. En effet, l'adoption d'une technologie procure des avantages à ses utilisateurs mais également des informations sur ces propriétés techniques. La standardisation par le marché ne prendra en compte que le premier aspect (Robin Cowan, 1995). Dans ce cas, "le marché se transforme en une puissante machine à fabriquer de l'irréversibilité et à restreindre la variété des options technologiques, c'est à dire l'espace des choix possibles" (Michel Callon, 1994 A). En théorie l'Etat pourrait mieux prendre en compte

d'opter pour un autre réseau incompatible, que de convaincre une seule personne (Carl Shapiro, Hal R. Varian, 1999, p. 165 et 166).

¹⁹ Aucun utilisateur ne veut prendre individuellement le risque d'être le premier à perdre le bénéfice des externalités de réseau auquel il appartient et d'être ainsi marginalisé (Carl Shapiro, Hal R. Varian, 1999, p. 166).

²⁰ Pour une démonstration formalisée, cf. Robert Boyer et André Orléan (1994, p. 223-226).

l'aspect générateur d'informations par l'allongement de la période initiale de compétition (avant le "lock-in") en favorisant systématiquement la variante la moins bien placée (Dominique Foray, 1990). Toutefois, "l'action de l'Etat ne pourra être menée efficacement que si elle intervient au tout début du processus, c'est à dire avant que les mécanismes d'autorenforcement n'enclenchent une dynamique de sélection échappant à toute régulation" (idem, p. 125). De même, la crainte d'avoir ultérieurement un nombre élevé d' "*Angry Techological Orphan*" incite les pouvoirs publics à privilégier la technologie dominante. En fait, "l'autorité centrale aura une capacité d'influence maximale au cours de la période durant laquelle elle ne possède qu'un minimum d'informations sur les avantages respectifs des technologies en compétition" (idem).

La question de l'évolution des standards (efficacité dynamique) est pourtant décisive dans le cas des technologies de l'information en raison de la rapidité des évolutions techniques et de l'élargissement de l'espace pertinent de la standardisation que ce soit sur un plan géographique ou sur le plan du rapprochement de technologies séparées (informatique, télécommunications).

2 - Les particularités de la standardisation dans l'informatique

L'informatique apparaît ainsi dans une situation particulièrement délicate par rapport à la standardisation. Les rendements croissants d'adoption sont très élevés dans l'informatique, que ce soient l'apprentissage par l'usage (dont l'importance dans le cas de l'informatique n'est plus à démontrer), les interrelations technologiques (entre les différents composants matériels et logiciels), les économies d'échelle en production (liées à la part déterminante des coûts fixes dans les coûts de production), les rendements croissants d'informations (importance de la connaissance des produits existants) et les externalités de réseaux. Celles-ci peuvent être directes en raison des connexions entre les ordinateurs (liaison physique ou dispositifs circulant entre les ordinateurs comme les disquettes) ou indirectes (la diversité de l'offre de produits complémentaires, comme les progiciels, dépend de la taille du réseau constitué par les possesseurs d'un ordinateur de type particulier).

De ce fait, les situations de "verrouillage", même si elles ne sont jamais absolues, sont particulièrement importantes en raison de l'ampleur des coûts de changements dues à la présence de nombreux "actifs durables, à la fois spécifiques et complémentaires : le remplacement d'un ancien système par un nouveau système implique souvent le changement

de tous ses composants : données, équipements et capital humain" (Carl Shapiro, Hal R. Varian, 1999, p. 17). De plus les différents composants peuvent avoir des durées de vie très différentes (les logiciels ne "s'usent" pas !). Ces auteurs soulignent comment "les coûts de changement d'un système peuvent être astronomiques, alors même que le système le plus performant disponible actuellement sur le marché sera dépassé dans quelques mois" (idem). En particulier les coûts de transferts des données peuvent être prohibitifs sans compter qu'il n'est pas exclu que certaines informations soient perdues lors de cette opération. Enfin l'importance des apprentissages spécifiques explique que contrairement au cas de nombreux biens durables, dont le coût de remplacement diminue avec la dépréciation et le progrès technique, les coûts de changement augmentent avec le temps, à mesure que le personnel se familiarise avec un système dont l'utilisation efficace prend beaucoup de temps et avec lequel on devient de plus en plus performant avec l'expérience²¹.

La standardisation est donc à la fois de plus en plus indispensable vu l'importance croissante des phénomènes d'interconnexion dans l'informatique²², peut se réaliser très rapidement en raison de la vigueur des rendements croissants d'adoption et notamment des externalités de réseaux directes et indirectes, mais doit pouvoir garder un caractère évolutif pour répondre aux changements rapides et difficilement prévisibles des technologies informatiques.

Dans ce contexte la production de normes étatiques a une efficacité souvent limitée²³. Certes, les comités de normalisation ont tendance à se multiplier à tous les niveaux (OCDE, 1991 B), mais il est de plus en plus difficile de réaliser un consensus nécessaire à la prise de décision, vu la multiplicité des intérêts souvent contradictoires en présence. Dans le cadre de

²¹ Ce savoir-faire acquis dans l'utilisation du matériel et des logiciels constitue "le *wetware*" (Carl Shapiro, Hal R. Varian, 1999, p. 17).

²² De ce fait, la standardisation concerne également les formats des données qui circulent. Eric Brousseau cite l'exemple de l'échange des données informatisées (EDI) où existe un "archipel de normes sectorielles au sein de chaque espace national". Pour les entreprises qui réalisent des échanges avec des entreprises d'autres secteurs (c'est à dire quasiment toutes) et a fortiori pour les entreprises internationalisées, un standard universel serait plus efficient mais il a des difficultés à émerger en raison des stratégies de préservation de la spécificité de certains actifs et de la protection d'investissements existants (1993, p. 332).

²³ "L'industrie informatique a finalement retenu une leçon importante : la fixation des standards par des structures lourdes et lentes n'est pas adaptée à l'évolution rapide du marché" (Carl Shapiro, Hal R. Varian, 1999, p. 225).

procédures longues²⁴, de plus en plus complexes et souvent opaques (OCDE, 1991 B), les instances de normalisation soit se contentent de jouer un rôle de "chambre d'enregistrement des décisions du marché" (Dominique Foray, 1990, p. 133), les normes étant appliquées avant même que les décisions formelles soient prises, soit élaborent des normes fonctionnelles très générales à la portée pratique limitée : on peut citer l'exemple des normes fonctionnelles OSI (*Open-Systems Interconnexion*) ; ces normes concernant les réseaux informatiques définissent les performances à réaliser à sept niveaux (ou couches) de systèmes technologiques tout en laissant une large plage de liberté pour décider de la manière dont les normes seront respectées ; le choix d'un modèle de référence uniquement fonctionnel était lié au fait qu'IBM disposait depuis 1974 d'un ensemble de standards opérationnels définissant les spécifications de ses propres produits (SNA) permettant la normalisation interne de ses réseaux (Dominique Foray, 1990) ; dans la pratique, si la production des normes OSI augmente régulièrement depuis 30 ans leur impact reste limité : seules quelques-unes sont effectivement acceptées sur le marché, de nombreuses normes sont inapplicables car se référant à des technologies périmées ou parce qu'elles se situent à un niveau trop théorique (Richard Hawkins, 1995), et rien ne garantit que deux machines respectant dans leurs grandes lignes les exigences d'une norme OSI acceptée répondront effectivement à la demande de compatibilité et d'interfonctionnement et pourront communiquer entre elles (OCDE, 1991 B).

En conséquence, les standards dans l'informatique sont plus souvent des standards *de facto* que des standards *de jure* (ou normes), et peuvent prendre la forme de standards "propriétaires" (standards privés)²⁵ pour désigner le contrôle d'un standard et de son évolution par une entreprise - ce qui lui confère un pouvoir majeur sur le marché - ou de standards ouverts (standards collectifs) quand le standard est l'œuvre d'un organisme alternatif (Pierre-José Billote, 1997, p. 3). Des institutions *ad hoc*, issues principalement des milieux

²⁴ Eric Brousseau (1993, p. 271) cite l'exemple dans le domaine de l'Echange de Documents Informatisés (EDI), de l'Edifact Board, instance de l'ONU chargée de définir les normes documentaires, qui a mis 15 ans (de 1975 à 1990) pour parvenir à la définition d'une première norme réellement opérationnelle (la facture).

²⁵ Le terme "propriétaire" largement utilisé en informatique n'est pas toujours adéquat ("propriétaire de quoi ?" s'interroge Gérard Dréan, 1996 A, p. 40). Concernant des standards contrôlés par une entreprise, il semble plus judicieux de parler de standards privés (Pierre-José Billote, 1997, p. 3). L'expression de standards "fermés" est parfois également utilisée par opposition à standards "ouverts" qui sont "des standards accessibles par tous et indépendants de leurs fournisseurs" (consortium Unix X/Open).

scientifiques et universitaires peuvent se révéler particulièrement efficaces pour promouvoir une standardisation dynamique. En effet, elles répondent aux conditions le plus souvent énoncées pour avoir des processus de standardisation satisfaisants : les standards doivent être des instruments de création de technologies et être élaborés par anticipation (OCDE, 1991 B), faire partie de la recherche-développement préconcurrentielle (Richard Hawkins, 1995) effectuée par des structures collectives de recherche coopérative (Dominique Foray, 1990). Ce qui peut permettre à ces institutions de développer des solutions ouvertes et évolutives, c'est leur plus grande souplesse de fonctionnement (par rapport aux institutions étatiques nationales ou internationales), et leur absence d'intérêt économique (par rapport aux entreprises privées) à figer les standards sur un plan temporel et/ou dans des produits définis. La diversité des acteurs qui composent ces institutions permet une grande variété des connaissances produites (Michel Callon, 1994 B) et donc une ouverture sur des solutions innovantes. Les traditions de communication et de publicité des travaux effectués garantissent une évolution rapide des standards qui s'efforce de maintenir la compatibilité avec les standards précédents en fonction des possibilités techniques, sans qu'interviennent des considérations de rentabilité économique privée. Ceci est remarquablement illustré par le rôle qu'ont joué ces institutions dans le développement d'Internet.

A l'obtention de la compatibilité reposant sur la standardisation (compatibilité *ex-ante*) est parfois opposée (P. David et J. Bunn, 1988) une compatibilité *ex-post* par des dispositifs de conversion (*gateways*) ; la première solution aurait pour inconvénient de générer une perte de variété tandis que la seconde induirait des coûts de conversion. Dans l'informatique, le recours à des adaptateurs (matériels ou logiciels) ne constitue pas véritablement une alternative à la standardisation. En effet, soit ces dispositifs sont relativement inefficaces et imparfaits, et la perte de performance qui en résulte n'empêche pas, malgré l'augmentation de la puissance du matériel, la nécessité à terme d'une standardisation²⁶, soit ces dispositifs sont relativement performants et dans ce cas ce sont ces technologies d'interface qui deviennent l'objet du processus de standardisation. On a ainsi assisté dans l'informatique à des déplacements du problème de la standardisation d'un niveau à un autre niveau : du matériel

²⁶ Un exemple classique est l'émulation par un ordinateur du fonctionnement d'un ordinateur d'un autre type. Carl Shapiro et Hal R. Varian citent l'exemple des processeurs Alpha pour lesquels Digital a conçu un dispositif permettant de faire tourner les logiciels conçus pour Intel (dont le nombre est beaucoup plus important) mais qui, ce faisant, perd pratiquement toute la puissance supplémentaire qu'il avait par rapport aux processeurs d'Intel (1999, p. 251).

vers les systèmes d'exploitation (MSDOS puis Windows pour la microinformatique, UNIX pour mini-ordinateurs et les stations de travail), puis vers les communications entre des machines ayant des systèmes d'exploitation différents (TCP/IP pour les protocoles de communication, HTML pour la présentation des informations) et peut-être demain vers les applications qui pourront s'exécuter indépendamment du type de machines ou de systèmes d'exploitation (le langage JAVA).

