

Les modèles de compétition technologique. Une revue de la littérature

Dominique Foray

Revue d'économie industrielle, Année 1989, Volume 48, Numéro 1
p. 16 - 34

[Voir l'article en ligne](#)

Cet article présente les options théoriques et les principales orientations du courant de recherche dit « de la compétition technologique », notamment développé par B. Arthur et P. David. Partant de la notion de rendement croissant d'adoption, il s'agit d'énoncer les conditions sous lesquelles une situation de monopole technologique (effet de « lock-in ») peut apparaître, au terme d'une compétition à n technologies. Le cadre analytique élaboré permettra, en outre, de montrer que chacune de ces n technologies possède une probabilité positive de sortir vainqueur de la compétition de sorte que le marché peut être conquis par la technologie « inférieure ».

Avertissement

L'éditeur du site « PERSEE » – le Ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation – détient la propriété intellectuelle et les droits d'exploitation. A ce titre il est titulaire des droits d'auteur et du droit sui generis du producteur de bases de données sur ce site conformément à la loi n°98-536 du 1er juillet 1998 relative aux bases de données.

Les oeuvres reproduites sur le site « PERSEE » sont protégées par les dispositions générales du Code de la propriété intellectuelle.

Droits et devoirs des utilisateurs

Pour un usage strictement privé, la simple reproduction du contenu de ce site est libre.

Pour un usage scientifique ou pédagogique, à des fins de recherches, d'enseignement ou de communication excluant toute exploitation commerciale, la reproduction et la communication au public du contenu de ce site sont autorisées, sous réserve que celles-ci servent d'illustration, ne soient pas substantielles et ne soient pas expressément limitées (plans ou photographies). La mention Le Ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation sur chaque reproduction tirée du site est obligatoire ainsi que le nom de la revue et- lorsqu'ils sont indiqués - le nom de l'auteur et la référence du document reproduit.

Toute autre reproduction ou communication au public, intégrale ou substantielle du contenu de ce site, par quelque procédé que ce soit, de l'éditeur original de l'oeuvre, de l'auteur et de ses ayants droit.

La reproduction et l'exploitation des photographies et des plans, y compris à des fins commerciales, doivent être autorisés par l'éditeur du site, Le Ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation (voir <http://www.sup.adc.education.fr/bib/>). La source et les crédits devront toujours être mentionnés.

Les modèles de compétition technologique

Une revue de la littérature

Dominique FORAY *

CNRS/ECT Lyon II

"Does the economy sometimes lock in to an inferior technology because of small, historical events? It appears that it does. Light water reactors at present account for close to 100 % of all US nuclear power installations and about 80 % of the world market. They were originally adapted from a highly compact unit designed to propel the first American nuclear submarine, the USS Nautilus, launched in 1954. A series of circumstances — among them the US Navy's role in early construction contracts, political expediency within the National Security Council, the behavior of key personages like Admiral Rickover, and the Euratom Program — acted to favor light water, so that learning and construction experience gained with light water early on locked the market in by the mid-1960's. And yet the engineering literature consistently argues that, given equal development, the gas-cooled design would have been superior" (Arthur, 1988a).

Comment expliquer la « victoire finale », dans le domaine des réacteurs nucléaires, de la méthode de refroidissement par eau, alors que de nombreux spécialistes affirment aujourd'hui que le refroidissement par gaz serait plus efficace si on avait consacré au développement de cette méthode autant de ressources qu'à celui de sa rivale ? De même, s'il est indiscutable que le véhicule à essence représente aujourd'hui la solution la plus performante, une telle supériorité n'a pas toujours été aussi évidente. Comment expliquer dès lors la « victoire », là encore absolue, d'une solution technique sur ses rivales (vapeur, électricité), alors que le plafond des performances effectives de ces dernières est au fond mal connu ? Pour la première fois, à notre connaissance, un programme de recherche s'efforce d'apporter un ensemble cohérent de réponses purement économiques à ces questions. Partant de l'idée simple, selon laquelle — on ne choisit pas une technologie parce qu'elle est plus efficace mais c'est parce qu'on la choisit qu'elle devient plus efficace —, B. Arthur s'attache à énoncer les conditions sous lesquelles une situation de « monopole technologique » peut apparaître, au terme d'une compétition à n technologies. Le cadre analytique qu'il élabore permet de montrer en outre que chacune de ces n technologies possède une probabilité positive de sortir vainqueur de la compétition, de sorte que le marché peut être conquis par la technologie dite « inférieure » ; c'est-à-dire par celle qui, dans le cadre d'une compétition à n technologies, et au terme d'un développement équivalent de celles-ci, posséderait la capacité de rendement la plus faible ; (« inferior here means inherently inferior », Cowan, 1988b).

A la suite de Arthur, les contributions de P. David, R. Cowan, S. Glaziev et Y. Kaniovski ont renforcé significativement ce courant de recherche. Il est à noter en outre que toute une littérature, émanant de la microéconomie moderne de la concurrence imparfaite (Katz et Shapiro, Farrell et Saloner), a fait largement appel

(*) Je remercie Mrs Arthur (Santa Fé), David (Stanford), Jacot (Lyon), Metcalfe (Manchester) et Perrin (Grenoble) pour leurs aides ou commentaires à différents moments de ce travail. J'ai utilisé en outre certaines remarques et critiques, formulées par les membres du Centre de recherche en évaluation sociale des techniques (CREST) et du Centre de recherche en développement industriel et technologique (CREDIT), à l'occasion de deux séminaires à Montréal au printemps 1989.

aux modèles de compétition technologique dans le cadre de son projet de constitution d'une théorie économique de la standardisation.

Dans les pages qui suivent, nous proposons une présentation de ces modèles, tout en dégagant les principes théoriques nécessaires à leur extension. Nous nous demandons ensuite en quoi cette démarche rompt de manière assez radicale avec les approches traditionnelles de l'économie de la technologie, dans lesquelles nous incluons le courant évolutionniste, entendu dans son acception aujourd'hui dominante (cf. Foray et Zuscovitch, 1987, Gaffard, 1987, Dosi, 1988 et Dufourt et Foray, 1988)

I. — LES FONDEMENTS THÉORIQUES DU MODÈLE DE BASE

Quatre articles (1987, 1988a et b, 1989) permettent à B. Arthur de poser les bases de sa théorie de la compétition technologique : la diffusion technologique est un processus dynamique, dont le moteur réside dans l'action même d'adopter. Celle-ci fonctionne en effet comme un mécanisme de « self-reinforcing », que Arthur formalise à l'aide de la notion de rendements croissants d'adoption (RCA) :

“What makes competition between technologies interesting is that usually technologies become more attractive — more developed, more widespread, more useful — the more they are adopted” (Arthur, 1988a)

Quelles sont les sources des RCA ? Arthur en repère cinq :

— apprentissage par l'usage : plus la technologie A est adoptée, plus important sera l'apprentissage associé à son utilisation, plus elle deviendra performante (cf. Rosenberg, 1982) ;

— externalités de réseau : plus A est adoptée, plus son utilité augmentera pour l'utilisateur grâce aux simples effets de l'élargissement de la communauté des utilisateurs. Deux grands phénomènes permettent d'expliquer les économies externes de réseau (Katz et Shapiro, 1985). Premièrement, l'accroissement du nombre d'utilisateurs a un effet physique direct sur l'utilité du produit (par ex. le téléphone) ; deuxièmement, il peut favoriser une amélioration des caractéristiques de l'offre des produits complémentaires (par ex. dans le cas des équipements audiovisuels). Dans ces deux cas, une part de l'utilité qu'un utilisateur retirera du produit dépendra du nombre des autres utilisateurs détenteurs de ce même produit ;

— économies d'échelle en production : plus A est adoptée, plus les éléments matériels qui la constituent seront fabriqués en grandes séries ; (on retrouve ici la nécessité d'intégrer une fonction d'offre au modèle standard de diffusion, Metcalfe, 1988) ;

— rendements croissants d'informations : plus A est adoptée, plus elle sera connue, moins l'aversion au risque constituera un facteur de blocage à sa diffusion ; (on retrouve ici une des variables de base du modèle de diffusion de Mansfield, 1961). Nous verrons que la notion de « learning about payoffs », due à R. Cowan (1988b), exprime approximativement la même idée ;

— interrelations technologiques : plus A est adoptée, plus nombreuses seront les technologies affluantes qui viendront structurer son environnement technique, concourant par là-même à la rendre plus attractive.

