Université de Montréal

LES INVESTISSEMENTS EN TECHNOLOGIES FLEXIBLES DE PRODUCTION: PROBLÈMES D'ÉVALUATION ET CONSIDÉRATIONS STRATÉGIQUES

par

Louis Hotte

Département de sciences économiques

Faculté des arts et sciences

Mémoire présenté à la faculté des études supérieures

en vue de l'obtention du grade de

Maître ès sciences (M.Sc.)

en sciences économiques

août, 1993

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION

Depuis le début de ce siècle, d'énormes gains de productivité ont été réalisés dans la fabrication de biens de consommation. Ce sont principalement ces gains qui ont contribué à hausser les niveau de vie et de confort dans les pays industrialisés. Dans la littérature traditionnelle, ces améliorations sont largement attribuées à une réorganisation des méthodes de travail qui permet de profiter d'économies d'échelle.

Les principaux instigateurs de ces méthodes ont été Taylor et Ford. Elles consistaient à rendre les différentes pièces d'un produit plus facilement interchangeables entre elles, en plus de diviser les étapes de production en un grand nombre d'opérations répétitives considérées indépendantes les unes des autres. Ces méthodes se sont rapidement répandues à travers les États-Unis et ont contribué à leur ascension au leadership mondial en matière de production industrielle jusqu'aux années 1970.

Dans les années d'après guerre, les industriels japonais, contrairement aux Américains, n'ont pas mis toute l'emphase sur la standardisation et la division des opérations de production. Ils ont plutôt déployé leurs efforts à essayer de hausser la qualité de leurs produits et à organiser les opérations de production en un tout inséparable, chacune ayant ses répercussions sur l'autre. Simultanément, et particulièrement durant les années 1970 et 1980, sont apparues de nouvelles technologies de production qui, à l'aide du contrôle par ordinateur, ont permis non-seulement l'automatisation de plusieurs opérations de production, mais aussi d'augmenter la flexibilité des équipements de production. Il semble que ce serait une certaine combinaison des méthodes japonaises et des nouvelles technologies qui a permis à ces derniers de se hisser au premier rang mondial dans la flexibilité en production et peut-être dans d'autres domaines tels que la productivité, la qualité, etc.

Certains économistes expliquent cette adoption plus répandue de technologies flexibles chez les Japonais par leurs méthodes d'évaluation des investissements moins <u>dé</u>favorables à ces technologies. D'autres l'expliquent par une panoplie de facteurs complémentaires dans l'organisation du travail qui rendent ces technologies plus rentables dans certaines firmes que d'autres.

Cependant, plusieurs analystes en structures industrielles considèrent ces justifications de la plus grande flexibilité des firmes japonaises peu satisfaisantes. Ils suggèrent que dans une industrie, il y aurait de la place pour des firmes flexibles et inflexibles en concurrence entre elles. Le choix du niveau de flexibilité se ferait selon certains paramètres propres à une industrie. Ainsi, certaines industries seraient aptes à supporter à la fois des firmes flexibles et inflexibles, tandis que d'autres ne pourraient soutenir la présence que d'un seul des deux types de firmes. Le choix du niveau de flexibilité se ferait selon des considérations stratégiques qui rendent la flexibilité moins désirable.

Ce travail sera divisé de la manière suivante: La section 2 définira ce qu'on entend par flexibilité en production. La section suivante présentera quelques comparaisons internationales sur la diffusion des technologies flexibles de production (TFP). La section 4 exposera les divers avantages des TFP et expliquera pourquoi ils sont souvent mal pris en compte par les preneurs de décisions. On y montrera également pourquoi certains facteurs complémentaires rendent leur adoption plus facile par les firmes japonaises. La section 5 proposera une manière alternative de visualiser le choix de flexibilité en introduisant le concept d'effet stratégique. Elle se poursuivra par une revue de littérature sur les effets stratégiques de la flexibilité. On y établira ensuite les bases d'un nouveau modèle sur le choix de flexibilité multiproduit. Finalement, une méthode différente pour évaluer l'effet direct de la flexibilité sera considérée. On verra que cette méthode, basée sur les techniques d'évaluation des options, peut renverser certains résultats obtenus précédemment. On terminera avec une conclusion sur les implications des nouvelles TFP et sur le travail qui reste à faire.

2. DÉFINITIONS DE FLEXIBILITÉ EN PRODUCTION

Carlsson(1989) soutient que la notion de flexibilité en production fut introduite par G. Stigler en 1939. Il la définit comme une technologie de production caractérisée par son habileté à accepter de plus grandes variations dans les quantités produites. La figure 1, où la firme A est plus flexible que la firme B, illustre cette idée. Stigler propose que le niveau de flexibilité se mesure par le degré de courbure de la courbe de coûts totaux, ou bien, de manière équivalente, par la pente de la courbe de coût marginal. On doit noter qu'en général, la flexibilité comporte un coût, c'est-à-dire qu'une usine construite pour produire X unités le fera à moindre coût qu'une autre construite pour passer plus efficacement de X/2 à 2X unités. On dira alors que le gain en flexibilité entraîne une perte d'efficacité statique. Nous référerons à ce type de flexibilité proposé par Stigler par "flexibilité en volume".

Un autre type de flexibilité sur lequel on se penchera est celui de la flexibilité multiproduit. Il consiste en l'habileté d'une unité de production de passer de la production d'un produit à celle d'un ou plusieurs autres. Moins les coûts d'ajustement pour le passage d'une production à l'autre sont élevés, plus la firmes sera flexible. En soi, ce genre de flexibilité n'a rien de nouveau car il peut être représenté par la production artisanale ou bien l'atelier de fabrication qui généralement produit sur demande

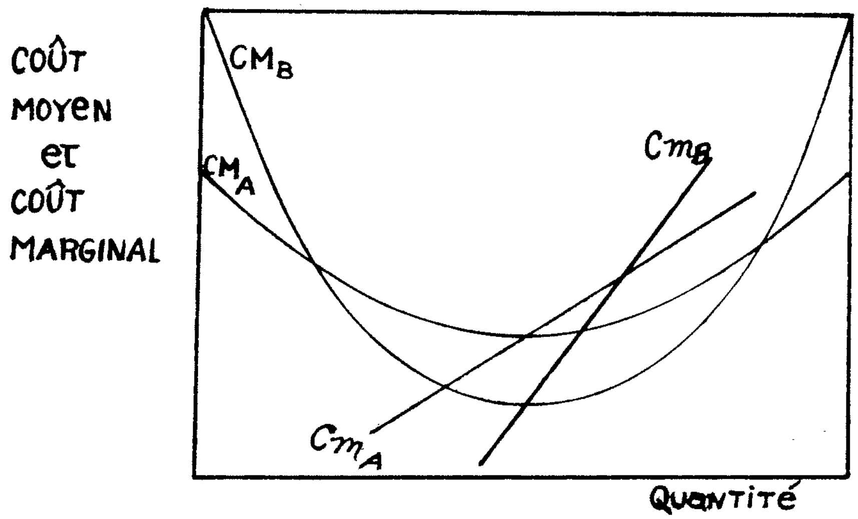


Figure 1: Flexibilité en volume

en faible quantité bien qu'à prix relativement élevé. Toutefois, de nouvelles technologies ont été développées depuis trois ou quatre décennies qui offrent un certain degré de flexibilité, tout en permettant de produire en quantités faibles et à coût unitaire relativement bas.

