



# **Externalités : développements récents d'un concept Marshallien**

**Laurent BENZONI**

« Leçon magistrale » présentée lors de l'Ecole d'été Méditerranéenne d'Economie Industrielle - VIème session

**Septembre 1991**

**TERA** Consultants  
32, rue des Jeûneurs  
75002 PARIS

Tél. + 33 (0) 1 55 04 87 10  
Fax. +33 (0) 1 53 40 85 15

S.A.S. au capital de 200 000 €  
RCS Paris B 394 948 731

# EXTERNALITES : QUELQUES DEVELOPPEMENTS RECENTS D'UN CONCEPT MARSHALLIEN

Laurent BENZONI

Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications  
1991

Le thème de cette contribution peut paraître à la fois simple et complexe. Simple parce que tout économiste possède dans sa boîte à outils une définition des externalités qui tient en l'expression suivante :

$$U_i(x_i^1, x_i^2, \dots, x_j^k, \dots, x_i^n)$$

La fonction d'utilité  $U$  d'un agent  $i$  dépend des quantités de biens  $(x^1, x^2, \dots, x^n)$  qu'il consomme, mais aussi de la quantité de biens  $x^k$  consommé par l'agent  $j$  (en caractère gras dans  $U$ ). En conséquence, l'externalité est positive si :

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_j^k} > 0$$

L'utilité de l'agent  $i$  s'accroît lorsque l'agent  $j$  augmente sa consommation du bien  $k$ . Inversement, l'externalité est négative si :

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_j^k} < 0$$

La simplicité de ces relations laisse penser que le champ est parfaitement circonscrit. En fait ce sujet est complexe ; il a donné lieu et donne encore lieu à des débats très contradictoires et un nombre impressionnant de publications. En faire une synthèse exhaustive dépasse le cadre de cette contribution<sup>1</sup>. Plutôt que de balayer l'ensemble du domaine, celle-ci se focalisera sur deux thèmes récents touchant directement à l'économie industrielle mais qui permettent de soulever quelques questions d'ordre général.

Revenons d'abord au commencement de l'histoire. La paternité du concept d'externalités est attribuée à Alfred Marshall (1890). Pour MARSHALL, les gains obtenus par l'augmentation du niveau de l'activité productive, résultait de deux phénomènes :

- 1 - les **économies internes** aux firmes ou économies d'échelle, sur lesquelles il n'est pas nécessaire de revenir ici ;
- 2 - les **économies externes**, qualifiées plus tard **d'externalités**, dont l'ampleur dit Marshall : "... dépend du niveau de développement de l'industrie en général" (MARSHALL, 1890).

Cette définition positive des économies externes donnée par Marshall est une

---

<sup>1</sup> Pour des recensions récentes et exhaustives cf. par exemple : CATIN M., 1985, ou CORNES R & SANDLER T., 1986.

définition *ex post*. Il semble bien qu'elle ait été introduite "en catastrophe" ou "pour sauver les phénomènes" pour reprendre une expression propre à l'épistémologie (Mark BLAUG). En effet, Marshall s'était retrouvé face à un paradoxe au cours de l'élaboration de son corpus théorique. Il avait établi que les entreprises doivent nécessairement rencontrer un phénomène de déséconomies internes qui limite leur taille, condition *sine qua non* pour que les structures de marchés restent atomistiques et donc concurrentielles. Or, cette nécessaire limitation de l'efficacité au niveau de chaque entreprise devait être compatible avec l'augmentation générale de l'efficacité du système productif qu'Alfred Marshall observait empiriquement à son époque, celle de la révolution industrielle en Grande-Bretagne.

Cette croissance, non limitée a priori, de l'efficacité globale, devait donc résulter de la somme d'efficacités limitées à tout moment au niveau de chaque entreprise. L'explication de ce paradoxe ne pouvait correspondre qu'à l'existence d'inter-relations entre les entreprises ne donnant pas lieu à des flux monétaires, sinon ils figureraient dans les fonctions de production, d'où le concept d'économies externes.

Marshall, sur le fond, touchait conjointement à deux questions essentielles : d'un côté celle des rendements croissants, de l'autre celle des relations entre agents qui échappent à la coordination par le marché, puisque le signal-prix ne rend pas compte de tous les mécanismes d'allocation en vigueur dans l'économie.

Un siècle plus tard ces deux questions constituent encore deux points essentiels d'achoppement de la théorie économique, du moins dans sa version standard. Ainsi, le concept d'externalités constitue par excellence un bon point d'ancrage pour discuter des "Market failures" mais aussi, comme le suggère Bator (1947), pour s'interroger sur les "Economics failures".

Tel sera un peu la philosophie de cette contribution que de se saisir du concept d'externalités en le développant dans des cas précis pour ouvrir, implicitement, une discussion plus générale sur la méthodologie économique. La contribution s'articulera autour de en deux parties.

Dans un premier temps la démarche adoptée sera plutôt inductive et traitera de la question de la gestion des interférences sur le spectre hertzien ; ces interférences sont un cas d'externalité négative, cas peu connu en France est mais étudié aux Etats-Unis, R. Coase ayant produit des contributions déterminantes dans ce domaine qui préfiguraient son approche proposée dans son article fameux "The problem of Social Cost" (1960).

La deuxième partie sera plutôt déductive, elle traitera au contraire de l'autre cas celui des externalités positives, et plus précisément du phénomène "externalités de réseaux", très utilisé actuellement dans le champ de l'économie de la standardisation.

I - LA GESTION DES INTERFERENCES : un problème simple sans solution évidente.

Avant d'introduire la problématique économique, il faut introduire quelques notions techniques à propos de la ressource hertzienne sujette à ces interférences.

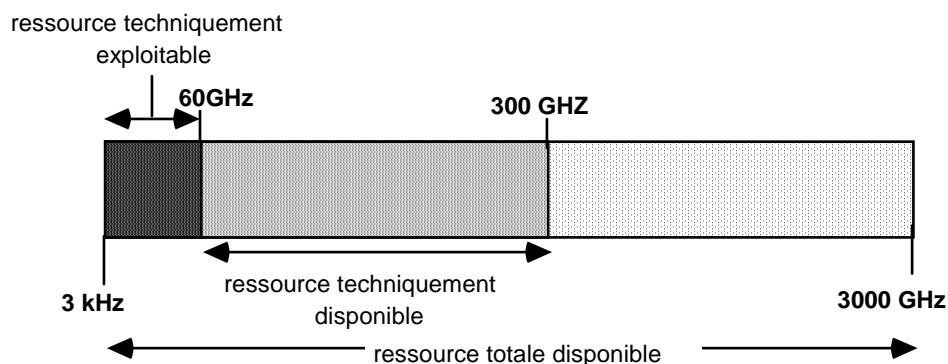
1 - Spectre hertzien : définition technico-économique

Le spectre hertzien désigne l'ensemble des ondes comprises entre 3 kHz et 3000 GHz ; c'est une ressource disponible naturellement sur toute la surface du globe terrestre.