Il s'agit là de la liste initiale de Arthur que nous compléterons ultérieurement.

Avec la formulation de la notion de RCA, la compétition technologique devient un problème de localisation du progrès technique et donc de comportement d'adoption des utilisateurs potentiels. Cette dernière remarque nous suggère l'existence d'une filiation (Gaffard, 1987) : Atkinson et Stiglitz (1969) tout d'abord, qui avancent l'idée d'apprentissage localisé pour suggérer que le progrès technique ne s'inscrit pas dans le déplacement d'une fonction de production mais dans celui d'un point de cette fonction ; Sahal (1981) ensuite, qui parle de « learning via diffusion » (et donc, implicitement, de RCA) :

“In its essence, the increased adoption of a technology paves the way for improvement in its characteristics”.

Citons enfin N. Rosenberg qui formule la notion d'apprentissage par l'usage (« learning by using »), tout en détectant la propriété de « self-reinforcing » qui y est associée, dans le cadre d'une problématique de diffusion technologique :

“The improvements included in learning by using play an important role in the decision to adopt new technologies” (Rosenberg, 1982)

Le modèle d'Arthur permet d'analyser deux grands cas de compétition technologique, selon que la qualité de la technologie change ou ne change pas pour l'utilisateur, une fois que celui-ci l'a adoptée. Dans le premier cas, les rendements associés à la technologie ne dépendront que des comportements d'adoption passés, qui auront transformé celle-ci dans sa matérialité, par l'intermédiaire notamment des processus d'apprentissage par l'usage. Dans le second cas, les rendements associés dépendront à la fois des comportements passés et futurs. L'influence des comportements futurs est liée fondamentalement à l'existence d'externalités de réseau, qui peuvent faire varier, pour l'utilisateur, la qualité de la technologie considérée, une fois l'adoption effectuée. Ce dernier cas, dans lequel le choix des usagers aura donc un fort contenu en anticipation (Katz et Shapiro, 1985), concernera au premier chef la compétition entre standards.

II. — LE FONCTIONNEMENT DU MODÈLE DE BASE

Soit A et B, deux technologies, apparaissant sur un marché d'adopteurs potentiels, ayant à remplacer une technologie C. Ces technologies ne sont pas privées (« sponsored »). Lorsque le niveau d'adoption de A (ou de B) augmente, le progrès technique se localise sur A (ou sur B) ; une des deux technologies s'améliorant et devenant plus attractive pour les usagers potentiels suivants. Nous considérons que les caractéristiques des deux technologies ne changent plus après l'adoption, de telle sorte que l'agent n'a pas à anticiper sur le choix des futurs usagers (nous éliminons donc pour le moment le cas où les externalités de réseaux interviennent). Supposons tout d'abord que tous les agents sont semblables (il n'y a pas de préférences naturelles) et que les RCA pour A et B sont les suivants, compte tenu du niveau des adoptions antérieures :

*TABLEAU 1 : Rendements croissants pour A et B,
compte tenu des adoptions antérieures*



Source : Arthur, 1988a.

Le premier agent choisit naturellement A, c'est-à-dire la technologie qui, compte tenu du niveau initial d'adoption, lui assurera les meilleures performances. Ce premier choix a un effet de localisation du progrès technique sur A (« learning by using »), si bien que le deuxième agent optera également pour A. A continue d'être choisie :

“This continues, with A chosen each time, and B incapable of “getting started”. The end result is that A “corners the market” and B is excluded” (Arthur, 1989).

En choisissant une des deux technologies en compétition, les premiers agents localisent donc le progrès technique et déterminent du même coup un accroissement des rendements associés à la technologie élue. Bien que, dans cette première version du modèle, le résultat soit au fond prédéterminé par l'existence d'un rapport de supériorité initial, deux propriétés du processus de compétition apparaissent d'ores et déjà : — celle d'inefficience potentielle ; la technologie qui s'empare du marché n'est pas forcément celle qui, sur le long terme, assurerait le meilleur rendement ; — celle d'inflexibilité (« lock-in ») ; les RCA déterminent le blocage du processus d'adoption sur l'une des deux technologies. En d'autres termes, il est de moins en moins possible de choisir B, compte tenu des effets de localisation du progrès technique sur A. Selon l'heureuse expression de Arthur, B est « incapable de prendre le départ ».

Il convient de considérer à présent l'hypothèse selon laquelle les agents ne sont pas tous semblables. Ils se distinguent par leur préférence naturelle. L'ordre dans lequel les adopteurs arrivent sur le marché devient désormais crucial pour l'issue de la compétition.

$$\text{Soit : } P_i^j = i_j + f(n_j)$$

où P_i^j exprime le rendement de la technologie J, pour le prochain usager de type i, compte tenu de la préférence naturelle de celui-ci, notée i_j , et des comportements d'adoption passés $f(n_j)$.

Soit deux types d'agents R et S, caractérisés par leurs préférences naturelles respectives pour les technologies A et B.

	A	B
R	.	
S		.

Le formalisme des rendements associés à l'utilisation de A et B, compte tenu des préférences naturelles et des niveaux d'adoption, se présente donc de la manière suivante (Cowan, 1988b) :

$$P_R^A = a_R + f(n_A), P_R^B = b_R + f(n_B)$$

$$P_S^A = a_S + f(n_A), P_S^B = b_S + f(n_B)$$

avec $a_R > b_R$ (préférence naturelle des agents R pour A), et
 $b_S > a_S$ (préférence naturelle des agents S pour B).

Chaque potentiel d'adopteurs R et S est équivalent mais l'ordre d'arrivée effective des agents est déterminé par des événements inconnus (« small unknown events » ou « chance » chez Arthur, « historical accidents » chez David). Initialement au moins, l'arrivée d'un agent R signifiera donc l'adoption de A, tandis que l'arrivée d'un agent S signifiera l'adoption de B. Ainsi, la différence entre les niveaux d'adoption de A et de B augmentera ou diminuera d'une unité selon l'identité du prochain adopteur. Le schéma se complique cependant lorsqu'un grand nombre d'adopteurs, caractérisés par la même préférence naturelle (par ex. les agents de type R), apparaissent de manière ininterrompue. Une des deux technologies (A) est donc massivement adoptée, améliorant par là même considérablement son rendement. L'écart qui se creuse ainsi entre A et B peut alors conduire les agents S eux-mêmes à choisir A, en dépit de leur préférence naturelle initiale. On retrouve donc une situation de « lock-in », qui commence au moment où l'ampleur des améliorations effectuées sur A contrebalance, au niveau du comportement d'adoption de l'agent S, la préférence naturelle de ce dernier pour B. Formellement, cette situation correspond donc au moment où, f s'accroissant de façon monotone et sans limite, le second terme $f(n_A)$ de la fonction de rendement P_S^A devient déterminant, par rapport au premier terme a_S .

