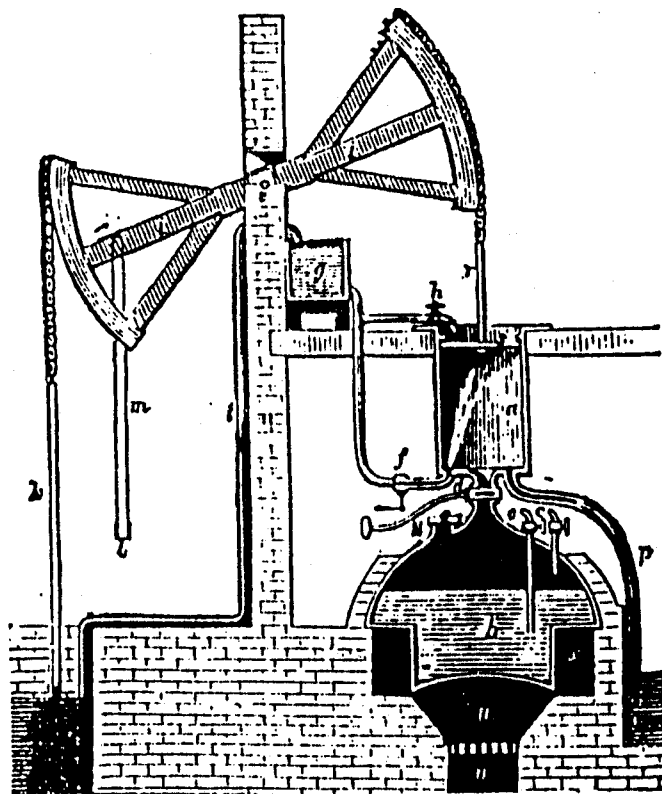


Les pôles technologiques du développement: vers un concept opérationnel

Christian DeBresson



Centre de recherche en développement industriel et technologique (CREDIT)
Université du Québec à Montréal
C.P. 8888, Succ. A, Montréal, Québec, H3C 3P8

86-04

**La publication de cette note de recherche
a été rendue possible grâce au soutien financier du
Programme d'aide financière
aux chercheurs-es et créateurs-trices (PAFACC)
de l'Université du Québec à Montréal**

**Le dessin de la page couverture montre la machine à vapeur à pression
atmosphérique de l'ingénieur anglais, Thomas Newcomen, utilisée
couramment pour pomper l'eau des mines à partir de 1712.**

**LES POLES TECHNOLOGIQUES DU DEVELOPPEMENT:
VERS UN CONCEPT OPERATIONNEL**

Table des matières

I. Les fondements théoriques de l'existence des pôles de développement techniques	7
A. Les facteurs de polarisation	8
1. Discontinuités paradigmatiques	9
2. Systèmes techniques	10
3. L'apprentissage et l'accumulation d'un stock de savoir-faire	14
B. Les facteurs économiques endogènes	16
4. Economies d'étendue et de variation	16
5. Externalités techniques	18
6. Innovations induites et voisinage de systèmes	21
7. Appropriabilité	22
8. Profits innovateurs	23
9. Les coûts des transactions innovatrices	25
10. Autres facteurs et limites	28
C. La combinaison dynamique des facteurs	29
Le temps nécessaire: la longue durée	32
II. Les outils du repérage statistique: une application des graphes dirigés	33
De l'analyse ex-post à l'analyse ex-ante	41
III. Implications et limites	43
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	46

**LES POLES TECHNOLOGIQUES DU DEVELOPPEMENT:
VERS UN CONCEPT OPERATIONNEL**

par

Christian DeBresson*

«Quand une nouvelle fonction de production est un succès et que l'industrie constate le nouvel accomplissement ainsi que les problèmes qui ont été résolus, il devient beaucoup plus facile de l'imiter ou même de l'améliorer. En réalité, l'industrie est poussée à copier si elle peut, et certains vont le faire immédiatement. Il faut constater qu'il devient non seulement plus facile de faire la même chose, mais aussi de faire des choses similaires - soit reliées, soit concurrentes - alors que certaines innovations, comme la machine à vapeur, vont directement affecter un grand nombre d'industries. Ceci semble nous fournir une interprétation simple et réaliste de deux faits surprenants: premièrement, les innovations ne sont pas des faits isolés, et ne sont pas distribuées également dans le temps, mais au contraire, elles ont tendance à s'agglomérer, à venir en grappes, simplement parce qu'au début certaines, puis la majorité des firmes suivent le chemin d'une innovation réussie; deuxièmement, les innovations ne sont pas également distribuées partout dans le système économique au hasard, mais ont tendance à se concentrer dans certains secteurs et leurs alentours.»

*JOSEPH SCHUMPETER
Business Cycles, 1939:100-101
TRADUIT ET SOULIGNE PAR
CHRISTIAN DEBRESSON*

Les décideurs politiques en matière de développement technique qui parcourent la littérature économique, en ressortent le plus souvent perplexes. Peu d'analyses leur paraissent être pertinentes pour la détermination des choix des pouvoirs publiques. Pourtant les macro-décisions des pouvoirs publiques ont un impact certain. Des principes pour guider ces interventions publiques seraient nécessaires. Le présent article suggère un concept - le pôle technique du développement - comme étant opérationnel pour la politique de développement technologique.

* Professeur au département de Sciences économiques de l'Université Concordia et chercheur au CREDIT.

L'absence de théorie robuste du changement technique nous contraint à reconstruire les éléments d'une compréhension des phénomènes "par le bas". Les études de cas d'innovations depuis 1945 sont nombreuses. Mais un cadre théorique d'analyse se fait encore attendre. Les longs débats entre les analystes qui donnaient plus d'importance aux facteurs de la demande (par exemple Schmookler) et ceux attribuant une part importante à l'offre de nouvelle technologie (par exemple Freeman) n'aboutissent pas à des conclusions nettes², ni à des recommandations opérationnelles pour la politique technologique. En tous les cas, ces hypothèses sont difficilement vérifiables dans l'expérience historique. La référence à la théorie économique qui, malgré sa prétention scientifique, se soucie encore trop peu de la vérification empirique, nous aide donc peu. En conséquence, nous procéderons ici de manière inductive à partir des résultats d'une longue recherche empirique (DeBresson et Murray, 1984). Tant en Angleterre qu'au Canada, la distribution en grappe des innovations suggère la présence d'effets de polarisation. Comme d'autres chercheurs, nous partons d'un constat empirique: les innovations et les inventions se font par "grappes". De telles "grappes" ont servi d'hypothèse (ou constat) de départ à Joseph Schumpeter; nous tentons de les expliquer. Dans cet article, nous proposons une problématique explicative de ce phénomène d'agglomération structurée du développement technique.

En économie, il est assez communément admis que les processus de développement sont inégalement répartis dans l'espace et le temps. Le développement se fait par à-coups et est spatialement agglutiné. Il est bien sûr des modèles abstraits de développement économique qui supposent une croissance équilibrée et sans à-coups, mais nous pensons que ces modèles ne rendent pas compte d'un aspect essentiel du processus économique. Mais nous nous situons clairement dans la perspective des penseurs du développement qui tiennent compte des inégalités dans le temps et l'espace. Le propre du développement, c'est-à-dire ce en quoi le développement est distinct de la croissance, c'est justement les changements de structures. Dans les chemins du développement, nous supposons qu'il y a nécessairement des à-coups et des inégalités. En particulier, la technique est un facteur de la polarisation du développement. Notre contribution réside précisément à expliciter quelles sont les forces économiques qui polarisent le développement technique et, par son intermédiaire, le développement en général.

² Pour une revue critique de cette littérature, voir Mowery et Rosenberg.

Quelle est la logique économique de ces effets de polarisation?

Dans la recherche d'une logique de causalité spatiale, nous partons du concept de "pôle de développement" élaboré, non pas par les géographes ³ mais par François Perroux à partir de 1947. Pour notre démarche inductive, ce concept est utile en ce qu'il reste proche des réels décrits, rend compte d'une multitude de phénomènes différents et combine des facteurs variés en un tout cohérent. Cependant, à cause de la force intuitive du concept de pôle technique de développement, il nous faudra nous méfier de l'imprécision et spécifier le concept. Intuitivement, la polarisation du développement technique paraît fournir une explication (partielle au moins) à certains paradoxes: une grande puissance comme l'URSS est capable d'être en tête de file dans l'aérospatiale (lancement d'une sonde pour observer la Comète de Halley, par exemple) mais reste incapable de retransmettre les Jeux Olympiques de Moscou. De petits pays comme la Suède ou le Canada sont néanmoins capables de posséder un leadership international dans certaines spécialisations industrielles.

La notion de pôle de croissance (qui n'est pas identique à celle de pôle de développement) fut très populaire dans les années '60 et '70 chez les économistes régionaux, à tel point qu'elle éclipsa la notion de pôle de développement sur laquelle elle était fondée. En 1985, la nouvelle prééminence de la politique scientifique et technologique paraît donner un nouvel attrait à la notion de "pôle" (voir en particulier Oakey). Etant donné que la politique technologique s'occupe d'éléments dynamiques de la croissance, elle est un cadre plus approprié pour utiliser le concept de "pôle de développement". C'est dire que ce concept de "pôle" a la vie dure depuis près de 50 ans. Les économistes régionaux ont eu de la difficulté à rendre opérationnel le concept de "pôle de croissance", selon nous, à cause d'un attachement à n'utiliser l'analyse inter-industrielle que pour en examiner les éléments statiques⁴ (Higgins 1983). Il n'en serait pas de même pour les pôles techniques du développement - centrés sur l'élément dynamique de la polarisation - l'innovation. Nous nous attachons dans cet article plus

³ Ceux-ci semblent trop attachés à l'espace territorial, supposent une technique homogène et s'intéressent plus à la diffusion qu'aux dynamiques génératrices d'innovation.

⁴ Biens et services. Higgins suggère qu'une utilisation excessive de l'analyse inter-industrielle est en cause. Nous ne le pensons pas. L'analyse du tableau des échanges inter-industriels est en soi neutre. Mais il n'est pas étonnant que si elle est appliquée à des éléments de statiques économiques, il n'en ressorte rien d'autre.

particulièrement à dégager les fondements techniques des pôles de développement.

Définition: L'espace technique et économique

Partons de la définition suivante de François Perroux:

"Pôles de développement, c'est-à-dire des unités motrices (simples ou complexes) capables d'augmenter le produit, de modifier les structures, d'enregistrer des changements dans le type d'organisation, de susciter des projets économiques ou de favoriser le projet économique". (Perroux 1961:176).

Précisons d'emblée la nature de notre contribution par rapport au concept de François Perroux. Comme lors de l'introduction originelle de ce concept en 1947, nous en restons dans ce premier article à l'articulation théorique du concept. Nous n'apportons rien de nouveau qui n'ait pas été indiqué de manière liminaire dans les écrits de Perroux, Paelinck et Friedmann mais nous articulons la cohérence des différents composants du concept. Il s'agit donc d'un travail de synthèse et d'intégration conceptuelle. En particulier, nous explicitons quelles sont les forces économiques qui amènent à la polarisation des activités techniques. Nous spécifions donc le fondement technique de cette polarisation. En dernier lieu, bien que notre article en reste au niveau de la cohérence théorique du concept, nous pensons pouvoir rendre le concept opérationnel pour l'analyse économique.

Ecartant toute exégèse stérile, précisons simplement que dans notre usage de ce concept, l'essentiel du dynamisme du pôle de développement réside dans l'innovation. Par innovation nous entendons toute combinaison nouvelle de facteurs qui résulte en des profits exceptionnels d'entrepreneur. Il s'agit de la définition de Schumpeter à ceci près que ce dernier n'admettait pas de profits autres que ceux de l'entrepreneur - ce qui n'est pas nécessaire pour notre analyse. L'innovation technologique est un type d'innovation qui s'accompagne d'invention, de création de nouvelles techniques, brevetées ou non. Les profits exceptionnels provenant de l'innovation constituent la source de la dynamique.

Pour beaucoup d'analystes⁵, la discussion des pôles de croissance s'est empêtrée dans l'analyse des éléments statiques et des agglomérations

⁵ Campbell (1974), Higgins, Martin et Raynault, Higgins (1971, 1977) par exemple.

territoriales. Nous portons notre attention sur les éléments dynamiques, les liaisons techniques et innovatrices.

Dans l'articulation d'un concept analytique opérationnel à caractère général comme celui-ci, il nous faut nécessairement bien définir un certain nombre de concepts de départ. Bien que la parcimonie d'hypothèse est toujours souhaitée en économie pour préserver un certain degré de généralité à l'analyse et en permettre une formalisation mathématique et rigoureuse, il n'est pas toujours possible d'éviter une certaine abondance de concepts nouveaux si l'on veut dépasser les limites analytiques antérieures.

D'emblée, il nous faut préciser les dimensions de l'espace sur lequel nous raisonnons quand nous parlons de polarisation. Depuis assez longtemps les analyses spatiales faites par les géographes ne se limitent pas à l'espace territorial. La révolution des transports et des communications a déformé l'espace territorial et change les distances entre les villes. Ainsi New York et Montréal peuvent être plus proches par liaison aérienne que ces métropoles et des villes éloignées qui ne possèdent pas d'aéroport. De même, les liaisons téléphoniques automatiques rapprochent des villes très distantes alors que des villes territorialement plus proches sont plus distantes en raison de l'absence de liaisons téléphoniques automatiques. Le développement de la topologie en mathématiques depuis quelques décennies nous a aussi enseigné à raisonner sur un espace abstrait.

Notre point d'ancrage est le concept d'**espace abstrait** développé par Francois Perroux dans son article de 1949: "Economic Spaces" (Quaterly Journal of Economics). Bien que Perroux parlait d'espace économique, il y définit trois attributs abstraits de l'espace qui sont aussi utiles à notre propos: espace de plan, espace-champ de forces, espace homogène. Comme les travaux de Boudeville nous voulons partir de ces attributs abstraits de l'espace pour définir aussi l'espace technique.

L'espace technique est évidemment défini par la proximité et son opposé, la distance. Mais la dimension de cette distance (ou proximité) est celle de corps de savoir technique. Il existe des disciplines techniques comme il existe des discipline scientifiques. Dans chacune de ces disciplines il y a une série de problèmes et questions qui sont normales au champ technique. Par exemple la mécanique, le génie chimique, électrique, électronique constituent autant de grands champs techniques différents. Dans chaque champ technique il y a des problèmes pertinents et d'autres qui ne le sont pas. Ces disciplines techniques ou corps de savoir-faire

partitionnent l'espace technique en sous-ensembles distincts et distants. Chaque métier aura son langage et plus de facilité à communiquer à l'intérieur du métier qu'avec quelqu'un d'une discipline technique voisine.

Périodiquement, il se produit des innovations technologiques qui font époque et vont susciter des changements paradigmatiques (Dosi 1982). L'émergence de la bielle-manivelle durant le Moyen-Age et de la notion de machine au 15 ième siècle, de la machine à vapeur avec Newcomen, Savery et Papin, de la chimie des alcalis de Leblanc, Perkin et Caro, du moteur à explosion, de l'électricité, de la fission nucléaire, de la semi-conduction, du laser, etc. représentent ainsi des discontinuités paradigmatiques dans les manières de faire. Après de telles discontinuités la pertinence des problèmes change. Ce qui était une manière normale de résoudre un problème technique n'est plus forcément normal dans le nouveau paradigme. Ainsi de nouveaux champs de savoir-faire technique se développent.

La proximité technique est celle de l'expérience dans une même lignée technique et la distance technique provient du changement de lignée. La proximité est absolue dans l'état du savoir-faire de tous les participants du domaine à une époque donnée ou relative à l'expérience d'une firme particulière. Dans un champ technique donné (par exemple la mécanique), il y a un corps de savoir établi et communément accessible dont les mécaniciens qualifiés sont collectivement dépositaires.