Ainsi, les fréquences comprises entre 3 kHz et 3000 GHz constituent l'intervalle en-deçà et au-delà duquel les fréquences ne peuvent plus être exploitées par l'homme pour transporter des informations.

Cet intervalle est théorique. Il est borné supérieurement par les capacités techniques disponibles à un moment du temps pour pouvoir utiliser effectivement les fréquences. Au début des années quatre vingt-dix, les fréquences techniquement maîtrisées en laboratoire se situent en-dessous du seuil de 300 GHz et celles exploitables de façon opérationnelle se situent en dessous de 60 GHz (figure 1). Le progrès technique permettra, entre autres, d'augmenter la quantité de spectre utilisable en repoussant sans cesse la limite supérieure de la ressource exploitable. Les fréquences entre 9 kHz à 275 GHz sont les seules à avoir fait l'objet d'une attribution.

Figure 1  
**Limites du spectre hertzien**



source : Département Economie, ENST.

Ces limites intrinsèques ne constituent qu'un élément de fond aux problèmes de rareté que l'on peut rencontrer dans le domaine hertzien. Par analogie aux ressources foncières, on pourrait dire que la surface du globe terrestre est bornée, mais la connaissance de cette limitation ne nous renseigne guère sur les problèmes de rareté du sol et les mécanismes de marché et de spéculation que l'on peut rencontrer dans l'immobilier des grandes capitales des pays industrialisés (Tokyo, Londres, Paris, etc...). Il importe donc de préciser plus finement cette notion de rareté au regard des caractéristiques physiques des ondes et des contraintes économiques au sein desquelles elles s'insèrent.

Si deux émetteurs utilisent à un moment donné du temps et dans le même lieu, les mêmes ondes pour transporter de l'information, il y a **brouillage** ou **interférences**. En effet, le récepteur recevant deux informations simultanément se trouve dans l'incapacité d'en comprendre le contenu. La ressource hertzienne est gaspillée dans la

mesure où son usage est totalement inefficace pour l'émetteur et le récepteur.

Ainsi, la rareté du spectre réside non seulement dans sa limitation quantitative, mais elle provient de cette nécessaire **exclusion dans l'usage entre les émetteurs**. Le niveau des interférences et la gêne qu'elles procurent dépendent, entre autre, des puissances d'émission. Les interférences sont, de toute évidence, des **externalités négatives**. L'utilité retirée de l'usage du spectre hertzien à un moment du temps dépend directement de la quantité de spectre hertzien consommée ou non au même moment dans le voisinage. L'assimilation des interférences à une externalité négative est due au Professeur Coase dans un article sur la Federal Communication Commission publié en 1959.

Avant de poursuivre l'analyse des interférences précisons les enjeux économiques et industriels actuels liés au spectre.

Les fréquences constituent le support de toutes les activités de transmission et de diffusion des informations qui ne circulent pas dans des câbles : télévision, radio-diffusion, radio-téléphone, communications par satellite, télécommande, systèmes radars civils ou militaires, etc. A ce titre le spectre est un input pour ces activités. Les enjeux économiques liés à cet input sont énormes : l'armée française achète, à elle seule, tous les ans 15 milliards de francs de matériels qui fonctionnent en utilisant du spectre hertzien ; la guerre du golfe a d'abord débuté par un brouillage généralisé des systèmes d'armes irakiens. Voilà pour les enjeux.

Aujourd'hui, la situation, concernant le spectre, se résume en un mot, **pénurie**. Le progrès technique pousse au développement de nouveaux usages, notamment de radiocommunications, tandis que les déréglementations favorisent l'explosion de la demande d'accès au spectre (cas par exemple de la FM en France).

Le spectre est un bien rare, mais son prix est nul car dans tous les pays du monde, il appartient aux Etats qui en concèdent gracieusement l'usage à des administrations, des entreprises privées et/ou des entreprises publiques par des procédures d'allocation administratives discrétionnaires et centralisées.

Nombre d'économistes s'interrogent sur l'efficacité de cette procédure d'allocation de la ressource hertzienne dans un contexte où les fréquences deviennent de plus en plus rares, tandis que les opérateurs sont prompts à dénoncer l'incurie de l'administration dont les lenteurs et l'absence d'évaluations économiques des projets en concurrence pour l'attribution des fréquences conduisent à freiner l'innovation.

Par exemple le bi-bop, système de radiotéléphone de poche de France Télécom, fonctionne virtuellement à Strasbourg depuis octobre 1991 ; c'est le premier élément d'un système généralisé de distribution de téléphone sans fil. Seul problème, officiellement, il ne dispose pas de fréquences.

Quelles raisons ont conduit à choisir un processus d'allocation étatique et strictement non-marchand du spectre ? La présence d'externalités négatives, à savoir les interférences, à gérer dans un contexte international.

Une solution aurait pu constituer à laisser les entreprises s'installer librement sur le

spectre (principe du “premier arrivé, premier servi”) puis d'instaurer un système pigou de gestion des externalités négatives.

Cela aurait conduit à l'instauration de taxe payée par les créateurs d'interférences dont le montant aurait été égal à l'évaluation monétaire des nuisances occasionnées par le brouillage. Dans ce cas, la taxe doit inciter le brouilleur à modifier ses procédures d'émission sur le spectre et/ou à améliorer la qualité des récepteurs utilisés.

Cette solution à la Pigou n'a semble-t-il jamais été envisagée ni par les autorités réglementaires, ni dans la littérature économique, simplement parce que la gestion de ce système supposerait des contrôles et une évaluation des nuisances, pour obtenir la quantité et la qualité d'information nécessaire à son fonctionnement dont le coût semble prohibitif. Mais surtout, elle aurait nécessité l'existence de droits de propriété sur le spectre hertzien.

Cette anomalie a été observée par R. Coase dans son article de 1959. Pour cette raison R. COASE propose de régler la question des externalités en commerçant par définir correctement les droits de propriété sur la ressource hertzienne. Ensuite, comme tout problème d'interférences est par essence un problème local de voisinage (cf. infra) et non un problème engageant globalement l'allocation de toute la ressource, les négociations bilatérales seront engagées entre voisins pour régler d'éventuels litiges (avec recours aux tribunaux si besoin est). Ce système paraît à la fois plus souple et moins coûteux qu'un système de gestion étatique et centralisée dans la mesure où il permet de minimiser les coûts de transaction selon une logique typiquement coasienne (1937). En outre, les réallocations nécessaires au développement de nouveaux usages (innovation de produit) pourront s'effectuer aisément par un échange de titres de propriété hertziens effectué librement sur un marché.