Le résultat essentiel du modèle est donc que de « petits événements », exogènes au modèle, produisent un effet de localisation du progrès technique sur une technologie particulière, par exemple A, creusent ainsi l'écart entre les deux technologies, créent par là les conditions d'un renversement de choix pour la catégorie d'agents qui préféreraient naturellement B et fixent en fin de compte le processus d'adoption dans « l'orbite gravitationnelle » de A, dont il sera de plus en plus difficile de sortir.

Attardons-nous un instant sur la notion intrigante de « petit événement » : celle-ci évoque tout phénomène ayant un effet de localisation du progrès technique, au commencement de la compétition. Dans ce sens, une décision étatique, relative au type de réacteur nucléaire à développer, est un « petit événement », au même titre que l'apparition d'un grand nombre d'utilisateurs ayant la même préférence naturelle pour telle norme de magnétoscope. La citation suivante illustre bien l'importance capitale de ce genre de « petits événements » dans la rivalité entre différents types de réacteurs nucléaires (cf. aussi la citation en exergue du texte).

“The early choice of light water for the US naval programme allowed this technology to amass considerable learning very early in the competition. When the push for civilian nuclear power emerged in the early 1960's other technologies were clearly late entrants, while light water was well advanced along its learning curve. Other technologies were forced to try to catch up. By and large they failed” (Cowan, 1988b).

III. — PROPRIÉTÉS ET CADRE THÉORIQUE DU PROCESSUS DE COMPÉTITION

Un processus de compétition, basé sur l'existence de RCA, possède quatre grandes propriétés :

— *Non-prédictibilité* : l'issue de la compétition ne peut être prédite sur la base de ce que nous connaissons des deux technologies en concurrence au tout début du processus. En notant X_n la part de marché de A, après n choix, la propriété de prédictibilité serait démontrée si un observateur pouvait construire une séquence de prévision (X_n^*) , telle que $(X_n - X_n^*) \rightarrow 0$, avec une probabilité 1, lorsque $n \rightarrow \infty$. Il est intéressant de noter que cette impossibilité de prédire avait été admise dès 1952 par Gilfillan, dans un remarquable article intitulé « The prediction of technical change ». Identifiant 25 systèmes possibles d'assistance au pilotage dans le brouillard, Gilfillan affirmait que sous peu on parviendrait à piloter dans le brouillard, sans être en mesure cependant de repérer la méthode qui serait effectivement adoptée.

“The principle of equivalent invention allowed correct prediction of the result to be attained, the airplane's victory over its nemesis fog, even though the means, the inventions which would accomplish it, were most obscure” (Gilfillan, 1952).

Autrement dit, il est plus simple de prédire les effets économiques et sociaux d'une invention, à partir du repérage d'un espace fonctionnel dans lequel la recherche est particulièrement intensive, que d'identifier la méthode qui sera effectivement à l'origine de ces effets. Ces réflexions pertinentes de Gilfillan sont donc éclairées par les notions de RCA et de localisation du progrès technique, bases théoriques de la propriété de non-prédictibilité des processus de compétition.

— *Inflexibilité* ; il arrive un moment où la tendance à la domination d'une des deux technologies n'est plus susceptible d'être remise en cause (« lock-in ») : la technologie devancée ne peut plus être choisie par un usager individuel, et cela quelques soient les préférences naturelles que celui-ci avait formulées initialement. Nous devons nous demander à cet égard si une hypothèse de stabilité globale du système économique, notamment en matière de prix relatifs, ne serait pas nécessaire à la formulation de cette deuxième propriété. En d'autres termes, un changement dans les prix relatifs ne risque-t-il pas de remettre en cause la tendance « irréversible » à la domination d'une des deux technologies ? A notre avis, une telle hypothèse de stabilité est inutile, si on adopte le point de vue de B. Gold (1975), relatif au domaine de pertinence de la théorie des innovations induites (celle-ci ne serait applicable ni au niveau de la firme ni même à celui de l'industrie).

— *Possible inefficience* : du fait de l'importance des « petits événements historiques », qui décident au départ de la localisation du progrès technique dans l'ignorance des potentialités réelles de développement des deux technologies en concurrence, on encourt le risque d'une sélection non pertinente :

“If one technology is inherently « better » than the other (under some measure of economic welfare), but has « bad luck » in gaining early adherents, the eventual outcome may not be of maximum possible benefit” (Arthur, 1988 a).

Dans un article maintenant célèbre, David (1986a) montre bien comment les RCA conduisent à la sélection du clavier QWERTY, notoirement moins efficient que d'autres dispositifs présents sur le marché. Le problème qui apparaît alors est celui de la conversion de l'industrie à la solution considérée finalement comme supérieure. On rencontre ici la question des conditions de sortie du « lock-in », qui sera développée ultérieurement.

— « *Path-Dependence* » ; c'est la « préhistoire » de la compétition qui en déterminera l'issue finale :

“The early history of market — in part the consequence of small events and chance circumstances — can determine which solution prevails. The market - share dynamics are non - ergodic” (Arthur, 1988b).

La propriété d'ergodicité (« non path-dependent ») serait démontrée si, étant donné deux événements historiques possibles, du point de vue de l'observateur, notés (t_i) et (t'_i) , correspondant à des sentiers temporels (« time-paths ») (X_n) (X'_n) , on a $(X'_n - X_n) \rightarrow 0$, avec une probabilité 1, lorsque $n \rightarrow \infty$.

*
* *

En vue d'élaborer un cadre analytique général, Arthur détecte les deux propriétés, garantes de l'unité théorique des différentes versions (économie spatiale, internationale, de la technologie) du problème énoncé : premièrement, le choix entre les alternatives est influencé par la distribution des choix antérieurs entre ces alternatives ; deuxièmement, les « petits événements » externes au modèle peuvent peser sur le processus, si bien qu'il importe de tenir compte d'une certaine part de hasard. En conséquence, l'état du marché (la distribution des choix antérieurs) ne détermine pas le prochain choix mais plutôt la probabilité que chaque alternative soit choisie. Arthur propose d'appeler tout système dynamique, intégrant ces propriétés, « processus d'allocation » : à chaque moment de choix, l'allocation d'une unité est effectuée à une des K catégories, avec les probabilités respectives $p_1(x)$, $p_2(x)$... $p_K(x)$, où le vecteur des probabilités p est une fonction de x , lequel donne la proportion présente des unités dans les K catégories. La question qui se pose alors est de savoir comment évoluent ces proportions sur le long terme. Peut-on formuler une loi, telle que ces proportions tendent à se fixer, déterminant par là l'émergence d'une structure ? Cette question est au cœur des travaux de Polya et Eggenberger (cit. par Arthur et al., 1987) : dans le « Polya process », une urne de capacité infinie doit être remplie de balles blanches ou rouges. Au départ, deux balles (une de chaque couleur) sont placées dans l'urne. La règle de choix de la couleur de la prochaine balle à ajouter est la suivante : on tire de l'urne une balle au hasard et la couleur de celle-ci indique la couleur de la prochaine balle qui sera placée dans l'urne. Ce processus est « path-dependent » : à chaque période, la probabilité que la prochaine balle ajoutée soit rouge est égale à la proportion des balles rouges déjà dans l'urne (figure 1). La question est alors de savoir si ces proportions varient indéfiniment entre 0 et 1 ou si elles évoluent vers une limite, déterminant ainsi l'émergence d'une structure. Polya montre que la proportion de balles

rouges tend vers une limite X , avec une probabilité 1. Mais X est une variable aléatoire, uniformément distribuée entre 0 et 1.