Carlsson (1989) divise cette dernière flexibilité en deux types de flexibilité:

Type I: "Elle est intégrée dans le procédé de production de façon à ce qu'on puisse manufacturer des produits relativement différents sur la même ligne de production." Il relie cette flexibilité au risque.

Type II: "Celle-ci s'applique à l'habileté à profiter des nouvelles opportunités qui se présentent, qu'elles soient pour améliorer les procédés de production, ou bien le développement et la production de nouveaux produits." Cette flexibilité est reliée à l'incertitude[1].

La différence entre ces deux types de flexibilité est très importante car elle montre que la flexibilité ne se limite pas seulement aux technologies de production, mais aussi à l'organisation entière de l'entreprise, et qu'il existe probablement un lien de complémentarité entre les deux.

2.1. AUTRES SYNONYMES DE FLEXIBILITÉ

On rencontre trois principales désignations dans la littérature qui sont directement reliés à la flexibilité dans la production. Elles sont i) les technologies flexibles de production, ii) les systèmes avancés de production, et iii) le CIM (Computer Integrated Manufacturing) ou fabrication intégrée par ordinateur.

Les technologies flexibles de production réfèrent à toute technologie utilisée dans la production qui permet de changer le bien produit à moindre coût, ce qui est équivalent à la flexibilité de type I mentionnée plus haut.

---

[1] "Il est utile de distinguer entre risque et incertitude en relation à la flexibilité. En suivant Frank Knight, la plupart des économistes utilisent le terme "risque" en référence aux événements homogènes et répétitifs dont la fréquence relative peut être mesurée, et le terme "incertitude" à ceux dont on ne peut assigner des probabilités numériques. Si les risques sont calculables, il est possible,du moins en principe, de les couvrir par une assurance. L'incertitude, en revanche, n'est pas calculable et n'est donc pas assurable." (Carlsson, 1989)

Les systèmes avancés de production englobent toutes les technologies modernes de production utilisant entre autre des robots, des ordinateurs, des instruments sensoriels avancés, etc. Ils sont la plupart du temps utilisés pour accroître la flexibilité dans la production et sont souvent synonymes de technologies flexibles de production.

Le CIM fait référence à un système de production où tout est contrôlé par ordinateur, en partant de la demande des produits jusqu'à leur livraison, en passant par le contrôle des inventaires, les commandes de matières premières, le design des produits, leur fabrication, etc. Le terme intégré signifie qu'il y a interaction (i.e. coordination et échange d'information presque instantané) entre tous les départements de l'entreprise. L'expérience ayant démontré que l'utilisation de CIM peut augmenter la flexibilité d'une entreprise, on l'utilise aussi comme synonyme de technologie flexible de production.

Il faut noter cependant qu'on ne doit pas confondre automatisation et flexibilité. Il existe beaucoup de robots qui ne peuvent exécuter qu'une seule opération sans possibilité de modification.

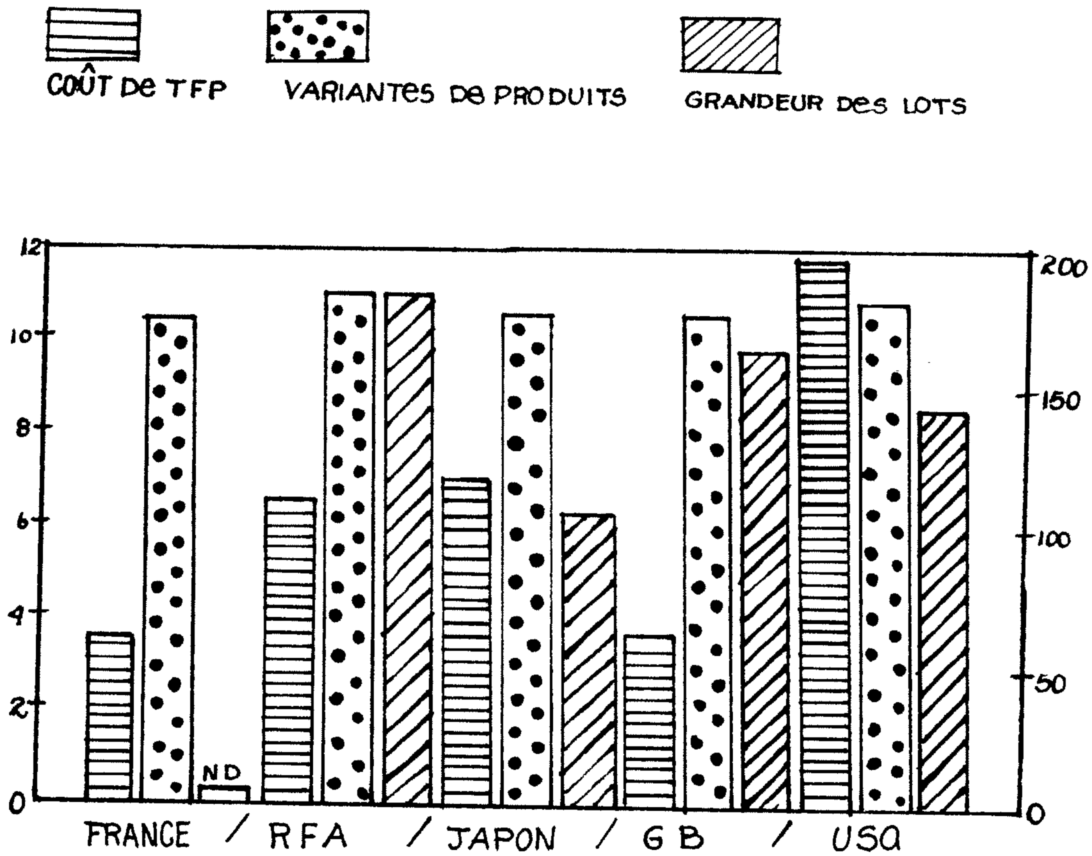
3. DIFFUSIONS DES TECHNOLOGIES FLEXIBLES DE PRODUCTION

Jusqu'à ce jour, très peu de firmes ont réussi à intégrer la majorité de leurs opérations de façon à atteindre un niveau très élevé de flexibilité. Toutefois, plusieurs firmes convergent en ce sens en atteignant un certain degré de flexibilité. Mais il est très difficile de quantifier et mesurer la flexibilité d'une entreprise. Tchijov (1989) a fait une étude à partir d'une banque de données constituée d'environ 800 systèmes utilisant des technologies flexibles de production. Même si cette banque de données n'était certainement pas complète au moment où elle a été utilisée en 1989, elle donne quand même une bonne idée de la diffusion des systèmes flexibles de production à travers le monde.