La procédure relatée nous situe très loin de la problématique du fameux “**théorème de Coase**” dont la présentation sous sa forme vulgarisée est en réalité due à Stigler (1966). Stigler suppose que le théorème en question est vérifié en cas de nullité des coûts de transaction, conjecture qui ne fût jamais envisagée par Coase lui-même. Ce dernier a lui-même interprété dans son ouvrage “The firm, the market and the law”<sup>2</sup>.

Ainsi avec la solution du Professeur Coase, la question des externalités négatives rebondit sur l'existence et le respect de droits de propriété et sur la capacité d'un marché des droits de propriété à favoriser une meilleure allocation inter temporelle de la ressource.

S'agissant du spectre hertzien où l'on part d'une situation où actuellement la ressource appartient à l'Etat. La solution la plus couramment avancée pour créer les droits de propriété, et qui vient d'ailleurs d'être utilisée récemment en Nouvelle-Zélande (19??), consiste tout simplement à vendre la ressource ou ses droits d'usage aux enchères aux plus offrants.

---

<sup>2</sup> Manifestement Stigler n'avait pas lu l'article précurseur de 1959.

La ressource serait alors répartie en fonction de la propension à payer des agents privés ou publics désireux d'utiliser cet input pour leur activité. Plus cette propension à payer est élevée, plus l'usage fait de la ressource est considéré comme efficient, car cela suppose une forte valorisation de la ressource en aval où l'existence de coûts d'opportunité élevés par rapport à d'autres supports de transmission de l'information (câble par exemple).

La théorie des enchères est alors censée fournir une indication quand au processus d'allocation optimale des droits de propriété. Toutefois, bien que de nombreux auteurs se réfèrent à cette théorie et à ce mécanisme pour allouer le spectre<sup>3</sup>, bien peu font effectivement l'effort de simuler ou d'appliquer les préconisations de cette théorie<sup>4</sup>. En fait, une analyse rapide montre que la théorie en question ne permet pas de répondre au problème posé. En effet, cette théorie s'intéresse uniquement aux situations où un bien indivisible est soumis à une procédure d'enchères. Or, dans le cas qui nous intéresse le bien est **infiniment divisible** en titres de propriété<sup>5</sup>. Il peut être fractionné en morceaux de différentes tailles selon les usagers demandeurs, ces morceaux constituant des titres de propriété indivisibles. Dans la procédure d'enchères, il faut donc attribuer à la fois la quantité et le prix du bien, c'est-à-dire que chaque candidat à l'achat annonce la quantité qu'il désire, pour des usages déterminés, au prix qu'il désire, sachant que les offres des candidats peuvent se superposer, se compléter ou s'exclure.

Ce problème relève de la classe des problèmes n-p complets, ce qui signifie que la solution optimale ne peut être trouvée dans un délai raisonnable. En optimisation, un temps raisonnable est une fraction polynomiale de la taille des données, or ici la fonction est exponentielle. En effet si les acheteurs se concurrençant pour l'attribution de canaux en demandent une quantité M, le nombre de combinaisons est du rapport des factorielles M sur N. Par exemple pour 45 canaux mis en vente pour soixante demandeurs le nombre de combinaisons possibles est de  $1.5 \times 10^{24}$ . En d'autres termes, si l'on utilisait un million d'ordinateurs se partageant la tâche et évaluant une solution toutes les microsecondes, il leur faudrait 50.000 ans pour trouver la solution ! Cette classe de problèmes caractérise la plupart des décisions économiques (cf. PONSSARD, 1991)

Si on ne peut accéder à la solution optimale du problème, on peut en revanche effectuer des simulations avec de bonnes heuristiques, car la question posée est très courante (le remplissage du sac à dos en est un exemple) et les théoriciens de la décision disposent d'algorithmes performants mis au point notamment pour les processus industriels de découpe automatique des tissus par exemple. La solution consiste à faire rentrer d'abord les plus grosses offres de canaux et de placer ensuite

---

<sup>3</sup> On trouvera des discussions sur cette question dans ????

<sup>4</sup> Pour une simulation des mécanismes de vente du spectre hertzien aux enchères : cf. NERA, ou BENZONI, KALMAN, JEUX.

<sup>5</sup> Tout comme peut l'être le sol dont le fractionnement en parcelles infinitésimales est imaginable.

les plus petites, qui ne doivent pas sous contrainte que la quantité permette de faire passer l'usage ce qui rend le bien imparfaitement divisible, et d'ajuster seulement sur ces dernières pour approximer une répartition plus efficace.

Nous avons ainsi effectué une simulation de ventes aux enchères du spectre sur la région parisienne sur les bandes III, IV et V attribuées aujourd'hui aux télévisions en supposant une concurrence possible avec les radiocommunications.

La figure montre les résultats : les opérateurs de radio mobiles pourraient acquérir les quantités nécessaires à leur objectif de 600.000 radiotéléphones à l'horizon 2000 ( 24 canaux), les chaînes de T.V. conservent 32 canaux. La 3 et la 6 disparaissent. La 2 et la 5 voient leur puissance d'émission réduite. Seuls TF1 et Canal Plus conserve le statu quo.

Si un résultat de la simulation est très conditionné par les contraintes ad hoc que nous avons imposées au départ et qui visaient à éviter un fractionnement du spectre tel qu'un titre de propriété ne permette pas de se servir du spectre. Le fractionnement en titres de propriété est sous contrainte du fractionnement lié aux usages.

On peut fort bien déconnecter les deux et dire qu'un titre de propriété est décerné indépendamment de la contrainte d'usage. Ainsi le spectre devient dans cette procédure un bien parfaitement divisible.

Ici le processus est très simple : il s'agit d'effectuer la partition d'un intervalle ; un théorème de Dubins et Spanier montre ainsi qu'il sera toujours possible de trouver une répartition initiale des titres de propriété attribuant à chacun des demandeurs sa juste part de telle sorte que chaque individu ait la certitude que les autres reçoivent également leur juste part. Mais les individus ne sont pas totalement satisfaits ( $O > D$ ). La proposition de satisfaction est identique quelques soient les individus.

Une fois ces titres de propriété distribués rien ne permet de dire que les fractions de spectre détenues par chaque individu soit suffisante pour être effectivement utilisées. Une procédure de redistribution des titres de propriété doit s'enclencher selon un processus marchant d'achats et de ventes.

On retrouve ici la seconde condition de Coase ; les agents peuvent négocier librement leur titre. Ce processus permet-il de déboucher sur une allocation efficiente. Rien ne permet de l'affirmer. En effet, d'une part le marché peut devenir spéculatif, d'autre part le processus de réallocation peut rester durablement inefficace.