“In other words, if this Polya process were run once, the proportion of red balls may settle down to 22 3927... % and never change ; if run again, it might settle to 81 4039...%. A third time it might settle to 42 0641...%. And so on” (Arthur et al. 1987).

FIGURE 1 : La fonction standard du « Polya process »
(Arthur et al., 1987)

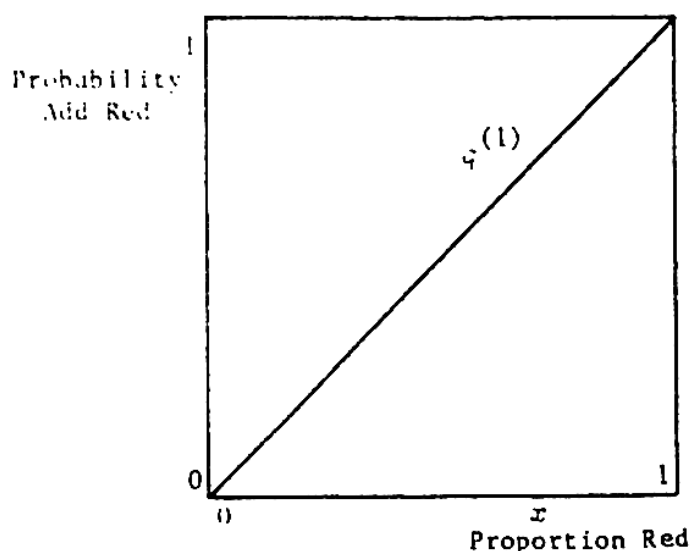
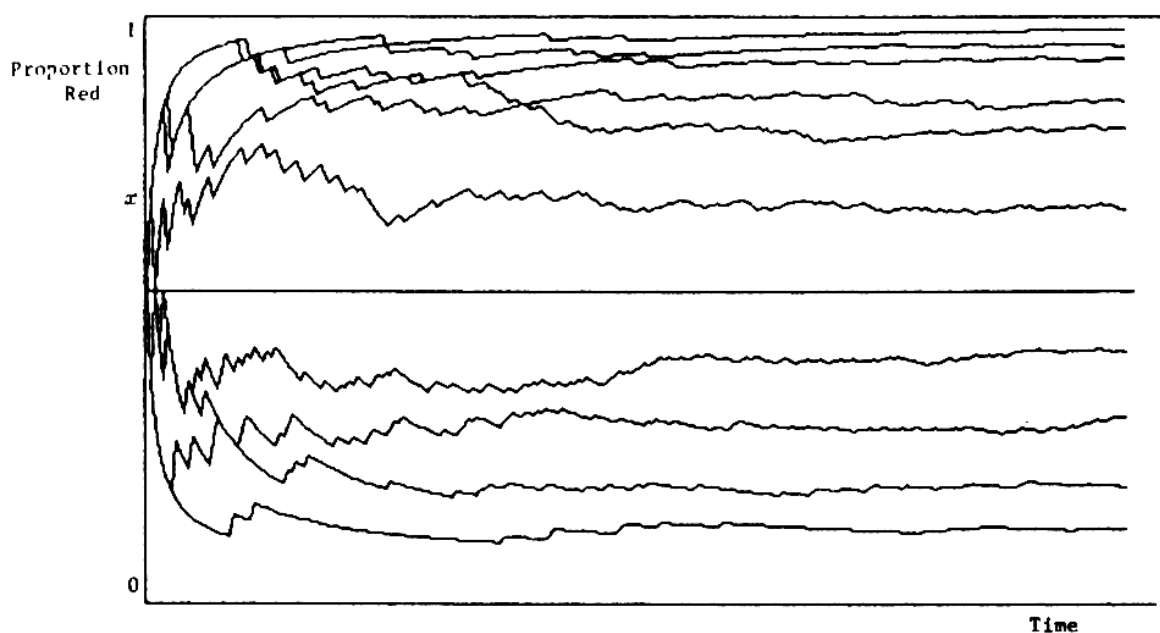


FIGURE 2 : 10 réalisations du « Polya process »
(Arthur et al. 1987)



La figure 2 montre 10 réalisations de ce processus. Il est donc clair que les proportions se figent dans chaque cas (une structure émerge) mais la structure sélectionnée est parfaitement aléatoire :

“Of course, there are perturbations to the proportion red caused by the random sampling of balls; but unit additions to the urn make less and less difference to the proportions as the total number of balls grows, and therefore the effect of these perturbations dies away. The process then fluctuates less and less, and, since it does not drift, it settles down. Where it settles, of course, depends completely on its early random movements” (Arthur et al. 1987).

On retrouve donc dans le « Polya process » le schéma théorique des processus de compétition : si le processus est reproduit indéfiniment, les parts respectives de chaque variante vont converger avec une probabilité 1 vers un point fixe, mais la sélection de ce point d'arrivée dépendra étroitement des mouvements aléatoires du début du processus. Le cadre théorique ébauché par Polya et Eggenberger est évidemment trop restrictif. Il rend compte en effet d'un cas particulier (la probabilité d'ajouter une balle de type J est exactement équivalente aux proportions de J). Il convient donc de considérer ensuite le cas général, dans lequel cette même probabilité sera une fonction arbitraire des proportions de tous les types de balles. Dans ce cas, Arthur, Ermoliev et Kaniovski (1987) montrent que les processus d'allocation produisent sur le long terme, avec une probabilité de 1, un vecteur de proportions stables, représenté par un des points fixes de la relation (« mapping ») des proportions aux probabilités d'adoption. Ces processus convergent vers un vecteur de proportions x , où $x = p(x)$. Tous les points fixes ne sont pas éligibles. Seuls les points fixes « attractifs » ou stables peuvent émerger comme résultat de la compétition, sur le long terme. Là, où de multiples points fixes sont possibles, l'issue finale dépendra donc du chemin emprunté, c'est-à-dire du cumul des événements hasardeux qui seront apparus tout au long de ce chemin.

Il est important de noter enfin que les propriétés repérées ne sont valables que dans un régime de rendement croissant d'adoption. Or d'autres régimes existent. On peut considérer en effet que le processus d'adoption de certaines technologies est assujéti à un régime de rendement constant voire même décroissant. C'est par exemple le cas lorsqu'une technologie incorpore un input dont l'exploitation s'avère de plus en plus coûteuse, de sorte que l'adoption de celle-ci s'opère sur la base d'un régime de rendement décroissant. Les performances d'une technologie peuvent également ne pas être affectées (ni en baisse ni en hausse) par la dynamique de son adoption. Selon le régime de rendement d'adoption, les propriétés du processus de compétition seront donc les suivantes :

TABLEAU 2 : Propriétés dans les trois régimes de rendement d'adoption (Arthur, 1989)

	Imprédictible	Inflexible	Dépendant du passé	Inefficacité potentielle
Rend. constant	non	oui	non	non
Rend. décroissant	non	non	non	non
Rend. croissant	oui	oui	oui	oui