Nous pouvons aussi définir le concept de **frontière** du champ technique. Certains problèmes techniques ont été résolus à une époque donnée; d'autres pas. Nous dirons que nous nous trouvons à la frontière technique de la mécanique lorsque, par exemple, une entreprise essaye de résoudre un problème technique auparavant irrésolu. Il s'agit alors de la frontière absolue. Cette frontière technologique peut reculer brutalement quand une invention ouvre de nouvelles possibilités.

Par contraste nous pouvons parler de la frontière technique relative particulière d'une firme en fonction de son expérience technique spécifique. La firme peut opérer à la frontière du champ de son expérience technique ou alors rester sur un terrain plus sûr et déjà exploré. Par contre les frontières du champ d'expérience propre à la firme peut se trouver à la frontière technique absolue ou bien dans un champ technique déjà exploré par d'autres.

Selon les termes de l'espace fonctionnel et abstrait de Perroux (1949), il s'agit d'un espace à plusieurs niveaux. Les projets stratégiques des agents économiques s'expriment dans des conceptions et projets technologiques, en particulier dans des systèmes techniques entiers. Un champ de force, qui fera l'objet de notre examen, restreint l'étendue des choix techniques possibles: ils incitent certaines techniques, en repoussent d'autres. L'objet de notre examen est de préciser les forces économiques et les contraintes techniques qui affectent ce "champ de force" et contraignent à la polarisation technique.

Cet espace technique constitue le champ des possibles (efficience technique mesurée en quantités physiques). L'espace économique, par contre, constitue le champ de ce qui est économiquement soutenable pour les agents (efficience économique mesurée en prix des facteurs).

Il est important de distinguer l'espace technique (le possible) de l'espace économique (le soutenable) afin d'articuler l'analyse. Bien que les deux sont en interaction étroite et constante, les moments de l'analyse doivent être distincts. Il peut être techniquement possible de trouver une solution à un problème par des moyens bien connus sans que ce soit économiquement une solution utilisée. Ainsi le champ technique est par certains aspects plus étendu que le champ du technique utilisé à un moment donné, qui constitue ainsi un sous-ensemble d'intersection avec le champ économique. Nous concevons la polarisation technique comme se faisant à l'intersection de l'espace technique et de l'espace économique.

Nous examinerons premièrement les facteurs techniques et économiques qui amènent à la polarisation du développement technique, puis la combinaison de ces facteurs. Ensuite, nous suggérerons comment l'espace économique probable de tels pôles peut être déterminé et les pôles techniques eux-mêmes identifiés.

I. LES FONDEMENTS THEORIQUES DE L'EXISTENCE DES POLES DE DEVELOPPEMENT TECHNIQUES

De multiples contraintes et incitations se combinent pour polariser le développement technique. Alors que des contraintes restreignent le champ du possible, la rencontre - même aléatoire - des incitations variées va privilégier celles qui se renforcent mutuellement; la synergie résultante de ces "jonctions de force" dynamise le développement.

A. Les facteurs techniques de polarisation

Paelinck a vu dans l'«agglomération technologique» (1965:193) une des sources du pôle de développement⁶. Acceptant cette conclusion, nous nous attacherons à élucider la polarisation proprement technologique du développement. L'accélération de l'innovation, la multiplication des liaisons techniques est pour lui au coeur du phénomène de "pôle". Il insiste en conséquence sur l'importance qu'il y aurait à saisir l'origine technique des interdépendances inter-industrielles d'un pôle (ibid). Cette "agglomération technique" n'est cependant pas un foyer informe d'innovations nombreuses. Il s'agit de grappes structurées. Nous examinons les forces qui structurent cette agglomération structurée.

Partons de l'héritage de Schumpeter. Celui-ci supposait la présence de grappes d'innovations regroupant les innovations radicales et mineures, les innovations initiales entraînant les suivantes (selon une vision qui réduisait parcimonieusement tout son système à une hypothèse unique). Cependant, il est plus réaliste - et moins réductionniste -, comme le fait François Perroux, d'attribuer certains effets dynamiques à la rencontre d'innovations complémentaires et à leur jonction⁷, créant ainsi des "noeuds d'inventions et d'innovations".

La question d'analyse qui est posée devient alors: pourquoi de telles grappes d'innovations se constituent? Pourquoi de telles agglomérations techniques structurées se produisent-elles? Ce qui était pour Schumpeter une hypothèse de départ devient pour nous un objet de l'analyse. Schumpeter faisait des grappes d'innovations technologiques une hypothèse largement exogène à son système d'analyse. Pourtant la fameuse citation en exergue de ce texte indique bien qu'il percevait que des facteurs économiques endogènes contribuaient aussi à l'agglomération d'innovations

6 Ici, il nous faut préciser que nous ne parlons pas de "diffusion" mais d'«adoption» et d'«adaptation». Jusqu'à Bela Gold et Nathan Rosenberg, trop d'études sur la diffusion de l'innovation faisaient l'hypothèse héroïque d'une innovation restant identique à elle-même.

7 "effet de jonction" de François Perroux

dans l'espace et le temps. Les descriptions de grappes⁸ ne nous expliquent pas en soi les mécanismes de cette structuration. Nous tentons d'expliquer pourquoi de telles grappes structurées d'innovation se constituent.

1. Les discontinuités paradigmatiques dans la technologie

De temps en temps, une nouvelle technologie apparaît qui change radicalement la manière de voir et solutionner les problèmes. L'ancien ordre du jour de la recherche technique ne disparaît pas, mais un nouveau champ de possibilités s'ouvre. Ces discontinuités "paradigmatiques" (Dosi 1982) peuvent être le résultat de découvertes scientifiques ou de l'évolution propre de la technique elle-même. L'important, cependant, est que la discontinuité ouvre un nouveau champ fécond d'exploration technique.

Donnons quelques exemples: le contrôle des eaux d'inondation et la sédentarisation de l'agriculture (6000 AC); l'émergence de la machine au 14-15^e siècle transformant l'énergie hydraulique rotative en énergie horizontale grâce à la mise au point de la bielle-manivelle après plusieurs siècles; la machine à vapeur; le procédé Bessener; la production de teintures synthétiques avec Leblanc et Perkin; l'électricité; la semi-conduction; l'ingénierie génétique grâce à la bio-chimie, etc.

Dans tous ces cas, ces choses technologiques externes au système économiques, ont ouvert de nouvelles zones d'activité intense de développement technologique pour une plus ou moins longue période.

⁸ Dans "La théorie du progrès économique" (1957), François Perroux parle de "noeuds d'inventions et d'innovations" (p. 13) et explique que:

"Les inventions et les innovations sont expansives pour leur propre compte, dans leur groupe même, c'est-à-dire y introduisent d'autres inventions et innovations. (F. Perroux, p. 12) (Cahier ISEA, Progrès économique * 2, 1957)

"des inventions et innovations chacune dans sa ligne particulière prennent leur efficacité par la manière dont elles se rencontrent et se combinent" (p. 14)

John Friedmann (1972) explique lui aussi: «development may be studied as a discontinuous, cumulative process that occurs as a series of elementary innovations that become organised into innovative clusters and finally into large scale systems of innovations» ... «(creating) centers of innovative change ... (or) core regions»(72:85-86)

2. Systemes techniques

La technique est systémique (Bertrand Gille) et c'est là un facteur puissant de polarisation. Un système technique est un ensemble de techniques interdépendantes. Le système ne peut progresser qu'autant que tous ses composants progressent; la stagnation d'un composant peut bloquer le système entier.

Chaque système technique possède son noyau ("core") et ses techniques d'appoint. Une fois établi le noyau du système, les interdépendances réduiront le champ des possibles - contraignant la recherche de solutions à ce qui est compatible avec le système⁹.

Prenons l'exemple du système bielle-manivelle qui, en permettant la transmission de l'énergie rotative en énergie linéaire (et plus tard la transmission inverse) est à la base de la révolution du machinisme, attelant les énergies naturelles au travail.

Le problème technique principal du système bielle-manivelle est un point mort où la bielle perd son élan. Les solutions à ce problème sont limitées en nombre: roue d'entraînement qui accumule son élan pour aider au passage des points morts, accouplement hors phase de deux systèmes, etc..Le système restreint ainsi le champ des techniques possibles pour résoudre un problème résultant du système lui-même.

Ainsi en technique "tout obstacle est un appel" à une solution. Le blocage technique oriente la recherche de solutions. La délimitation du champ des possibilités permet de réduire les incertitudes. La recherche technique subséquente s'orientera vers des solutions complémentaires. Ainsi se développent les systèmes complexes.

Prenons l'exemple de la motoneige Bombardier (DeBresson et Lampel 1985a,b). En 1957-58, le double tablier et créneau moteur étant développé, toutes les recherches et développements subséquents semblent s'enchaîner logiquement selon une rationalité pré-établie que nous pouvons représenter par une horloge - l'horloge du système permet de visualiser la succession des blocages (goulets d'étranglement) et la focalisation des efforts techniques. Après que le noyau du système - au centre de l' horloge - fut

⁹ Sauf dans le cas où l'on change d'objectif fonctionnel du système, si on le décompose en composants ou change son noyau technique.

développé, la société Bombardier concentra son attention technique sur les problèmes de transmission. Après avoir développé une transmission automatique et variable, la vitesse élevée et régulière du véhicule posa des problèmes de suspension sur les terrains accidentés. Une fois ce problème résolu, on s'aperçut que la neige qui s'accumule sur la chenille ralentissait périodiquement le véhicule. Il fallut trouver un procédé pour éliminer cette neige. Une fois résolu ce problème, il ne semblait plus y avoir d'obstacle majeur à la vitesse du véhicule, à tel point que le véhicule devint dangereusement rapide. De meilleurs freins furent conçus et ajustés.

(Voir graphique 1, page 12)

La solution d'un problème pose immédiatement d'autres problèmes. En augmentant la performance du système, de nouvelles limites à la performance deviennent plus concrètes et appellent d'autres développements pour améliorer la performance encore plus. La recherche technique semble ainsi obéir à sa propre rationalité. Elle crée son propre momentum autour des "noeuds" d'innovations passées. Un problème mène à un autre et chaque solution ouvre de nouvelles opportunités. Ainsi le développement d'une nouvelle technique peut faire renaître une ancienne technique abandonnée et redonner de l'importance à une technique qui avait perdue de l'importance, voire était tombé en désuétude.

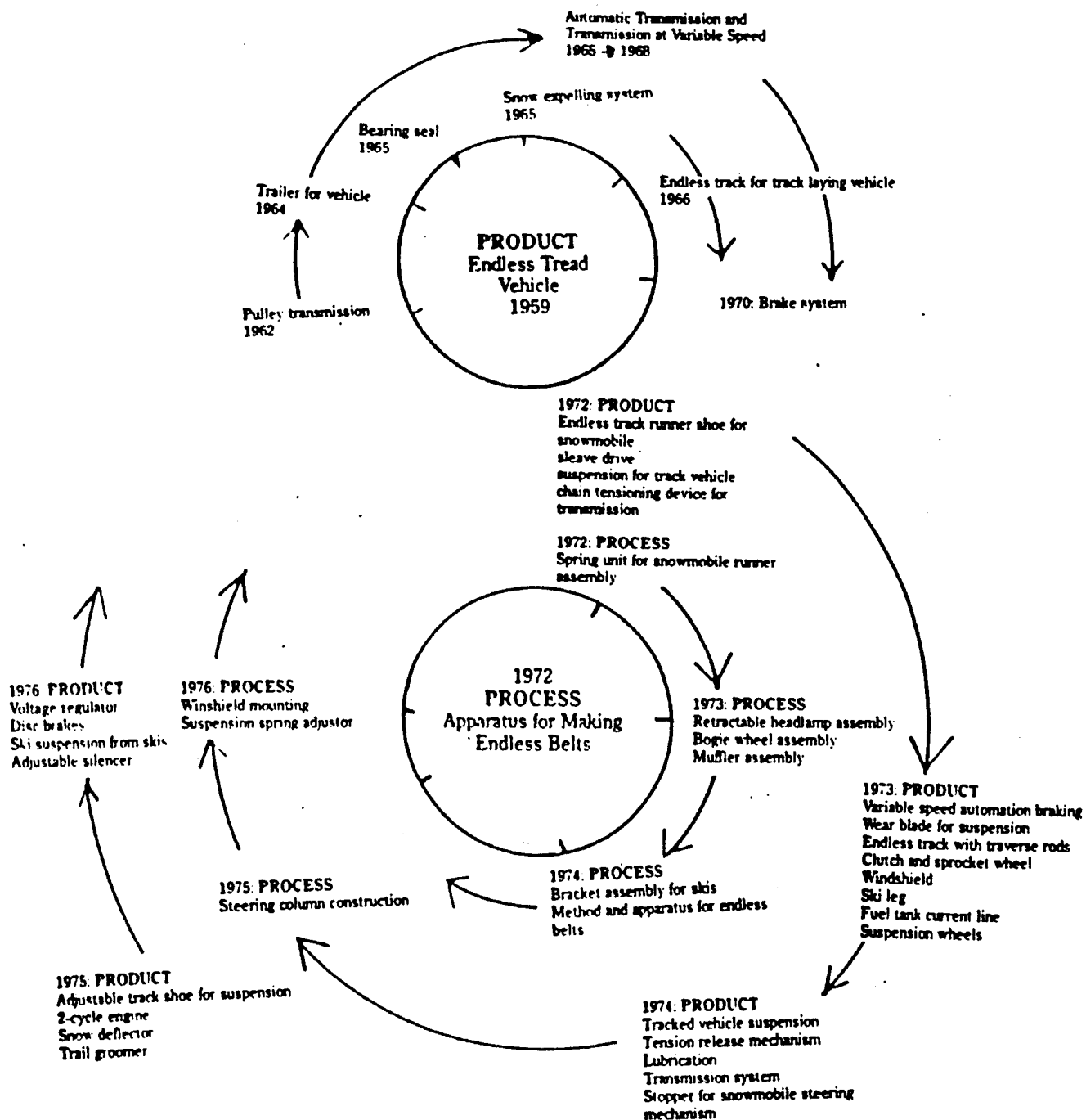
Admettre qu'il y ait des "systèmes techniques" suppose que l'activité technique ait une certaine autonomie - autonomie de la science, de l'économie, du social. Cette autonomie relative suppose que certains facteurs seront internes à la technique elle-même. Nous admettons ainsi que les explications des historiens "internalistes" de la technique ont un apport. En tant qu'économiste, cependant, nous voulons signaler qu'il existe des facteurs "externes" puissants à la constitution de "systèmes techniques". Les effets économiques différenciés entre compléments et substituts favorise la constitution d'un système.

Si à un moment donné (t) nous classons toutes les innovations selon leurs relations de complémentarité ou de substitution sur une matrice d'adjacence (Matrice 1), il est possible de déduire que les innovations qui se diffuseront le plus vite sont celles qui sont complémentaires (supportant un investissement égal). Aussi, l'activité technique de l'année suivante s'orientera vers des innovations complémentaires. Il se peut cependant qu'il y ait des ensembles de complémentarités disjoints qui forment des systèmes techniques rivaux. (voir matrice 1, page 13)

Graphique 1

L'horloge d'un système technique: le cas du système motoneige de bombardier

La technologie au centre des cercles est le "noyau" des systèmes. Autour de ces "noyaux", des techniques d'appui sont développées. Leur séquence de développement est représentée par deux "horloges": une pour le produit; l'autre pour le procédé. Les flèches indiquent comment un développement influence la direction de l'activité technique suivante, en créant soit une nouvelle opportunité ou un "goulet d'étranglement". Les "horloges" représentent la séquence des contraintes technologiques au sein du système.