A l'issue de la répartition initiale et compte tenu de la concurrence sur les usages, les propriétaires peuvent ensuite adopter des comportements spéculatifs rationnels ou non vis-à-vis de la ressource qui provoqueront sa sous-utilisation. En effet, disposant de titres échangeables dont la quantité ne s'accroît pas, les propriétaires peuvent anticiper une croissance de la valeur de leurs titres au regard de la croissance de la demande. Ils sont donc incités dans un premier temps à conserver leurs titres dans la valeur va ainsi croître puisqu'ils en restreignent l'offre. Le titre devient attractif par les

rendements financiers qu'ils recèlent potentiellement, ce marché attire alors une nouvelle demande composée non pas d'utilisateurs de la ressource, mais de spéculateurs soucieux d'obtenir les titres de propriété pour empocher des plus-values et non pour valoriser la ressource. La demande supplémentaire ne fait qu'attiser le déséquilibre du marché, le prix des titres grimpe tandis que sont confortées les anticipations haussières des propriétaires et des spéculateurs. Le prix du hertz peut être très élevé et son usage effectif particulièrement réduit (exemple du marché des oeuvres d'art).

La deuxième possibilité est que le fractionnement de la ressource par les titres de propriété même en l'absence de comportement spéculatif, ne converge pas vers une bonne allocation, tout simplement parce que les négociations bilatérales entre détenteurs de titres de propriété débouchent au mieux sur des optimums locaux ; rien ne permet de dire que la somme des optimums locaux implique un optimum global.

Un exemple évident nous est donné en France par la forêt dont 50% est détenu par l'Etat et le reste par des propriétés privées. Seule la forêt de l'Etat fait globalement l'objet d'une exploitation efficiente. Le fractionnement des titres de propriété sur la forêt privée rend extrêmement difficile une exploitation intensive efficace.

Concernant le spectre, le système que je vous ai montré risque de trouver des fréquences, car les militaires et France Télécom se sont entendus en gré à gré pour échanger des fréquences qui leur étaient attribuées permettant ainsi l'exploitation commerciale du système. Cette transaction bilatérale serait une application quasi parfaite des processus d'échanges bilatéraux imaginés par le Professeur Coase. Or la Direction de la Réglementation Générale en charge de l'allocation des fréquences par les radiocommunications tente de s'opposer à la transaction : motif un choix non concerté sur l'attribution d'une fréquence pouvait engendrer un processus de standardisation de facto des matériels utilisés autour d'une bande de fréquence monopolisée par un opérateur.

En évoquant ce problème, on souligne un point bien souvent éludé dans les analyses sur le spectre ; l'impact sur la standardisation des équipements lié aux décisions d'allocation des fréquences hertziennes.

Evoquer les standards me permet d'évoquer un autre type d'externalité : l'externalité positive de réseau.

### **I) les modèles d'externalité de réseau et problématique d'interconnexion**

Il existe maints produits dont l'utilité augmente lors de l'accroissement du nombre de leurs consommateurs. Dans ce cas de figure on est alors en présence d'une externalité de réseau. On définit une externalité positive de réseau en disant qu'elle se manifeste dès lors que pour un consommateur un bien a d'autant plus de valeur qu'il est aussi acheté et consommé par d'autres consommateurs. L'externalité positive de réseau est donc une externalité positive de consommation. L'exemple type souvent cité est celui du réseau téléphonique, or l'utilité qu'il apporte aux utilisateurs est d'autant plus importante que le nombre d'abonnés raccordés au réseau est grand.

Par extension, on définit un réseau comme un ensemble de consommateurs

et/ou de producteurs reliés entre eux par leur décision de consommer et de produire un même bien. Sur des marchés où il existe une forte complémentarité entre les produits, où les consommateurs partagent une même infrastructure physique ou conceptuelle, ou encore, où les consommateurs doivent investir en formation, la constitution d'un réseau physique et d'un réseau de compétences est fondamentale pour la réussite d'un produit. Alors, ce produit est dit basé sur une "technologie de réseau".

Selon Paul A. DAVID<sup>6</sup>, les technologies de réseau possèdent deux caractéristiques principales : les interrelations techniques des éléments qui forment un réseau; et les bénéfices associés à l'intégration de celui-ci. Les interrelations techniques requièrent une compatibilité stricte à chaque interface et à chaque point de liaison de ce réseau pour accomplir sa fonction de manière efficace. Parallèlement, le fonctionnement de quelconque élément de ce système technologique intégré ne peut pas être évalué sans prendre en compte de l'ensemble. Les bénéfices associés à l'intégration émanent du fait que la valeur de ce réseau soit fonction directe de sa taille. Plus on utilise ce réseau, plus il devient utile. Ce mécanisme d'auto renforcement est très important pour la compréhension des forces présentes dans le cadre d'une compétition technologies et leur diffusion.

L'externalité de réseau peut également être vue comme un cas particulier des externalités technologiques, puisque celles-ci sont définies comme étant : "(...) *the indirect effect of a consumption activity or a production activity on the consumption set of a consumer, the utility function of a consumer or the production function of a producer.*"<sup>7</sup> Toutefois, on va considérer que tout accroissement de l'utilité d'un produit lors de l'augmentation du nombre de leurs consommateurs, représente un cas d'externalité de réseau. Parmi les sources possibles de cette externalité positive de consommation, on retient les deux principales :

1) l'accroissement du nombre d'utilisateurs et la constitution d'un réseau physique élargi ont un effet direct sur l'utilité du produit (par ex.: le téléphone);

2) cet élargissement du parc installé favorise indirectement une amélioration des caractéristiques de l'offre de produits complémentaires et incite les offreurs de services à étendre l'éventail de leurs produits. Par exemple, l'offre totale et la variété des logiciels ou des films sur support vidéo, pour une plate-forme matérielle donnée, dépendent de la taille de la base installée de ces machines.

Dans ces deux cas, une partie de l'utilité qu'un consommateur retire du produit

---

<sup>6</sup> DAVID, Paul A. (1987) : "New standards for the economics of standardization", in P. Dasgupta et P. Stoneman (eds.), *Economic theory and technology policy*, Cambridge University Press (C.E.P.R.), pp. 206-239.---

<sup>7</sup> LAFONT, J. J. (1987) : fiche "externalities", in EATWELL, John, MILGATE, Murray et NEWMAN, Peter (eds.), *The New Palgrave : a dictionary of economics*, The Macmillan Press Limited, London, vol. II, p. 263.

dépend du nombre et de la taille des acteurs économiques qui adoptent ce même produit. On peut donc conclure que la constitution des réseaux est nécessaire à l'exploitation de ces externalités positives.

Les modèles d'externalités de réseau s'efforcent d'expliquer ce mécanisme d'auto-renforcement et soulignent l'importance des anticipations des consommateurs quant à l'évolution du parc installé, du niveau de compatibilité de celui-ci, et de la réputation des fournisseurs dans le choix technologique des agents économiques. La modélisation des externalités de réseau date du début des années quatre-vingts et est fortement ancrée dans la micro-économie et l'économie industrielle. Elle a été abordée par deux types d'approches différents. Le premier se positionne du côté de l'offre et met en évidence l'importance pour les firmes de leurs politiques de prix et de compatibilité du produit lors du lancement de nouvelles technologies sur le marché. Ils soulèvent également les problèmes relatifs à la diversité de produits. Le second, du côté de la demande, analyse l'impact de la présence des externalités de réseau sur la motivation des agents lors du choix d'une technologie. Il révèle le besoin de coordination entre les agents pour éviter la défaillance du marché, même lorsque les technologies sont fournies de façon compétitive.