IV. — LES ENSEIGNEMENTS DU MODÈLE

1. La compétition entre standards

L'application du modèle à l'analyse économique de la standardisation correspond au 2^e cas de compétition énoncé (*supra*), dans lequel l'utilité de la technologie peut changer pour l'utilisateur, après que celui-ci l'ait adoptée. L'exemple historique des chemins de fer est à cet égard très utile : la compétition entre différentes normes d'écartement des voies a caractérisé en permanence l'histoire de la constitution des réseaux. Kindleberger (1983) montre ainsi comment chaque compagnie espérait imposer sa propre norme sur la base de l'agrandissement de son réseau : en Angleterre, il faudra attendre cinquante ans pour que The Great Western Railway se mette en conformité avec le Gauge Act, établi par le Parlement dès 1846. Pendant cinquante années, cette compagnie espéra donc enclencher un mécanisme de « self-reinforcing », en persuadant les nouveaux exploitants de la supériorité technologique de sa solution ; cela en contradiction avec la tendance dominante qui finit donc par l'emporter :

“The Great Western Railway that operated from London to Devon and Cornwall and had started with a gauge width of five feet resisted strenuously on the ground that its wider gauge was superior to the standard adopted, producing a smoother, more stable and safer ride. (...) After holding out for half a century, the Great Western finally yielded to the inevitable and adopted the standard gauge in the 1890s” (Kindleberger, 1983).

Dans ce cas, l'exploitation des économies externes de réseau constitue la source principale de RCA (Foray, 1989) : l'utilisateur (la compagnie) en situation de choix, non seulement prend en compte les comportements passés, exprimés par la taille respective des réseaux au moment où il doit se déterminer, mais surtout anticipe sur les comportements d'adoption futurs. La définition des économies externes de réseau, en tant que mécanisme de « self-reinforcing », permet donc d'attribuer au processus de sélection d'un standard les quatre propriétés énoncées, auxquelles s'ajoute spécifiquement le fort contenu en anticipation des comportements de choix. Le paramètre important ne relèvera pas tant en effet des tailles respectives des réseaux à l'instant *t* que des intuitions des usagers quant aux évolutions futures ; le choix de l'utilisateur se portant sur le réseau dont les chances de s'imposer à terme, comme solution unique, lui sembleront les plus importantes.

“Therefore if, prior to adoption, sufficient numbers of agents believe that network A will have a large share of adopters, it will; but, if sufficient believe B will have a large share, it will” (Arthur, 1988a).

On retrouve ici l'idée de prophétie autoréalisatrice, selon laquelle une représentation ou une prévision peut devenir vraie par le simple fait que les actions qu'elle engendre la réalisent.

Pour analyser cette version particulière de la compétition technologique, Katz et Shapiro (1986) proposent un modèle à deux périodes (deux générations d'utilisateurs). Ainsi, les usagers de la première période anticipent sur les comportements d'adoption caractéristiques de la seconde période, en vue de prendre leur propre décision. La question de la formation des anticipations devient par là même cruciale. Elle est en partie réductible à celle du rôle joué par la réputation des firmes dans le comportement de choix des usagers (Katz et Shapiro, 1985).

2. Peut-on sortir d'une situation de « lock-in » ?

Les conditions de sortie du « lock-in » sont étroitement dépendantes de la nature des RCA, qui ont entraîné la sélection. En effet, si les perfectionnements effectués au cours de l'adoption ont touché principalement la matérialité de la technologie (« learning by using »), ses conditions de production (économie d'échelle) et d'utilisation (interrelations techniques), la situation de « lock-in » est quasiment irréversible.

“Where learning effects and specialized fixed costs are the source of reinforcement, usually advantages are not reversible and not transferable to an alternative equilibrium. Repositioning the system is then difficult” (Arthur, 1988a).

Si au contraire, les économies externes de réseau ont été à la source du « lock-in », les avantages associés à l'usage de la technologie dominante sont réversibles et transférables. On rencontre ici le problème de la conversion d'une industrie à un nouveau standard, étudié par Farrell et Saloner (1985-1986) : un utilisateur qui change de standard ne pourra continuer d'obtenir les bénéfices associés à l'exploitation des économies externes de réseau que si tous les autres utilisateurs se conforment au même rythme de renouvellement. Cette condition est à la source des « excès d'inertie », qui caractérisent fréquemment le comportement d'un marché où un changement de standard serait souhaitable. Ces excès d'inertie sont liés, d'une part à une absence de coordination entre les firmes et d'autre part à l'importance des bases installées, qui engendrent des coûts transitoires d'incompatibilité et dissuadent donc les firmes de s'engager dans un processus de changement (Foray, 1989).

Ainsi, lorsque l'avantage compétitif de la technologie dominante est inscrit dans sa matérialité (« learning by using »), la situation de « lock-in » est quasi-irréversible. Lorsque cet avantage n'est lié qu'à un pur problème de masse critique (nombre d'utilisateurs), la domination de la technologie considérée est en revanche réversible ; les problèmes d'excès d'inertie (i.e. de coordination entre les agents), qui, dans ce cas, peuvent contribuer à maintenir cette domination, ne devant pas être confondus avec ceux de quasi-irréversibilité. La preuve en est que l'utilisation de « gateways » permet de concevoir des modalités de conversion d'une technologie à une autre relativement praticables (David et Bunn, 1988, Farrell et Saloner, 1988).

3. Les difficultés théoriques d'une politique technologique

Il convient d'évaluer enfin la capacité de l'État, en tant que grand utilisateur de technologies, à influencer sur le processus de sélection, afin de favoriser la domination progressive de celle qui lui paraît le mieux à même de satisfaire aux exigences de l'intérêt général.

Par l'intermédiaire de taxes et de subventions, ou plus simplement par le biais de l'annonce de ses propres choix d'usager, l'État, à première vue, semble être en mesure de peser sur la compétition et d'agir ainsi sur le processus de sélection. Son action ne peut cependant être menée efficacement qu'au tout début du processus, avant que les mécanismes de « self-reinforcing » n'enclenchent une dynamique de sélection échappant à toute régulation. Cette condition d'efficacité (« Narrow window policy paradox », David, 1986a) crée une grande difficulté :

l'autorité centrale aura en effet une capacité d'influence maximale au cours de la période où elle ne possède qu'un minimum d'informations sur les avantages respectifs de chacune des variantes en compétition. Face à cette difficulté, que David évoque à l'aide de l'expression « *Blind giant's quandary* », l'État doit donc retarder la formulation de son choix, jusqu'au moment où l'information sur les potentialités de développement des technologies en présence sera suffisante, et cela sans que ce retard ne pénalise trop fortement sa capacité à peser sur la compétition entre les deux variantes. Il doit donc allonger la période initiale de compétition en favorisant systématiquement la variante qui est la moins bien placée, en vue de maintenir intactes les chances de chacune des technologies en compétition. On est donc bien loin ici d'une simple attitude de « *wait and see* » : les propriétés du processus de compétition (path-dependent, inflexibilité) commandent d'agir afin d'empêcher l'apparition trop rapide d'une situation de « *lock-in* », prolonger la période d'incertitude et préserver ainsi sa capacité d'intervention, en attendant que l'information sur les avantages respectifs des deux technologies soit disponible.

“In the increasing returns case, « *laissez-faire* » gives no guarantee that the « *superior* » technology (in the long run sense) will be the one that survives” (Arthur, 1989).