Le tableau 1 donne la répartition de ces systèmes sur 26 pays. On y décèle, entre autres, que le Japon est définitivement le meneur mondial dans l'adoption de technologies flexibles, surtout si on prend en compte le PNB des pays. Mais ce tableau ne montre que le nombre de systèmes de production considérés flexibles grâce à la technologie utilisée. Il ne mentionne pas le degré de flexibilité de chaque système. Ceci est important car, tel que mentionné plus haut, il ne suffit pas d'avoir des équipements plus sophistiqués pour se dire flexible, mais il faut en plus que l'organisation de l'entreprise soit compatible avec cette flexibilité accrue. Le graphique 1 montre que les systèmes japonais sont plus flexibles car ils ont un ratio de variantes des

Country	Number of FMS installed	Share, %
1 Austria	6	0.8
2 Belgium	6	0.8
3 Canada	3	0.4
4 Finland	12	1.5
5 France	67	8.4
6 FRG	74	9.3
7 Ireland	1	0.1
8 Israel	1	0.1
9 Italy	37	4.6
10 Japan	167	20.9
11 Netherlands	8	1.0
12 Norway	1	0.1
13 S. Korea	2	0.3
14 Spain	2	0.3
15 Sweden	36	4.5
16 Switzerland	6	0.8
17 Taiwan	5	0.6
18 UK	93	11.6
19 USA	137	17.1
Total Western Countries	664	83.1
20 Bulgaria	15	1.9
21 CSSR	23	2.9
22 GDR	28	3.5
23 Hungary	7	0.9
24 Poland	5	0.6
25 Rumania	1	0.1
26 USSR	56	7.0
Total Eastern Countries	135	16.9
TOTAL	799	100.0

Tableau 1: Répartition des systèmes flexibles de production



Graphique 1: Coût moyen des systèmes flexibles de production, nombre moyen de variantes de produits et grandeur des lots (Tchijov(1989)) (pour les coûts, lire à gauche)

produits sur la grandeur des lots plus élevé et une réduction moyenne du temps de livraison plus élevé, tout en utilisant des systèmes moins coûteux et donc moins complexes. Plus loin dans ce travail, on tentera d'expliquer ce phénomène à travers une comparaison entre les entreprises japonaises et américaines.

Une autre étude, effectuée par E.Mansfield(1993), abonde dans le même sens que celle de Tchijov, en présentant le pourcentage de firmes de plus de 10 000 employés qui ont installé des TFP (voir tableau 2).

Pays	Pourcentage de firmes
Japon	67
États-Unis	41
Europe de l'ouest	40

Tableau 2: Pourcentage de firmes de plus de 10 000 employés qui ont installé des TFP (Mansfield(1993))

On peut donc conclure, à partir de ces statistiques, que les Japonais sont passablement en avance sur le reste du monde dans la flexibilité en production. Toutefois, pour plus de rigueur, il faudrait également voir si le Japon possède une plus grande proportion d'industries qui se prêtent mieux à leur adoption. Par exemple, partant du fait que les systèmes de production flexibles s'appliquent particulièrement bien aux industries de transformation des métaux, il n'est peut-être pas surprenant de voir que la Suède en utilise beaucoup, ces industries y étant très répandues. Il n'en reste pas moins que des pays comme le Canada semblent beaucoup plus réticents à investir dans des équipements plus flexibles, d'où l'intérêt d'étudier les causes de ces différences de diffusion.

4. AVANTAGES DES TECHNOLOGIES FLEXIBLES DE PRODUCTION

Voici une liste des les avantages les plus souvent évoqués découlant de l'utilisation de TFP:

1) meilleure qualité du produit;
2) réduction du temps entre commande et livraison;
3) réduction des inventaires de produits finis et intermédiaires;
4) réduction de l'espace requis pour la production;
5) améliorations du design des produits facilitées;
6) introductions de nouveaux produits facilitée;
7) réduction des coûts de recherche et développement;
8) utilisation de personnel plus qualifié.

On remarque que la plupart de ces avantages sont de nature stratégique car ils améliorent la position concurrentielle d'une entreprise, mais qu'ils sont très difficiles à quantifier en flux monétaires additionnels futurs. Cependant, s'ils ne sont pas pris en compte lors de l'évaluation d'un projet d'investissement, les TFP pourront être mise de côté au profit de technologies traditionnelles, alors qu'en réalité elles auraient été plus rentables. Plusieurs auteurs ont exposé les déficiences des techniques d'évaluation de projets d'investissement qui défavorisent les TFP.

Selon Kaplan(1984), les méthodes comptables utilisées aujourd'hui dans la plupart des entreprises pour mesurer la performance des opérations de production sont désuètes car elles datent du début du siècle et sont basée sur les technologies utilisées en ce temps. Ces méthodes faisaient la promotion de l'efficacité dans la production à grande échelle d'un petit nombre de produits standardisés en utilisant beaucoup de main-d'oeuvre. L'importance de cette main-d'oeuvre directement assignée à la production résultait en des coûts variables relativement élevés. Cependant, avec les nouvelles technologies, la plupart des coûts variables vont disparaître, à l'exception de l'achat de matériaux et d'énergie. Ainsi, il deviendra inutile d'attribuer les coûts fixes aux heures de main-d'oeuvres utilisées dans la production directe, comme on le fait traditionnellement.

Les systèmes d'évaluation pour les nouvelles opérations de production devront considérer: **1. La qualité**, c'est-à-dire ramasser des données sur les pourcentages de défauts et de produits finis complétés sans besoin de retouche, les fréquences de bris et de retour par les clients, etc. Il ne faut pas attendre que les problèmes de qualité affectent les parts de marché avant de corriger la situation. **2. Les inventaires:** Des mesures directes telles que les grandeurs des lots, le temps effectif de fabrication (work-in-progress) et l'inventaire des matériaux achetés peuvent apporter des informations beaucoup plus utiles sur la performance des opérations que les simples coûts de production. **3. La productivité:** Des données plus précises doivent être utilisées pour évaluer la performance réelle du capital physique, de l'énergie utilisée, des efforts du management, etc, au lieu d'utiliser des montants agrégés que l'on attribuera aux personnel et équipements avec peu de discernement. **4. L'innovation:** Les méthodes comptables doivent distinguer les produits qui sont compétitifs grâce à leur coût et ceux qui le sont grâce à leur caractéristiques uniques. **5. Les employés:** Une autre limitation des méthodes comptables traditionnelles est leur manque d'habileté à mesurer la valeur des qualifications des employés, de leur formation, et de leur moral.