Les standards sont donc les intermédiaires déterminants des réseaux technico-économiques en informatique, qui "alignent" des éléments très divers : des objets matériels (comme les microprocesseurs) et immatériels (comme les systèmes d'exploitation), des producteurs de matériels et de logiciels, des utilisateurs, des types de problèmes à résoudre, des valeurs culturelles. Ce réseau, une fois établi, semble se transformer en "être collectif", animé par une volonté de puissance, ayant pour objectif de survivre et de s'étendre.

Toutefois, dans un contexte marqué par la très forte croissance de l'informatique, de nouveaux réseaux technico-économiques peuvent surgir, ces nouveaux réseaux ne se substituant pas aux anciens mais coexistant avec eux. Pour que puisse émerger un nouveau réseau, il faut qu'il y ait conjonction entre des innovations techniques²⁷, de nouveaux besoins, peu ou mal couverts par l'ancien réseau, et qui correspondent à des changements culturels (nouvelles valeurs, nouvelles attentes), de nouveaux utilisateurs et de nouveaux producteurs, qui n'ont pas à gérer les contraintes que représente l'évolution de la base installée (Jean-Marie Desaintquentin et Bernard Sauter, 1991, p. 12-13). Il est également nécessaire qu'entre ces acteurs très hétérogènes une chaîne de traduction se crée permettant, par la convergence des intérêts et des objectifs, d'enclencher un processus de standardisation (qui le plus souvent déplace la question de la standardisation d'un intermédiaire à un autre), et que ce nouveau réseau n'apparaisse pas au départ comme s'affrontant directement aux intérêts des acteurs dominants de l'ancien réseau, pour éviter l'intégration du nouveau réseau par l'ancien (reconfiguration restreinte) en dénaturant son caractère innovateur. Ceci est rendu possible par la dynamique rétrograde (*backward looking*) dont font souvent preuve les entreprises informatiques dominantes : "en réaction aux changements de paradigme, l'action stratégique

²⁷ Certaines innovations techniques permettent de franchir "un obstacle épistémologique (...) à l'aide d'un alliage inédit, dont les éléments sont aussi bien matériels qu'immatériels, autrement dit des savoir-faire techniques comme des connaissances scientifiques" (Emmanuel Saint-James, 1993, p. 3).

est mise en œuvre sur la base de représentations technico-économiques tournées vers le passé" (Godefroy Dang Nguyen et Denis Phan, 1997, p. 197)²⁸. Par contre, une fois que le nouveau réseau a commencé à se constituer, le ralliement de ces acteurs dominants contribue, par la crédibilité qu'ils apportent au nouveau réseau (dans un secteur où l'importance des anticipations n'est plus à démontrer), à sa consolidation et à son développement. Toutefois le caractère tardif de leur conversion fait que ces acteurs détiennent un pouvoir beaucoup plus faible sur le contrôle et l'évolution du nouveau réseau que celui qu'ils détenaient dans l'ancien. Au départ limité à des niches technologiques intéressant des minorités aux comportements, aux compétences et aux préférences différentes²⁹, le réseau peut ainsi se déployer jusqu'à atteindre une force équivalente au réseau déjà existant.

C'est ce cadre d'analyse qui est utilisé pour étudier la constitution successive des réseaux technico-économiques dans l'informatique (résumée dans le tableau IV)³⁰.

Section II - L'histoire de l'informatique : une histoire de réseaux

Schématiquement, on peut considérer que chaque décennie a vu l'émergence d'un nouveau réseau technico-économique dans l'informatique, la situation actuelle voyant la fusion tendancielle de ces différents réseaux (section III). Bien que certains de ces réseaux apparaissent comme fortement contrôlés par un acteur dominant, celui-ci n'a pu empêcher la constitution de nouveaux réseaux, confirmant dans le cas de l'informatique l'affirmation de Bruno Bellon selon laquelle "les avantages liés aux économies d'échelle, à l'apprentissage, ou aux autres barrières à l'entrée – atouts absolus en statique – sont toujours remis en cause, ne serait-ce qu'avec le déplacement des marchés" (1991, p. 491). Toutefois si chacun de ces réseaux correspond à l'apparition de nouveaux types d'ordinateurs (*mainframes*, mini-

²⁸ Par exemple, on a pu observer cette myopie face aux évolutions à l'œuvre dans les comportements d'IBM lors de l'apparition de la micro-informatique, ou de Microsoft au début du développement d'Internet.

²⁹ Jean-Michel Dalle (1995) à partir du modèle de standardisation technologique de Brian Arthur, auquel il intègre une dimension spatiale à côté de sa dimension temporelle, démontre la possibilité que plusieurs standards technologiques cohabitent. La situation de l'informatique dans son ensemble (coexistence de l'informatique traditionnelle, du monde Unix et de la micro-informatique), comme dans certains de ses sous-secteurs (coexistence du monde compatible PC et du monde Apple), vérifie cette théorie.

ordinateurs et stations de travail, micro-ordinateurs), il importe de ne pas analyser la diffusion des générations successives d'ordinateurs comme s'il s'agissait uniquement de produits distincts : en effet, " les perspectives d'adoption de chacune des nouvelles générations sont fortement influencées par le nombre d'ordinateurs des générations précédentes déjà installés et par les programmes utilisés" (Chris Freeman, 1988, p. 44).

A - LES ANNEES 60 ET LA CONSTITUTION D'UN PREMIER RESEAU : L'INFORMATIQUE TRADITIONNELLE.

Au début des années soixante, la production d'ordinateurs est très largement dominée par IBM³¹, qui bénéficie des avantages des *first movers* (Alfred D. Chandler, 1992, p. 70) avec une faible part du marché pour les autres constructeurs (les "sept nains"). Il n'existe aucune standardisation au niveau du matériel, pas même au niveau des différents ordinateurs produits par IBM qui sont regroupés dans cinq gammes incompatibles entre elles. La seule standardisation existante se situe au niveau des langages de programmation (Fortran pour les applications scientifiques et Cobol pour les applications de gestion) chaque constructeur développant des compilateurs pour traduire les programmes écrits dans ces langages en instructions exécutables sur leurs matériels³². Les difficultés pour faire émerger de nouveaux langages de programmation sont déjà riches d'enseignements sur les processus de standardisation. Si un acteur dominant peut empêcher l'émergence d'un standard, il lui est plus difficile d'imposer un nouveau standard rompant radicalement avec le standard précédent : la *Conference on Data System Languages* (CODASYL) impulsée par le Ministère de la Défense des Etats-Unis, qui regroupait l'ensemble des acteurs de l'informatique et qui avait créé Cobol en 1960, n'arrivera pas à imposer un langage pourtant prometteur (Algol) en raison de

³⁰ Si cette analyse permet d'expliquer l'évolution de la grande majorité de l'activité informatique, elle n'intègre pas certains segments très spécifiques comme les supercalculateurs.

³¹ Si le premier ordinateur commercialisé l'a été par Remington Rand, IBM s'imposera rapidement en raison de ses compétences préexistantes issues de son activité dans les systèmes de cartes perforées (Laurent Le Dortz, 1997, p. 255-256). Dans les années cinquante, IBM consolidera sa domination par la pratique de la location des ordinateurs (qui constitue une barrière à l'entrée efficace), refusant même de vendre sa production jusqu'à ce qu'une décision de justice en 1956 ne la contraigne à le faire (Jean-Pierre Brulé, 1993, p. 89).

³² La standardisation n'est que relative, les compilateurs produits par les constructeurs intégrant fréquemment de nouvelles instructions au langage existant et générant dans certains cas des comportements spécifiques, qui rendaient difficiles le portage d'une application sur une autre plate-forme matérielle.

l'opposition de fait d'IBM ; par contre la toute puissance d'IBM n'est pas suffisante pour que son projet de langage universel (PL1) soit adopté massivement.

La constitution du premier réseau technico-économique³³ déterminant dans l'informatique date de la décision d'IBM de produire une série d'ordinateurs (les 360) compatibles entre eux et devant répondre à l'ensemble des besoins aussi bien scientifiques que de gestion (Christian Genthon, 1995, p. 41). La simple annonce de cette décision effectuée simultanément le 7 avril 1964 dans 62 villes et 14 pays étrangers (Jean-Michel Treille, 1973, p. 16) suffit à déstabiliser les entreprises concurrentes (RCA et Control Data baissent leurs prix de 30 %) en développant l'attentisme parmi la clientèle. Cette opération, dont le coût est estimé par IBM à 5 milliards de dollars³⁴, durera deux ans avant que les premiers ordinateurs IBM 360 soient introduits sur le marché et assurera à IBM "le contrôle définitif³⁵ du marché mondial des ordinateurs" (Jean-Michel Treille, 1973, p. 44). Elle introduit la notion même de standard au cœur de l'industrie informatique en effectuant une distinction conceptuelle entre architecture et structure des ordinateurs : l'architecture est constituée par l'ensemble des règles et des conventions d'utilisation, dont par exemple la représentation des informations, le mode d'adressage, le jeu d'instructions³⁶, alors que la structure de chaque machine concerne les caractéristiques d'une réalisation particulière de l'architecture (Gérard Dréan, 1996 A). La création de ce nouvel intermédiaire (une architecture standardisée) par IBM, permettait de "traduire" les attentes des utilisateurs (principalement des très grandes entreprises et des administrations, notamment l'armée) qui "pouvaient évoluer dans la gamme et profiter des progrès technologiques sans remettre en cause leurs investissements passés" et étaient enfin réunis "dans une même communauté, facilitant les échanges entre eux et accélérant la diffusion des innovations" (idem, p. 22). Mais en même temps, elle allait permettre d'englober dans ce réseau des producteurs de matériel informatique autres qu'IBM. "En séparant les

³³ En considérant que la constitution du réseau technico-économique qui a permis aux ordinateurs numériques de s'imposer rapidement dans les années cinquante par rapport aux ordinateurs analogiques, relève de la "préhistoire de l'informatique".

³⁴ Cette estimation, qui représente le double du financement de la première bombe atomique, a été vraisemblablement exagérée par IBM dans le but de dissuader la concurrence (Jean-Michel Treille, 1973, p. 42).

³⁵ Ce contrôle était très largement perçu comme "définitif" en 1973. La suite, difficilement prévisible montrera que ce n'était pas tout à fait exact.

notions d'architecture et d'implémentation, et en introduisant la notion d'interface standard entre unités, IBM ouvre involontairement la voie aux offreurs de compatibles" (idem, p. 20). Cette production de "matériels compatibles" s'effectue dans deux directions : tout d'abord au niveau des périphériques (imprimantes, lecteurs de bandes et disques, mémoires...), il devient possible pour d'autres producteurs "d'offrir des produits aisément substituables aux produits d'IBM, en ayant des prestations supérieures et/ou des prix inférieurs" (Christian Genthon, 1995, p. 48) ; ensuite au niveau de l'unité centrale (le cœur de l'ordinateur), la stratégie de production d'ordinateurs "compatibles", initiée avec une réussite inattendue par Gene Amdahl³⁷, fut suivie par un certain nombre de constructeurs d'ordinateurs pour tout ou partie de leur production (Magnuson, Intel, NAS, RCA, Bull, Hitachi...). La production de matériels compatibles va contribuer à étendre le réseau constitué autour d'IBM au détriment des constructeurs non compatibles, en permettant aux utilisateurs de bénéficier de l'environnement IBM avec une plus grande liberté de choix et des produits plus compétitifs en terme de prix et de performances (Michel Delapierre, Jean-Benoît Zimmermann, 1991, p. 51)³⁸. Le réseau va également s'étendre à de nombreuses sociétés de logiciels et de services, suite à la décision d'IBM en 1969, sous la pression des procédures judiciaires en cours, d'effectuer une tarification séparée du logiciel et des services (*unbundling*). Si ce réseau comprend en proportion croissante des producteurs (d'ordinateurs, de périphériques, de logiciels, de services) autres qu'IBM, il reste largement contrôlé par ce dernier. IBM pratique une "stratégie d'accommodement dynamique" (Godefroy Dang Nguyen, 1995, p. 113) en maintenant des prix et des marges élevés et en laissant ses concurrents pénétrer graduellement le marché, tout en conservant sur eux, par sa capacité à faire évoluer les standards de fait, un pouvoir considérable³⁹.