Ces courants ont été précédés par les travaux de R. Artle et C. Averous<sup>8</sup>, L. Squire<sup>9</sup> et J. Rohlfs<sup>10</sup>. Ces auteurs, et plus récemment D. ALLEN<sup>11</sup>, S. OREN et S. SMITH<sup>12</sup> ont analysé l'effet des économies externes de consommation sur la demande, mais exclusivement sur des services téléphoniques. Le cas des réseaux téléphoniques est un exemple classique d'externalités de réseau et d'interdépendance de la demande, car l'utilité du téléphone augmente avec l'accroissement de la demande. Malgré l'étroitesse de leur champ d'étude, les modèles développés sont utiles pour la compréhension des conséquences d'un régime de rendement croissant d'adoption sur le fonctionnement de l'économie.

Ils étudient les conditions nécessaires à la formation et à l'élargissement des réseaux téléphoniques. A cet égard, on retient surtout l'article de Jeffrey ROHLFS qui

---

<sup>8</sup> ARTLE, R. et AVEROUS, L. (1973) : "The telephone system as a public good : static and dynamic aspects", *The Bell Journal of Economics and Management Science*, vol. 4, n°1, spring, pp. 89-100.

<sup>9</sup> SQUIRE, L. (1973) : "Some aspects of optimal pricing for telecommunications", *The Bell Journal of Economics and Management Science*, vol. 4, n°2, autumn, pp. 515-525.

<sup>10</sup> ROHLFS, Jeffrey (1974) : "A theory of interdependent demand for a communications service", *The Bell Journal of Economics and Management Science*, vol. 5, pp. 16-37.

<sup>11</sup> ALLEN D. (1988) : "Network externalities and critical mass", *Telecommunications Policy*, septembre, pp. 257-271.

<sup>12</sup> OREN, Shmuel et SMITH, Stephen A. (1981) : "Critical mass and tariff structure in electronic communications markets", *Bell Journal of Economics*, vol. 12, autumn, pp. 467-486.

a introduit le concept de "masse critique"<sup>13</sup> dans la création de nouveaux réseaux de services. Il montre que la survie d'un service téléphonique dépend de sa capacité d'atteindre une taille minimale capable de déclencher un accroissement d'utilité du service. Une masse critique doit être atteinte si l'on souhaite une multiplication de la demande et donc une valorisation du réseau.

La masse critique  $m$  serait constituée des individus disposés à payer un prix  $p$  pour un produit d'utilité  $u$ . Une fois achevée l'adhésion de tous ces consommateurs au réseau, l'éventuelle constitution de cette masse critique aurait la propriété d'inciter l'entrée de nouveaux consommateurs. Car, au moment où le réseau atteint la taille  $m$ , quelques individus jusqu'ici en dehors du marché commencent à voir la plus grande utilité du produit et désirent le consommer. On voit que la constitution d'une masse critique est essentielle pour l'exploitation des externalités de réseau. Celle-ci, en générant des rendements croissants, peut offrir un solide avantage concurrentiel dans le cadre de compétition technologique. Pour stimuler l'adoption, J. ROHLFS propose un bas prix d'introduction, tandis que D. ALLEN montre, à travers de l'exemple du Minitel, le rôle majeur de la subvention dans la réussite du télétexte en France.

Le problème d'accès à la masse critique est caractéristique du démarrage de nouvelles technologies et il a des implications majeures sur la stratégie de firmes, spécialement leur choix du niveau de compatibilité de leurs produits et leur politique de prix. Si ce seuil est franchi, le réseau devient capable d'assurer à lui tout seul son expansion. L'arrivée de nouveaux consommateurs sur le marché entraîne l'accroissement de l'utilité marginal, qui à son tour invite des nouveaux entrants. R. Artle et C. Averous ont montré que dans un contexte de croissance démographique stable et de revenu constant, l'interdépendance de la demande constitue le moteur de la croissance du réseau téléphonique<sup>14</sup>

## II) Le modèle de KATZ et SHAPIRO

Initié dans le domaine des télécommunications, les travaux sur le rôle de l'interdépendance de la demande ont connue un développement récent à travers des auteurs comme Michael L. KATZ et Carl SHAPIRO, Joseph FARRELL et Garth SALONER, Brian W. ARTHUR et Paul A. DAVID. Ils ont contribué à structurer de nombreux travaux autour de cette problématique afin de comprendre comment s'effectuait les processus de standardisation et, plus généralement, les processus de sélection des technologies et des produits. Pour présenter le cadre de cette problématique on s'appuiera sur la méthodologie utilisée par Michael L. KATZ et Carl SHAPIRO avant d'en montrer ses limites et de voir que le dépassement de ces limites peut s'effectuer dans une représentation plus générale qui fédère implicitement

---

<sup>13</sup> Ce concept a été probablement développé pour la première fois par MARRIS, R. (1964) : "*The economic theory of 'managerial capitalism'*", Free Press, New York.

<sup>14</sup> Pour un étude détaillé de la demande de services de télécommunications, veuillez vous rapporter à : CURIEN, Nicolas et GENSOLLEN, Michel (1989) : "*Prévision de la demande de télécommunication : méthodes et modèles*", Eyrolles, Paris.

nombre de travaux.

Michael L. KATZ et Carl SHAPIRO<sup>15</sup> furent les premiers à traiter les externalités de consommation comme une externalité de réseau et à les donner un cadre formel élargi. Ils considèrent que lorsque les externalités de réseau sont présentes, les consommateurs forment des anticipations sur la taille future des réseaux. Ils considèrent deux réseaux concurrents (duopole) comme homogènes, malgré leur incompatibilité. C'est-à-dire, lorsque les réseaux ont la même taille, ils deviennent des substituts parfaits. Le bénéfice que le consommateur retire du produit dépend seulement du nombre total d'agents qui rejoignent le réseau associé au produit. La décision d'achat des consommateurs est basée sur la prévision de la taille du réseau et le modèle oblige les consommateurs à prendre leur décision d'achat avant que la taille actuelle du réseau soit connue.

Les auteurs utilisent le concept d'équilibre de Cournot sur une période, où l'enchaînement est le suivant :

- d'abord, les consommateurs forment leurs anticipations par rapport à la taille des réseaux concurrents (prix de réservation);
- ensuite, les firmes, basées sur l'anticipation des consommateurs, fixent simultanément leur niveau production. Le prix  $p$  des produits est généré à l'issue de ce jeu non-coopératif;
- finalement, les consommateurs concrétisent leurs achats si le prix de réservation est égal ou inférieur au prix fixé par les firmes.