L'incapacité des systèmes comptables à bien mesurer la performance des opérations de production est illustrée par le fait que si la performance d'une division d'une firme diminue, on peut en "camoufler" l'impact en coupant dans les intangibles tels que la recherche et le développement, les promotions, la distribution, les améliorations de qualité, l'ingénierie d'application, les ressources humaines, et les relations avec les clients. Ainsi, à court terme, les indicateurs comptables ne donneront pas une idée réaliste de la santé économique de la division car on sait que sa valeur ne réside pas seulement dans ses avoirs tangibles mais aussi dans les intangibles tels que son stock de produits et procédés, le moral des employés et leurs qualifications, un réseau de distribution efficace, etc.

On voit donc la nécessité d'élaborer de meilleurs indicateurs de performance de la production qui, lors de leur application, rendront plus évidents les bénéfices des nouvelles technologies flexibles de production.

Mensah et Miranti(1989) soutiennent quant à eux que les critères financiers utilisés pour justifier un investissement sont biaisés en faveur des projets à court-terme car leurs bénéfices sont plus faciles à quantifier que ceux des projets à long-terme. Ceci est particulièrement vrai pour la méthode de la valeur actualisée nette (VAN).

Les auteurs montrent, au moyen d'une dérivation produite par Myers et Turnbull, que le bêta d'une firme reflète non seulement le risque associé au capital physique en place, mais aussi celui associé aux options d'achat additionnel d'unités de production. Il en découle que le bêta actuel d'une firme a de forte chance d'être trop élevé. Les implications de ce bêta trop élevé ont été étudiées par d'autres auteurs qui en sont venus aux conclusions suivantes:

1. La méthode de la VAN tend, à long terme, à maximiser le taux de croissance anticipé du capital physique de la firme, mais seulement si les revenus futurs anticipés ont été estimés avec précision et si la valeur optimale du coût du capital a été sélectionnée.

2. Si la variance des erreurs d'estimation des revenus augmente, la performance de toute méthode de rationnement du capital approche celle d'une sélection aléatoire.

3. Le taux de croissance du capital de la firme sera réduit de façon drastique en utilisant un coût du capital plus élevé que le taux optimal.

On est allé jusqu'à démontrer qu'avec un coût du capital plus élevé que le taux optimal, la performance de la VAN était souvent pire que celle d'une sélection aléatoire, surtout lorsque les estimations des revenus futurs étaient assez précises. Si on ajoute à cela le fait que la plupart des décideurs utilisent des coûts du capital artificiellement élevés de façon à se couvrir contre les erreurs de prévision des flux monétaires et les actes imprévisibles des compétiteurs, on peut tirer ses propres conclusions quant à la validité de la VAN dans l'évaluation de projets à long-terme.

Les implications en ce qui concerne les technologies flexibles de production sont catastrophiques puisque la majorité de leurs avantages ne surviennent qu'à long-terme.

Un résultat obtenu par Lederer et Singhal(1988) vient renforcer celui de Mensah et Minranti(1989) car il montre que non seulement le coût du capital utilisé avec la méthode de la VAN est souvent trop élevé et que cela a des conséquences néfastes pour les TFP, mais qu'en réalité, ce coût devrait être moins élevé pour les TFP que pour les technologies traditionnelles. Leur théorie est basée sur le fait que les coûts variables par unité produite sont moins élevés avec les nouvelles technologies qu'avec les technologies traditionnelles.

Les auteurs dérivent une formule pour déterminer le bêta (β) d'un projet en fonction du bêta de la demande (β_D), du prix du produit (P), des coûts fixes (F), des coûts variables (C), de la demande moyenne ($\bar{D}$) et stochastique ($\tilde{D}$), de la prime de risque du marché (Φ), ainsi que du rendement du marché (R). Ils en arrivent au résultat suivant:

$$\beta = \frac{\beta_D}{1 - \dfrac{F}{(P - C)(\bar{D} - \Phi \operatorname{cov}(\tilde{D},R))}}$$

On peut conclure de cette équation qu'avec des coûts variables plus bas, on devrait utiliser un bêta moins élevé et donc un coût du capital moins élevé. Ainsi, l'utilisation de technologies flexibles semble diminuer le risque de l'investissement. Notons que cette démonstration n'est toutefois basée que sur la structure des coûts et non sur les avantages stratégiques.

À présent, le lecteur doit se rendre compte du grand nombre de facteurs qui doivent être considérés lors de la comparaison entre des projets utilisant des technologies traditionnelles et flexibles. Jusqu'ici, ces facteurs ont été étudiés séparément. Mais pour être plus complet, il faudrait évidemment considérer tous ces facteurs à la fois. Non seulement parce que chacun apporte son avantage individuel, mais en plus parce qu'il semble que l'avantage tiré d'un facteur augmente celui tiré d'un autre, et vice versa.

Ainsi, il existerait une complémentarité entre chacun des avantages faisant en sorte que le tout vaut plus que la somme de chacun des avantages. Milgrom et Roberts(1990) ont analysé ces effets de complémentarité entre les différentes composantes d'un système de production flexible. Pour se situer, voici un exemple qu'ils proposent.

Lorsqu'une firme adopte un système de conception assistée par ordinateur (CAO), elle en retire certains avantages tels que l'augmentation de productivité des dessinateurs, des révisions de design plus rapides, un système de classement des dessins plus efficace, etc. De la même façon, lorsqu'elle fait l'acquisition de robots contrôlés par ordinateurs, elle augmente sa productivité, diminue le temps de fabrication, augmente la qualité, etc. Lorsqu'elle fait l'acquisition des deux systèmes à la fois, elle en retire non seulement les avantages déjà mentionnés, mais plus. Le système de CAO peut être relié aux ordinateurs contrôlant les robots, ce qui réduit considérablement le travail d'entrée d'information. Si l'on y ajoute le contrôle par ordinateur des inventaires, de la distribution, de la comptabilité, un système relié avec ceux des fournisseurs et des clients, une organisation flexible ouverte à l'introduction de nouveaux produits, une main-d'oeuvre flexible et bien formée qui connaît bien les équipements plus sophistiqués et est prête à adopter les plus récentes technologies, il en résulte un tout qui vaut beaucoup plus que la somme de chacun des avantages individuels.