³⁶ Le jeu d'instructions du système 360 détient à ce jour un record absolu de longévité (Jacques Printz, 1998, p. 235).

³⁷ Quand Gene Amdahl quitte IBM en 1967 pour produire des ordinateurs compatibles, IBM détient entre 60 et 70% du marché et il paraît inconcevable qu'une entreprise nouvelle puisse produire des machines moins chères, plus puissantes, et surtout persuader des clients de l'acheter (Godefroy Dang Nguyen, 1995, p. 113).

³⁸ Le même phénomène se reproduira dans la microinformatique avec la fabrication de "clones" de l'IBM PC dont les premières victimes seront les fabricants de micro-ordinateurs non compatibles.

³⁹ Par exemple RCA engagé avec un certain succès dans une politique de compatibilité maximale avec les 360 d'IBM vit sa part de marché chuter brutalement avant de disparaître quand IBM modifiera certaines caractéristiques des 360 (Jean-Pierre Brule, 1993, p. 133).

L'utilisation principale de l'informatique était le calcul scientifique et l'informatisation, dans les grandes entreprises et les administrations, des tâches de *back office* : gestion administrative, gestion du personnel, des stocks, gestion financière... L'informatique s'introduisait dans des domaines "où la rapidité du traitement s'accordait parfaitement avec la contrainte de travaux répétitifs sur de gros volumes d'informations" (Jean-Michel Treille, 1973, p. 186), "son vrai triomphe étant d'abaisser chaque année le coût d'une ligne de facture" (Jean-Pierre Brule, 1993, p. 47). Si elle permettait d'étendre l'automatisation aux activités de bureaux, elle ne faisait qu'automatiser les tâches d'un ensemble borné de fonctions (Alain Rallet, 1997, p. 96-98). Cette "informatique lourde de gestion" n'introduisait pas de véritable rupture avec la mécanographie dont elle était issue (François Pichault, 1990).

L'ensemble de ce réseau partageait une même vision d'une informatique très centralisée et élitiste, dont l'invention du terme ordinateur, pour désigner la mise en ordre automatique de l'information par un acteur unique, est significative. C'est l'époque où le pouvoir des informaticiens est à son apogée, l'utilisateur novice se trouvant contraint de s'adapter à cet objet quasi mythique qu'est l'ordinateur : l'informatique est entre les mains d'un service de spécialistes (le département informatique) qui développent les programmes et répondent à des demandes d'utilisateurs qui consultent en retour des listings (Alain Rallet, 1997, p. 97).

C'est cette cécité face à une autre conception possible de l'informatique, utilisable par la majorité des entreprises et de leurs services avec la mini informatique, puis à toutes les entreprises et à une proportion croissante de ménages avec la microinformatique, qui reléguera IBM au rang "d'un acteur parmi d'autres, participant à un jeu concurrentiel dont elle ne fixe plus les règles" (Gérard Dréan, 1996 A, p. 45).

B - LES ANNEES 70 ET LA CONSTITUTION D'UN DEUXIEME RESEAU BASE SUR LA MINI INFORMATIQUE ET LES STATIONS DE TRAVAIL.

La mini informatique fut fondée par des anciens salariés de l'informatique "traditionnelle" et notamment d'IBM (Ken Olsen pour DEC, An Wang pour Wang). Le mini-ordinateur, inventé par DEC (PDP 8), est rapidement produit par de nombreuses entreprises,

nouvelles⁴⁰ ou anciennes. Si la mini informatique ne représente pas une véritable rupture technique (ces machines ne mettent pas en œuvre une technologie ou des principes différents de ceux des ordinateurs traditionnels), le mini-ordinateur se caractérise par un moindre encombrement, une plus grande convivialité, et un coût beaucoup moins élevé (Jean-Marie Desaintquentin et Bernard Sauter, 1991, p. 14). Ce mouvement se prolonge avec l'apparition des stations de travail, autour des processeurs RISC, produites par les mêmes constructeurs et par de nouveaux acteurs, dont la réussite la plus spectaculaire est Sun⁴¹. Le nombre d'ordinateurs installés croît rapidement pour atteindre 300 000 aux Etats-Unis en 1976 (Frédéric Dromby, 1999, p. 548).

Ces ordinateurs vont être installés dans les différents services des grandes entreprises et des administrations (autorisant une informatique moins centralisée) et dans les moyennes entreprises. Ils vont permettre une utilisation plus diversifiée et l'informatisation de procédés plus complexes (conception, modélisation), notamment dans l'industrie où ils servent de support à des applications de Conception Assistée par Ordinateur et de Gestion de la Production Assistée par Ordinateur (Claire Charbit, Jean-Benoît Zimmermann, 1997, p. 12).

Cette informatique se distingue par l'absence d'un acteur dominant. L'intermédiaire qui permettra à ce réseau de se constituer est le système d'exploitation Unix. Unix fut développé au début des années soixante-dix par des chercheurs des Bell Labs, K. Thompson et D. Ritchie (rejoints par Brian Kernighan), en adaptant aux mini-ordinateurs (initialement le PDP-11 de Digital), le système Multics, système d'exploitation le plus avancé de l'époque, multitâches et multiutilisateurs. Ce système, resté inachevé – il avait été abandonné faute de ressources en 1968 – était destiné aux gros ordinateurs de General Electric et était le fruit d'une collaboration de cette entreprise avec le MIT et les Bell Labs, soutenu par des financements fédéraux. ATT ne pouvant pas commercialiser Unix en raison de sa position monopolistique dans les télécommunications⁴², la licence d'Unix fut proposée à des conditions

⁴⁰ Michel Delapierre et Jean-Benoît Zimmermann (1984, p. 12) dénombrent 140 nouvelles créations d'entreprises sur le seul segment des mini-ordinateurs aux Etats-Unis de 1977 à 1982.

⁴¹ SUN (Stanford University Network) Microsystems est née en 1982 et est devenue le leader des stations de travail en 1988 en supplantant Apollo Computer, l'inventeur de ces machines.

⁴² Le *Consent Decree* de 1956 soumettait ATT à une stricte limitation de ses activités au domaine réglementé du téléphone, et lui interdisait toute activité marchande dans des domaines tels que les composants ou l'informatique.

très libérales à l'Université de Berkeley : celle-ci disposait du code-source et de la possibilité de le modifier et de le redistribuer, le système originel restant cependant propriété d'ATT. L'Université de Berkeley va développer une version d'Unix appelée BSD, vendue environ 1000 dollars avec possibilité de réaliser des copies des exécutables et de modifier le code source. Elle sera d'abord diffusée dans le monde universitaire, puis plus largement grâce au développement des stations de travail. En particulier Unix sera choisi par Sun pour se positionner sur ce marché, où elle obtiendra un large succès notamment grâce à l'écriture de NFS (*Network File System*), un logiciel qui permet des échanges de fichiers entre stations de travail de constructeurs différents.

Le caractère ouvert d'Unix, indépendant d'un constructeur, son écriture dans un langage de haut niveau (le langage C développé en parallèle par D. Ritchie et B. Kernighan, qui rend Unix assez facilement portable sur différents matériels) lui permettra de bénéficier d'une forte dynamique d'innovation (notamment de la part de la communauté universitaire) et d'être implémenté par la plupart des constructeurs de mini-ordinateurs et de stations de travail. En conséquence de son démantèlement en 1984, ATT peut avoir une activité informatique marchande, et, étant propriétaire de droit d'UNIX (du système et de son nom), a la possibilité de demander des redevances importantes aux différents utilisateurs. Chaque constructeur s'oriente alors vers le développement d'un système d'exploitation propre constitué d'une combinaison d'éléments standards et d'éléments originaux, ce que facilite l'architecture d'Unix conçu de façon originale comme un assemblage de fichiers, de modules ayant chacun une fonction particulière (Nicolas Jullien, 1999, p. 48) : à côté de la version d'ATT (UNIX System V), existent BSD de l'Université de Berkeley, Solaris de Sun, AIX d'IBM, HP-UX d'Hewlett Packard, Digital UNIX de DEC, SCO sous licence Microsoft⁴³. Chaque système possède des caractéristiques particulières avec apparition d'incompatibilités entre les différents systèmes, ce qui a comme conséquence économique la coexistence de plusieurs marchés captifs (Nicolas Jullien, 1999, p. 51) et donc limite les économies d'échelle possibles.

Les tentatives d'accord sur un standard commun ont été aussi nombreuses qu'infructueuses. En 1987, ATT passe un accord avec Sun pour faire converger Unix System V d'ATT et SUN OS (Unix Berkeley 4.3) qui suscite une réponse des concurrents sous la forme de l'Open Software Foundation en 1988 (Apollo, Bull, Digital, HP, IBM, Nixdorf,

Philips et Siemens), puis la création du groupe X/Open par les constructeurs européens bientôt rejoints par les constructeurs américains et par de grands utilisateurs. En juin 1993, Novell rachète Unix System Laboratories à ATT. Par la suite Novell va permettre l'utilisation libre de la marque, dont elle souhaite confier la gestion au consortium X/Open : toute entreprise pourrait utiliser librement le nom d'Unix à condition de respecter les spécifications du standard X/Open. Mais IBM, HP, SUN et SCO estimèrent que Novell cherchait en fait à imposer *de facto* sa propre version d'Unix, UnixWare ce qui empêcha de fait ce projet d'aboutir (Carl Shapiro, Hal R. Varian, 1999, p. 226).

L'existence de systèmes "propriétaires" concurrents en perpétuelle évolution a certainement entravé le développement de ce réseau⁴⁴ qui est pourtant "un foyer d'innovations privilégié" (Gérard Dréan, 1996 A, p. 56) pour toute l'informatique (notamment dans le multiprocessing, les systèmes distribués, la disponibilité et la sécurité). On peut dire que ce réseau s'est structuré autour d'une traduction imparfaite qui a nui à son extension. Curieusement c'est peut-être la naissance d'un système d'exploitation Unix libre, conçu à l'origine pour micro-ordinateur (Linux) et qui est progressivement implémenté sur l'ensemble des machines Unix, qui va faire évoluer favorablement cette situation (Nicolas Jullien, 1999).