Les consommateurs sont considérés comme hétérogènes dans leur évaluation  $r$  du produit, mais homogènes dans leur évaluation des externalités de réseau  $v(y_j^e)$ , où  $y_j^e$  indique la taille espérée du réseau. En d'autres termes, on suppose qu'un consommateur est prêt à dépenser une somme  $r$  pour acquérir *in abstracto* un produit. Mais ce consommateur est prêt à payer plus cher si ce produit est soumis à une externalité positive de réseau. par exemple, je suis prêt à payer un certain prix pour acheter un magnétoscope, et à payer un supplément pour que le standard soit un VHS (nombreux films) et pas de supplément pour un Betamax. Alors, les achats seront concrétisés si l'addition entre  $r$  et  $v(y_j^e)$  est supérieur au prix de revient. En fait, les consommateurs choisissent le bien que maximise leur surplus. Cet condition peut être traduite par l'inéquation :

$$r + v(y_j^e) - p_j > 0 ; \quad (1)$$

où :  $r$  = la propension à payer du consommateur pour le produit de base;  
 $v(y_j^e)$  = la valeur que le consommateur attache à son anticipation par rapport le parc installé.

---

<sup>15</sup> KATZ Michael L., SHAPIRO Carl (1985) : "Network Externalities, competition and compatibility", *American Economic Review*, vol. 75, n°3, pp. 424-440.

La fonction d'externalité  $v(y)$  a les propriétés suivantes :  $v'(y) > 0$ ,  $v''(y) < 0$  et  $\lim_{y \rightarrow 0} v'(y) = 0$ . Cette formulation de la fonction d'externalité de consommation dévoile que ce phénomène ne se manifeste pas dans les systèmes qui ont déjà atteint la maturité.

Comme les biens sont homogènes, le consommateur évalue de la même façon les produits de base offerts par deux de firmes,  $i$  et  $j$ .

$$v(y_j^e) - p_j = v(y_i^e) - p_i = \emptyset ; \quad (2)$$

où  $\emptyset$  peut être vu comme le prix hédonique du produit, c'est-à-dire le prix normalisé par rapport la taille du réseau. Le modèle considère que l'évaluation du produit de base  $r$  varie entre les consommateurs et que sa distribution  $A$  est uniforme, positive et avec densité égale à 1. Pour une valeur donnée de  $\emptyset$ , seuls les individus dont  $r \geq \emptyset$  rentreront sur le marché. Alors, le prix du bien doit être fixé de façon que :

$$A - \emptyset = z ; \quad (3)$$

où  $z$  représente le nombre total d'unités vendues par l'industrie puisque on considère que chaque individu n'achète qu'un bien. Si l'on arrange les termes et si l'on substitue (3) en (2) il apparaît que :

$$p_j = A + v(y_j^e) - z. \quad (4)$$

On remarque que dans le cas où existe la compatibilité entre les produits,

$$y_j^e = \sum x_i^e = z^e, (i = 1, \dots, n) ; \quad (5)$$

et lorsque les produits sont incompatibles

$$x_j^e = y_j^e; \quad (6)$$

où  $x_j^e$  représente la prédiction faite par le consommateur du nombre de clients de la firme  $j$ . En utilisant (4) et (6), on peut déduire le profit de la firme sous un régime de concurrence entre réseaux :

$$\pi_j = x_j (A + v(x_j^e) - z) - C ; \quad (7)$$

où  $x_j$  désigne le nombre d'unités effectivement vendus par la firme  $j$ . Le modèle assume, par simplicité, que les coûts fixes et marginaux  $C$  sont les mêmes pour toutes les entreprises. Ce qui lui permet de ne les pas prendre en compte lors de l'obtention de l'équation d'équilibre.

A travers cette formulation, il ressort que le prix de revient du produit offert par la firme  $j$ , ainsi que son profit, dépendent de l'anticipation des consommateurs quant à la taille future de son réseau et du nombre total de biens vendus sur le marché ( $z$ ).

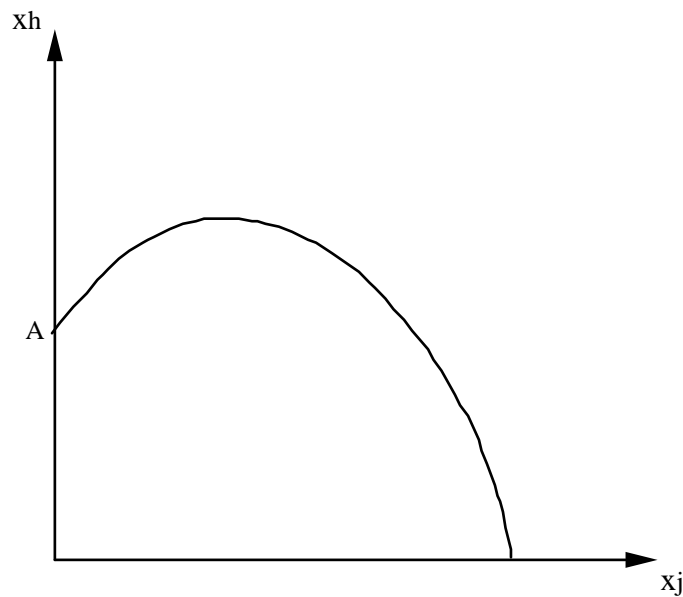
Si l'on différencie l'équation (7) et si l'on considère que les prévisions quant à la

taille du réseau sont satisfaites ( $x_j = x_j^e$ ), on trouve le niveau de ventes requis à l'obtention de l'équilibre de Cournot :

$$x_j = A + v(x_j) - z, \text{ ou} \tag{8}$$

$$\sum_{i \neq j} x_i = x_h = A + v(x_j) - 2x_j. \tag{9}$$

M. L. KATZ et C. SHAPIRO proposent une solution graphique à l'équation (9) (figure III.3). Elle exprime les meilleurs niveaux de production pour la firme  $j$  lorsque les consommateurs s'attendent à voir la taille de son réseau grand comme  $x_j$  et que la concurrence fixe sa production à  $x_h$ .