Constatant cet état de fait, Milgrom et Roberts (1990) ont cherché à savoir s'il existait une situation optimale dans l'adoption de ces technologies. Au moyen des mathématiques de complémentarité, ils obtiennent les conclusions suivantes:

"Le modèle suggère que même si les changements dans le milieu, en particulier la diminution du coût des équipements utilisés dans les systèmes modernes de fabrication, surviennent graduellement, le processus d'adoption est beaucoup plus erratique, et ce pour deux raisons. Premièrement, il existe des non-convexités, ce qui implique que l'optimum peut se déplacer de manière discontinue, avec des niveaux de maximisation des profits de l'ensemble entier des variables augmentant abruptement. Deuxièmement, il y a les complémentarités qui rendent relativement peu profitable d'adopter seulement une partie des systèmes modernes de fabrication."

Ceci expliquerait peut-être la faible présence de technologies flexibles au Canada ou aux États-Unis par rapport au Japon. Si l'utilisation d'équipements modernes de production est beaucoup plus rentable lorsqu'elle est accompagnée d'une organisation qui la complète bien, tout indique que le Japon possède une longueur d'avance en ce sens. Voici quelques comparaisons entre firmes américaines et japonaises qui semblent renforcer ce point.

1. Les japonais perçoivent la production comme un système en entier dont chacune des composantes exerce une influence sur l'autre. Ceci contraste avec la vision américaine introduite au

début du siècle par Taylor et Ford qui ont voulu diviser la production en un grand nombre d'opérations, chacune supposée indépendante de l'autre. (Ayres(1990))

2. Beaucoup de firmes japonaises voient la formation des employés comme un investissement, contrairement à plusieurs firmes américaines qui la considère comme une dépense nécessaire. Ceci résulte probablement du fait que les employés au Japon sont généralement engagés à vie tandis qu'aux États-Unis , on craint toujours que l'employé nouvellement formé aille joindre un compétiteur après quelques années.

3. Au Japon, les syndicats opèrent au niveau de l'entreprise tandis qu'en Amérique du Nord, il y a surtout des syndicats de métier. Ainsi, les employés japonais sont plus disposés à effectuer des tâches plus variées, ce qui les amène à mieux connaître les machines plus complexes.

4. Les firmes japonaises ont depuis longtemps adopté la vision selon laquelle les pièces doivent être "tirées" au lieu d'être "poussées" à travers les différentes étapes de production. Ceci signifie que ce sont les étapes ultérieures de production qui commandent les pièces requises des étapes précédentes au lieu de créer toute sorte de bouchons et de problèmes d'inventaire lorsqu'on fournit les pièces aux étapes ultérieures sans regard à leur condition d'opération. Il devient ainsi plus facile

d'appliquer la méthode "juste-à-temps", de contrôler les inventaires, de coordonner les commandes de pièces et les ventes de produits, etc. (Tidd(1991))

5. Les producteurs japonais ont su développer des relations plus étroites avec leurs fournisseurs afin de les considérer comme "complices" dans leur succès. Aux États-Unis, par contre, on considère souvent le fournisseur comme un "serviteur" avec qui il faut être dur pour obtenir ce que l'on veut. Cette façon de faire des Japonais aide certainement à l'implantation de systèmes de contrôle de la qualité et de commande de matériel, de production "juste-à-temps", etc.

6. Les firmes japonaises imposeraient des taux de rendement minimum requis moins élevés, et donc utiliseraient un coût du capital moindre à leur projets d'investissement. (Mansfield(1993))

L'étude de Mansfield(1993) sur certains critères utilisés pour évaluer les TFP et sur les taux de rendements minimum requis, présentée au tableau 2, corrobore certaines de ces allégations.

Pays	Qualité	Flexibilité	Délai de livraison	Inventaires	Réduction de l'espace
Japon	86	100	89	100	43
États-Unis	78	80	90	89	80
Europe de l'ouest	80	94	91	79	49

Tableau 2a: Pourcentage de firmes non-utilisatrices de TFP qui ont pris en compte certains facteurs spécifiques lors de l'évaluation de TFP (Mansfield(1993))

Pays	Taux de rendement minimum requis	
	Utilisateurs	Non-utilisateurs
Japon	24	28
États-Unis	27	34
Europe de l'ouest	26	28

Tableau 2b: Taux de rendement minimum requis en moyenne lors de l'évaluation des TFP (Mansfield(1993))

5. EFFET DIRECT ET EFFET STRATÉGIQUE DE LA FLEXIBILITÉ

Tel que mentionné en introduction, certains analystes en structure industrielle justifient autrement le choix de plusieurs firmes de demeurer inflexibles alors que des rivaux préfèrent la flexibilité. On explique ce choix en incorporant un effet stratégique lors de l'évaluation de la flexibilité. En fait, on montrera que cet effet stratégique peut diminuer la valeur de la flexibilité, tout dépendant de certains paramètres propres à une industrie. Avant d'entamer une revue de littérature sur ces effets stratégiques, nous allons présenter une décomposition entre effet direct et effet stratégique de la flexibilité.

Cette décomposition est tirée de J. Tirole(1988). Il montre que dans un jeu où il y a interactions pendant plus d'une période, l'engagement pris à la première période est très important car il influence les actions d'un rival lorsque ce dernier observe le choix du premier. Tirole considère les deux situations où une firme peut essayer d'empêcher l'entrée du rival dans son marché, ou bien elle peut accommoder cette entrée. Seule cette dernière situation sera considérée ici.

Posons un modèle à deux périodes et deux firmes. À la première période, la firme 1 choisit une certaine variable K_1, qui peut être, par exemple, le niveau de capacité, les dépenses en publicité, ou le niveau de flexibilité. La firme 2 observe K_1 et choisit K_2. La variable K_1 aura un impact direct sur les profits de la firme 1 et, selon ce qu'elle représente, pourra aussi en avoir un sur ceux de la firme 2 (par exemple, si K_1 représente le niveau de publicité, il y aura un impact direct sur la firme 2, mais ce ne sera pas le cas si K_1 représente le niveau de capacité)[1]. Dans ce qui suit, nous n'allons considérer que le cas où K_1 n'a pas d'impact direct sur les profits de la firme 2 (ce qui est le cas lorsque K représente le niveau de flexibilité). Les profits de chaque firme seront donnés par

$\pi_1(K_1, x_1^*(K_1,K_2), x_2^*(K_1,K_2))$ et $\pi_2(K_2, x_1^*(K_1,K_2), x_2^*(K_1,K_2))$,

où $x_1^*(K_1,K_2)$ et $x_2^*(K_1,K_2)$ sont les choix optimaux de production de deuxième période après observation de K_1 et K_2. On pose que la fonction $\pi_1(K_1,x_1^*(K_1,K_2),x_2^*(K_1,K_2))$ est strictement concave avec K_1 et que les fonctions $x_i(K_1,K_2)$ sont différentiables.