Par contre, la constitution de ce deuxième réseau correspond à un déclin relatif d'IBM, qui va mettre du temps avant de comprendre toutes les potentialités de cette nouvelle informatique. Il est vrai qu'initialement T.J. Watson Senior, PDG d'IBM estimait que la diffusion des ordinateurs serait limitée à une poignée de clients (Chris Freeman, 1988, p. 44). Cette situation d'inertie de la firme dominante a été étudiée par J.L. Bower et C.M. Christensen (1995), dans le cas de l'industrie des disques durs pour ordinateur, en termes d'innovation " disruptive ". La principale innovation dans l'industrie des disques durs a été l'introduction d'un disque de format toujours plus réduit (14 pouces, puis 8, puis 5,25 et enfin 3,5). La caractérisation d'innovation " disruptive " provient du fait que les progrès en termes de poids et d'encombrement, s'accompagnent au début d'une moindre performance sur le point crucial de la capacité de stockage. De ce fait, cette innovation est délaissée par l'entreprise leader sur les disques du format précédent car ces principaux clients demandent

⁴³ En 1985, il existe plus de 100 versions différentes (Pamela Gray, 1993, p. 95).

des disques de grande capacité, et ce sont des nouveaux entrants qui à partir de marchés émergents (PC, portables) introduisent l'innovation de format. Le comblement rapide du handicap de capacité des nouveaux disques amène ces firmes auparavant marginales à supplanter les anciens leaders du marché, jusqu'à ce qu'un nouveau format apparaisse. Cette analyse peut être étendue au cas plus général des ordinateurs, dont les nouvelles générations (minis, puis micros) se caractérisent par des coûts beaucoup plus faibles mais par une capacité de traitement moindre. En termes de réseaux technico-économiques, on peut dire que ce sont de nouvelles firmes, qui ne sont pas " prisonnières " de l'ancien réseau technico-économique, qui peuvent traduire en de nouveaux produits les besoins latents et non exprimés de nouveaux utilisateurs, correspondant à de nouveaux usages, et contribuer à la création d'un nouveau réseau technico-économique, qui va s'étendre progressivement au détriment de l'ancien réseau. C'est ce qui se passera à nouveau avec l'irruption de la micro-informatique dans les années quatre-vingt.

C - LES ANNEES 80 ET LA CONSTITUTION D'UN TROISIEME RESEAU AUTOUR DE LA MICROINFORMATIQUE.

La microinformatique va introduire une rupture radicale avec l'informatique traditionnelle. Elle s'appuie certes sur une innovation technique (le microprocesseur avec l'invention du 4004 par Intel en 1971) mais elle n'a pu se développer que parce qu'elle entrait en résonance avec de nouvelles aspirations culturelles.

L'absence d'IBM au début de la microinformatique, qui disposait pourtant des connaissances techniques nécessaires dès la fin des années 60, montre l'importance de ce facteur. La vision d'IBM de l'informatique future restait celle de grands systèmes où la centralisation des informations était le principal moyen de les rendre contrôlables par la direction des entreprises, à l'image d'ailleurs de ce qui se passait à l'intérieur même d'IBM. De même, David Ahl avait au sein de Digital conçu dès 1974 un Personal Computer mais sa proposition avait été rejetée par les ingénieurs des ventes qui ne voyaient pas à quel usage concret pourrait correspondre un ordinateur d'aussi faible capacité, comparé aux mini-ordinateurs développés par Digital (Philippe Breton, 1987, p 210-211). L'influence d'un

⁴⁴ Par exemple, Informix producteurs de logiciels applicatifs (notamment des bases de données) doit

contexte socio-culturel propice peut être vérifié a contrario par le fait que le premier ordinateur commercialisé l'a été en France (R2E équipé d'un microprocesseur Intel 8008 par Micral en 1975) mais sans connaître une grande diffusion.

Le milieu qui va littéralement porter les débuts de la microinformatique est celui de la contre-culture, de *l'underground* américain (Philippe Breton, 1990, p. 52), dont le cœur sont des étudiants de Berkeley en Californie, férus d'informatique, opposants à la guerre du Vietnam, et adversaires d'une informatique centralisée dont le symbole est le "gros" ordinateur qui met en fiche les citoyens. Cette conception d'une informatique dont les multiples possibilités doivent profiter aux individus, et pas seulement à l'Etat ou aux entreprises, est notamment développée par une association *The People's Computer Company*, fondée en Californie et qui bénéficie de l'aide et de l'implication de chercheurs du Stanford Research Institute et du Palo Alto Research Center de Xerox.

En même temps, ce besoin d'appropriation individuelle de l'informatique et de ses possibilités, rencontre un écho favorable du côté des utilisateurs de l'informatique traditionnelle, désireux de trouver une réponse à des besoins individuels mal satisfaits, et d'échapper à la tutelle envahissante des services informatiques centraux. C'est dans ce contexte que va se constituer dans la *Silicon Valley* un "district industriel", mélange de concurrence et de coopération entre les pionniers de la microinformatique.

La première entreprise qui saura faire converger ces éléments disparates en un véritable réseau technico-économique, permettant l'éclosion de la microinformatique, sera Apple. Les aspects déterminants de ses ordinateurs sont la convivialité et l'autonomie qu'ils apportent aux utilisateurs, notamment grâce à l'utilisation du tableur (VisiCalc développé en 1979 par Software Arts), produit qui a été inventé pour la microinformatique, à la différence des autres applications (traitement de texte, systèmes de gestion de bases de données...), qui existaient déjà sur les grands systèmes ou les mini-ordinateurs et qui seront simplement adaptés aux micro-ordinateurs. Ce réseau très fortement convergent⁴⁵ est marqué par un certain élitisme, mais de nature plus sociale que technique, en s'adressant prioritairement aux professions libérales, aux cadres de direction et aux travailleurs du savoir et de l'édition graphique. Si ce

adapter ses produits à 305 systèmes différents de 72 constructeurs de machines (Pamela Gray, 1993, p. 109).

⁴⁵ "La notion de convergence est destinée à saisir le degré d'accord engendré par une série de traductions, et par les intermédiaires de toutes sortes qui les opèrent" (Michel Callon, 1991, p. 211).

positionnement a favorisé le décollage d'Apple, il constitue un obstacle à l'extension de ce réseau à l'ensemble des utilisateurs potentiels.

Apple va se retrouver positionné sur une "niche" de clients fidèles⁴⁶, mais quand les "marchés sont dominés par de fortes externalités de réseaux, les stratégies de niches sont intrinséquement dangereuses" (Carl Shapiro, Hal R. Varian, 1999, p. 218). Selon ces auteurs c'est uniquement grâce aux prouesses impressionnantes du Macintosh et à la lenteur technologique de Microsoft, qu'Apple a pu survivre aussi longtemps avec cette stratégie de niche. Quand les autres micro-ordinateurs (compatibles PC) vont progressivement intégrer les innovations matérielles et logicielles d'Apple (écran graphique, icônes, utilisation de la souris) issues pour l'essentiel des travaux du Palo Alto Research Center de Xerox, la perte de spécificité du Macintosh face à des produits concurrents moins chers, va se traduire par une chute de sa part de marché avec l'augmentation du nombre d'utilisateurs, particulièrement nette au moment de la sortie de Windows 95 : la part de marché mondiale en micro-informatique d'Apple va passer de 9,4 % en 1993 à 5,3 % en 1996, puis à 3,3 % en 1997 (source IDC). Actuellement Apple en est réduit à affirmer son originalité dans le *design* de ses machines, avec l'iMac, qui s'il a été un incontestable succès en permettant à Apple de renouer avec les bénéfiques⁴⁷, n'a pas fait remonter significativement sa part de marché.

Le réseau principal, qui va assurer le triomphe de la microinformatique, se crée à partir du ralliement d'IBM en 1981. Comprenant le décalage entre les exigences de la microinformatique et son propre modèle d'organisation adapté à l'informatique traditionnelle, IBM va développer le PC selon un modèle *adhocratique* en laissant une liberté totale à une petite équipe isolée de la ligne hiérarchique (Godefroy Dang Nguyen, 1995, p. 174). Celle-ci, tirant les leçons de l'échec d'IBM dans la mini informatique à cause de sa lenteur à réagir, va

⁴⁶ Cette stratégie se retrouve dans le choix d'une architecture "fermée" empêchant le développement de "clones" qui peuvent permettre le développement d'un réseau (cf. infra). Après s'être vivement opposé à l'existence de "clones", Apple changera d'attitude en 1996, la marginalisation progressive des micro-ordinateurs de type Mac ayant comme conséquence que de plus en plus d'éditeurs de progiciels ne développaient plus de version "Mac" de leurs produits. Mais ce développement tardif des "cloneurs" au lieu d'étendre le "monde Mac" s'est surtout effectué au détriment d'Apple et a pesé sur ses prix, contraignant Apple à racheter en septembre 1997 son principal "cloneur", Power Computing, pour tenter de récupérer le savoir-faire en matière de distribution *on-line* de cette société constituée par des anciens de Dell (Eurostaf, 1997 A, p. 71).

⁴⁷ Alors qu'Apple avait perdu plus de 1,8 milliards de dollars en 1996 et 1997.

accélérer le développement en sous-traitant la plupart des composants du PC (notamment le microprocesseur à Intel et le système d'exploitation à Microsoft)⁴⁸, en rupture avec la tradition d'IBM⁴⁹. Le succès est énorme, la puissance d'IBM fait converger les anticipations⁵⁰ et de multiples acteurs s'intègrent au réseau constitué par les standards *de facto* de l'IBM PC : par la fabrication de "clones", le ralliement de tous les constructeurs de micro-ordinateurs (sauf Apple) à la production d'ordinateurs compatibles, la naissance de nombreux éditeurs de logiciels très divers pour les PC. S'enclenche à un rythme très rapide un cercle vertueux constitué d'économies d'échelle, de baisse des prix et d'amélioration des performances, dans des structures plus éclatées et, pour certaines, très concurrentielles⁵¹, et d'extension du nombre d'utilisateurs.

L'utilisation de l'informatique s'étend à des domaines nouveaux (outils de productivité personnelle, aide à la décision, créativité personnelle). L'automatisation et la rationalisation de la gestion de l'information au sein de l'entreprise, s'étendent au niveau même des postes de travail (Eric Brousseau, 1993, p. 176). Cette diffusion des applications informatiques à l'ensemble des fonctions et des postes de travail de la firme s'opère grâce à une technologie centrée sur le développement d'interfaces avec les usagers et donc plus facilement "domesticable" (Alain Rallet, 1997, p. 97). Ce développement rapide de la microinformatique au détriment de l'informatique traditionnelle et de la mini informatique (*downsizing*)

⁴⁸ L'IBM-PC est "contrairement à toutes les autres machines d'IBM, un système délibérément ouvert aux logiciels et aux extensions d'autres fournisseurs". "IBM se pose comme catalyseur d'une galaxie d'entreprises indépendantes, en comptant sur leur créativité et leur dynamisme pour faire de son matériel le standard de fait" (Gérard Dréan, 1996 A, p. 47-49).

⁴⁹ Sur un coût de production de 860 dollars de l'IBM PC en 1985, 625 dollars sont des fabrications extérieures à IBM (Christian Genthon, 1995, p. 110).

⁵⁰ Les différents acteurs supposaient que IBM aurait le même poids dans la microinformatique que celui qu'elle avait dans l'informatique traditionnelle. Même si cette prévision était erronée, le fait qu'elle soit largement partagée suffit à assurer le succès des choix technologiques de l'IBM PC par le développement de multiples logiciels et matériels "compatibles PC".