Il est permis de penser également que les critères de choix des pouvoirs publics obéissent à un autre ordre que celui des performances technologiques. Ainsi la volonté de promouvoir des technologies nationales peut entraîner une action immédiate de l'État, sans délai d'acquisition d'une information supplémentaire. Ce fût le cas par exemple du choix français de la filière graphite-gaz, destiné à préserver l'indépendance de la France dans le domaine si stratégique de la production d'énergie nucléaire. Il reste que le critère politique n'a pas pesé lourd face aux pertes d'apprentissage et d'externalités de réseau, découlant de ce choix isolé. Faute de pouvoir provoquer un effet de « *lock-in* » sur la technologie française, l'État opéra une rapide conversion à la technologie dominante.

“When de Gaulle died, however, the tide turned, and in 1969, the government of Pompidou announced that France would no longer pursue the gas-graphite technology. The government ordered the immediate preparation of tenders for a 600 M(e) light water reactor. When France joined Euratom in 1957 it was hoping to have the French technology as the European standard. This did not happen, and the French nuclear programme, one of the most successful in the world, is based almost entirely on the light water technology” (Cowan, 1988b).

V. — LES EXTENSIONS POSSIBLES

Les principales extensions du modèle sont au nombre de trois. Elles concernent :

- la mise en œuvre de modèles à n technologies et avec des groupes d'adopteurs potentiels d'inégales proportions.
- La mise en œuvre de modèles avec incertitude :

“In the Arthur's model, it is assumed that the future payoffs to a technology are well known. Typically, however, when a technology is introduced its futures payoffs are not well known. Though the assumption that payoffs will increase

with use is a safe one, the degree of improvement is often difficult to predict'' (Cowan, 1988b).

R. Cowan introduit ainsi la notion d'incertitude au niveau du mode de croissance des rendements de la technologie. Cette incertitude est à l'origine d'un type particulier de RCA, qu'il appelle « learning about payoffs », notion proche cependant de celle de rendement informationnel croissant. Soit deux technologies A et B, dont l'adoption s'opère sur la base d'un régime de rendement croissant (« learning by using »). L'expression formelle du rendement de la prochaine installation incorporant la technologie A peut s'écrire :

$Q_A f(n_A)$, avec n_A , qui exprime le nombre d'installations existantes et Q_A , la variable aléatoire rendant compte des variations de l'environnement opératoire de la technologie A.

Q_A étant une variable aléatoire, le niveau des rendements associés à chaque installation est également aléatoire. Les rendements apparaissent ainsi comme distribués le long de la courbe d'apprentissage, dont l'allure est déterminée par $f(n)$. $f(n)$ est semblable pour A et pour B et est connue. En revanche, les distributions de Q_A et de Q_B sont inconnues mais supposées différentes. Sur cette base, le processus de choix est caractérisé par les deux traits suivants : à chaque fois qu'une technologie est utilisée, l'adopteur reçoit un bénéfice immédiat, tandis qu'une part d'information supplémentaire concernant la valeur intrinsèque de la technologie est produite. Ce modèle permet d'obtenir un résultat identique à celui du modèle d'Arthur, en démontrant qu'un « lock-in » sur la technologie inférieure est possible.

“An inferior technology can dominate the market in the following way. Early in the process, the inherently superior technology is used and yields a payoff which leads the decision maker to lower his estimate of how good it « really » is. As a consequence he switches to the other technology. It produces reasonably good result. Because the superior technology is not being used, it has no way to prove its superiority (nor to advance along its learning curve). If the results of the inferior technology are good for long enough, the decision maker will eventually believe that he knows how good it is, and that it is better than what he believes of the first technology. Thus he never switches back to the initial, superior technology, and the inferior technology dominates the market. This mechanism a fortiori operates in the absence of a central decision maker” (Cowan, 1988b).

- Le relâchement de l'hypothèse de « contemporanéité » des techniques

Dans le cas où les techniques en compétition n'apparaîtraient pas au même moment, le processus commence, non pas à partir de 0, mais avec des niveaux d'adoption n_A et n_B déjà inégaux. Ce cas est précieux puisqu'il permet de rendre compte de l'avantage associé au degré d'ancienneté d'une technologie, formalisé par deux sources de RCA encore peu évoquées : les rendements informationnels croissants et les interrelations technologiques. Nous avons montré, à l'occasion de travaux précédents (Foray, 1985 et 1987), que, en dépit de la supériorité de la nouvelle technologie et de l'épuisement des possibilités d'améliorations de la technologie ancienne, cette dernière peut se maintenir longtemps sur la base des effets d'informations et d'interrelations technologiques.

Cette extension nécessaire du modèle suggère deux remarques. D'une part, il y a un ordre temporel de mise à contribution des différentes sources de RCA. L'apprentissage par l'usage et les externalités de réseaux constituent les sources principales d'amélioration, au commencement de la compétition : celles qui forgent la supériorité d'une technologie. Viennent ensuite les économies d'échelle en production et les rendements informationnels croissants qui aggravent cette supériorité mais en sont aussi tributaires. Les interrelations technologiques caractérisent enfin la période durant laquelle le « lock-in » tient principalement par le fait que la technologie dominante représente désormais beaucoup plus qu'elle-même : une base productive. Ce que David (1986b) exprime en ces termes, au sujet de QWERTY.

“...three features of the evolving production system were crucially important in causing QWERTY to become « locked in » as the dominant keyboard arrangement. These were technical interrelatedness, economies of scale and quasi-irreversibility of investment. They constitute the basic ingredients of what may be called « QWERTY-nomics »”.

La seconde remarque concerne l'idée que la technologie, qui se diffuse antérieurement aux autres, impose aux technologies nouvelles ses propres normes d'évaluation économique, élaborées par référence à ses qualités naturelles, introduisant ainsi une sorte de biais au moment de l'exercice du calcul économique. Ces normes auront en effet pour fonction de définir la nature des performances, objets futurs de la comparaison et d'orienter l'évaluation, compte tenu des avantages naturels de la technologie ancienne. L'introduction des matériaux composites dans l'automobile a été ainsi freinée par la mauvaise soudabilité de ces matériaux. Or il s'agit là typiquement d'un critère de comparaison qui n'est valable que dans le cadre d'une conception « métallurgiste » du véhicule. En d'autres termes, la technologie ancienne a produit ses propres normes d'évaluation, définissant ainsi les critères de comparaison, par référence à ses avantages intrinsèques. Nous repérons ainsi une source supplémentaire de RCA.

Il s'agit donc là d'extensions nécessaires qui ne semblent pas poser de grandes difficultés et dont la mise en œuvre permet de compléter utilement le modèle de base. Une question plus difficile a trait à l'intégration au modèle des phénomènes de ruptures (« miracles ») technologiques et de leurs effets sur les situations de « lock-in ». Il est clair en effet qu'il peut survenir, du côté de la technologie dominante des effets de saturation, et du côté de la technologie battue des sortes de sursauts technologiques qui renouvellent brutalement les conditions de la compétition. Il conviendrait donc de travailler, d'une part sur une hypothèse de rendements croissants non linéaires, ce qui ne semble pas poser de difficultés théoriques majeures (Arthur, 1989) et d'autre part sur une hypothèse de rupture technologique, c'est-à-dire de « remise en selle » d'une technologie que l'on croyait irréversiblement battue. Cette dernière hypothèse semble, en revanche, ne pas pouvoir être prise en compte analytiquement par les modèles décrits. La notion centrale de « choix dépendant des comportements d'adoption passés » nous laisse en effet démunis face à un tel phénomène d'allocation des ressources sur une technologie battue. Or il s'agit là d'un comportement stratégique aujourd'hui relativement répandu, qui consiste à réserver un minimum de ressources de RD à des technologies, considérées comme « temporairement » en retrait. Cet effort souvent minime, au regard des sommes consacrées aux programmes de RD s'inscrivant dans les trajectoires technologiques dominantes, peut créer cependant les con-

ditions du sursaut technologique (cf. Foray, 1985 et Foray et Lebas, 1986). En définitive, B. Arthur propose de traiter les ruptures technologiques dans les termes d'événements externes, qui auraient finalement le même statut de variable aléatoire que l'ordre d'arrivée des usagers aux préférences naturelles distinctes.