L'incitation à investir sera donnée par la dérivée totale de $\pi_1(K_1, x_1^*(K_1,K_2), x_2^*(K_1,K_2))$ par rapport à K_1, c'est-à-dire

$$d\pi_1/dK_1 = \underbrace{\delta\pi_1/\delta K_1}_{\text{effet direct}} + \underbrace{(\delta\pi_1/\delta x_2^*)(\delta x_2^*/\delta K_1)}_{\text{effet stratégique}} + \underbrace{(\delta\pi_1/\delta x_1)(\delta x_1^*/\delta K_1)}_{\text{=0 par le théorème de l'enveloppe}} \qquad [1]$$

D'après cette relation, on observe que lors du choix de la variable K_1, la firme 1 doit non seulement tenir compte de son effet direct sur ses profits, mais également sur le signal (l'effet

---

[1] Notons que cette description est un peu différente de celle de Tirole(1988). Ce dernier considère que seule la firme 1 fait un choix K_1, tandis qu'ici, on présente le cas plus général où la firme 2 peut aussi faire un choix K_2, choix qui pourra, ou non, avoir un effet direct sur les profits de l'autre firme.

stratégique) que ce choix enverra à la firme 2, dont la décision de production influera à son tour sur les profits de la firme 1. On dira que la firme 1 doit surinvestir (sousinvestir) lorsque l'effet stratégique est positif (négatif). Il est donc crucial de déterminer le signe de cet effet stratégique.

Dans la revue de littérature de la section suivante, tous les modèles présentés proposent, en seconde période, un jeu de concurrence en quantité. Ceci implique que les actions de deuxième période constituent des substituts stratégiques car plus la quantité mise en marché par la firme 2 est élevée, plus les profits de la firme 1 diminuent. Ainsi, dans la relation [1], le signe de $\delta\pi_1/\delta x_2^*$ sera négatif. Nous sommes alors intéressé à trouver le signe de $\delta x_2^*/\delta K_1$, où K_1 est le niveau de flexibilité choisi par la firme 1 en première période. Si une plus grande flexibilité de la firme 1 incite la firme 2 à produire plus, c'est-à-dire si $\delta x_2^*/\delta K_1$ est positif, alors la firme 1 préférera l'inflexibilité. Ce cas est décrit dans Tirole(1988) comme la stratégie de "la peau et les os", c'est-à-dire qu'elle restreint son investissement en flexibilité de façon à ce que la firme 2 produise peu. Si $\delta x_2^*/\delta K_1$ est négatif, la firme 1 voudra investir beaucoup dans la flexibilité de façon à ce que la firme 2 réduise sa production. Ce dernier cas est illustré dans Tirole par le terme de stratégie de "chien méchant" pour la firme 1.

5.1. REVUE DE LITTÉRATURE SUR LES EFFETS STRATÉGIQUES DE LA FLEXIBILITÉ

5.1.1. FLEXIBILITÉ EN VOLUME

Nous amorcerons cette revue en présentant une série de trois articles publiés par D.E. Mills. L'auteur essaie d'y déterminer quel sera le niveau optimal de flexibilité en volume recherché par une firme lorsque celle-ci fait face à des fluctuations dans la demande. Il n'y a donc qu'un seul bien homogène produit par chaque firme.

Dans son premier article, Mills(1984) cherche à vérifier et approfondir, en ajoutant un choix de flexibilité en volume, les résultats suivants obtenus ailleurs par d'autres auteurs: "(1) les firmes produisent à un niveau moins élevé, en moyenne, que leur capacité; (2) le nombre de firmes présentes en situation de concurrence est plus élevé que lorsque la demande est stationnaire; (3) l'espérance de coût par unité produite est plus élevé qu'avec une demande stationnaire." (Mills(1984), p. 55)

Les hypothèses de base de son modèle sont les suivantes:

i) le marché est concurrentiel;

ii) les firmes sont risconeutres et identiques;

iii) le prix p fluctue avec moyenne μ_p et variance V_p;

iv) la courbe de coûts totaux, c(q), est stationnaire et quadratique, c'est-à-dire $c(q) = A + Bq + q^2/(2F)$, avec A, B et $F > 0$.

Selon la définition de Stigler, $c_{qq} = d^2c/dq^2$, qui mesure le degré de courbure de la courbe de coûts totaux, indique le niveau de flexibilité de la firme. Ainsi, plus c_{qq} est élevé, plus la courbure est importante et moins la firme est flexible. Puisque $c_{qq}=1/F$, le paramètre F constituera la mesure de la flexibilité.

La firme étant en situation de concurrence, on pose son coût marginal égal au prix et on obtient le résultat suivant pour l'espérance de profit, y(p):

$$E[y(p)] = y(\mu_p) + (F/2)V_p \qquad [2]$$

où $y(\mu_p) = \mu_p[F(\mu_p-B)] - \{A + B[F*(\mu_p-B)] + F*(\mu_p-B^2)/2\}$.

Ce résultat indique que, ceteris paribus, l'espérance de profit augmente avec la variabilité du prix. Quant à la flexibilité, on a

$$\delta E[y(p)]/\delta F = (\mu_p-B)^2/2 + V_p/2 > 0. \qquad [3]$$

L'espérance de profit augmente, c.p., avec la flexibilité, et le gain marginal d'une unité de flexibilité additionnelle augmente avec la variabilité du prix. Ainsi, une firme confrontée à un investissement irréversible, dont le prix dú bien produit est plus variable, préférera une plus grande flexibilité, même aux dépends d'une perte d'efficacité statique.

En pratique, la situation sera un peu plus complexe dans un marché en concurrence car toutes les firmes pourront choisir leur niveau de flexibilité optimal. Ce choix aura une incidence sur le prix du produit. Afin d'étudier cet effet, et en rajoutant, pour être plus réaliste, un compromis entre flexibilité et efficacité statique, on pose le modèle suivant où les firmes peuvent choisir à partir d'un continuum de courbes de coût total du type

$$c(q,F) = A(F) + B(F)q + q^2/(2F). \qquad [4]$$

La capacité, $q^0(F)$, c'est-à-dire là où le coût moyen est à son minimum, est donné par

$$q^0(F) = (2FA)^{1/2} \qquad [5]$$

et ce coût moyen minimum sera

$$c(q^0,F)/q^0 = B + (2A/F)^{1/2}. \qquad [6]$$

Afin d'introduire un compromis entre flexibilité et efficacité statique, ce coût moyen minimum doit augmenter avec F, c'est-à-dire