⁵¹ A l'opposé du modèle généraliste intégré de l'informatique traditionnelle où chaque offreur produit la totalité du système informatique, la microinformatique (à l'exception notable de Apple) se caractérise par une spécialisation des entreprises sur un segment particulier (microprocesseurs, autres composants matériels, assemblage de micro-ordinateurs, système d'application, logiciels d'applications...). En conséquence de la standardisation réalisée sur l'architecture de l'IBM PC, "la concurrence se joue entre les composants et non plus entre les systèmes" (Carl Shapiro, Hal R. Varian, 1999, p. 206). Cette structure, comprenant des secteurs concentrés et d'autres dispersés, va se révéler particulièrement performante provoquant l'inversion de la "loi de Grosh" qui énonçait qu'à coût égal un grand système informatique offrait plus de puissance que plusieurs petits

s'accompagne d'une perte de pouvoir des départements informatiques au sein des entreprises et des administrations.

Deux phénomènes dans l'histoire du succès du micro-ordinateur PC confirment certaines conclusions des théories de la diffusion et de la compétition technologique.

Le premier est l'importance décisive que peuvent prendre des "petits événements", en l'occurrence la décision d'IBM de confier, dans des conditions assez rocambolesques, l'écriture du système d'exploitation, à Microsoft⁵². Microsoft est à l'époque un petit producteur de logiciels qui emploie 50 personnes et qui avait été fondé en 1975 pour commercialiser un interpréteur de Basic écrit pour les premiers micro-ordinateurs Altair. Microsoft qui, jusqu'à cette époque ne commercialise que des langages de programmation, va développer MSDOS à partir du rachat pour 50 000 dollars du système Q-DOS (dont les initiales signifient *Quick and Dirty Operating System* !) à la petite société Seattle Computer (Roberto Di Cosmo et Dominique Nora, 1998, p. 31-32). Le choix de Microsoft, qui à l'époque apparaît anodin, va permettre à Microsoft de devenir l'acteur dominant de la microinformatique par sa maîtrise de l'évolution du standard principal (le système d'exploitation), en alliance avec Intel qui détermine l'évolution des microprocesseurs. Pour IBM, le choix d'une architecture délibérément ouverte à d'autres entreprises était destiné à occuper rapidement le marché de la micro-informatique et devait rester provisoire dans un secteur jugé assez marginal. La très forte croissance de la micro-informatique incitera IBM, qui occupe une place minoritaire dans un secteur qu'elle a paradoxalement très largement contribué à créer, à essayer d'en reprendre le contrôle en tentant d'imposer un nouveau système d'exploitation (OS/2 en 1988), mais ce sera un échec malgré l'importance des efforts consentis⁵³ : "trop de systèmes et d'extensions

systèmes : à l'heure actuelle, le prix du MIPS (million d'instructions par seconde) sur un PC est estimé à un millième de ce qu'il est sur un grand système (Gérard Dréan, 1996 A, p. 297).

⁵² Au départ IBM avait contacté Gary Kildall dirigeant de Digital Research qui produisait le principal système d'exploitation pour micro-ordinateur, CP/M. Le peu d'empressement de celui-ci et surtout son refus des contraintes juridiques de "non-divulgateur" posées en préalable par IBM, conduisirent IBM à se tourner vers Microsoft (Robert X. Cringely, 1994, p. 119-120).

⁵³ Le développement d'OS/2 a été estimé à deux milliards de dollars et a mobilisé le travail de plusieurs années d'un millier des meilleurs programmeurs d'IBM.

compatibles avec le PC ont été commercialisés, trop de logiciels ont été écrits pour qu'un retour en arrière soit possible."(Gérard Dréan, 1996 A, p. 49)⁵⁴.

Le deuxième phénomène est que cette situation de verrouillage technologique s'est opérée sur une solution non optimale, le système d'exploitation de Microsoft (MSDOS) étant peu performant sur les plans de la technique et de la convivialité⁵⁵. Microsoft va transformer les faiblesses de départ de son système d'exploitation en avantage commercial⁵⁶, en mettant régulièrement sur le marché de nouvelles versions de son système d'exploitation, puis en développant une interface graphique (Windows) pour combler son manque de convivialité, enfin en créant Windows 95 dont tout le monde savait avant même sa sortie, et quelles que soient ses performances⁵⁷, qu'il constituerait le nouveau standard de la micro-informatique⁵⁸. Cette maîtrise par Microsoft de l'évolution de la micro-informatique (sortie en fonction de ses intérêts des nouvelles versions de son système d'exploitation dont elle était seule à connaître les spécifications) et les retombées financières qui en résultent⁵⁹ lui ont donné un avantage décisif sur ses concurrents dans la production des différents progiciels (traitement de texte, tableur, système de gestion de bases de données...) où Microsoft est devenu hégémonique avec près de 90 % du marché⁶⁰. La puissance acquise par Microsoft et l'élargissement du champ des

⁵⁴ La sanction pour IBM de la succession de ces erreurs sur l'évolution de l'informatique est sévère : en moins de dix ans (1985-1993), IBM va passer du statut de société réputée pour la fidélité de ses clients et l'importance de ses bénéfices, à celui d'entreprise réputée pour l'énormité de ses pertes : 2,8 milliards de dollars en 1991, 4,96 milliards de dollars en 1992, et enfin le record de 8,1 milliards de dollars en 1993.

⁵⁵ Un autre système d'exploitation (celui de Digital Research) était généralement jugé plus performant, mais Microsoft a utilisé sa position de producteur le plus puissant dans les langages de programmation pour l'évincer. Microsoft n'a sorti qu'avec beaucoup de retard des langages pour ce système, qui ont été commercialisés 50 % plus chers que les mêmes langages pour le MS-DOS (Michael Cusumano, Richard Selby, 1996).

⁵⁶ De façon plus générale Roberto Di Cosmo et Dominique Nora estiment que Microsoft a une "remarquable aptitude à transformer des échecs techniques en succès commerciaux" (1998, p. 34).

⁵⁷ Carl Shapiro et Hal R. Varian estiment que "Windows 95 est un "machin" pour rester poli, rafistolé de tous les côtés pour permettre aux programmes tournant sous DOS de continuer à fonctionner, de même qu'aux programmes conçus pour les anciennes versions de Windows" (1999, p. 244).

⁵⁸ Plus d'un million d'exemplaires ont été vendus les trois premiers jours.

⁵⁹ Microsoft a réalisé en 1997 un bénéfice de 3,5 milliards de dollars pour un chiffre d'affaires de 11,4 milliards de dollars.

⁶⁰ L'étude des problèmes de qualité des logiciels et des différentes pratiques pour les imposer sur le marché est développée ultérieurement (cf. notamment chapitre VII).

rendements croissants d'adoption lui permet d'essayer d'étendre son emprise au reste de l'informatique (avec notamment Windows NT pour les serveurs) voire à l'ensemble des technologies numériques.

Section III - Situation actuelle et perspectives

A - LA SITUATION ACTUELLE : LA FUSION TENDANCIELLE EN UN SEUL RESEAU.

L'importance quantitative de chacun de ces trois réseaux est difficile à apprécier. Sur le plan du matériel, les frontières entre mainframes, mini-ordinateurs, stations de travail et micro-ordinateurs ne sont pas étanches et se déplacent en fonction des évolutions techniques et économiques. En terme de parc installé, Jean-Marie Desaintquentin et Bernard Sauter (1996, p. 19) donnent les ordres de grandeur suivants :

Tableau I

Type de matériel	Prix du matériel	Prix du logiciel	Parc mondial
Mainframe	5 000 000 F	500 000 F	50 000
Mini-ordinateur	500 000 F	50 000 F	500 000
Micro-ordinateur	50 000 F	5 000 F	1 800 000

En part d'un marché mondial du matériel informatique évalué à 148 milliards de dollars en 1996, la situation est la suivante :

Tableau II

Type de matériel	% du marché mondial
Grand système	22,0 %
Mini-ordinateur	17,6 %
Station de travail	14,0 %
Micro-ordinateur	46,5 %

Source : US Department of Commerce

Une appréciation plus pertinente nécessite d'intégrer les logiciels et les services – leur importance est supérieure à celle du matériel – mais est rendue difficile par l'absence de ventilation de l'activité de nombreuses entreprises. Gérard Dréan (1996 A, p. 57) fournit l'estimation suivante : en 1992, l'informatique traditionnelle représentait 45 % des ventes, le monde Unix 13 %⁶¹ et la micro-informatique 41 %.

En termes d'évolution, le contraste est saisissant entre l'évolution des PC et stations de travail et le reste de l'informatique (sur la période le taux de croissance annuel moyen de l'ensemble était de 5 %) :

Tableau III
Evolution des dépenses relatives au matériel informatique dans la zone OCDE

Type de matériel	Taux de croissance annuel moyen 1987 / 1994
Grands systèmes	-3,8 %
Moyens systèmes	-3,4 %
Petits systèmes	0,9 %
PC et stations de travail	10,9 %

Source : IDC et OCDE, in Eurostaf, 1996 B, p. 3

Le regroupement des PC et des stations de travail dans la même catégorie s'explique par le fait que les PC rattrapent les stations de travail en termes de puissance, avec des composants beaucoup moins chers en raison des économies d'échelle : "il se vend 100 fois plus de PC que de stations de travail (...). Il faudrait une nouvelle révolution architecturale comme le Risc par rapport au Cisc, pour que les stations de travail puissent se démarquer... mais on ne la voit pas venir" (Christian Genthon, Denis Phan, 1999, p. 183). Au contraire on assiste à l'émergence de "machines mixtes" PC/stations de travail ou stations de travail personnelles dont la croissance est très rapide (200 % en 1994, Eurostaf, 1995, p. 19).

⁶¹ Il est vraisemblable que la part beaucoup plus grande de logiciels et de services non-marchands dans le monde Unix conduit à une sous-estimation de son importance réelle. Pour sa part, OpenGroup évalue le marché Unix à 39 milliards de dollars en 1996 et prévoit qu'il atteindra 50 milliards de dollars en 2000 (Eurostaf, 1997 A, p. 32).

L'utilisation de plus en plus fréquente sur les stations de travail et les petits serveurs de systèmes d'exploitation écrits à l'origine pour des micro-ordinateurs (Windows NT et Linux) renforce cette convergence.

D'autre part, il n'est pas évident que le déclin des grands systèmes et des mini ordinateurs (*downsizing*) se poursuive. Selon Eurostaf ce processus s'est arrêté en 1994 (Eurostaf, 1995 A, p. 31-32), en raison de la baisse du prix du MIPS sur les grands ordinateurs⁶² et de la nouvelle utilisation des mainframes comme de puissants serveurs pour répondre aux besoins nés du développement des réseaux informatiques.

En effet, l'événement déterminant dans l'évolution actuelle de l'informatique est le développement des réseaux (au sens physique du terme) entre des ordinateurs de tous types. De plus en plus d'utilisateurs disposent d'un poste de travail multifonctionnel qui se substituent à l'utilisation de matériel dédié à une fonction spécifique. Ce poste de travail est le plus souvent un micro-ordinateur connecté à un réseau : en France, la part des salariés qui se servent d'un micro-ordinateur *relié* passe de 14 % en 1993 à 36 % en 1998 (Secrétariat d'Etat à l'Industrie, 1999, p. 67). De même Eurostaf (1996 A, p. 81) estime que la part des micro-ordinateurs connectés en réseau est passé de 45 % en 1993 à plus de 75 % en 1997. Une indication convergente est fournie par le fait que 63 % des entreprises industrielles disposent d'un réseau de micro-ordinateurs en 1997 alors qu'elles n'étaient que 32 % en 1994 ; dans le même temps, la proportion d'entreprises utilisant un système centralisé passe de 36% en 1994 à 39 % en 1997 (Secrétariat d'Etat à l'Industrie, 1999, p. 68). L'organisation du système informatique des grandes entreprises repose de plus en plus fréquemment sur trois niveaux : des gros ordinateurs qui stockent et traitent les données les plus importantes, des serveurs multiprocesseurs pour distribuer ces données, et des PC pour les consulter, le *Web* étant la toile de fond qui permet à ces trois niveaux de communiquer entre eux (Datamation, avril 1997, pp. 46-53).