*La première date d'application pour un brevet aux Etats-Unis ou au Canada a été choisie. Reproduit de C. DeBresson, Understanding Technological Change, Black Rose Montréal, 1986.

MATRICE 1

Matrice d'adjacence au temps t1 des substituts (s) et des compléments (c)

Innovation #	1	2	3	4	5	6	n
1	x	c	c	-	-	s	
2	c	x	c	-	s	s	
3	-	c	x	c	-	s	
4	s	-	c	-	s	s	
5	s	s	-	c	x	c	
6	s	s	s	-	c	x	

Cependant, alors que les innovations compatibles et complémentaires entre elles (moteur à combustion interne et raffinage du pétrole) se renforcent, d'autres se substituent les unes aux autres, au moins partiellement (comme les semi-conducteurs de silicium au germanium). La structuration d'un système technique s'accompagne forcément d'effets de déstructuration en un autre lieu de l'espace technique. En ce sens, Schumpeter avait raison de spécifier que toute création est aussi destruction. L'agent qui développe un système technique avance les éléments d'un pouvoir accru, qui va contraindre la manière dont les autres vont devoir agencer leur travail et leurs relations inter-personnelles; ce nouveau système technique sera aussi forcément une perte de pouvoir d'autres agents qui avançaient des projets techniques alternatifs.

La probabilité conditionnelle d'adoption d'une innovation s'accroît rapidement après l'adoption d'une innovation complémentaire, mais décroît rapidement si l'innovation est substitutive (Wozniak 1984). Toute technique augmente les chances d'adoption de certaines mais réduit les chances d'autres. La propagation de techniques est ainsi un jeu de concurrence entre des innovations complémentaires et substituts pour former des systèmes dominants.

Nous avons déjà ici avec la présence de systèmes techniques un facteur puissant de polarisation de l'espace technique.

3. L'apprentissage et l'accumulation d'un stock de savoir-faire

Le développement technique est cumulatif (Usher 1954). L'innovation est aussi cumulative (Perroux 1978). En conséquence le savoir-faire technique est mieux conçu comme un stock qui s'accumule lentement, parfois par à-coups, mais toujours irréversiblement.¹⁰ Le lent cumul d'expériences débouche parfois sur des synthèses qui permettent des sauts dans le niveau de savoir-faire (Usher 1954).

La source de ce savoir-faire (connaissance technique et pratique qui n'exige pas de savoir pourquoi - *know why* - les choses marchent mais seulement comment - *know how* - les choses marchent) provient de l'expérience productive elle-même.

L'apprentissage sur le tas est toujours nécessaire. Il peut être aidé par une instruction ou recherche formelle - mais la recherche formelle ne suffit pas. Bien que la majorité des innovations - par exemple 60% au Canada - ne proviennent pas directement de Recherche-Développement organisé formellement dans un département distinct de la firme, les activités de Recherche - Développement ont leur effet indirect. Celles-ci ont aussi leur courbe d'apprentissage (*learning curve*).

L'adaptation aux demandes des clients, aux matériaux, énergies et aux interactions sociales de la production (contremaître, collègues de travail) fait nécessairement varier les objectifs fonctionnels de la tâche à accomplir. Ce processus de variation est une des sources principales de l'apprentissage. Ainsi, comme la majorité des innovations proviennent de l'expérience productive elle-même, l'innovation tend à se produire autour des innovations passées.

Le savoir-faire technique est un stock de connaissances (Johnson, 1975). L'agent productif est doué de mémoire, ce qui lui permet d'accumuler des leçons de l'expérience passée. L'investissement passé dans ce stock de connaissances crée une force d'inertie autour de l'acquis. Les habitudes acquises dans le travail se reproduisent elles-même. Le paradigme définit les axes de recherche technique pertinents. (Certains sociologues pourront y voir un phénomène similaire à l'«habitus» de Bourdieu.) Le passé pèse sur le présent et oriente l'avenir immédiat. Les

¹⁰et non comme un flux de marchandise.

ingénieurs veulent bien innover, mais "une seule innovation à la fois" - non pas trente-six. Le temps passé investi dans l'apprentissage d'une technique ne se sacrifie pas légèrement pour adopter une autre technique.

Ainsi les ingénieurs électroniques des années 1950, formés à la technique du tube à vide, résistaient aux prétentions de la semi-conduction d'état solide en germanium ou silicium. La concurrence de ces technologies substitutives les incitaient, au contraire, à améliorer la performance (fiabilité, vitesse d'exécution) de leur propre lignée technique, permettant aux valves d'être encore utilisées à ce jour dans certaines applications pour lesquelles elles présentent des avantages (Levin). De même, la navigation à voile connut une période d'intense amélioration technique au début de la navigation à vapeur et demeure encore aujourd'hui un moyen économique pour le transport du bois en Asie du Sud-est. L'investissement de temps dans l'apprentissage technique crée un moment d'inertie autour des anciennes techniques.

La courbe d'apprentissage est fonction - nous le savons - de la production cumulative et des durées. La décroissance des prix unitaires et marginaux sera fonction de la production cumulative (Arrow) et de la durée de l'expérience productive ¹¹(Fellner). Cette réduction des coûts unitaires n'est, cependant - comme beaucoup de lois économiques - qu'une potentialité qui n'a rien d'automatique et exige la recherche active des effets escomptés¹². Et cet apprentissage, bien qu'il ne soit pas transférable à des techniques productives très différentes, peut l'être à la production de produits techniquement voisins. Ceci nous amène à considérer dans la section suivante les économies d'étendue et de variété ("economies of scope" Panzar et Willig)

Bien que les économies réalisables par l'apprentissage sont proportionnelles à la production cumulée et à la durée de l'expérience productive pour un produit donné, ces bénéfices sont transférables à un produit proche. En d'autres termes, si le produit p_1 connaît une production cumulée q au temps t et que l'entreprise décide d'introduire un produit p_2

¹¹ à condition que la force de travail soit la même pour préserver la mémoire de l'expérience.

¹² en particulier que les producteurs soient incités à communiquer les conclusions de leurs expériences productives et les traduisent en hausse de productivité; au lieu de les garder pour eux comme des moyens de minimiser leurs tâches de salariés. Ainsi cet effet économique de l'apprentissage dépend de la qualité des relations de travail et de la participation ouvrière.

très proche techniquement de p_1 , cette dernière bénéficiera de la majeure partie des bénéfices d'apprentissage réalisés avec le produit p_1 . En conséquence les coûts unitaires de départ de p_2 seront influencés par le coût unitaire du produit p_1 au temps t . Ou, ce qui revient au même, il coûtera marginalement moins cher pour la firme d'introduire p_2 avec l'usage partagé des facteurs de production utilisés pour p_1 (équipement, savoir-faire) que de produire p_2 avec des facteurs nouveaux. (DeBresson 1986). Ce que nous pouvons représenter de la manière suivante.

(Voir Graphique 2, page 17)

Mais si le produit nouveau est techniquement très distant du précédent produit (p_1), ou se trouve au-delà du champ d'expérience de l'entreprise que nous noterons sur le graphique 1 (p_{e+1}) ou encore au delà de la frontière technologique explorée à l'époque (p_{f+1}), l'entreprise ne peut s'attendre à bénéficier des économies de variété et de la transférabilité des bénéfices de l'apprentissage. Au contraire, l'entreprise risque alors de rencontrer des des-économies de variété.

La conséquence de présence d'économies de variété dues à l'apprentissage à proximité technique et de possibles des-économies de variété à plus grande distance technique est évidente: la variation technique se fera prioritairement à proximité de la technique présente.

B. LES FACTEURS ECONOMIQUES ENDOGENES DE LA POLARISATION

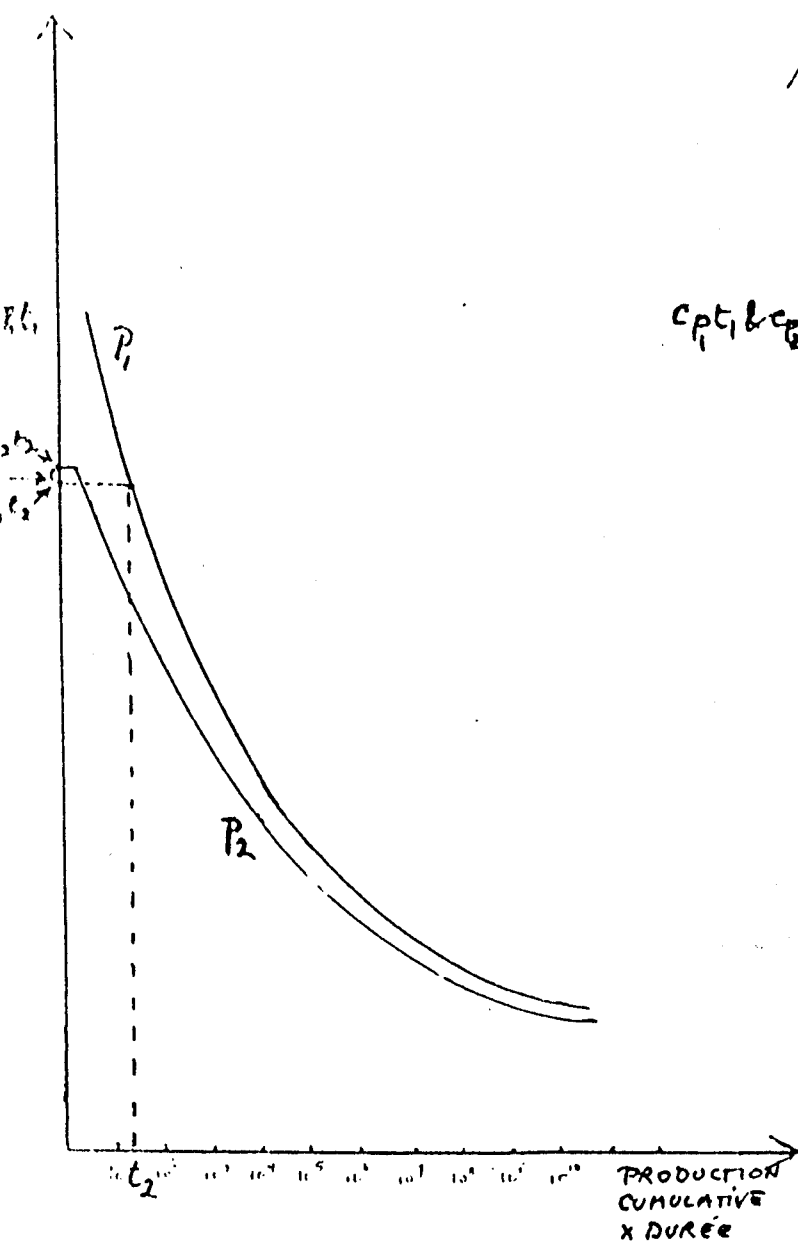
4. Economies d'étendue et de variation

L'économie classique (Ricardo, Mill, Marx) qui s'intéressait au capital fixe comme un flux à amortir n'a prêté qu'une attention limitée aux coûts joints (Sraffa, Pasinetti, 1980). Les économistes marginalistes qui considèrent le capital fixe comme un stock (par exemple Menger) raisonnent cependant sur des unités ne produisant qu'un seul produit. La production jointe de deux produits ne fait l'objet d'une analyse par Marshall dans ses Principes que pour réduire ce cas à l'hypothèse d'un produit unique. Il est évident, cependant, que toute unité productive possède une certaine étendue: une production jointe (étendue "obligatoire" de Lloyd, 1983) et une variation de produit (étendue volontaire). Les deux formes d'étendue sont la règle - non pas l'exception.

Graphique 2

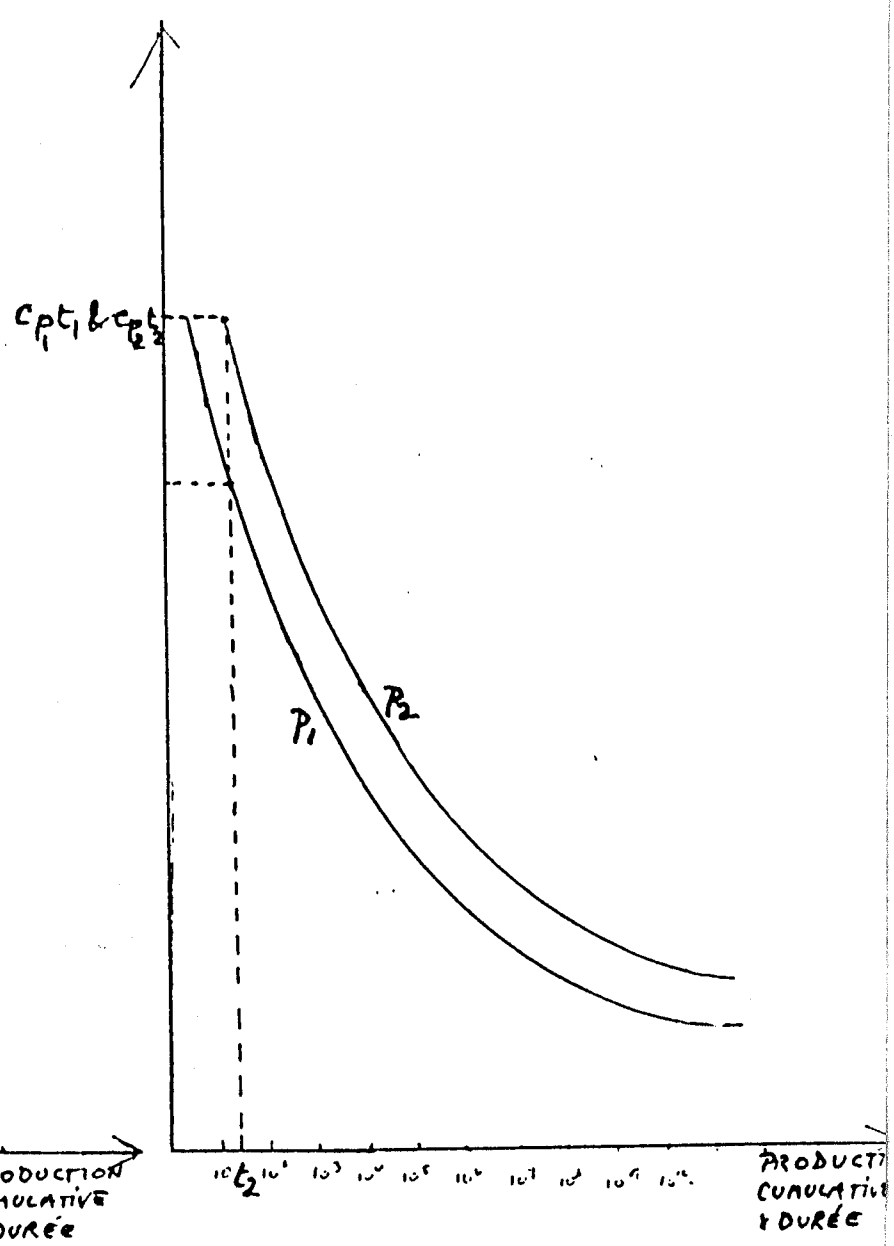
Prix unitaire, courbe d'apprentissage et transférabilité des bénéfices

COUTS UNITAIRE



Cas 1: Savoir-faire transférable

COUTS UNITAIRES



Cas 2: Savoir-faire non-transférable

De l'obligation de produire simultanément plusieurs produits (par exemple du pétrole, du gaz et du soufre; des métaux non-ferreux divers dans un minerai; de la pâte à papier et de la lignine) il résulte déjà une certaine polarisation des efforts techniques sur les produits joints forcés.