$$dB/dF > -d(2A/F)/dF > 0. \qquad [7]$$

Du côté de la demande, on pose l'hypothèse qu'elle est inélastique aux prix, qu'elle a une moyenne μ_Q et une variance V_Q. En présence d'une entrée libre et d'un continuum de firmes, l'équilibre concurrentiel est identifié par la structure de marché qui minimise l'espérance du coût total de produire Q, notée G(F). Le problème devient

$$MIN_F\ G(F),\ \text{où}\ G(F) \equiv MIN_n\ \{E[n*c(Q/n,F)]\}. \qquad [8]$$

En résolvant pour G(F), on obtient

$$G(F) = B\mu_Q + [(V_Q+\mu_Q^2)2A/F]^{1/2}. \qquad [9]$$

Le niveau optimal de flexibilité, F^*, est trouvé en minimisant [9] sur F. En supposant F borné par $F^* \in [F_0, F_1]$, on obtient le résultat suivant

$$K(F^*) \equiv (V_Q + \mu_Q^2)^{1/2} / \mu_Q \qquad [10]$$

avec $K(F) = -B_F/(d(2A/F)^{1/2}/dF) > 1$ et $K_F > 0$, pour les solutions intérieures, et

$F^* = F_0$ si $G'(F_0) > 0$,

$F^* = F_1$ si $G'(F_1) < 0$,

pour les autres solutions. Ce résultat est présenté à la figure 2. Ainsi, puisque $K_F > 0$, on trouve que F^* croît avec $(V_Q + \mu_Q)^{1/2}/\mu_Q$.

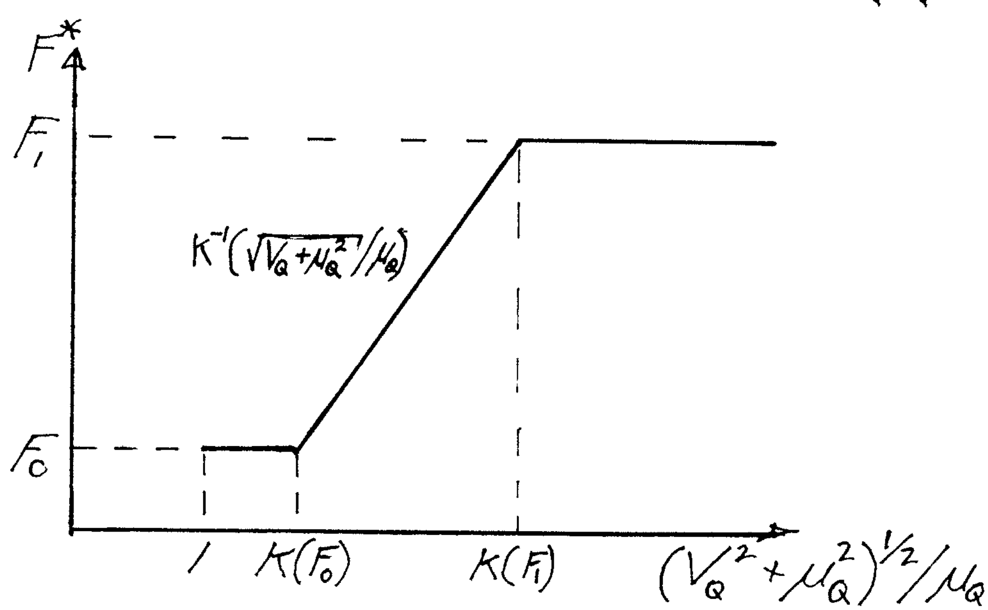


Figure 2: Flexibilité optimale (Mills(1984))

En utilisant le fait qu'à l'équilibre concurrentiel les profits espérés doivent être nuls, on peut montrer que F^* est le niveau de flexibilité choisi par toutes les firmes car pour toute autre firme avec $F = F^*$, les profits seront négatifs. Et si on pose $V_Q=0$, l'équation [10] montre que $F^*=F_0$, c'est-à-dire que le niveau de flexibilité choisi sera le minimum possible lorsque l'output produit est constant, la flexibilité n'aura aucune valeur et la firme cherchera le maximum d'efficacité statique.

À partir de ces résultats, Mills peut tirer les principales conclusions suivantes:

i) lorsque la demande fluctue, les firmes produisent moins, en moyenne, que là où elles sont le plus efficaces, c'est-à-dire qu'elles maintiennent un excès de capacité;

ii) le prix moyen est moindre que le niveau minimum du coût moyen. Ceci peut paraître paradoxal mais découle du fait que l'output est plus élevé lorsque le prix est plus élevé, et inversement. Ainsi, le prix moyen pondéré par les quantités vendues sera plus élevé que le prix moyen observé par période;

iii) l'espérance de coût total pour produire Q est plus élevée lorsque la demande fluctue;

iv) le résultat, obtenu précédemment par d'autres auteurs mais sans possibilité de choix de flexibilité, selon lequel le nombre de firmes augmente à l'équilibre lorsque la demande fluctue est ici indéterminé. Cependant, si on ajoute l'hypothèse, plausible, que la capacité diminue avec le niveau de flexibilité, alors on obtient le même résultat et les firmes produiront moins en moyenne que lorsque la demande est stationnaire.

Un second article de Mills, publié en collaboration avec L. Schumann(1985), se veut une extension du précédent en relâchant l'hypothèse que toutes les firmes soient identiques. On suppose que les firmes d'une industrie puissent choisir une technologie de production à partir d'un ensemble d'options discrètes, $i=1,\ldots,I$, dont chacune engendre des coûts totaux quadratiques, c'est-à-dire

$$c_i(q_i) = A_i + B_i + q_i^2/2F_i. \qquad [11]$$

En supposant toujours qu'en situation de concurrence chaque firme égalise son coût marginal au prix, et qu'à l'équilibre les profits espérés sont nuls, on obtient, pour le coût moyen minimum

$$c_i(q_i^0)/q_i^0 = B_i + [(\mu_p - B_i)^2 + V_p]^{1/2}. \qquad [12]$$

Le degré de flexibilité en volume d'une firme de type i peut être représenté par l'élasticité prix de son offre, Z_i, mesurée au prix moyen μ_p. Partant de $Z_i = q_i'(\mu_p)\mu_p/q_i(\mu_p)$, on a

$$Z_i = \mu_p/(\mu_p - B_i). \qquad [13]$$

De [12] et [13], on obtient

$$\delta[c_i(q_i^*)/q_i^*]/\delta B_i = -[(\mu_p - B_i)^2 + V_p]^{-1/2}(\mu_p - B_i) + 1 > 0$$

et $\delta Z_i/\delta B_i = \mu_p(\mu_p - B_i)^{-2} > 0$.