“Randomness might enter in a homogeneous adopter-type model because technological improvements occur in part by unpredictable breakthroughs” (Arthur, 1988a).

Cette limitation du modèle concerne uniquement, insistons bien là dessus, l'acte initial de redressement de la technologie battue. Les conditions, ensuite, de sortie progressive du « lock-in » sont en revanche aisément formalisables, par introduction d'un élément d'anticipation dans les comportements de choix des usagers (on retrouve d'ailleurs ici la structure théorique des modèles de conversion d'une industrie à un nouveau standard ; Farrell et Saloner, 1986).

VI. — UN NOUVEAU PARADIGME EN ÉCONOMIE DE LA TECHNOLOGIE

Dans le domaine de l'analyse économique de la technologie, les modèles de compétition technologique nous semblent renouveler significativement la manière classique d'appréhender les phénomènes techniques, privilégiés tant par la théorie microéconomique de la concurrence imparfaite que par le courant évolutionniste, entendu dans son acception aujourd'hui dominante. Mais avant de formuler les caractéristiques de cette rupture, il est sans doute utile de partir de quelques similitudes, dont nous voudrions montrer l'aspect superficiel.

1. Similitudes, rupture

On retrouve ainsi, tant chez Farrell et Saloner que chez Katz et Shapiro, c'est-à-dire au sein du courant de la microéconomie de la concurrence imparfaite s'intéressant à la question de la standardisation, quelques ressemblances frappantes avec les travaux de Arthur et David. Ces similitudes sont-elles superficielles ? Ne témoignent-elles pas au contraire de l'éclectisme des démarches, qui rendrait alors fragile notre tentative ultérieure de séparer en deux grands courants de recherche le champ de l'économie de la technologie ?

Ainsi, par exemple, on retrouve chez Katz et Shapiro (1986) le caractère « path-dependent » des processus d'adoption :

“The relative attractiveness today of rival technologies is influenced by their sales histories”.

De même, l'élément de hasard occupe une place importante dans le second modèle de Farrell et Saloner (1986), conférant ainsi à la dynamique de la standardisation un caractère d'imprédictibilité :

“We model this uncertainty about unpredictable eagerness to switch by supposing that « opportunities to switch » for each firm arrive randomly over time”.

Farrell et Saloner attire de plus notre attention sur le risque d'inefficience potentielle. La notion d'excès d'inertie enfin rappelle fortement celle d'inflexibilité. Les

ressemblances sont donc frappantes. Une différence essentielle demeure cependant. Celle-ci, qui apparaît presque de façon caricaturale chez Farrell et Saloner, perpétue une ligne de fracture fondamentale entre les deux traditions d'analyse.

Farrell et Saloner admettent en effet d'emblée la supériorité d'une technologie (la nouvelle) sur une autre (l'ancienne), sans que ce rapport de performance puisse changer au cours du temps. Chez Arthur, au contraire, c'est bien la production de ce rapport de performance qui est au centre de l'analyse. Si le facteur exogène (l'arrivée dans un ordre aléatoire d'utilisateurs potentiels) est le même, le contenu du processus déclenché par cet élément de hasard diffère donc totalement d'une approche à l'autre : chez Arthur, les choix d'adoption ont un effet de localisation du progrès technique et donc de production du rapport de performance entre les technologies. Chez Farrell et Saloner, ces choix favorisent l'installation de la nouvelle technologie ou le maintien de l'ancienne, sans que la supériorité de l'une sur l'autre soit jamais remise en cause. D'un côté, la compétition technologique est donc endogénéisée et constitue l'objet même de l'investigation ; de l'autre, elle s'achève en quelque sorte au moment où commence l'analyse. Dès lors, les similitudes notées ci-dessus mériteraient d'être rediscutées. S'agissant par exemple de l'imprédictibilité, chez Farrell et Saloner la question est de savoir si la technologie supérieure peut devenir dominante ; chez Arthur, elle consiste à se demander quelle technologie va devenir supérieure. De même, les blocages exprimés par les notions d'excès d'inertie et de lock-in ne sont pas de même nature (*supra*).

Au total, les différences apparaissent donc bien comme fondamentales, les similitudes superficielles. Ces différences permettent de distinguer au fond entre les travaux concernés par les processus d'adoption-diffusion d'une technologie ou d'un ensemble de technologies, préalablement défini, et ceux qui s'intéressent au contraire aux processus même de la création technologique. D'un côté, on retrouverait les modèles de diffusion « à la Mansfield », la nouvelle économie industrielle de la standardisation, ainsi que les travaux d'inspiration dite « néoschumpeterienne », au sein desquels le potentiel technologique (paradigme, système, régime), que va progressivement solliciter la trajectoire, est effectivement prédéterminé. De l'autre côté, les travaux de Gaffard et Amendola (1988), nos propres travaux sur l'industrie comme système autonome (Foray et Garrouste, 1989), ceux présentés dans ces pages, ainsi que les antécédents théoriques de ces derniers (*supra*), pourraient être rassemblés. On a bien sûr affaire ici, beaucoup plus à un continuum qu'à une étanchéité parfaite entre deux grandes traditions d'analyse : ainsi de nombreux travaux sont « à la frontière », qu'il s'agisse du modèle de Katz et Shapiro (1986), à deux générations d'utilisateurs et avec externalités de réseau, ou encore de celui de Metcalfe (1988), concernant l'introduction d'une fonction d'offre dans un schéma classique de diffusion. Il n'en reste pas moins que la césure évoquée est réelle : en franchissant le pas, des solutions analytiques satisfaisantes, concernant certaines questions de l'économie de l'innovation, deviennent en effet possible.

Le concept de RCA permet par exemple de saisir analytiquement l'articulation entre développement et diffusion technologiques, qui forme le cœur du processus d'innovation. Sahal avait bien senti la nécessité de construire une telle articulation, sans pouvoir élaborer véritablement de solution satisfaisante :

“This suggests what may be called a « learning via diffusion » hypothesis of technological innovation. In its essence, the increased adoption of a technology

paves the way for improvement in its characteristics. This hypothesis is obviously complementary to the previously proposed « diffusion by learning » hypothesis that improvement in the characteristics of a technology enhances the scope of its adoption" (Sahal, 1981).

Or le modèle de compétition technologique permet de rendre compte simultanément des processus de « learning via diffusion » (i.e. la notion même de RCA) et de « diffusion by learning » (i.e. la prédominance du terme $f(nA)$, par rapport au terme aS , dans l'expression PS^A qui exprime les rendements de la technologie A , pour le prochain adopteur de type S).

2. Économie de la masse critique vs. économie de la création technologique

Si la césure entre les deux traditions théoriques nous semble donc fondamentale, quelle est l'origine des similitudes relevées tout à l'heure, entre les modèles de compétition technologique et les modèles d'oligopole avec externalités de réseau ? Celles-ci, qui peuvent donner au lecteur l'impression d'un certain éclectisme, découlent fondamentalement de l'affirmation unanime de l'existence d'un mécanisme de « self-reinforcing » dans la compétition entre standards : les économies de réseau. Ce mécanisme, dont l'étude est au cœur des modèles de compétition technologique, forme aussi le point de départ des analyses de Farrell et Saloner et de Katz et Shapiro.