Les économies d'étendue volontaires et actives constituent une incitation plus importante et intéressante pour la polarisation. Si les économies de variété sont possibles à proximité technique mais plus aléatoires à distance technique, la polarisation de la recherche technique autour de l'expérience technique antérieure est une incitation économique qui induit une certaine trajectoire au développement technique (DeBresson 1986). L'utilisation partagée de facteurs de production en est l'incitation. La distance technique à un temps donné doit être comprise de manière relative et absolue. Relative au champ d'expérience de la firme (e) et absolue en fonction de la frontière technique (f) explorée par l'ensemble des firmes jusqu'à cette époque.

(Voir graphique 3, page 19)

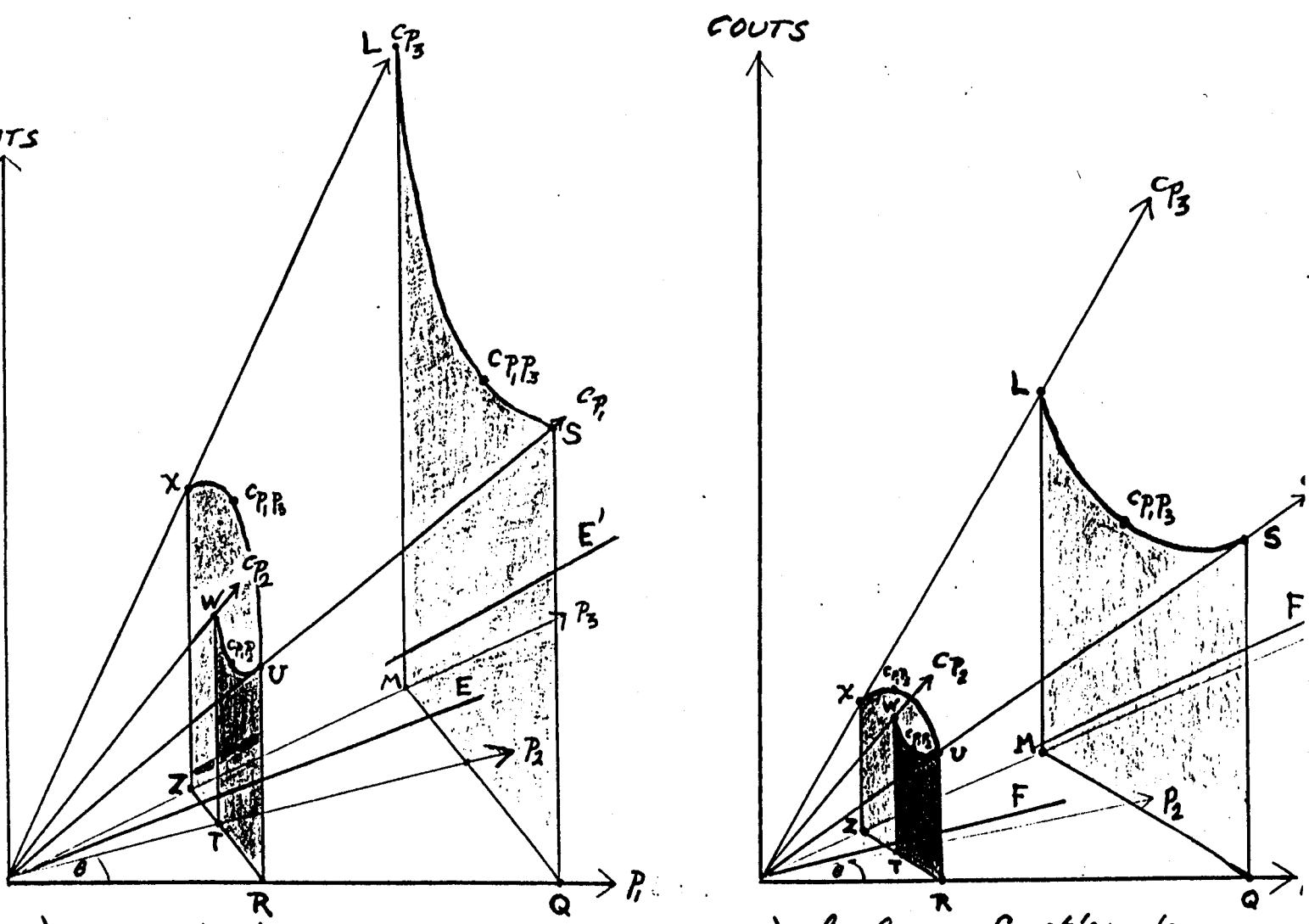
5. Externalités techniques

Les économies de variété ne sont pas forcément internalisables par les firmes et une partie de leurs avantages peut être récupérée par d'autres firmes (Teece, 1980). Ainsi, la main-d'oeuvre formée à la production d'un produit, ayant identifié l'opportunité technique d'utiliser le savoir-faire acquis au cours de cette expérience, de développer un autre produit peut très bien aller vendre son savoir-faire à une autre firme ou même fonder une nouvelle firme. L'existence de firmes "incubatrices" de nouvelles techniques présuppose justement la difficulté de capter tous les avantages des économies d'apprentissage et de variété au sein de la firme. D'autres entreprises bénéficieront de ces avantages économiques non appropriables. Ce phénomène d'externalisation des bénéfices est particulièrement fréquent dans les industries de pointe (électronique, aéronautique) où les ingénieurs, les techniciens et les ouvriers qualifiés spécialisés passent fréquemment d'une entreprise à une autre.

Ainsi les coûts de l'entreprise pionnière qui établit la fiabilité de la technique, éduque les premiers clients et les premiers producteurs produisent des économies externes (Scitovsky, 1954) pour tous les adopteurs rapides. Ces économies externes sont sources de profits exceptionnels qui reviennent autant aux adopteurs rapides qu'aux pionniers.

Graphique 3

Economies (ou des-économies) d'étendue selon la distance technique absolue ou relative du produit additionnel



a) relatif à l'expérience de la firme

b) absolu, en fonction de la frontière technologique

LÉGENDE:
 → P_1, P_2, P_3 axes de produits (échelles géométriques: production cumulative durée)
 → C_1, C_2, C_3 vecteurs de coûts (tous égaux et monotones pour but de comparaison)
 • $C_{P_1, P_2}, C_{P_1, P_3}$ coûts joints sous-additifs • C_{P_1, P_2, P_3} coûts joints sur-additifs
 angle θ distance technique au produit P_i WURT, LSQM surfaces convexes
 XURZ surface concave

De toutes les économies externes, celles qui nous paraissent les plus importantes pour notre propos sont les économies externes inter-industrielles ou "verticales" (Hirschman). Bien sûr les externalités d'ambiance (Mashall, 1925) favorisant la circulation des idées et provenant des phénomènes d'agglomération ont leur importance dans la vivacité du développement technique mais ne permettent pas d'en prédire la direction spatiale. Nous ne sommes pas non plus intéressé par les externalités dont bénéficient de manière indifférenciée toutes les firmes (infrastructure, effet de revenu, marché du travail) car celles-ci ne peuvent pas avoir d'incidence directe sur l'orientation du changement technique mais seulement sur son rythme. Les externalités dont bénéficient toutes les firmes se trouvant aux alentours de manière indifférenciée peuvent susciter des effets d'agglomération économique - mais ceci n'est pas notre objet d'analyse. Nous nous attachons aux externalités qui structurent l'espace, voire les agglomérations économiques. Les externalités qui nous intéressent sont celles qui proviennent d'inter-dépendances ou de complémentarités inter-industrielles, dont les fondements selon Paelinck (1965) sont technologiques.

Certaines économies externes verticales ont des effets positifs; d'autres des effets négatifs. Une firme innovatrice qui fournit de nouvelles matières premières permettra à une autre firme de reconcevoir, améliorer ou créer un nouveau produit. De même une nouvelle source énergétique permettra à de nouveaux segments de l'industrie de devenir rentables. Une innovation technique favorise le développement d'une autre part des complémentarités en aval ou en amont. Il existe cependant des effets de des-économies externes sur la direction de l'innovation technologique. L'utilisation par une usine de pâte à papier d'un nouveau procédé chimique (sulfite ou sulfate) et qui déverse ses déchets dans le fleuve peut interdire l'installation d'une conserverie de poisson en aval ou en ruiner l'opération. La des-économie externe peut réduire l'activité de la conserverie ou, selon l'action des industries concernées auprès des pouvoirs publics, amener les usines de pâte à papier à adopter des procédés non chimiques. De manière similaire, le développement d'une nouvelle source énergétique peut réduire la fiabilité de certaines techniques utilisatrices.

Les complémentarités verticales, créent une synergie dans les développements, en même temps qu'elles contrecarrent les efforts de substituts pour saper les bases de leur développement de l'extérieur. Ainsi les pôles de développement technique structurent et déstructurent les

espaces techniques. Les pôles de développement technique sont expansifs et tendent, non pas à éliminer, mais à paralyser, au moins provisoirement, les techniques alternatives.

6. Innovations induites et voisinage des systèmes

Les phénomènes d'induction de l'innovation sont reliés aux économies externes. Nous définissons les innovations induites d'une part comme celles qui ne se seraient pas produites sans les incitations du mécanisme de prix (Hicks 1973) mais aussi comme celles qui ne se seraient pas produites sans la demande de nouveaux investissements fixes (Schmookler).

Les entrepreneurs ne sont pas intéressés à réduire les coûts de facteurs spécifiques mais leurs coûts en général (Salter 1960). Les mécanismes d'induction ne sont par conséquent pas opératoires à court terme. Mais si l'agent économique a conclu, soit par le souvenir de la variation relative des prix dans le passé, soit grâce à des informations sur ces variations relatives à long terme provenant de prévisions autres que les simples prix, qu'à long terme il est vraisemblable que certains facteurs seront relativement rares et coûteux (ou abondants et bon marché) il orientera les choix techniques vers des techniques qui économiseront les facteurs rares et onéreux et feront un plus large usage des facteurs abondants et relativement bon marché.

Ainsi les prix d'un facteur peuvent baisser à court terme et cependant produire des inductions techniques perverses. Les entreprises n'attachent aucune crédibilité à une baisse qu'elles estiment provisoire. En ce sens l'incertitude quant aux variations dans les cours d'un facteur peut être un facteur d'induction aussi puissant qu'une hausse relativement régulière. Il en fut ainsi récemment du pétrole. Malgré des baisses de prix dans certains pays, le souvenir des files d'attente durant la crise énergétique de 1973 et 1979, les incertitudes politiques font encore fuir les utilisateurs potentiels d'essence comme source énergétique parce que son prix est trop aléatoire.

Les expectatives à long terme des utilisateurs sont donc essentielles dans les mécanismes d'induction de l'innovation. Or un des facteurs qui peut procurer une stabilité à un mouvement des prix est justement l'existence d'une structure de complémentarités et d'économies externes soutenant une évolution relativement favorable. Les investissements fixes à long terme dans des systèmes techniques rendent fiables certaines opérations

productives (Nordhaus 69:36), créant une demande économiquement soutenable à long terme pour certains facteurs de production et ouvrant de manière décisive de nouveaux marchés. Aussi les rigidités et immobilités des investissements fixes dans des systèmes productifs, obérant les ajustements à court terme aux excédents de demande ou pénuries d'offre, en particulier dans la main-d'oeuvre (Piore 1968), renforcent l'inertie dans l'orientation du changement technique face aux variations relatives des prix - facteur d'inertie dans la polarisation technique.

7. Appropriabilité

La notion d'externalité peut être conçue comme l'inverse de celle d'appropriabilité. Selon Scitovsky l'externalité serait une économie (ou dés-économie) qui dépend de la proximité d'une autre firme, pour Marshall d'un "facteur non payé"; pour Nordhaus et Samuelson, il s'agit seulement d'un avantage (ou désavantage) qui n'est pas appropriable par une quelconque firme. Les éléments non appropriables sont légion: la main-d'oeuvre formée par l'entreprise, le nouveau produit qui peut être copié, ou simplement utilisé dans une nouvelle application ou encore utilisé en combinaison avec d'autres de manière complémentaire, etc.. Bien que la firme puisse éventuellement internaliser ces avantages économiques potentiellement externes (Demsetz 1967), l'effet de polarisation technique demeure. Il est indépendant du fait qu'il soit interne ou externe à l'entreprise innovatrice. Cependant, il existe des effets de polarisation qui sont le résultat des tentatives d'appropriation d'avantages économiques et des difficultés rencontrées dans ces tentatives.

Si nous retenons la suggestion de Schumpeter que la motivation des firmes n'est pas tant la concurrence que la recherche d'avantages monopolistes durables (ou de rentes économiques), la question de l'appropriabilité des avantages économiques devient centrale à une analyse de la direction spatiale de l'effort innovateur. Partitionnons l'espace technique en trois zones:

- 1) zones appropriables,
- 2) zones appropriables sous conditions de proximité technique ou d'apprentissage rapide, et
- 3) en zones de savoir-faire inappropriable (bien public).

Les pionniers comme les imitateurs rapides de nouvelles techniques (Griliches 57, Nelson et al. 67) dans les deux premières zones seulement bénéficient de rentes économiques. Une hypothèse conforme à la maximisation du profit nous suggérerait que le développement technique se ferait en priorité dans les zones appropriables du champ technique exploré parce que ces zones confèrent des avantages compétitifs plus durables.

(voir graphique 4, page 24)

Les opportunités limitées de l'appropriabilité constituent un autre facteur négatif qui vient limiter encore la zone prioritaire de développement dans l'espace technique - et constituent un autre effet polarisant.