En effet, la "connectivité généralisée des systèmes informatiques s'est réalisée grâce à un vecteur complètement inattendu, le réseau Internet" (Godefroy Dang Nguyen et Denis Phan,

⁶² Estimée à environ 30 % par an (Eurostaf, 1997 A, p. 32).

1997, p. 189)⁶³. Internet peut être défini comme un réseau de réseaux interopérant via des protocoles de transmission de l'information par paquets (*TCP Transmission Control Protocol*) et des protocoles de communication (*IP Internet Protocol*). Le succès de ces standards, confrontés à des normes publiques (les normes OSI de l'ISO) et à des standards "privés" déjà existants (SNA d'IBM, Netware de Novell, les protocoles d'AOL et de Compuserve, entreprises qui offraient des services en lignes sur des réseaux "privés" à des centaines de milliers d'utilisateurs⁶⁴...), s'explique par leur caractère ouvert, et leur développement par un organisme alternatif à la normalisation étatique et à la standardisation par le marché (François Horn, 1999 A)⁶⁵. Le développement de ces standards, effectué par la communauté universitaire, a été initialement financé par l'armée américaine⁶⁶, intéressée par le projet de constitution d'un réseau sans poste de pilotage central, où ce sont les serveurs eux-mêmes, et non le réseau, qui acheminent les données, et donc susceptible de résister à une attaque nucléaire. Cependant les principaux choix effectués - publication et simplicité des protocoles ce qui permettra leur implémentation gratuite sur tous les ordinateurs, ouverture du réseau avec la possibilité pour tout ordinateur ou pour tout réseau déjà existant de s'interconnecter, "sécurisation" faible jusqu'à une période récente des informations transmises - étaient assez éloignés des préoccupations militaires, et plus proches des besoins des chercheurs pour développer leurs travaux et leurs réflexions. Les standards à l'origine du World-Wide-Web (WWW), système d'information qui par sa simplicité d'utilisation a étendu l'utilisation de

⁶³ Par exemple, en 1991, Jean-Marie Desaintquentin et Bernard Sauter, expliquait que TCP-IP, protocole de base d'Internet, "se présente comme un concurrent du modèle OSI qui, à terme, devrait pourtant le remplacer" (1991, p. 169).

⁶⁴ Par la suite AOL interconnectera son réseau à Internet et est devenu le plus important fournisseur d'accès à Internet avec plusieurs millions d'utilisateurs.

⁶⁵ Contrairement Carl Shapiro et Hal R. Varian estiment que pour des raisons d'efficacité, il est préférable de laisser l'établissement des standards aux forces du marché, ce que confirmerait l'expérience historique. Il est toutefois significatif que leur ouvrage consacré à l'économie de l'information qui traite abondamment des profondes transformations introduites par Internet et des processus de standardisation, ne consacre pas une seule ligne aux standards qui sont à la base d'Internet : les protocoles TCP-IP qui permettent les communications entre des machines hétérogènes ne sont même pas mentionnés ; quant à HTML qui est à la base du World-Wide-Web, il n'est évoqué qu'une seule fois pour simplement indiquer qu'il est une application du langage SGML, qui "n'a jamais vraiment pris car aucune entreprise suffisamment importante ne l'a sponsorisé" et qu' "il est en passe de courir le même danger de fragmentation qu'a connu Unix" (Carl Shapiro, Hal R. Varian, 1999, p. 226-227).

⁶⁶ Ces standards sont du reste à l'origine des spécifications MIL du ministère américain de la défense.

l'Internet à un large public non spécialisé⁶⁷ sont également des standards ouverts produits par un organisme alternatif. Ces standards (HTML *HyperText Markup Language* pour la présentation de l'information, HTTP pour la communication entre ces documents) ont été initialement développés au Centre Européen de Recherche Nucléaire (CERN) par Tim Berners-Lee en 1989 pour faciliter la communication au sein de la communauté de la physique nucléaire par la création d'un système de distribution et d'échange en temps réel d'informations et de données⁶⁸.

Les particularités de ces processus de standardisation (ouverture, évolution maîtrisée collectivement) ont facilité la traduction des différents intérêts de l'ensemble des acteurs très hétérogènes de l'informatique en leur permettant de maintenir leur identité propre. L'aspect fondamentalement décentralisé d'Internet – que l'on retrouve dans la conception du réseau comme des contenus (liens hypermédias en rupture avec les arborescences hiérarchiques traditionnelles de l'informatique) - est en adéquation avec le besoin d'une communication non hiérarchique⁶⁹, permettant une nouvelle maîtrise de l'espace et du temps (non-nécessité de synchroniser les fonctions d'émission et de réception d'informations). En même temps, les évolutions techniques qui accompagnent le développement d'Internet (mise en place d'architectures de type clients-serveurs qui permettent le partage des tâches avec optimisation des ressources entre mainframes, mini-ordinateurs, stations de travail et ordinateurs individuels) vont accélérer la fusion des trois réseaux existants en une structure unique (Gérard Dréan, 1996 A, p. 57).

Le succès de ce nouveau réseau réside également dans sa capacité à fusionner les différents domaines de l'informatique - l'informatique de production (*mainframes*),

⁶⁷ Le World-Wide-Web se développe rapidement à partir de 1993. Il existait 800 serveurs WWW en 1994, 650 000 aujourd'hui et le nombre d'utilisateurs a augmenté d'environ 100 % par an depuis six ans (Philippe Dimech et Etienne Turpin, 1998, p. 24). Début 2000, le contenu du Web était estimé à 1 milliard de pages, qui correspondrait à 4,2 millions de sites publics selon un pointage signé Inktomi et Nec Research Institute (Les News, 18-1-2000).

⁶⁸ Le langage HTML a été rendu accessible gratuitement au public en 1992. Le *World Wide Web* a connu une progression modérée jusqu'à ce que le *National Center for Supercomputing Applications* diffuse gratuitement un logiciel de navigation (Mosaic) permettant aux ordinateurs sous Windows d'interroger les sites connectés sur le Web.

⁶⁹ La conception même du réseau fait qu'il n'existe pas de distinction technique entre producteurs d'informations d'un côté, consommateurs de l'autre, toute personne ou institution connectée au réseau pouvant produire librement des informations reliées facilement (liens hypermédias) aux informations déjà existantes.

l'informatique de conception (station de travail) et l'informatique d'aide à la décision (ordinateur personnel) -, et à intégrer les développements du "paradigme numérique" basé sur la numérisation du traitement et de la communication d'informations de toutes natures (écrits, sons, images...) (Godefroy Dang Nguyen et Denis Phan, 1997, p. 184). A ce stade, l'informatisation ne permet plus seulement d'automatiser des tâches, mais d'automatiser des relations ou d'établir de nouvelles relations entre les agents économiques⁷⁰. Elle porte directement désormais sur les mécanismes de coordination, internes aux organisations et entre les organisations, ce qui se traduit par une recentralisation partielle de la prise en charge organisationnelle de la fonction informatique au sein de directions des systèmes d'informations (Alain Rallet, 1997, p. 97-101).

Une illustration de ces tendances est la rapidité avec laquelle le protocole TCP/IP s'impose dans les réseaux d'entreprise donnant naissance à des réseaux Intranet⁷¹ qui constituent une réponse à l'hétérogénéité des systèmes distribués, et ouvrent de nouvelles perspectives au "client-serveur". Un réseau Intranet est un réseau informatique privé et protégé, fondé sur les technologies développées pour Internet⁷². Il est composé de messageries, de forums de discussion, de serveurs de fichiers et d'applications, internes à l'entreprise, fournis par un serveur Web, et d'un accès à Internet isolé par un dispositif de protection (*firewall*). Les utilisateurs accèdent à l'ensemble de ces ressources par le biais d'un navigateur (interface qualifiée de client universel) utilisant HTML.

Tableau IV

Pénétration du protocole TCP/IP dans les réseaux d'entreprises, en % des matériels connectés

	<i>PC</i>	<i>Serveurs</i>	<i>Moyens</i>	<i>Grands</i>
--	-----------	-----------------	---------------	---------------

⁷⁰ Le pourcentage des entreprises industrielles qui transfèrent des données par l'intermédiaire d'une interface informatique est passé de 36,8 % en 1994 à 59,5 % en 1997 (Secrétariat d'Etat à l'Industrie, 1999, p. 69).

⁷¹ Selon Keenvision, le nombre d'entreprises ayant mis en place un Intranet a progressé d'un tiers ces douze derniers mois et atteint plus de 55 % des entreprises de plus de 500 salariés (15 septembre 2000).

⁷² Un réseau Intranet peut s'étendre au-delà des frontières d'une organisation. Par exemple, en France, le projet d'Intranet le plus important est le réseau informatique sanitaire Sésame-Vitale qui devrait connecter l'ensemble des professionnels de la santé, 310 000 médecins libéraux, tous les hôpitaux et toutes les administrations sanitaires et sociales (Eurostaf, 1997 A, p. 24).

			<i>systemes</i>	<i>systemes</i>
1996	21	40	44	31
1998	50	50	58	41
1999	67	67	70	44

Source : IDC in 01 Informatique, 14 mars 1997

La rapidité de cette évolution a pris à contre-pied Novell, qui avec son logiciel Netware basé sur un protocole de communication spécifique (IP Exchange) disposait de la plus grande base installée de serveurs pour réseaux locaux⁷³.

La force des protocoles Internet provient de la nécessité d'un alignement limité des différents acteurs, ce qui lui a permis de regrouper rapidement des acteurs de plus en plus nombreux et surtout de plus en plus divers. Le fonctionnement d'Internet repose sur la capacité des "quelques entités coordinatrices reconnues par la communauté" (Jean-Luc Archimbaud, 1995, p. 39), à contrôler et impulser les évolutions techniques, à adopter les standards et à gérer les problèmes d'adresses des machines connectées au réseau. Les principales institutions, apparues au fur et à mesure des besoins sont : l'*Internet Society* (ISOC) qui est, en théorie l'"instance suprême" de l'Internet ; l'*Internet Engineering Task Force* (IETF) qui détermine les évolutions techniques, sous la responsabilité de l'*Internet Architecture Board* (IAB) sorte de "comité des sages" de l'Internet où siègent des scientifiques reconnus pour leurs compétences dans le domaine des réseaux informatiques ; le *World Wide Web Consortium* (W3C) de création plus récente (octobre 1994) qui assure la gestion du World Wide Web ; l'*Internet Assigned Numbers Authority* (IANA) - seule institution centralisée indispensable au fonctionnement de l'Internet - qui gère l'unicité des adresses Internet grâce au "système des noms de domaine" (DNS) : à l'adresse numérique d'une machine raccordée à l'Internet (adresse IP, par exemple 198.105.232.6) est associé un "nom" censé mieux identifier l'entité que l'on cherche à contacter et être plus facile à mémoriser (www.microsoft.com pour l'exemple cité).

⁷³ Novell, en fort mauvaise posture ce qui se traduit notamment par une importante vague de licenciements, a dû se rallier au protocole IP et tente de se redresser avec la création d'un "annuaire universel" (*Novell Directory System*) qui contient les profils des utilisateurs, les adresses électroniques, les chemins d'accès aux différentes informations. Elle tente d'imposer ce produit comme un standard "ouvert" aux autres entreprises contre un projet identique *Active Directory* de Microsoft.