**Figure 1: Niveau optimal de production d'une firme face au niveau d'offre de la firme concurrente et aux prévisions des consommateurs.**

Ensuite, les auteurs testent ce modèle dans plusieurs configurations d'équilibre comme les oligopoles symétrique, naturel et asymétrique. Dans le premier cas, où  $k < n$  firmes produisent des biens incompatibles mais en même quantité ( $x_j = z/k$ ), il apparaît que:

$$((k + 1)/k)z = A + v(z/k). \tag{10}$$

A travers la figure III.4 on voit qu'un seul point d'équilibre est possible. Si l'on suppose maintenant deux cas où toutes les entreprises produisent des biens entièrement compatibles ou incompatibles, on trouve respectivement que:

$$(n + 1)z = nA + nv(z); \text{ et} \tag{11}$$

$$(n + 1)z = nA + \sum v(x_j). \tag{12}$$

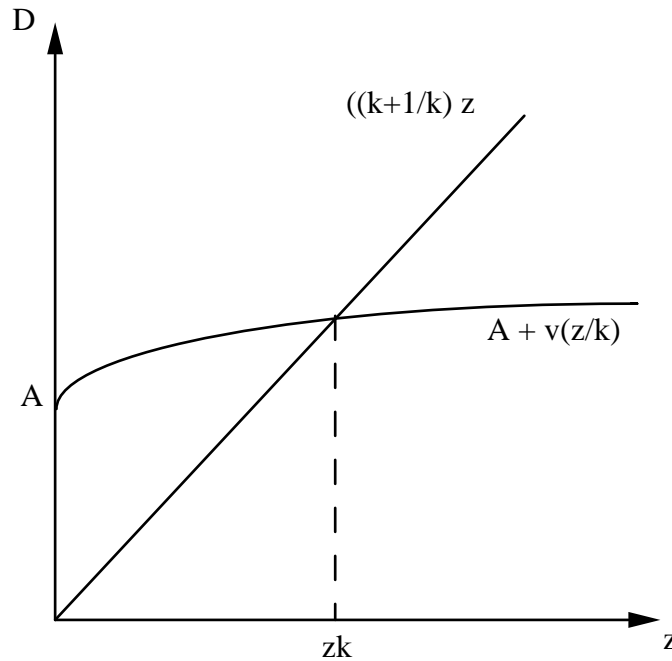


Figure 2 : Niveau de production d'une firme dans un oligopole symétrique en équilibre

On constate que le niveau global de l'offre dans une situation d'équilibre s'élève lorsque les firmes optent pour la production des produits compatibles (figure III.5). Dans la suite de leur article, les auteurs examinent les stimulus sociaux et privés pour l'adoption de compatibilité et ils énoncent quelques conclusions :

- la production totale de l'industrie sera plus grande dans le cas où les firmes optent pour offrir des produits compatibles;
- le profit d'une firme monopoliste (incompatibilité) peut être inférieur à celui d'une firme duopoliste (compatibilité);
- une firme peut obtenir une grande part de marché simplement grâce à l'anticipation des consommateurs;
- due aux possibilités multiples d'équilibre, la réputation peut jouer un rôle déterminant sur la concurrence;
- la compatibilité entre les réseaux offre de prime de rendements aux utilisateurs aux dépens des firmes;
- les firmes, dont le réseau est plus petit que ce de la concurrence, sont les plus stimulées à devenir compatibles;
- les stimuli sociaux pour la production de produits compatibles peuvent être trop forts ou trop faibles.

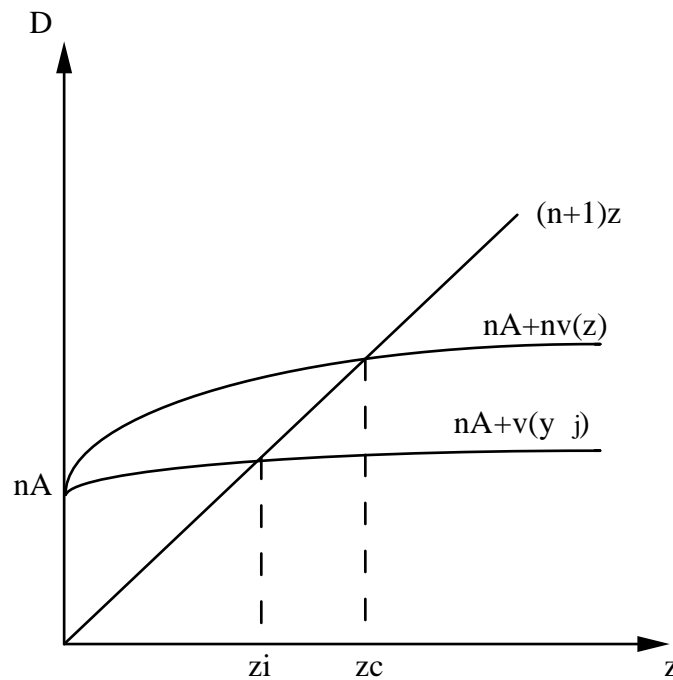


Figure 3 : Totaux de biens produits par le marché sous régime de compatibilité et incompatibilité.

Malgré sa simplicité, ce modèle d'équilibre a le mérite de faire ressortir les caractéristiques principales de la concurrence dans des marchés où les externalités de réseau sont présentes. Il souligne le rôle majeur de l'anticipation des consommateurs dans la détermination des points d'équilibre. Toutefois, le modèle demeure statique sur une période et n'analyse pas la formation des anticipations des consommateurs. En fait, pour obtenir un équilibre quelconque, le modèle oblige que les anticipations rationnelles non-coordonnées des consommateurs soient toujours satisfaites ("Fulfilled Expectations Cournot Equilibrium").

Face à cette circularité, on peut reposer le problème d'une autre façon. Au lieu d'attacher une valeur à l'anticipation par rapport la taille du réseau, on considère que les consommateurs évaluent plutôt le parc déjà installé ( $v_t(y_i^{t-1})$ ). Alors on peut réécrire le prix de réservation et le surplus du consommateur de la façon suivante :

$$\text{prix de réservation} = r + v_t(y_i^{t-1}) ; \quad (13)$$

$$\text{surplus du consommateur} = r + v_t(y_i^{t-1}) - p_i . \quad (14)$$

Si à la date  $t$  on connaît les décisions des consommateurs en  $t-1$  ainsi que  $v_t(\cdot)$ , on obtient une matrice du type :

consommateurs

1  
2

$$\begin{array}{c}
 1 \\
 r_1^1 + v_t(y_1^{t-1}) \\
 r_1^2 + v_t(y_1^{t-1}) \dots \\
 \text{Produits} \\
 2 \\
 r_2^1 + v_t(y_2^{t-1}) \\
 r_2^2 + v_t(y_2^{t-1}) \dots \\
 \\
 3 \\
 r_3^1 + v_t(y_3^{t-1}) \\
 r_3^2 + v_t(y_3^{t-1}) \dots \\
 \\
 \dots \\
 \dots \\
 \dots
 \end{array}$$

**Matrice 1**

Pour une meilleur formulation du problème, on substitue  $v_t(y_i^{t-1})$  par  $v_t(l_i^{t-1})$ , où  $l_i^{t-1}$  représente la part de marché de la technologie  $i$  en  $t-1$ . Alors, on peut réécrire la matrice 1 de la façon suivante :

consommateurs

$$\begin{array}{c}
 1 \\
 2 \\
 \\
 1 \\
 r_1^1 + v_t(l_1^{t-1}) \\
 r_1^2 + v_t(l_1^{t-1}) \dots \\
 \text{Produits} \\
 2 \\
 r_2^1 + v_t(l_2^{t-1}) \\
 r_2^2 + v_t(l_2^{t-1}) \dots \\
 \\
 3 \\
 r_3^1 + v_t(l_3^{t-1}) \\
 r_3^2 + v_t(l_3^{t-1}) \dots
 \end{array}$$