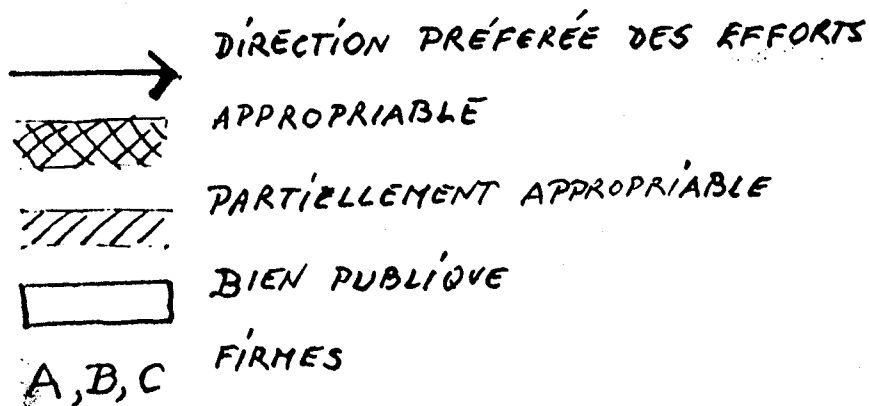
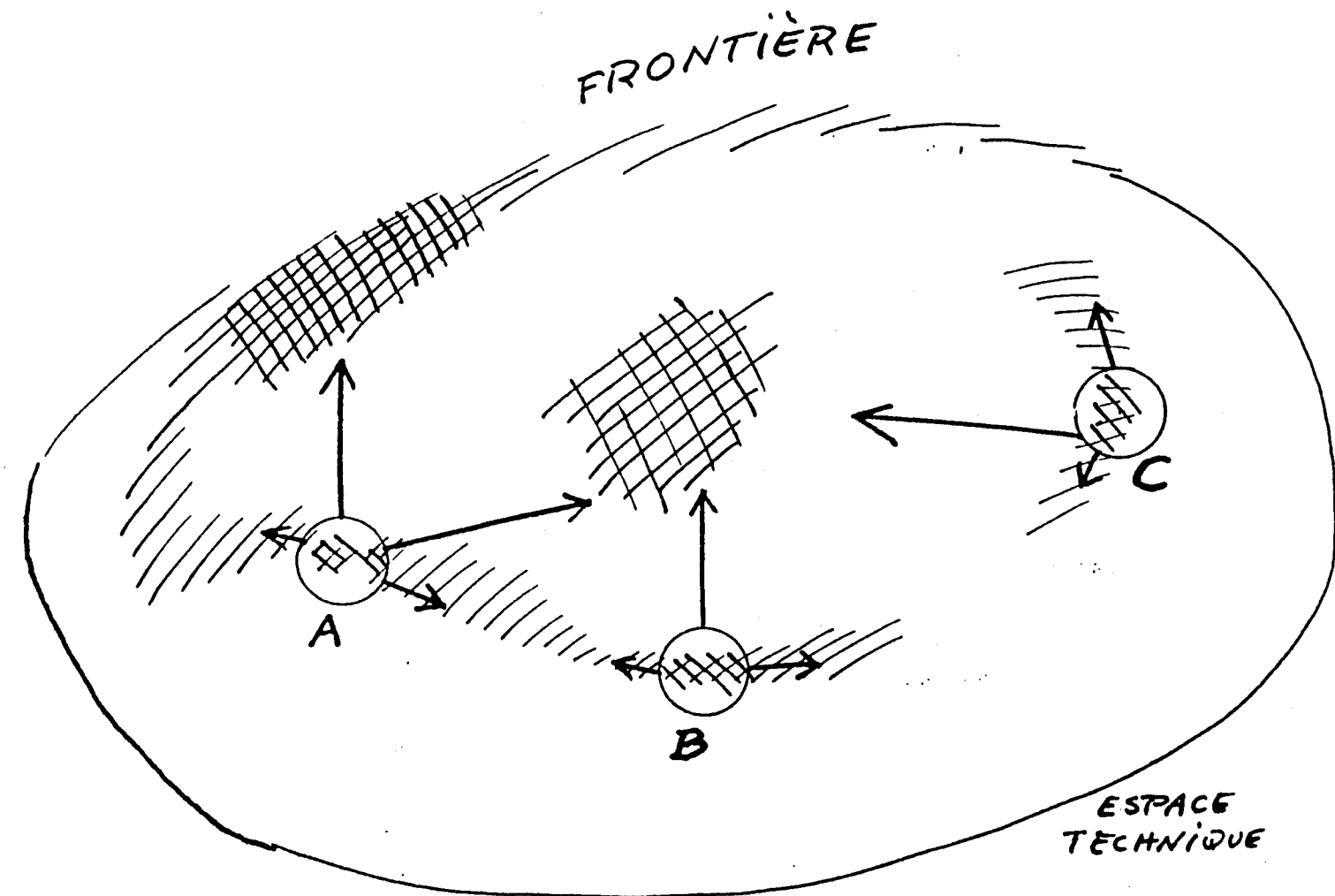
8. Profits innovateurs

Rien ne nourrit le succès aussi bien que le succès. Ceci est particulièrement vrai en terme de bénéfice sur les investissements. Les investissements innovateurs fiables procurent des profits extraordinaires. Ceux-ci attirent les ressources financières. Les imitateurs rapides peuvent bénéficier de profits exceptionnels, aussi bien que les pionniers. Autour des investissements innovateurs et imitateurs, le système induira, nous l'avons vu, des opportunités techniques qui elles aussi pourront obtenir des profits exceptionnels.

Les profits joints de firmes dans des industries différentes seront en mesure de générer des profits plus exceptionnels que des innovations individuelles. La collaboration de l'Alstom, de la S.N.C.F. et de l'E.D.F. en est un exemple probant. Dans une entreprise innovatrice de cette envergure, c'est la collaboration de plusieurs entreprises qui attire les capitaux. Chaque entreprise apporte un composant du nouveau système technique. Mais l'investissement est d'emblée systémique. Dans la mesure où les profits exceptionnels de l'innovation sont substantiels, les participants ont moins de difficultés à se les partager. L'attrait des profits exceptionnels provenant de systèmes d'innovations complémentaires favorise non seulement les grandes firmes multi-produit possédant de grandes ressources financières mais aussi être un facteur de polarisation.

Graphique 4

Orientation des efforts techniques des firmes
selon les zones appropriables ou publiques de l'espace
technique



Par opposition, cette concentration des ressources financières sur les pôles innovateurs, privera les industries, techniquement plus calmes, de capitaux, augmentant ainsi les disparités.

9. Les coûts des transactions innovatrices

Un facteur additionnel de polarisation technique est particulièrement important pour l'analyse. Il permet de faire passer l'analyse de l'espace technique et économique abstrait à un espace plus facilement préhensible: l'espace de communication.

L'innovation est rarement l'affaire d'un seul agent économique. Le plus souvent un utilisateur identifie un problème technique, en spécifie les paramètres et sollicite d'un fournisseur le développement de solutions techniques. Il s'en suit une interactions entre un fournisseur et un premier utilisateur. Le premier utilisateur est souvent aussi impliqué dans la genèse de l'innovation que le fournisseur. Souvent, l'utilisateur va internaliser le processus de genèse de l'innovation, pour des raisons que nous allons spécifier.

Ces interactions innovatrices ont des coûts de transaction. En particulier, la première interaction innovatrice entre deux agents est très coûteuse; le coût des interactions suivantes s'effondrera.

Les causes des coûts élevés de la première interaction innovatrice entre deux acteurs sont multiples. Nous savons déjà que les coûts de transactions sont plus élevés quand il n'y a que deux acteurs impliqués. Mais cette interaction à deux est de nature particulière: elle implique une incertitude technique et un conflit latent quant aux droits de propriété. L'incertitude qui préside le développement d'une innovation qui, même si elle n'implique pas une invention et l'extension de la frontière technologique, exige une nouvelle combinaison de facteurs. Le résultat est toujours incertain. Et si le résultat est probant, il existe une incertitude quant à l'appropriation des bénéfices de l'innovation. En outre, les deux acteurs ne se connaissent pas. Ils ne connaissent ni leurs forces, ni leurs faiblesses respectives que par réputation. Qui plus est il leur faut découvrir les meilleures méthodes de communication.

En particulier, le mode de communication pour la résolution d'un nouveau problème technique est souvent informel et tacite. Il faut amener

le fournisseur à constater le problème technique sur place. L'expérience concrète du problème dans son contexte réel constitue l'essentiel de l'information nécessaire à sa compréhension - donc à sa résolution. Par définition la résolution d'un nouveau problème technique ne peut pas être formalisé ni sa solution être trouvée par une procédure routinière. Plus encore que dans toute transaction où il n'y a que deux partenaires les incertitudes sont élevées et les coûts aussi.

Ces incertitudes incitent à une interaction très étroite ou pas d'interaction du tout. De grandes firmes qui produisent plusieurs produits préféreront en conséquence générer la technologie à l'intérieur de la firme, minimisant ainsi les incertitudes liées à la communication et l'appropriation. Mais si la firme décide de chercher un nouveau partenaire externe, les coûts de transaction de l'interaction initiale sera élevé. Certaines firmes minimiseront les coûts de transaction en décidant de transférer systématiquement les droits sur les développements techniques des fournisseurs. Il en est ainsi de nombreuses sociétés productrices et distributrices d'électricité - grandes utilisatrices d'innovations, de nombreux fournisseurs externes.

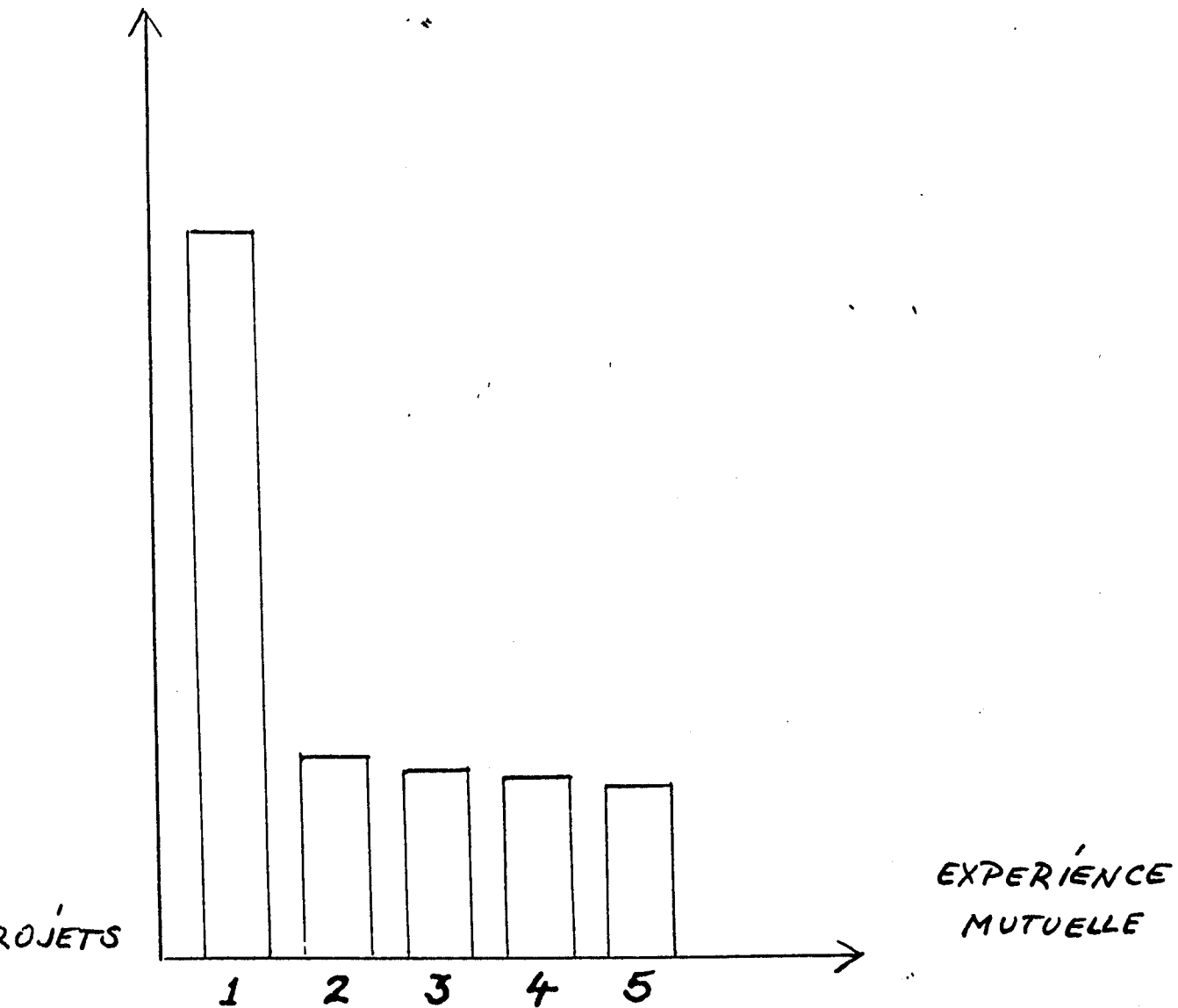
Cependant si la première interaction innovatrice entre les deux acteurs est un succès, les coûts de transaction et les incertitudes qui les accompagnent seront bien moindre les fois suivantes. Même en supposant une difficulté technique égale, les coûts de transactions innovatrices subséquentes s'effondreront. Il en résulte évidemment une grande récurrence des interactions entre agents innovateurs. Plutôt que de risquer et payer pour un fournisseur nouveau, la firme utilisatrice aura de nombreuses incitations à rester avec le même fournisseur innovateur.

(Voir graphique 5, page 27)

Ce facteur est important pour l'analyse de la polarisation parce qu'il permet de projeter la polarisation de l'espace technique et économique sur un espace de communication.

Il est connu que les partenaires en innovation se visitent très fréquemment au cours d'un projet. Les communications téléphoniques ne suffisent pas. La communication physique est requise pour la transmission tacite ("problem solving"), informelle et souvent idiosyncratique de la

Graphique 5

COUTS
DE
TRANSACTIONCoût de transaction initial et subséquents
pour une interaction innovatrice entre
fournisseur et utilisateur

genèse technique. Ainsi la localisation d'un fournisseur aux abords d'un laboratoire de Recherche-Développement de l'utilisateur est une condition favorable au transfert technologique. Une alternative est le voyage fréquent. Ainsi les firmes innovatrices sont souvent localisées près des aéroports internationaux. Les contraintes communicatives des interactions innovatrices permettent de prédire plus ou moins leur localisation respective et leur proximité, non pas directement dans un espace territorial mais dans l'espace de la communication directe qui exige la présence physique des partenaires.

10. Autres facteurs et limites

Nous avons passé en revue les facteurs principaux de la polarisation technique. Nous sommes bien conscients de ne pas les avoir tous identifiés. Parmi les autres facteurs probables, il nous faut indiquer: les contraintes de communication dans le développement technique, les contraintes des équipes (teams) de développement, les incitations à l'internalisation (théorie de la firme), la concurrence stratégique des firmes, etc. Par exemple, on sait que les coûts de communication et de compréhension entre deux industries, deux cultures techniques différentes (disciplines de génie ou métiers) seront plus élevés qu'en restant au sein d'un même domaine. Mais il n'est pas nécessaire ni utile d'être exhaustif dans notre examen de facteurs de polarisation. L'examen ci-dessus est suffisant pour conclure à la présence de forces polarisantes puissantes.

Cependant, cet examen ne suffit pas en soi à conclure à l'existence de "pôles de développement technologiques". Les forces polarisantes si elles agissaient indépendamment les unes des autres pourraient aboutir à de multiples pôles - de natures variées - et/ou être contrecarrées par des facteurs de distribution plus égale des développements techniques. Nous n'avons pas examiné les facteurs contraires à la polarisation qui sont pourtant bien connus dans l'économie de marché. Une vérification empirique devrait aussi s'assurer que les forces de dispersion et la répartition équilibrée du développement technique ne viennent pas contrecarrer les effets de polarisation qui se combinent et convergent. Même un agnostisme statistique devrait cependant conclure à la probabilité, vu le grand nombre de forces de polarisation, de la rencontre synergétique de telles forces et donc à la polarisation de l'espace de développement technique. Mais au-delà d'un raisonnement probabiliste, il est nécessaire

d'expliciter comment se combinent ces facteurs de polarisation pour générer une dynamique polarisante.

C. La combinaison dynamique des facteurs

Nous avons déjà examiné plus haut comment l'apprentissage et les économies de variété se combinent. Nous avons aussi mentionné que les occasions de variations adaptatives et de coûts partagés de facteurs poussent à la diversification. Cette variation de produits augmente le savoir-faire et cette augmentation à son tour induit de nouvelles variations de produit. Nous sommes donc en présence d'un mécanisme d'auto-renforcement, typique de la dynamique.