Les processus de décisions de ces institutions sont assez particuliers : par exemple, pour élaborer ou faire évoluer un standard, l'IETF publie sur le réseau des *Request For Comments* (RFC) librement accessibles et qui suscitent des échanges en ligne ouverts à tous les participants désireux d'intervenir. La discussion s'arrête quand le groupe ainsi constitué atteint un "consensus approché" (*rough consensus*) sur la définition des spécifications ; à partir de ces spécifications, il est procédé à des essais de prototypes, avec plusieurs prototypes de plusieurs fournisseurs qui doivent être capables de coopérer, et c'est seulement quand il existe des produits définitifs, avec un choix entre plusieurs fournisseurs, que le standard est définitivement adopté.

Tableau V : Les réseaux technico-économiques dans l'informatique

Réseaux	Informatique traditionnelle	Mini-informatique puis stations de travail	Microinformatique	Fusion tendancielle
Début	Années 60	Années 70	Années 80	Années 90
Intermédiaire déterminant (Standard stratégique)	Architecture matérielle	Système d'exploitation (versions concurrentes d'UNIX)	Système d'exploitation (MSDOS puis Windows)	Protocoles de communication (TCP IP)
Acteur dominant	IBM	Pas d'acteur dominant	Microsoft (et Intel)	Organismes alternatifs
Innovation décisive	Ordinateur	Multiples innovations	Microprocesseur	Client-serveur
Utilisateurs principaux	Administrations et Grandes Entreprises (GE)	Les différents services des administrations et des GE. Les Moyennes Entreprises	Les précédents plus les PME et une partie des ménages	Tous potentiellement
Type d'utilisation	Calcul scientifique Gestion	Conception Création	Outil de productivité personnelle Bureautique Aide à la décision	Très diversifié Outil de communication et de recherche d'informations Automatisation des relations
Valeurs culturelles	Centralisé et élitiste	Expert Décentralisation relative	Démocratique et convivialité	Communication non hiérarchique Réalité virtuelle
Interaction homme / machine	L'homme doit s'adapter à l'informatique	Introduction de la "convivialité"	L'informatique doit s'adapter à l'homme	Multimédia

Le tableau V représente de façon synthétique les quatre réseaux technico-économiques. On remarque que deux de ces réseaux (informatique traditionnelle et microinformatique) sont structurés de façon assez semblable autour d'un acteur dominant (respectivement IBM et

Microsoft⁷⁴). Par opposition, les deux autres réseaux ont en commun de ne pas être dominés par un acteur privé. Ils diffèrent fondamentalement selon le degré d'ouverture du standard stratégique : dans le cas du réseau constitué autour d'Unix, l'existence de différentes versions concurrentes a eu pour conséquence que ce réseau s'est fragmenté en plusieurs sous-réseaux imparfaitement reliés, ce qui a certainement nui au développement du monde Unix, en dépit de ses potentialités techniques. Par contre, dans la situation actuelle, l'ouverture des standards développés par des organismes alternatifs a permis l'extension accélérée de ce réseau à l'ensemble de l'informatique.

Schématiquement les standards stratégiques ont concerné successivement les matériels, les systèmes d'exploitation, les formats de présentation et les protocoles de communication. Chaque déplacement du caractère décisif de la standardisation d'un intermédiaire à un autre s'accompagne de la possibilité de bénéficier de la diversité sur l'intermédiaire précédent, tout en bénéficiant des externalités de réseaux sur le nouvel intermédiaire : par exemple, la standardisation au niveau du système d'exploitation autorise l'utilisation de tous les matériels sur lesquels est implémenté le système standard ; la standardisation au niveau des protocoles de communication permet d'interconnecter tous les systèmes informatiques - composés de matériels et de systèmes d'exploitation très divers – qui supportent ces protocoles de communication.

Le rapprochement entre les trois mondes de l'informatique dépasse leur simple interrelation technique. En s'effectuant sur des standards "ouverts", il a pour conséquence que pour chaque élément fonctionnel, plusieurs produits se retrouvent en concurrence, tout en étant compatibles avec le reste du système (Gérard Dréan, 1996 A, p. 311). De ce fait, c'est l'ensemble de l'industrie informatique (et plus seulement la micro-informatique) qui éclate en secteurs spécialisés, à l'intérieur desquels les représentants des trois mondes se retrouvent en concurrence : "dans chacun de ces secteurs spécialisés, la concurrence fait disparaître les frontières entre les trois mondes du PC, des ordinateurs traditionnels et des systèmes ouverts, et a pour effet d'unifier globalement l'informatique" (idem, p. 286).

⁷⁴ Les similitudes entre IBM et Microsoft à trente ans d'écart sont caractéristiques de cette situation d'acteur dominant d'un réseau technico-économique : mêmes croissances fulgurantes et apparemment inexorables, mêmes craintes sur l'étendue de leurs pouvoirs, mêmes critiques virulentes sur les méthodes utilisées pour s'imposer, mêmes démêlés avec les institutions judiciaires...

Cette évolution du niveau stratégique de la standardisation s'est accompagnée d'une diversité croissante des utilisateurs de l'informatique, de leurs modes de communication avec les ordinateurs et des utilisations de l'informatique. La prolongation de cette tendance - communications sous des formes de plus en plus variées entre utilisateurs reliés, connexions avec des objets non informatiques - va nécessiter une nouvelle évolution des standards selon un processus qui reste à déterminer mais pour lequel l'histoire passée peut être riche d'enseignements.

B - QUELLES PERSPECTIVES ?

S'appuyant sur la croissance accélérée d'Internet et des réseaux Intranet, des acteurs informatiques importants tentent d'opérer une reconfiguration de l'ensemble de l'informatique autour de l'idée de Network Centric Computing, formulée par Larry Ellison (PDG d'Oracle)⁷⁵. Ce modèle est basé sur trois maillons : *Fat Server*, *Big Pipes*, *Thin Client*. Il est principalement soutenu par Sun, leader des stations de travail et qui produit des serveurs de plus en plus puissants sous Unix, utilisant dès l'origine TCP/IP, par Oracle, leader des SGBDR (Système de Gestion de Bases de Données Relationnelles) et par Netscape (navigateur et logiciel de gestion de serveurs). Il est fondé sur l'existence d'un langage universel, Java développé par Sun⁷⁶, qui permet d'écrire des applications s'exécutant sur toutes les machines disposant d'un programme d'interprétation intégré aux navigateurs et aux serveurs (machine virtuelle Java). De ce fait, aux PC pourraient être avantageusement substitués des NC (*Network Computer*), terminaux administrés à distance et tirant leurs ressources du réseau (Intranet ou Internet). En effet, le PC réclame toujours plus de puissance et a un coût élevé : au-delà de l'investissement d'origine en matériel et logiciel estimé à 7 800 dollars, le coût de propriété d'un PC (TCO *Total Cost of Ownership*) est évalué par le Gartner

⁷⁵ En réalité, on peut considérer que l'origine de cette idée remonte aux débuts de la micro-informatique en 1981, avec le projet (jamais concrétisé) de Digital Research de fabriquer avec Intel des « *diskless machines aimed at networked applications* » (Datamation, janvier 1982, p. 200).

⁷⁶ Le succès de Java a été tel qu'il a conduit IBM à abandonner *Opendoc*, une technologie objet développée avec Apple et Novell, qui ne servira plus que de "pièces détachées" pour les composants de Java

Group en 1966 à 39 000 dollars sur cinq ans (Eurostaf, 1997 A, p. 55) et selon la même source, le Network Computer permettrait de baisser ce coût de 34 % (01 Réseaux, Juin 1998).

Pourtant ce nouveau modèle informatique a du mal à s'imposer. Les problèmes techniques fréquemment avancés (débit limité des infrastructures de communication, performances insuffisantes des machines virtuelles Java pour exécuter des grandes applications) n'expliquent que très partiellement la modestie des ventes de NC (contrairement à l'ensemble des prévisions⁷⁷), et leur résolution prévisible restera insuffisante⁷⁸. Une analyse en terme de réseaux technico-économiques peut permettre d'expliquer cet échec prévisible.

Premièrement cette conception s'oppose directement et frontalement aux intérêts de deux des acteurs les plus puissants de l'informatique actuelle : Intel pour les microprocesseurs, auquel Sun veut opposer un microprocesseur spécifique à Java (PicoJava), et Microsoft dont le système d'exploitation Windows pourrait être concurrencé par JavaOS. Leur réaction n'a pas tardé : pour imposer son navigateur Internet Explorer contre la position hégémonique détenue par Netscape, Microsoft l'a distribué gratuitement avant de l'intégrer dans Windows 98 (ce qui est la cause de son procès actuel) ; surtout Microsoft a ajouté au langage HTML et à Java ses propres caractéristiques⁷⁹ ce qui a pour conséquence que certaines pages Web s'affichent différemment voire refusent de s'afficher suivant le navigateur utilisé, ou que les serveurs sont obligés de développer deux fois leurs sites. Pour résoudre les problèmes d'interfaces entre des objets (logiciels) répartis sur différentes machines, les principaux acteurs

(*javabeans*). Java, qui au départ était un simple langage de programmation a été transformé par Sun en une architecture de développement complète d'applications (JDK) (Eurostaf, 1997 A, p. 45-47).

⁷⁷ Les prévisions qui allaient de plusieurs centaines de milliers à plusieurs millions de NC vendus en 1998 (Eurostaf, 1997 A, p. 18-19) ont été démenties par des ventes demeurées marginales.

⁷⁸ Plus récemment Larry Ellison (PDG d'Oracle) a quelque peu modifié son projet vers le développement d'appareils alternatifs au PC permettant de se connecter à Internet et dont il prévoit que le nombre dépassera celui des PC connectés à Internet dès l'an 2000 ! Oracle a créé une filiale « Network Computer » pour produire de tels appareils, dont le point fort devrait être une facilité d'utilisation, identique à celle d'une console de jeu vidéo, et qui seraient vendus au prix de 199 dollars, et a entamé des discussions avec une compagnie de téléphone européenne afin de mettre au point des téléphones offrant des fonctionnalités proches de celles des ordinateurs de réseaux (18h.com, Le quotidien de l'Expansion, 28/10/99).

⁷⁹ Le navigateur Internet Explorer 5.0 de Microsoft n'est pas conforme aux standards définis par le W3C alors que Microsoft a participé à l'élaboration de ces standards (01 Informatique, 26-3-99).

informatiques ont adopté le standard CORBA auquel Microsoft oppose DCOM⁸⁰. Cette situation de "déstandardisation" a pour conséquence de nourrir un certain attentisme notamment dans la réécriture des applications en Java, nécessaire pour être utilisées sur des NC. Par ailleurs, Microsoft et Intel en alliance avec Compaq, Hewlett-Packard et d'autres constructeurs moins importants s'emparent (en la dénaturant) de l'idée de *Thin Client* en créant des terminaux Windows, qui gèrent uniquement l'interface graphique, le traitement applicatif étant réalisé sur un serveur sous Windows NT, et des NetPC, qui sont des PC où certains éléments permettant d'introduire des données ont été supprimés ou verrouillés. Pour également réduire l'avantage en termes de coût du NC, différentes initiatives ont été prises pour faire baisser les coûts d'administration des PC : Microsoft a développé une solution logicielle (*Zero Administration Kit*) ainsi qu'IBM (*System Case*), Dell a intégré à son système de vente directe de micro-ordinateurs constitués de composants choisis par le client (*Build To Order*) la possibilité d'une configuration sur mesure de l'ordinateur à la commande. Ces différentes actions ont permis d'entraver le développement des NC et de limiter son avantage économique.