"By switching, a user encourages others to switch in two ways : the new network is made more attractive, the old less so" (Farrell et Saloner, 1986).

Les similitudes relevées découleraient donc de ce point de départ commun. Mais elles restent, comme on l'a dit, largement superficielles ; d'un côté, les questions posées relèvent d'une problématique d'extension du standard, considéré comme supérieur, et donc d'accès à une *masse critique*, afin d'exploiter les économies de réseau (Allen, 1988) ; de l'autre, elles renvoient à un pur problème de production de cette supériorité et donc de *création technologique*.

3. Économie de la technologie, histoire et sociologie de l'innovation

Il faudrait souligner enfin que les modèles de compétition technologique réconcilient d'une certaine manière les disciplines, histoire économique et sociologie de l'innovation, d'un côté, économie du changement technologique de l'autre. L'étude de M. Callon (1979), par exemple, concernant le rôle de l'État dans le blocage d'une innovation, le véhicule électrique, prend toute sa signification économique, dans la mesure où on en repère les implications à l'aide de la notion de RCA : dans un régime de rendements croissants d'adoption, l'histoire devient importante.

"Under constant and diminishing returns, the evolution of markets reflects only a-priori endowments, preferences, and transformations possibilities ; small events cannot sway the outcome. But while this is comforting, it reduces history to the status of mere carrier — the deliverer of the inevitable. Under increasing returns, by contrast many outcomes are possible. Insignificant circumstances become magnified by positive feedbacks to « tip » the system into the actual outcome selected. The small events of history become important" (Arthur, 1989).

Autrement dit, les « petits événements » trouvent leur signification dans l'espace économique, par l'intermédiaire des concepts centraux de rendement croissant d'adoption, localisation du progrès technique et effet de « lock-in ». Réconciliation des disciplines mais non pas confusion : en forgeant ses propres concepts, l'analyse économique de la technologie est en passe de se suffire à elle-même, d'acquiescer un statut d'autonomie. Là encore, la rupture avec les théories d'inspiration néo-schumpéterienne nous semble flagrante (1).

(1) Le problème de l'intégration des phénomènes de rupture technologique au modèle de base fait actuellement l'objet d'un programme de recherche à l'IIASA (Laxenburg) (Foray et Grübler, 1989).

LITTERATURE

- D. ALLEN, 1988, « Network externalities and critical mass », *Telecommunications Policy*, septembre.
- B. ARTHUR, 1988a, « Competing technologies : an overview », in Dosi et al., *Technical Change and Economic Theory*, Pinter Publishers.
- B. ARTHUR, 1988b, « Self-reinforcing mechanisms in economics », in Anderson et Arrow (ed.), *The Economy as an Evolving Complex System*, Addison Wesley Publish, Comp.
- B. ARTHUR, 1989, « Competing technologies, increasing returns and lock-in by historical events », *The Economic Journal*, mars.
- B. ARTHUR, Y. ERMOLIEV et Y. KANIOVSKI, 1987, « Path-dependent processes and the emergence of macro-structure », *European Journal of Operational Research*, 30.
- A. ATKISON et J. STIGLITZ, 1969, « A new view of technical change », *Economic Journal*, 79.
- M. CALLON, 1979, « L'État face à l'innovation technique. Le cas du véhicule électrique », *Revue Française de Sciences Politiques*, vol. 29, n° 3.
- R. COWAN, 1988a, *Backing the wrong horse : sequential choice among technologies of unknown merit*, New York University.
- R. COWAN, 1988b, *Nuclear power reactors : a study in technological lock-in*, New York University.
- P. DAVID, 1986a, *Narrow windows, blind giants and angry orphans : the dynamics of systems rivalries and dilemmas of technology policy*, Conference on Innovation Diffusion, Venise.
- P. DAVID, 1986b, « Understanding the economics of QUERTY : the necessity of history », in Parker (ed.), *Economic History and the Modern Economist*, Basil Blackwell.
- P. DAVID, 1987, « New standards for the economics of standardization », in Dasgupta et Stoneman (ed.), *Economic theory and technology policy*, Cambridge University Press.
- P. DAVID et J. BUNN, 1988, « The economics of gateway technologies and network evolution », *Information Economics and Policy*, 3.
- G. DOSI, 1988, « Sources, procedures and microeconomic effects of innovation », *Journal of Economic Literature*, vol. XXVI.
- D. DUFOURT et D. FORAY, 1988, « Recherche technique, innovations et structures industrielles », *Culture technique*, n° 18.
- J. FARRELL et G. SALONER, 1985, « Standardisation, compatibility and innovation », *Rand Journal of Economics*, 16.

(LITTÉRATURE SUITE)

- J. FARRELL et G. SALONER, 1986, « Installed base and compatibility : innovation, product preannouncement and predation », *AER*, vol. 16, 5.
- J. FARREL et G. SALONER, 1988, *The Economics of Converters*, MIT.
- D. FORAY, 1985, « Innovation majeure et transformation des structures productives », *Revue Économique*, septembre.
- D. FORAY, 1987, *Innovations technologiques et dynamique industrielle*, Presses Universitaires de Lyon.
- D. FORAY, 1989, *La dynamique économique de la normalisation*, ECT, MRASH, Lyon.
- D. FORAY et P. GARROUSTE, 1989, *Dynamique du changement technologique et stabilité des formes productives*. Journées européennes AFSE, Strasbourg.
- D. FORAY et A. GRÜBLER, 1989, *Morphological analysis, diffusion and lock-out of technologies*, Diffusion Conference, ITASA, juin.
- D. FORAY et C. LEBAS, 1986, « Diffusion de l'innovation et recherche technique », *Économie appliquée*, décembre.
- D. FORAY et E. ZUSCOVITCH, 1988, « L'innovation entre la production et le système technique », *Traité d'Économie Industrielle*, Economica.
- J.-L. GAFFARD, 1987, *La création de technologie*, LATAPSES, Nice.
- J.-L. GAFFARD et M. AMENDOLA, 1988, *La dynamique économique de l'innovation*, Economica.
- S. GILFILLIAN, 1952, « The prediction of technical change », *Review of Economic Studies*, vol. XXXIV.
- S. GLAZIEV et Y. KANIOVSKI, 1988, *Diffusion of innovations under conditions of uncertainty : a stochastic approach*, ITASA.
- B. GOLD, 1975, *Technological change : economics, management and environment*, Pergamon Press.
- M. KATZ et C. SHAPIRO, 1985, « Network externalities, competition and compatibility », *American Economic Review*, 75.
- M. KATZ et C. SHAPIRO, 1986, « Technology adoption in the presence of network externalities », *Journal of Political Economy*, vol. 94, 4.
- C. KINDLEBERGER, 1983, « Standards as Public, Collective and Private Goods », *Kyklos*, vol. 36, Fasc. 3.
- E. MANSFIELD, 1961, « Technical change and the rate of imitation », *Économetrica*, 29.
- S. METCALFE, 1988, « The diffusion of innovation : an interpretative survey » in Dosi et al, (ed.), *op. cit.*
- N. ROSENBERG, 1982, *Inside the black box : technology and economics*, Cambridge University Press.
- D. SAHAL, 1981, *Patterns of technological innovations*, Addison Wesley.