(Voir graphique 6, page 30)

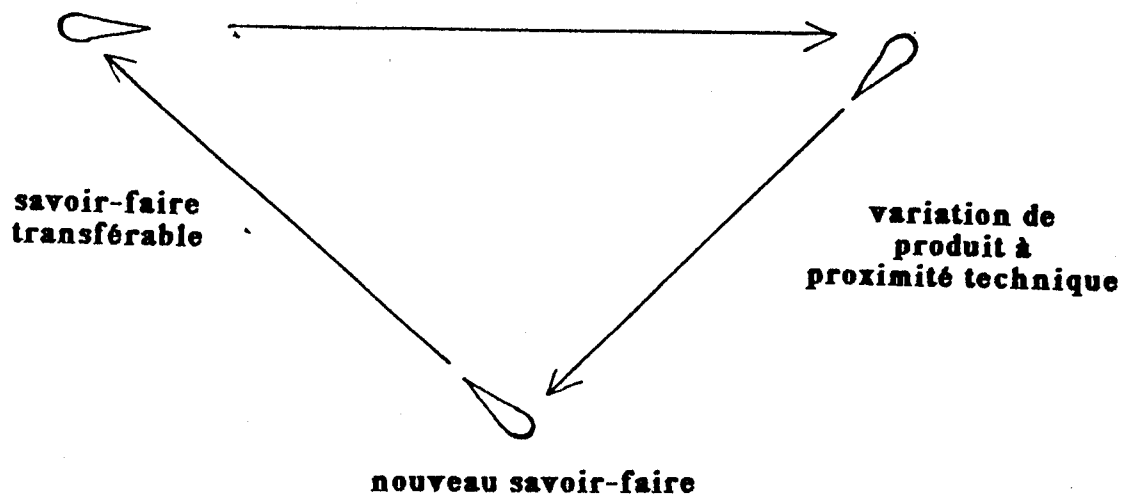
Schmookler (1966) a établi que l'investissement fixe orientait l'activité inventive pour les équipements. Nous avons confirmé que cet effet d'induction par l'investissement se manifestait par l'innovation (1984). D'autres ont établi que cet effet s'étendait à tous les procédés (Scherer, Seguin-Dulude). D'autres encore ont montré que dans la chimie (et probablement dans d'autres industries reliées à une discipline scientifique comme l'électronique, la biochimie, l'énergie nucléaire), si le démarrage des inventions suit les grandes inventions scientifiques, une fois l'industrie établie ce sont les investissements fixes qui vont orienter l'activité inventive (Walsh et al). L'incitation positive de l'investissement fixe va dans la même direction que la contrainte systémique, plus restrictive, de la technique. Le coeur d'un procédé de production est souvent constitué par un ensemble d'équipement, voire une machinerie centrale. Ce système productif va restreindre l'éventail des questions techniques pertinentes à résoudre. Les techniques d'appui devront être compatibles et complémentaires. L'investissement fixe dans un système productif combine les incitations économiques et les contraintes systémiques pour orienter le champ de l'exploration inventive et innovatrice.

(Voir graphique 7, page 30)

Une matrice d'adjacence de l'interaction de facteurs permettrait de repérer certains effets positifs de renforcement et les effets négatifs (matrice 2, p. 31). Quand les cellules symétriques par rapport à la diagonale sont toutes les deux du même signe, nous sommes en présence des effets qui se renforcent mutuellement - donc de dynamiques de polarisation. Nous

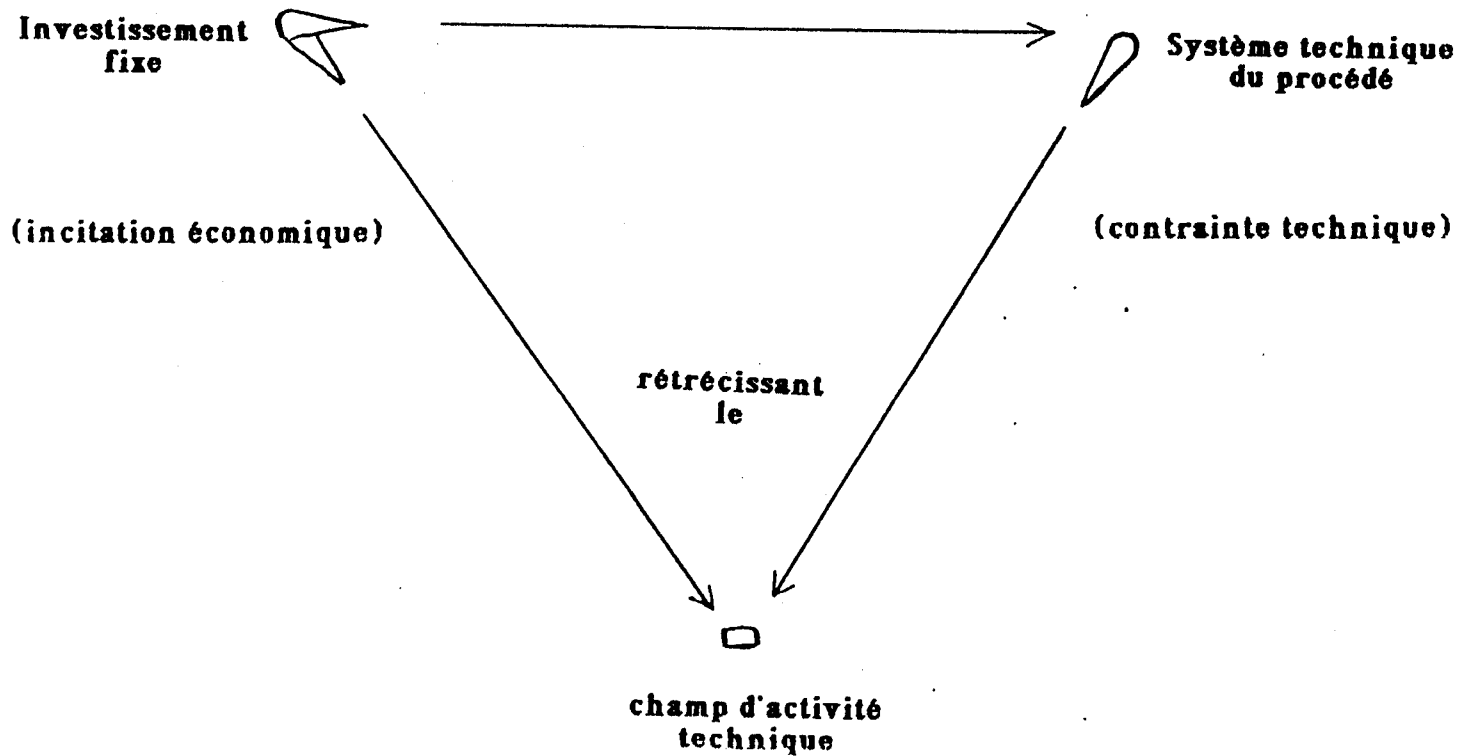
Graphique 6

Mécanisme d'induction dynamique
qui se renforce lui-même



Graphique 7

Effets convergents



signalé que des combinaisons qui nous sont connues. Certaines combinaisons ont été signalées plus haut. D'autres ont été indiquées auparavant: l'externalité des investissements (où l'investissement total est moindre que la somme des investissements d'une entreprise isolée) explorée par Scitovsky (1954) est complémentaires aux économies d'étendue (ou sous-additivité des coûts) incitant à la variation. Selon Teece, les économies externes et les coûts de transactions poussent les firmes à tenter d'internaliser les bénéfices externes (1982:53). Williamson suggère que l'aspect "tacite" du savoir-faire et les coûts prohibitifs de transaction contractuelles empêche l'échange et exige l'internalisation organisationnelle (1975). Quels en sont les effets sur la distribution spatiale du développement technique? De nombreuses combinaisons de facteurs restent à explorer.

MATRICE 2

Interaction dynamique de facteurs de polarisation

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	?
1. Discontinuités paradigmatiques	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
2. Systèmes techniques	?	?	?	?	?	+	?	?	?	?
3. Apprentissage	?	?	?	+	?	?	?	?	?	?
4. Economie d'étendue	?	?	+	?	+	?	?	?	?	?
5. Externalités verticales	?	?	?	?	?	+	?	?	?	?
6. Mécanismes incitatifs	?	+	?	?	?	?	?	?	?	?
7. appropriabilité	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
8. Coûts des transactions	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
9. Profits innovateurs	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

Nous ne sommes pas les premiers à suggérer que ce sont les combinaisons de facteurs qu'il nous faut examiner. Nathan Rosenberg suggérait que c'était le "couplage" d'industries qui devrait faire l'objet de notre attention pour l'examen du développement technique (1985). Perroux parle aussi de couplage (1961:216) et des "interactions réciproques entre les initiatives" (1961:211). C'est se situer là dans une logique

scientifique qui tienne compte de la méthode d'analyse évolutive où l'on raisonne sur les contraintes (ce qui ne peut pas être) avant de raisonner sur les incitations (de ce qui est) mais aussi sur la rencontre synergétique de facteurs qui se renforcent mutuellement (et paralysent provisoirement les autres synergies potentielles).

Le temps nécessaire: la longue durée

Le déploiement de mécanismes de polarisation exigerait que l'on examine comment se constituent de tels pôles de développement technique dans le temps. Ceci exigerait des données historiques de longue durée. Nous pouvons émettre l'hypothèse que les innovations s'agglutinent en grappes par "effets de jonction" et par à-coups. Une succession de déséquilibres s'ensuit. La création d'un pôle est implicitement l'interdiction d'un autre.

Tout pôle crée son désert. Nous sommes en présence de phénomènes dichotomiques: création/destruction, structuration/déstructuration, pouvoir /privation, inciter/défavoriser - unissant les contraires. Ainsi, un foyer de développement pourra être entouré de zones de stagnation. L'investissement séculaire de l'Angleterre dans la technologie de la machine à vapeur, de l'acier et des textiles a retardé la diffusion des techniques subséquentes. Les points de force du passé agissant comme force d'inertie sur les reconversions présentes. De même aujourd'hui, la spécialisation passée de l'Allemagne dans l'industrie d'équipements lourds et la chimie ne semble pas favoriser leur participation dans la micro-électronique miniaturisée et la bio-énergie. Cela expliquerait aussi la facilité avec laquelle le Japon a dépassé technologiquement les Etats-Unis dans des technologies - semi-conducteurs et bio-ingénierie - où ces derniers étaient pourtant les pionniers.

Mais, comment ces impulsions se suivent-elles pour constituer des pôles? Quelle est la séquence ordinale de ces retour à l'équilibre en chaîne? Ont-ils un certain ordre séquentiel? Nous le pensons. La séquence elle-même serait dynamique. La prise en considération de l'espace technique et industriel permettrait ainsi de renouveler l'analyse de mouvements en longue période. Mais, il s'agit là d'un autre travail (DeBresson, 1986).

II. LES OUTILS DU REPERAGE STATISTIQUE: UNE APPLICATION DES GRAPHE DIRIGES

Toute analyse économique qui se veut scientifique doit se donner d'emblée les outils de vérification expérimentale dans l'histoire. Les éléments de vérification empirique sont à chercher dans la liaison technique, plus particulièrement entre les innovations. Le mode d'analyse en est l'analyse inter-industrielle. Les instruments en sont l'analyse des graphes dirigés (digraphes). Nous ne ferons ici qu'esquisser comment l'on peut opérationnaliser l'analyse des pôles techniques du développement. Les principes et les mathématiques en sont facilement accessibles par des représentations graphiques et l'important est que, malgré la simplicité des flèches et des points, leur analyse mathématique est rigoureuse.

Les grandes enquêtes sur l'innovation technologique qui se sont faites récemment en Angleterre, en France, au Canada, en Italie, peut-être demain aux Etats-Unis en sont l'occasion (en particulier de celles qui sont représentatives¹³ des échanges inter-industriels). L'inclusion de renseignements tant sur les fournisseurs que sur les premiers et principaux utilisateurs est le pré-requis pour pouvoir analyser les liaisons inter-

¹³ Il est raisonnable de supposer que les industries qui sont techniquement le plus intégrées en amont sont aussi celles qui seront les plus grandes utilisatrices d'innovation, ce qui fut largement confirmé dans le cadre du Canada. Ceci n'est cependant pas une hypothèse raisonnable pour le vecteur de l'offre (DeBresson et Murray, 1984).

industrielles. L'établissement de matrices d'interactions innovatrices est le point de départ¹⁴.

Soit une matrice d'interactions innovatrices avec la forme (et de quantités fictives pour les besoins de la présentation) suivante¹⁵:

(voir matrice 3, page)

Cette matrice représente le stock d'innovations en usage à l'an t (ou stock d'inventions brevetées ayant encore pouvoir légal)¹⁶ pondéré par le degré de nouveauté.

La matrice éparse peut être réduite par une analyse discriminante à des groupes d'industries relativement homogènes, sans pour autant perdre de l'information quant à la distinction des types d'interaction ou leur hiérarchie. Pour regrouper les industries entre elles et ne pas perdre d'information, il faut prendre les deux vecteurs, offre et demande. En d'autres termes, pour être regroupées ensemble toute industries devront avoir les mêmes usagers (colonnes) et les mêmes fournisseurs (rangées).

¹⁴ Des critiques de la notion de "pôle de croissance" ont conclu hâtivement que l'analyse entrée sortie de Leontieff et Chenery était incapable de montrer les aspects dynamiques et ses origines techniques. Voir par exemple Lasuan ou Higgins. Cependant, ce n'est pas la technique du tableau inter-industriel - relativement neutre en soi - qui est en cause mais son objet et mode de traitement. Si le contenu du tableau est des biens et services, il est certain que les coefficients d'intrants (faussement appelés "coefficients techniques") nous révèlent peu sur la liaison technique. La comparaison de deux matrices de "coefficients d'intrants" ne permet qu'une comparaison d'état statique, non pas une analyse dynamique. Mais si l'objet de la matrice représente les interactions innovatrices (DeBresson et Murray, 1984) ou inventives (Scherer), nous pouvons mieux capter les courants de la transformation technique. Aussi, Hirschman (81:63) conclut hâtivement que l'analyse entrée sortie est par nature "synchronique" cela dépend du mode d'analyse des matrices. Si nous considérons la matrice innovatrice comme représentant des niveaux de stock de savoir-faire technique - non pas comme un flux -, l'analyse n'est pas alors de repérer des équilibres mais des "noeuds de transmission privilégiés" (Aujac 60:182). Alors qu'une analyse d'interdépendance recherche des équilibres de flux, nous sommes intéressés par la constitution d'hiérarchie dans l'augmentation de stocks. Ici la triangulation de la matrice peut révéler les aspects d'asymétrie et l'analyse de graphes dirigés est plus appropriée.

¹⁵ Cette représentation simplifiée est fondée sur l'expérience d'analyse de deux exemples: l'Angleterre (1978) et le Canada (1984).

¹⁶ L'innovation en usage est un indicateur plus adapté car il représente un savoir-faire éprouvé et entretenu commercialement, alors que l'invention brevetée ne représente souvent qu'une potentialité.

MATRICE 3
Matrice de départ dans le désordre
(première utilisation des innovations)

	a ₁	a ₂	a ₃	b ₁	b ₂	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄	d ₁	d ₂	d ₃	e ₁	e ₂	e ₃	e ₄	f ₁	f ₂	
a ₁	10	0	4	6	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	9
a ₂	4	10	2	0	8	0	0	0	0	7	12	13	0	0	0	0	0	0	0
a ₃	4	2	15	0	0	9	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	18	9
b ₁	0	0	0	8	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
b ₂	0	0	0	4	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
c ₁	1	0	0	9	0	1	0	0	0	3	0	6	3	0	6	6	5	3	
c ₂	0	2	2	7	12	0	1	0	0	1	2	3	2	4	5	0	4	5	
c ₃	1	0	5	8	14	0	0	1	0	4	2	1	9	5	3	2	3	4	
c ₄	0	2	0	6	6	0	0	0	1	0	2	3	2	0	5	4	3	7	
d ₁	0	0	0	2	2	0	0	0	0	2	4	2	0	0	0	0	12	8	
d ₂	0	0	0	2	2	0	0	0	0	1	3	1	0	0	0	0	7	13	
d ₃	0	0	0	1	3	0	0	0	0	5	4	2	0	0	0	0	9	12	
e ₁	3	3	2	5	9	0	0	0	0	1	2	2	4	3	6	8	2	7	
e ₂	1	4	2	0	6	0	0	0	0	0	1	0	7	5	3	4	4	4	
e ₃	4	4	2	4	7	0	0	0	0	0	2	1	4	7	6	3	3	3	
e ₄	3	4	6	6	5	0	0	0	0	0	1	3	3	3	2	4	2	3	
f ₁	0	0	0	11	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	12	
f ₂	0	0	0	9	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	11	

MATRICE 3b

**Matrice simplifiée
(première utilisation)**

		A	B	C	D	E	F
O	A	51	23	0	41	0	36
F	B	0	24	0	0	0	0
F	C	13	62	4	27	58	34
R	D	0	12	0	23	0	61
E	E	38	42	0	13	72	23
	F	0	39	0	0	0	41

MATRICE 3C

**Matrice triangulaire
(première utilisation)**

		B	F	D	A	E	C
O	C	62	34	27	13	58	4
F	E	42	23	13	38	72	0
F	A	23	36	41	51	0	0
R	D	12	61	23	0	0	0
E	F	39	41	0	0	0	0
	B	24	0	0	0	0	0

(Voir Matrice 3b, page 36)

La matrice originale (ou simplifiée) peut aussi être transformée en une matrice triangulaire (Miernyk, 1965). La diagonale de cette matrice permet de repérer immédiatement toutes les interactions réflexives.