Deuxièmement, et cause principale probable du manque d'avenir des NC, la conception "*Network Centric Computing*" n'est pas en adéquation avec les aspirations socioculturelles dominantes des utilisateurs de l'informatique. Elle répond certes aux besoins de communication mais, en réintroduisant une vision hiérarchique (qui n'est pas sans rappeler l'architecture verticale de l'informatique traditionnelle), elle s'oppose à la volonté d'autonomie des utilisateurs.

Si l'on peut en conclure que cette conception ne deviendra pas le modèle informatique de demain, demeure la question de l'évolution du processus de standardisation, initié par des institutions spécifiques (ni privées, ni étatiques) et qui devient de plus en plus complexe à mettre en œuvre, au fur et à mesure que le groupe des utilisateurs se multiplie et

⁸⁰ Microsoft participe pourtant au consortium qui développe CORBA, mais d'une façon assez similaire à IBM, qui participait activement aux instances de normalisation tout en tentant par ailleurs d'imposer sur le marché ses solutions comme des standards de fait.

s'hétérogénéise, et que l'informatique est utilisée pour des activités de plus en plus diverses (commerce électronique⁸¹, travail coopératif réparti assisté par ordinateur...).

La question se pose du "degré de stabilité et d'autonomie à terme d'un organisme alternatif (...) et de la probabilité non négligeable qu'un tel organisme sous la pression économique ou politique soit capturé par le système public ou par le système privé, par quelques grands acteurs économiques recherchant à promouvoir leurs propres technologies" (Pierre-José Billotte, 1997, p. 203). La maîtrise de l'évolution des standards devient une question stratégique décisive, et les alliances⁸² et les rapprochements entre fournisseurs de "contenus", opérateurs de télécommunications, producteurs de matériels et de logiciels, et nouvelles sociétés de services liées à Internet (fournisseurs d'accès, de sites "portail", de moteurs de recherches...) se multiplient. Par exemple, pour la question des paiements via Internet, en 1995 Microsoft et Visa proposaient le standard *Secure Translation Technology* en le présentant comme "ouvert" (disponible pour toute entreprise souhaitant l'employer), mais en réalité le logiciel nécessaire pour rendre le standard opérationnel ne pouvait être obtenu que par un accord de licence auprès de Visa et de Microsoft ; ce standard s'opposait au standard *Secure Courier* soutenu par MasterCard, Intuit, IBM et Netscape ; cette compétition s'est toutefois achevée par l'adoption d'un standard commun *Secure Electronic Transactions* en février 1996 (Carl Shapiro, Hal R. Varian, 1999, p. 222-223).

Jusqu'à maintenant les institutions d'Internet ont résisté aux différentes tentatives de "privatisation" des standards : passage d'IP version 4 à IP version 6 pour faire face à la pénurie potentielle d'adresse⁸³, développement d'IP Security pour résoudre les problèmes de sécurité, naissance de la version 4 d'HTML intégrant les nouvelles fonctionnalités nécessaires au multimédia tout en tentant d'empêcher la fragmentation du marché et de garantir l'interopérabilité. Le plus délicat fut l'évolution de la gestion des noms de domaine : d'une

⁸¹ Dans ce domaine, 22 grandes entreprises multinationales ont constitué le *Global Business Dialog* (GBD) dont l'objectif est de promouvoir des règles pour le commerce électronique.

⁸² Même si l'on peut douter de la pérennité de certains accords dont l'objectif est plus d'influencer les anticipations par leur effet d'annonce que de se réaliser concrètement.

⁸³ Ce qui a permis de démentir la prévision de Sandra Braman selon laquelle, "l'accroissement du nombre de personnes souhaitant accéder à Internet est en soi devenu une marchandise, étant donné que les adresses IP nécessaires pour identifier individuellement chacun des utilisateurs deviennent des biens rares et commercialisables dont le prix va probablement augmenter" (1997, p.105).

question essentiellement technique résolue par l'IANA (institution qui n'avait pas d'existence juridique et qui était principalement animée par un des fondateurs d'Internet, Jonathan Postel, décédé récemment), elle est devenue un enjeu important pour les entreprises introduisant des aspects complexes de propriété intellectuelle et industrielle. Après de multiples péripéties, les conflits semblent s'estomper avec la création en 1998 d'une nouvelle institution l'*Internet Corporation for Assigned Names and Numbers* (ICANN). Une autre difficulté vient de l'extension de l'utilisation d'Internet pour la diffusion de l'audio et de la vidéo où la plupart des standards appartiennent à des entreprises privées (par exemple, Thomson Multimédia détient les droits du format de compression MP3). "Le danger du Net, aujourd'hui, vient de la multiplication des standards, parce que ce sont des entreprises et non les milieux académiques qui développent la plupart des innovations (transmission de la voix, de la vidéo, etc.). Il faut des organisations très puissantes pour maintenir la disponibilité la plus large possible du système dans de telles conditions" estime Robert Cailliau, co-inventeur du Web avec Tim Berners-Lee (Chronique de Cybérie, 10 août 1999).

Toutefois, face aux évolutions techniques, la pérennité de cette situation n'est nullement garantie. Se profile une reconfiguration élargie du réseau qui pourrait voir l'extension des chaînes de traduction à l'ensemble des objets qui contiennent des microprocesseurs (l'ensemble des appareils électroménagers, les téléphones, les décodeurs, l'automobile, les consoles de jeux, les multiples cartes à puces, les agendas électroniques...)⁸⁴. Si la plupart de ces objets ont été à l'origine conçus selon une logique câblée (où les instructions sont gravées dans le silicium), c'est une logique programmée avec l'intégration de véritables logiciels qui se développe actuellement⁸⁵, suivant la même tendance que celle que l'on a observée dans l'informatique (Jean-Benoît Zimmermann, 1998 A).

Elle ouvre la possibilité pour l'ensemble de ces objets de s'intégrer dans les réseaux informatiques en permettant la communication entre ces objets divers et les ordinateurs, générant un vaste champ de nouvelles applications (*appliances*) encore très floues (la domotique notamment) et développant de nouvelles externalités de réseaux. La création de ce

⁸⁴ Sur les 6 milliards de microprocesseurs dans le monde, moins de 600 millions se trouvent dans des micro-ordinateurs.

⁸⁵ Outre sa plus grande souplesse (possibilité de reprogrammer) la logique programmée peut permettre grâce à la standardisation des composants de générer de formidables économies d'échelle.

nouveau réseau nécessite un "alignement" relatif de ces objets, de leurs producteurs et de leurs utilisateurs. Les questions de standardisation pour résoudre les problèmes de communication et pour permettre à des applications de s'exécuter partiellement sur des objets aussi divers (informatique diffuse) se posent dans des termes différents et concernent de nouveaux acteurs⁸⁶. A l'heure actuelle, Microsoft tente d'imposer comme système d'exploitation Windows CE, version allégée de Windows 95, qui est confronté notamment à eCos développé par la société Cygnus et compatible avec la norme japonaise Itron. Sun, qui a développé avec succès le langage Java, même s'il n'a pas réussi à en faire la base de l'ensemble de l'architecture informatique, essaye de rééditer cette opération pour l'ensemble des objets avec la création de Jini. Si les solutions proposées par Microsoft sont complètement "privées", les autres solutions, notamment celles de Sun, présentent un certain degré d'ouverture : publication et libre disponibilité des spécifications et du code-source des logiciels. Toutefois selon un modèle qui semble se développer en informatique, Sun garde un contrôle important par le dépôt de brevets⁸⁷ et par son pouvoir d'accorder une certification de compatibilité.

Les enjeux sont donc considérables. L'analyse des créations précédentes des différents réseaux technico-économiques laisse supposer qu'une convergence se produira sous des formes qui restent à déterminer, l'histoire de l'informatique ayant montré l'importance que pouvaient prendre des événements et des décisions apparemment mineurs dans un contexte particulier propice à la naissance d'un nouveau réseau. Le deuxième enseignement que l'on peut dégager de l'étude de l'émergence des standards déterminants en informatique est que ce processus peut s'opérer selon deux modalités très différentes. La première possibilité est que la convergence s'opère sur des standards privés (sur le modèle de l'informatique traditionnelle et de la microinformatique) imposés par un acteur déterminant de l'informatique ou plus vraisemblablement par une coalition d'acteurs privés appartenant aux différents domaines

⁸⁶ Par exemple, Sony a affiché l'objectif de devenir un acteur majeur dans la réalisation de systèmes d'exploitation et d'applications pour appareils ménagers, ce qui s'est traduit par l'annonce de nombreuses embauches d'ingénieurs spécialisés dans le logiciel et la reconversion d'une partie de ses salariés spécialisés dans le matériel.

⁸⁷ En Europe, à la différence des Etats-Unis, il n'est pas possible de breveter des logiciels. Ceux-ci relèvent du droit d'auteur avec quelques aménagements (les droits d'auteur sont possédés par l'employeur et non par l'auteur comme dans les autres œuvres). Toutefois la jurisprudence a ouvert, dans certains cas, la possibilité de breveter des logiciels, et des propositions existent au niveau européen pour adopter le modèle américain de brevetabilité complète des logiciels (cf. chapitre III).

concernés. Outre le fait qu'il est probable que ce processus prendra un certain temps et passera par une phase de "balkanisation" du réseau, résultant de la coexistence de différents standards concurrents et incompatibles, avant qu'une dynamique d'autorenforcement se crée autour d'une solution qui ne sera pas nécessairement optimale, ce scénario a l'inconvénient de conférer à la coalition d'acteurs qui contrôle les standards des pouvoirs exorbitants⁸⁸ sur l'évolution de l'informatique, voire sur une part de plus en plus importante de l'ensemble de l'activité économique et sociale. La deuxième possibilité, qui peut sembler plus efficace quant à l'émergence d'un nouveau réseau et plus satisfaisante sur un plan démocratique, est que ce réseau se structure autour de standards ouverts portés par des organismes alternatifs, suivant le modèle qui a été à la base du succès d'Internet.

Nous avons analysé l'histoire de l'informatique comme la constitution successive de réseaux technico-économiques structurés par des standards. Nous avons vu que les processus de standardisation pouvaient être l'œuvre d'acteurs divers (entreprises, Etat mais également organismes alternatifs), ne pas être nécessairement optimaux et, malgré tout perdurer, permettant la consolidation et l'extension d'un réseau technico-économique, qui en retour renforce ces standards. Toutefois, dans un contexte marqué par la très forte croissance de l'informatique, l'existence d'innovations techniques et de nouveaux besoins, correspondant notamment à des changements culturels, a permis l'émergence de nouveaux réseaux technico-économiques, qui coexistent avec les anciens, la situation actuelle étant marquée par une fusion tendancielle entre ces différents réseaux.

On ne peut comprendre les évolutions de l'économie du logiciel en faisant abstraction de cette histoire. C'est l'histoire de ces réseaux, dans lesquels s'insèrent les acteurs de l'économie du logiciel, qui permet d'expliquer l'apparition de nouveaux producteurs de logiciels, le déclin d'entreprises qui apparaissaient toutes puissantes, les transformations de la nature économique des produits logiciels... En même temps, l'économie du logiciel joue un rôle de plus en plus

⁸⁸ Ces pouvoirs peuvent être de nature économique (possibilité de "péages" dans une position de "garde barrière") mais aussi sociale (influence sur les contenus diffusés, protection de la vie privée...). L'émotion suscitée par la découverte de numéros d'identification, dans le dernier microprocesseur (Pentium III) d'Intel et dans les logiciels de Microsoft, permettant de connaître l'activité des utilisateurs, en est une illustration.

important dans l'histoire de l'informatique, ce qu'illustre le fait que les standards déterminants se sont déplacés du matériel vers les logiciels.