3

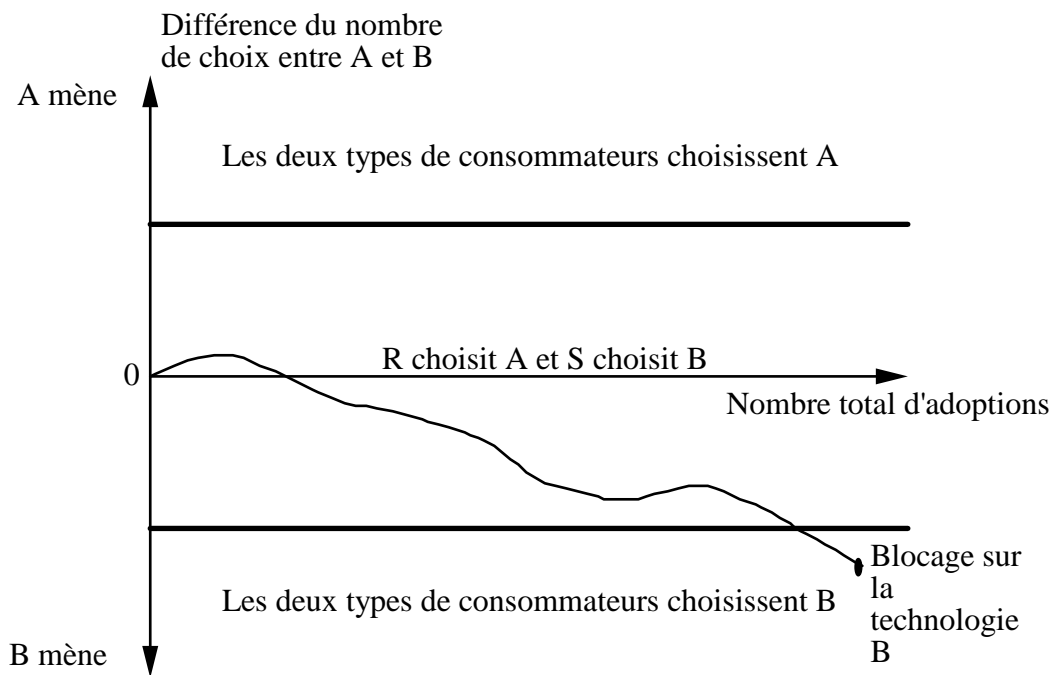
...  
...  
...

### Matrice 2

On suppose maintenant que la répartition du marché en  $t-1$  est telle que  $l_1^{t-1} > l_2^{t-1} > l_3^{t-1} > \dots > l_n^{t-1}$  et que chaque firme propose des produits à des prix  $p_1^t, p_2^t, p_3^t, \dots, p_n^t$ . Alors, le volume total du marché se déduit :

$$i < n r + v_t(l_i^{t-1}) > p_i^t ; \quad (15)$$

où les consommateurs présents sur le marché sont ceux qui disposent d'un surplus positif. Ce processus temporel d'adoption de technologies par les consommateurs peut être illustré par le modèle de Brian W. ARTHUR<sup>16</sup> (figure 4), où deux consommateurs type (R et S) choisissent, dans le temps, entre deux technologies distinctes (A et B).



**Figure 4 : Processus stochastique d'adoption de technologie.**

Cet auteur explique le phénomène de blocage de la concurrence technologique

---

<sup>16</sup> ARTHUR, W. Brian (1988) : "Competing technologies : an overview", in Dosi et al. (eds.), *Technical change and economic theory*, Pinter Publishers, pp. 590-607.

à partir d'un modèle basé sur l'importance de "petits événements historiques" dans la localisation du progrès technique sur une technologie particulière. Les principales propriétés qui l'on retient de ce modèle sont : la non-prédictabilité, et la non-ergodicité<sup>17</sup>. Arthur considère que la diffusion technologique est un processus dynamique dont le moteur réside dans l'action même d'adopter.

Le rapprochement entre le modèle stochastique d'Arthur et la formulation élargie du modèle de Katz et Shapiro met en évidence les limites de l'hypothèse de satisfaction des anticipations rationnelles de consommateurs dans la modélisation des externalités de réseau. Or, comment concilier un phénomène aléatoire avec un comportement rationnel ? En fait, ce modèle classique d'externalité de réseau sert à poser les bases de l'environnement concurrentiel et dévoile les stratégies possibles que les producteurs peuvent développer, mais il s'avère faible dans le domaine de prévisions.

La stratégie des producteurs peut être définie par rapport à la matrice 2 et l'équation (15). Il s'agit d'exploiter au mieux les externalités de réseau en fixant un prix  $p_t^f$  du produit pour maximiser la rente, ou la part de marché, ou bien adopter une stratégie mixte. A l'issue de ce processus quelques résultats possibles peuvent émerger, comme par exemple :

- si le prix est unique et les propensions à dépenser ( $r$ ) sont relativement semblables, la firme disposant du plus grand parc installé peut emporter tout le marché ;

- un nouveau produit apparaissant en  $t$  doit disposer d'une performance (validée par la valeur de  $r_t^k$ ) très importante pour compenser l'absence de parc (pas de  $v_t(l_i^{t-1})$ ) par hypothèse ;

- une firme adoptant la stratégie de captation en  $t-1$  peut remporter l'ensemble du marché en  $t$ . En suivant ce raisonnement on peut supposer que cette firme aurait peut-être pu l'adopter en  $t-2$  pour remporter l'intégralité du marché déjà en  $t-1$ . Alors, le lancement initial du marché est donc déterminant ;

- on peut imaginer les phénomènes de subventions du produit en période  $t-1$

---

<sup>17</sup> "A path-dependent sequence of economic changes is one in which important influences upon the eventual outcome can be exerted by temporally remote events, including happenings dominated by chance elements rather than systemic forces. Stochastic processes like that do not converge automatically to a fixed-point distribution of outcomes, and are called non-ergodic." In DAVID, Paul A. (1986) : "Understanding the economics of the QWERTY : the necessity of history", in PARKER (ed), Economic history and modern economist", Basil Blackwell, p. 30.

pour constituer un parc qui permettra d'emporter tout le marché en période  $t^{18}$ .

---

<sup>18</sup> Voir notamment KATZ, Michael L. et SHAPIRO, Carl (1986) : "Technological adoption in the presence of network externalities", *Journal of Political Economy*, vol. 94, n°4, pp. 822-841.