(Voir Matrice 3c, page 36)

Cette matrice triangulaire contient l'essentiel des informations mises en ordre. A partir d'elle, il est aisé d'établir des di-graphes (dirigés). Pour distinguer les différents types d'interactions innovatrices nous utilisons les concepts simples de la théorie des graphes pour caractériser les interactions:

- réflexivité (aRa)
- symétrie ($aRb \rightarrow bRa$)
- transitivité ($aRb, bRc \rightarrow aRc$)

(En théorie des graphes, il serait plus exact d'appeler ces interactions des liaisons réservant le terme d'interaction pour une liaison symétrique. Nous utiliserons cependant le terme d'interaction pour dénoter toutes les liaisons car dans le processus d'innovation, comme nous l'avons indiqué plus haut, le premier utilisateur d'une innovation est tout aussi impliqué dans la genèse que son fournisseur.)

Ensuite il s'agit de définir à partir de la théorie des graphes des structures simples bien distinctes. Ces structures doivent être disjointes et avoir une pertinence analytique:

1 - nous appellerons "point de développement technique" une industrie qui ne possède qu'une interaction innovatrice réflexive;

2- nous appellerons couple innovateur tout couple d'industries qui possède des interactions innovatrices symétriques de telle sorte que chacune fournit de l'innovation à l'autre;

L'analyse des di-graphes ne devient intéressante, cependant, que lorsqu'elle implique au moins trois acteurs (sommets):

3- Nous appellerons agglomération simple tout graphe connexe tel que pour tout sommet du graphe (industrie), s'il existe un chemin de a vers b il est unique.

4- Nous appellerons "complexe" un graphe connexe G tel qu'il existe un sous-graphe complet ou semi-complet de G mais pas de sous-graphe de G qui soit une clique. Dans les complexes techniques, il nous faut distinguer entre ceux qui possèdent certaines mais pas toutes liaisons symétriques et ceux qui possèdent aussi certaines (mais pas toutes) liaisons transitives. Si il y a un chemin de a à b, de b à c et, transitivement, de a à c nous appellerons le complexe concurrentiel car c ne dépend pas seulement d'une source d'offre d'innovation (b) mais a peut décider de fournir l'innovation directement à c sans l'intermédiaire de b.

5- Nous appellerons une clique un graphe complet ou semi-complet d'ordre égal ou supérieur à trois. Dans une clique, tous les chemins entre les acteurs sont utilisés.

(Voir graphique 8, page 39)

Ceci sont les structures fondamentales. Il peut se combiner ensuite des combinaisons de ces structures fondamentales: cliques et agglomération, etc.

L'important, cependant, n'est pas de trouver immédiatement toutes les structures théoriquement possibles, car sur nos matrices éparses de nombreuses structures n'existeront pas. Mais l'important est de définir des structures de di-graphes disjointes telle qu'il existe une structure correspondante, et une seule, sur une matrice.

Du point de vue de l'interprétation, il y a bien évidemment des nuances importantes en les différentes combinaisons de structures. Si une clique est fermée et ne propage pas ses innovations à l'extérieur d'elle-même elle peut constituer une "enclave technologique" dont les effets dynamiques sont circonscrits.

Graphique 8

Di-graphe simple

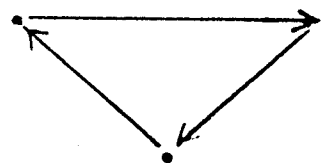
1. point de développement



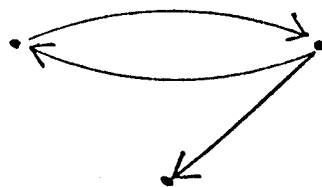
2. couple innovateur



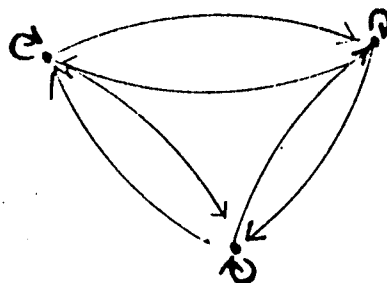
3. agglomération simple



4. complexe technique



5. clique



Aussi dans une agglomération simple composé par des arbres de liaison, le degré intérieur (nombre de liaison en amont) d'une industrie (sommet) et le degré extérieur (nombre de liaisons en aval) ont leur importance.

Ayant ainsi distingué les différents types et structures d'interactions, il est ensuite possible de distinguer, au sein de chaque type, leur dimensions relatives par l'intensité des interactions entre chaque acteur et le nombre d'acteurs impliqués.¹⁷

Ce repérage statistique des agglomérations statistiques d'interaction et la différenciation du degré d'intégration de ces interactions entre elles permet d'identifier la présence et la puissance des pôles techniques du développement .

L'existence de pôles d'interactions innovatrices indique des effets de synergie dans la génération de nouvelles techniques. Cet indicateur nous paraît être relativement fiable pour repérer des pôles techniques du développement. Une analyse similaire peut être faite sur une matrice d'offre et de demande des inventions brevetées et une matrice des échanges de capital fixe.

La polarisation de la matrice technique (innovation ou brevet) devrait être confrontée à celle des échanges de biens et services et ce, dans deux buts.

Il se peut que la polarisation de la technique ne provienne pas de facteurs propres à la technique mais simplement de la structure industrielle - sans plus. Dans ce cas, nous devrions nous attendre à ce que la matrice technique (innovation, brevets, biens de capitaux fixes) ne soit ni plus ni moins polarisée que celle des biens et services (comme celles par exemple analysées par Mougeot, Auray, Duru, 1979). Pour vérifier la vraisemblance d'effets de polarisation proprement techniques, il faudrait que la matrice technique soit plus polarisée que celles des biens et services ou polarisée d'une autre manière.

¹⁷ Pour une bonne introduction aux di-graphes, voir A. Kaufmann Des points et des flèches... la théorie des graphes Paris: Dunod 1968

Cette correspondance entre polarisation du Tableau d'Echange Inter-Industriel et de la Matrice d'interactions Innovatrice pourrait varier vraisemblablement selon les pays. Certains pays bien intégrés et technologiquement dynamiques pourraient constater une grande similitude dans la polarisation des deux matrices. D'autres, semi-industrialisés et très spécialisés, pourraient n'avoir que certains pôles techniques dans leur Tableau d'Echange Inter-Industriels¹⁸. L'existence d'effets de polarisation de la technique ne nous renseigne cependant pas directement sur les facteurs qui la polarise. Une fois identifié les pôles, encore faut-il en déterminer les causes. Une analyse statistique ex-post devrait permettre d'isoler l'effet de chaque facteur et l'effet interactif combiné de plusieurs facteurs convergents. L'analyse des facteurs de polarisation peut ainsi constituer un corps cohérent d'hypothèses à tester. Les banques de données existant sur l'innovation en Angleterre et au Canada, bientôt en Italie, ainsi que celles sur les brevets au Canada et aux Etats-Unis permettraient, avec les tableaux économiques inter-industriels, d'opérer un contrôle empirique sur les facteurs de polarisation.

DE L'ANALYSE EX-POST A L'ANALYSE EX-ANTE

Une analyse économique qui vise à fonder des choix politiques doit non seulement être conçue pour permettre la vérification rétrospective des hypothèses mais aussi comme guide pour l'action et se soumettre à l'épreuve de l'action. Seulement à cette condition, la notion de pôle de développement technologique peut-elle devenir opérationnelle.

Selon notre définition (p. 7), les pôles techniques du développement se mesurent par l'innovation à l'intersection de l'espace économique et technique.

Sans préjuger de la vérification complète du corps d'hypothèses avancé dans cet article, nous pouvons déjà en supposer quelques articulations analytiques. Bien qu'un espace économique structuré prédispose à l'existence d'effets de polarisation technique, les facteurs économiques n'en seraient qu'une condition nécessaire, mais non suffisante.

Ces conditions économiques nécessaires nous permettraient cependant de réduire le champ de l'espace probable où nous trouverons une

¹⁸ Je tiens à remercier Daniel Leblanc pour cette suggestion.

polarisation technique. La hiérarchie de la demande stable directe, intermédiaire et finale pour les biens et les services d'une part, la structure de la demande pour les équipements d'autre part, constituent ensemble des mécanismes d'induction qui sont nos guides les plus sûrs pour délimiter le champ possible et probable. Par ailleurs, la matrice d'offre et d'utilisation probable des inventions brevetées indiquerait les zones où l'espace technique s'est étendu, y incitant les innovations. Les pôles de développement techniques pourraient se trouver ainsi inclus (nested) au sein des grappes d'industries repérées dans les analyses hiérarchiques de la demande dans les matrices de biens et de services et d'équipements (Mougeot, Duru et Auray, 1979) et les matrices de brevets. Mais il n'y aurait là aucun automatisme.

L'espace économique structuré rend soutenable une activité technique. Mais c'est l'innovation elle-même qui vient modifier les coefficients d'intrants d'une matrice d'échange inter-industriel en quantités physiques¹⁹. Nouvelle combinaison de facteurs de production, l'innovation diffusée va modifier la base physique de ces coefficients. Mais c'est la diffusion de l'innovation qui va avoir ce résultat. Cependant, si on attend que la diffusion à travers toute l'industrie de l'innovation se soit faite, nous nous condamnons à une analyse rétrospective. Par contre si l'on veut pouvoir anticiper les transformations de structure par l'innovation, il nous faut raisonner sur la matrice des interactions techniques (innovations). Car l'innovation dans de nouveaux domaines peut se trouver en dehors des grappes de demande. Bien que ce qui est économiquement soutenable soit plus probable, il n'est pas totalement exclu que ce qui va arriver soit le moins probable. Les découvertes scientifiques peuvent ouvrir de nouveaux champs. Ainsi, rien n'émancipe le chercheur de la nécessaire analyse des régularités d'interactions inter-industrielles dans les brevets et les innovations. Les enquêtes sur l'innovation sont nécessaires pour repérer les pôles de développement techniques.

¹⁹Dès que nous passons à une matrice TEI avec des prix, les coefficients d'intrants reflète bien autre chose que la technique, et le terme de "coefficient technique" est trompeur.

III. IMPLICATIONS ET LIMITES

D'entrée de jeu, nous avons expliqué que nous n'étions pas préoccupés de l'espace territorial et, par une polarisation régionale. Nous analysons la polarisation dans un espace technique en rapport avec l'espace économique. Il se peut qu'il y ait des conséquences spatiales industrielles et même territoriales. Nous avons indiqué que l'espace de communication physique (section IA8 ci-dessus) permet d'opérer une transition entre l'espace abstrait et un espace tangible et praticable. Mais, nous sommes concernés ici par les conditions d'apparition d'une dynamique d'accumulation technique, et non pas ses conséquences. En particulier, nous ne sommes pas concernés par les pôles régionaux qui répondent aux disparités régionales. Les économistes régionaux se préoccupent trop des effets d'agglomération, de "backwash" et de diffusion conçue en terme de flux et non en tant qu'accumulation dynamique de stock, ne laissant, en conséquence, pas de place à la technique.

Il se peut qu'un pôle de développement suscite et s'accompagne d'ensembles industriels (Perroux 61:188-189), de "complexes" inter-industriels, peut-être même de "pôles de croissance" mais cela n'est pas nécessairement le cas. La traduction d'une avance technique en croissance économique n'est ni immédiate ni directe²⁰. Cela requiert un examen particulier. Tel n'est pas notre propos.

Nous ne voulons pas nier qu'il y ait probablement des relations entre les deux. Par exemple, l'effet de retour en demande d'investissement (Aftalion, 1909) aurait un effet d'induction sur la direction de l'innovation. Mais nous ne sommes concernés ici que par les conditions d'apparition des pôles techniques du développement, non de la relation en sens inverse (effets économiques des pôles du développement) ni des inter-relations entre les deux.

²⁰ Par exemple, Higgins a formalisé la mesure d'un pôle de croissance par l'expression $I_A = a(I_B)$ et le coefficient $a > 0$ où l'investissement (I_B) dans l'industrie "propulsive" B entraîne un investissement (I_A) dans A et suggère que la "diffusion de l'innovation n'est peut-être pas à travers la matrice inter-industrielle" (77:258). En tous les cas, les mécanismes d'inductions inter-industriels autour des pôles techniques du développement sont des phénomènes qualitatifs, modifiant les structures, et non quantitatifs. La relation entre les pôles techniques du développement et les relations quantitatives de pôles de croissance ne sont pas directes ni immédiates. D'autres facteurs semblent devoir intervenir.

A fortiori, la polarisation de l'espace fonctionnel de la technique n'est pas immédiatement ni forcément projetable sur un espace territorial ou de communication. La question se complique à cause des contraintes communicatives pour la gestation des interactions innovatives, souvent ad hoc, informelles, idiosyncratiques. Ces contraintes résultent peut-être de contraintes communicatives ou territoriales, d'autant plus que les foyers d'innovateurs sont très sensibles à l'environnement culturel, à l'abondance de ressources en main-d'oeuvre qualifiée qui préfère les régions métropolitaines à haut revenu (Vernon 1959:35-37). Ce sont ces mêmes conditions favorables à la localisation du personnel qui préside à l'environnement des "incubateurs" (Fairchild dans le "Silicon Valley", près de San José; Route 128 près de Boston). La présence dynamique de pôles de développement technique rendrait certes la présence d'incubateurs et d'agglomération de nouvelles entreprises plus probable; mais il s'agit cependant de phénomènes distincts.

«La nation du XX^e siècle trouve son ressort et son milieu vital dans les pôles de développement», selon Perroux. Il poursuit, cependant, en insistant que «pour des raisons techniques, ils sont entièrement distincts du territoire national» (1961,178). Ainsi, un pays peut dépendre de pôles de développement qui sont essentiellement externes au territoire, en posséder certains en partie localisés sur le territoire. Le Canada possède ainsi des pôles de développement technique autour de l'énergie, du traitement des métaux et du bois (intenses en énergie) mais les pôles technologiques de l'équipement desservant ces secteurs lui sont étrangers. Il s'établit des «relations inter-fonctionnelles entre les pôles de développement de l'économie mondiale»(1961:191) plus ou moins hiérarchisées - ce qui a fait dire que le Canada dépendait d'une "dynamo technologique" étrangère (voir DeBresson '86). Les pôles de développement technologique qui sont, cependant, assis sur un territoire national, seraient les points d'appui dans le commerce et l'investissement international des grandes sociétés oligopolistiques (voir les "pôles de compétitivité" d'Aglietta et Boyer et les "préférences de structures" de Jean Weiller).

Les implications opérationnelles pour les gouvernements sont évidentes. Hirschman a souvent insisté sur l'importance du repérage et de la mobilisation des ressources latentes et Perroux sur l'«enclenchement et l'entretien de processus cumulatifs». L'approche suggérée par la notion de pôle pour la politique technologique vise à soigner les interfaces, encourager les mises en relation, rassembler les éléments complémentaires, susciter des effets de jonction. Par exemple, il est bien connu que le succès dans

l'assimilation d'une technologie nouvelle tient à la formation de la main-d'oeuvre et à la création d'institutions adaptées. Notre approche suggère non pas tant l'interventionnisme par l'investissement public, bien que celui-ci puisse être nécessaire, mais d'assurer la cohérence et la complémentarité des investissements. Les effets de jonction sont, comme toutes les incitations économiques, des potentialités qu'il faut saisir - non des automatismes -. Mais ils offrent la possibilité d'enclencher des dynamismes, à partir des potentiels latents. Ainsi, le repérage des pôles techniques du développement fournit au décideur politique l'identification claire non seulement des facteurs d'inertie dans le développement technique mais aussi des éléments permettant d'enclencher une dynamique d'accumulation technique vigoureuse.

Par ailleurs, le secteur de la recherche a pour rôle de reculer les horizons techniques par les découvertes scientifiques et les projets de démonstration. Les gouvernements, même de petits pays, peuvent rendre accessibles ces nouvelles ouvertures. Alors que les effets de polarisation constituent un moment dynamique qui possède aussi son inertie spatiale, l'ouverture d'horizons techniques nouveaux peut permettre d'ouvrir stratégiquement l'axe d'un développement technique futur. Ainsi, les grands chocs technologiques ont surtout une origine externe à la technologie alors que les pôles de développement technologiques, s'ils ont leur propre synergie d'accumulation, génèrent leur propre moment d'inertie; les découvertes scientifiques les bousculent.

Au plan de la théorie, les pôles de développement technique, en ce qu'ils modifient les structures de l'économie (l'innovation recombinaut sans cesse les relations entre les intrants et les extrants) procure une médiation entre les choix micro-économiques des firmes et les décisions macro-économiques des pouvoirs publics en créant des ensembles structurés méso-économiques.

Je tiens à remercier François Perroux (ISMEA), Messieurs Nagao et Ganatsos de la C.N.U.C.E.D., Martin Bell et John Clark de Science Policy Research Unit (Sussex), mes collègues du CREDIT et Daniel Leblanc pour leurs commentaires qui ont contribué à l'élaboration de ce texte.

Références bibliographiques

Aftalion, A. (1909)

Essai d'une théorie des crises générales et périodiques

Aglietta, M. et Boyer, R.

"Pôles de compétitivité, stratégie industrielle et politique macro-économique"

Paris: Capi-Cepremap # 8223

Atkinson A.B. et Stiglitz J.E. (1969)

"New View of Technological Change"

Economic Journal XXIX Sept:573-578

Aujac, H. (Mars 1960)

"La hiérarchie des industries dans un tableau des échanges inter-industriels, et ses conséquences dans la mise en oeuvre d'un plan régional décentralisé"

Revue Economique 11:169-238

Auray, J. P., Duru, G. et Mougeot, M. (1979)

"A Pre-Topological Analysis of the Input-Output Model"

Economic Letters 2(4):343-347

 "Some Pre-Topological Properties of Input-Output Models and Graph Theory" in Oetill, Werner et Steffens, Franz (eds.)
 IIIrd Symposium on Operations Research
 September 6-8, 1978 : 31-35

Aydalet, P. (No 1965)

"Notes sur les économies externes et quelques notions connexes"

Revue Economique 16:944-973

Arrow, K. (1962)

"The Economic Implications of Learning by Doing"

Review of Economic Studies XXIX:154-174

- (1974)
The Limits of Organization
 New-York: Norton
- Berry, B.J.L. et Pred, A. (1965)
Central Place Studies - A Bibliography of Theory & Applications
 Philadelphia: Regional Science Research Institute
- Blaug, M. (1963)
 A Survey of the Theory of Process Innovations
Economica
 reprinted in Rosenberg, N (ed.)
Penguin Modern Economic Readings:
Economics of Technical change
- Boudeville, J. (1961)
Les Espaces Economiques
 Paris: Presses Universitaires de France
- Campbell, J. (April 74)
 "Note on Growth Poles"
Growth & Change 5 (2):43-45
- Chenery, H.B. et Watanabe, T. (Oct 1958)
 "International Comparisons of the Structure of Production"
Econometrica: 487-521
- DeBresson, C. et Lampel, J. (1985a)
 "Bombardier's Mass Production of Snowmobiles: the Canadian
 Exception"
Scientia Canadensis
- (1985b)
 "Beyond the life cycle: Organizational & Technological Design"
 I. A New Perspective
 II. An Illustration
- et Townsend, J. (1978)
 "Notes of the Inter-Industrial Flow of Technology in Post War
 Britain"
Research Policy 7

- et Murray, B. (1984)
Innovation in Canada, (2 vols.). Vancouver: C.R.U.S.T. reprint
- (à paraître)
 "Economics of Scope, Technical Change and Time"
- (à paraître)
 "A la Sombra de la dinamotecnologica: mitos e realidades de la
 dependencia tecnologica de Canada"
Mondes en développement
- (à paraître)
 "Derrière les longues périodes de transformation techniques:
 une séquence dynamique de diffusion inter-industrielle"
 (leçon au Collège de France juin 1986)
- Demsetz (1967)
 "Toward a theory of Property Rights"
American Economic Review
- Dosi, G.
 "Technological paradigms and technological trajectories: As suggested
 interpretation of the determinants and directions of technical
 change"
Research policy 11: 147:162
- Dunning, J. (1981)
 "Explaining the International Direct Investment Position of Countries;
 Towards a Dynamic Approach"
Westwirtschaftliches Archiv 117(2)
- Fellner, W.J. (1961)
 "Two Propositions in the Theory of Induced Innovations"
Economic Journal 71:305-308
- (August 1969)
 "Specific Interpretations of Learning by Doing"

Journal of Economic Theory 1(2): 119-140

Friedmann, J.R. (1972)

"A General Theory of Polarized Development"
in Hansen, N.M.

Growth Centers in Regional Economic Development.
New York: Free Press

Gille, B.

Histoire des techniques: technique et civilisations.
technique et sciences

Paris: Gallimard

Goldstein, G.S. et Gronberg, J.J. (1984)

"Economies of Scope and Economies of Agglomeration"
Journal of Urban Economics 16:91-104

Gold, B.

"On the the Theory of Induced Innovation"
Revue d'Economie Industrielle

Griliches, Z. (1957)

"Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of
Technological Change"
Econometrica 25(4)

Hansen, N.M. (1969)

Growth Centers in Regional Economic Development
New York: Free Press

----- (1971)

Intermediate Size Cities as Growth Centers
New York: Praeger

Hermansen, I. (1972)

"Development Poles and Growth Centers in Regional Planning"
in Kuklinski, A. R. Growth Poles and Growth Centers in
Regional Planning, pp. 1-68
The Hague: Mouton,

Hicks, J.R. (1973)

Capital and Time

Oxford: Oxford University Press

Higgins, B. (Oct. 1983)

"From Growth Poles to Systems of Interactions inSpace"
Growth and Change 14(4):3-13

----- (1977)

"Development Poles: Do They Exist?"
Economie Appliquée 2:241-258

----- (Avril 1971)

"Pôles de croissance et pôles de développement comme
concepts opérationnels"
Revue Europeenne des Sciences Sociales
(Cahiers Vilfredo Pareto) #24

-----, Martin, F., Raynauld, A.

Les orientations du développement économique régional
du Québec
M.E.E.R. (Canada)

Hirschman, O.

Strategies for Economic Development
New Haven: Yale University Press

Isard, Walter, Schooler, E., et Victorisz, T. (1959)

Industrial Complex Analysis and Regional Development
Cambridge: MIT Press

Jones, L.P. (May 1976)

"The Measurement of Hirschman Linkages"
Quarterly Journal of Economics 90 (76):308-43

Johnson, H.G. (1975)

"Technological changes and comparative Advantage:
An advances Country's Viewpoint"
Journal of World Trade Law, Vol. 9

Kuklinski, A.R. (1971)

Contribution to Regional Planning and Development

Mysore, India: I.D.S.

----- (1972)

Growth Poles and Growth Centers in Regional Planning
The Hague: Mouton

Kuznets, S. (1930, reprint 1967)
Secular Movements in Production and Prices
New York: Augustus M. Kelley

Lasuen, J.R. (Juin 1969 et Fevrier 1970)
"On Growth Poles"
Urban Studies 6(2):137-161

----- (1970)

"Urban Hierarchy Stability and Spatial Polarisation: A Rejoinder"
Urban Studies 7(1):84-88

Leontief, W.
(On input output structures of economics)
Scientific American

Levin, R. (1982)
(chapter On semiconductor industry)
in Nelson R.R. Government and Technical Progress- A Econ-Industry
Analysis
New-York: Pergamon

Lloyd, P.J. (1983)
"Why Do Firms Produce Multiple Outputs ?"
Journal of Economic Behaviour and Organization 4:41-51

Marshall, A. (1925)
Principles of Economics
London & New-York: Mac Millan

Masson, D. (1960)
Méthode de triangulation du Tableau européen des
échanges inter-industriels"
Revue Economique 11(2):239-265

- Miernyk, W.H. (1965)
The Element of Input-Output
New York: Randon
- Moch, R.
"Le Tournant Informatique"
in Nora, S. et Minc, A. L'Informatisation de la société, (4 vols.)
- Mougeot, M., Duru.G. et Auray, J-P. (1977)
La structure productive française
Paris: Economica
- (1980)
Les structures industrielles europeennes
Paris: Economica
- Mowery, D. et Rosenberg, N.
"The influence of the market demand upon innovations: a critical review of some recent empirical studies"
Research Policy 8(2):102-153
- Nordhaus, W.D. (1973)
"Some Skeptical Thought on the Theory of Induced Innovation"
Quarterly Journal of Economics: 208-219
- Oahey, R. (1984)
High Technology Small Firms: Regional Development in Britain & the United States
New-York: St. Martin's Press
- Paelinck, J. (Mars 1965)
"La théorie du développement régional polarisé"
Cahiers de l'ISEA L(15):10-14
- Panzar, J.C. & Willig, R.G. (May 1981)
"Economics of Scope"
A.E.R. 71 #2:268-272

Pasinetti, L. L. (1980)

Essays on the Theory of Joint Production

New York: Columbia University Press

Pavitt, K. (1982)

"R & D patenting and innovative activities: A statistical exploration"

Research Policy 11:33-51

Perroux, F. (Mai 1984)

"Financement instable et grandes innovations"

Economies et Sociétés XVIII (5):71-92

----- (1978)

"Politique de la Science, Analyse de l'innovation et de sa propagation"

Cahiers de l'ISMEA (HS) #23:1539-1571

----- (1975)

Unités actives et mathématiques nouvelles:

Révision de la théorie de l'équilibre économique général

Paris: Dunod

----- (1965)

La Pensée économique de Joseph Schumpeter

Geneve: Droz

----- (1961)

L'Economie du XXIème siècle

Paris: P.U.F.

----- (1958)

La Coexistence pacifique: II. Pôles de développement ou nations

Paris: Presses Universitaires de France

----- (1956-57)

La Théorie générale du progrès économique

Cahiers de l'ISEA (I)1,2,3,#47

----- (1955)

"Note sur la notion de pôle de croissance"

Economie Appliquée VIII (1-2):307-320

- ()
"Matériaux pour une analyse de la croissance économique"
Cahiers de l'ISEA (D) # 8
- (1949)
"Economic Spaces: Theory and Applications"
Quarterly Journal of Economics
- Piore, M. (1968)
"On the Job Training in a Dual Labor Market"
in Weber, A. Public - Private Manpower Politics
IRRA
- Pred, A. R. (1966)
The spatial Dynamics of U.S. Urban Industrial Growth: 1800-1914
Cambridge: MIT Press
- Rosenberg, N. (1985)
Perspectives on Technology
Armonk: M.E. Sharpe, Inc.
- Salter, W.E.G. (1960)
Productivity and Technical Changes
Cambridge
- Scherer, F.M. (1982)
"Inter-industry technology flows in the United States"
Research Policy 11:227-245
- Séguin-Dulude, L. (1983)
"Analyse inter-industrielle des brevets canadiens: Schmookler et/ou Schumpeter"
(Atelier de recherche sur le développement technologique du Canada,
Université de Montréal)
- Schmookler, J. (1966)
Invention and Economic Growth
Cambridge: Harvard University Press

Schumpeter, J.A. (1939)

Business Cycles: A theoretical, historical and statistical analysis of the capitalist process (2 vols.)

New York: McGraw-Hill Book Company

Scitovsky, T. (1954)

"Two Concepts of External Economics"

The Journal of Political Economy LXII(2):143-151

Seguin-Dulude, L. (1982)

"Les flux technologiques inter-industriels: une analyse exploratoire du potentiel canadien"

L'Actualité économique 58(3):259-282

Sraffa, P. (1960)

Production of Commodities by Means of Commodities

Cambridge: Cambridge U. Press

Svennilson, T.

Growth & Stagnation in the European Economy

League of Nations

Teece, D. (Sept. 1980)

"Economies of Scope and the Scope of the Enterprise"

Journal of Economic Behaviour & Organization 1:223-245

Usher, A.P. (1954)

The History of Mechanical Inventions

Cambridge: Cambridge U. Press

Yotopoulos, P.A. et Nugent, J.B. (May 1973)

"A Balanced Growth Version of the Linkage Hypothesis: A Test"

Quarterly Journal of Economics LXXXVII (2):157-171

Vernon, R. (1959)

The Changing Economic Function of the Central City

New York: Committee for Economic Development

Weisskoff, R. Wolff, E. (July 1977)

"Linkages and Leakages:

Industrial Tracking in an Enclave Economy"
Economic Development & Cultural Change
25:607-28

Williamson, O.E. (1975)

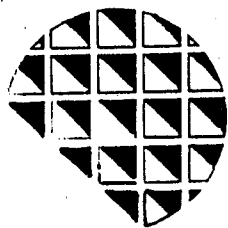
Market & Hierarchies: Analysis and Antitrust Implications
New York

Wozniak, G.D. (Feb 1984)

"The Adoption of Inter-Related Innovations:
A Human Capital Approach"
Review of Economics and Statistics LXVI(1):70-79

Titres déjà parus:

- 86-01 Faucher, Philippe, "Le bon sens contre la raison: commentaires critiques autour d'un rapport du Conseil économique du Canada."
- 86-02 Duquette, Michel, "Libéralisme ou nationalisme dans la politique énergétique canadienne?"
- 86-03 Niosi, Jorge and Philippe Faucher, "Public Enterprises Procurements and Industrial Development: The Case of Hydro-Quebec."



CENTRE DE RECHERCHE
EN DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL ET TECHNOLOGIQUE

Le Centre de recherche en développement industriel et technologique a débuté ses activités en janvier 1986. Il regroupe des chercheurs oeuvrant dans les champs de l'économie, de la sociologie et de la science politique qui partagent un vif intérêt pour les problèmes de développement des structures industrielles et du transfert des technologies.

A l'origine de ce regroupement se situe le programme des "Actions structurantes" du ministère de l'Enseignement supérieur et de la science du Québec, destiné à favoriser l'essor de la recherche dans le secteur prioritaire de la maîtrise technologique. En vertu de ce mandat et des fonds qui lui ont été attribués, le Centre est appelé à se pencher sur l'étude du transfert de la technologie canadienne dans le domaine stratégique de l'énergie. Il s'agit d'un ensemble de recherches d'une durée prévue de cinq ans impliquant la participation de professeurs réguliers, professeurs-chercheurs, d'étudiants des deuxième et troisième cycle.