Ces deux résultats indiquent que si l'équilibre concurrentiel supporte des firmes hétérogènes en flexibilité, alors les firmes les plus flexibles doivent avoir un coût moyen minimum plus élevé.

On peut également trouver une relation entre la flexibilité et les coûts fixes par unité d'output. Ces derniers, évalués à la capacité q_i^0, sont donnés par $A_i/q_i^0 = (A_i/2F_i)^{1/2}$ et on montre que $\delta Z_i/\delta(A_i/F_i)<0$. D'où la conclusion que les firmes les moins flexibles ont des coûts fixes par unité d'output plus élevés. Et puisque ces derniers impliquent généralement une plus grande intensité en capital, on s'attend à ce que les firmes les plus grandes aient une meilleure efficacité statique, et que les plus petites soient plus flexibles. Il existerait ainsi un compromis entre flexibilité et efficacité statique.

Un autre résultat intéressant de ce papier porte sur la distribution des fluctuations des outputs. On y montre que $V_{qi}/q_i(\mu_p) = Z_i^2 V_p/\mu_p^2$. Cette relation indique que l'output des firmes plus flexibles varie plus que celui des firmes moins flexibles en réponse aux fluctuations de la demande. La présence de petites firmes plus flexibles qui absorbent une plus grande part des fluctuations du marché permettrait à l'industrie entière d'être plus élastique face à la demande et d'ainsi atténuer les fluctuations de prix.

Dans un contexte plus réaliste, on s'attend à ce que l'ensemble des options sur la flexibilité soit discret plutôt que continu et qu'il soit limité. À partir de cette contrainte, Mills(1986) montre comment une industrie peut supporter différents niveaux de flexibilité en simulant une situation où quatre types de firmes sont présentes avec différentes valeurs de paramètres B_i, A_i et F_i. La fonction de coûts totaux est donnée par l'équation

[11]. De l'équation [2], on obtient la courbe de profits espérés nuls (pen) suivante

$$V_p = [2A_i/F_i - (\mu_p - B_i)^2], \qquad [14]$$

la pente de la variance étant alors négative et décroissante avec μ_p:

$$\delta\sqrt{V_p}/\delta\mu_p = -(\mu_p - B_i)/\sqrt{V_p}. \qquad [13]$$

La simulation avec quatre choix de technologies, i=1,...,4, est représentée à la figure 3.

Pour les distributions de prix au nord-est de pen_i, les profits espérés sont positifs et au sud-ouest, ils sont négatifs.

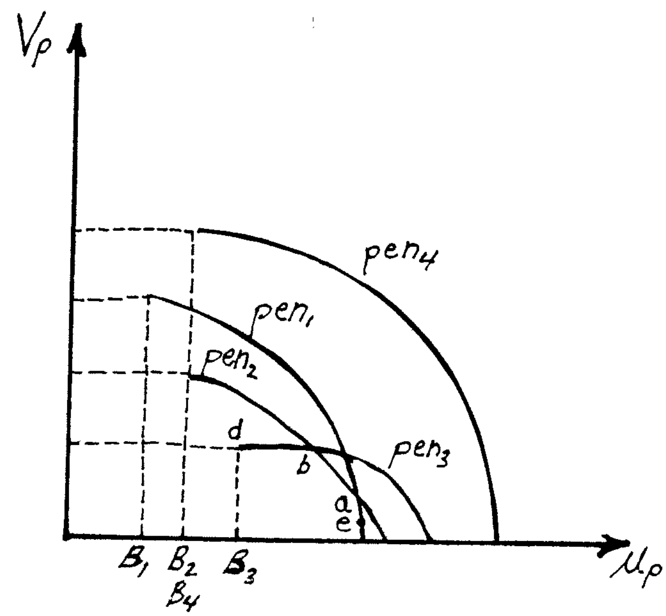


Figure 3: Courbes de profits espérés nuls (Mills(1986))

À l'équilibre concurrentiel, pour qu'il y ait présence de firmes avec la technologie i, $n_i>0$, la distribution du prix doit tomber sur pen_i. Il ne peut y avoir d'équilibre avec des firmes de type 4 car cela inviterait l'entrée des autres firmes, de même que les types 1 et 3 ne peuvent coexister. Seulement deux distributions de prix peuvent permettre la coexistence de firmes hétérogènes: le point a avec les firmes de types 1 et 2 et le point b avec celles de type 2 et 3. Tous les autres points sur le pen enveloppe qui va de c à d peuvent être des équilibres, mais ils ne sont associés qu'avec des firmes homogènes.

À partir des hypothèses initiales, on peut montrer que $V_{qi} = q^{o2}-\mu_{qi}^{2}$, c'est-à-dire qu'avec une quantité produite qui fluctue, les firmes auront, en moyenne, une capacité excessive car $\mu_{qi} < q^{o}$. Pour l'industrie en entier, on aura $V_Q = Q^{o2}-\mu_Q^{2}$, où $V_Q=n_i^{2}V_{qi}$, $\mu_Q=n_i\mu_{qi}$

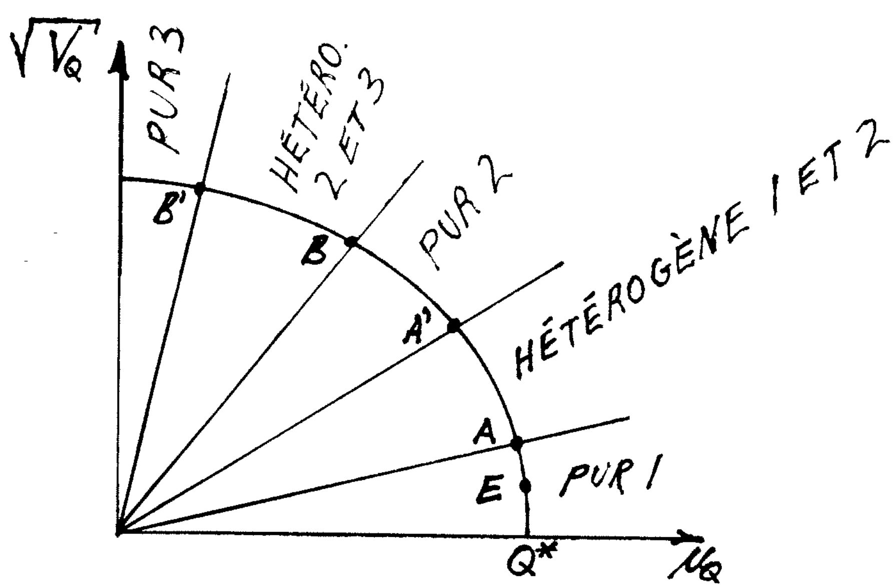


Figure 4: Équilibre concurrentiel et distribution de prix (Mills(1986))

et $Q^0=n_i q_i^0$, lorsque les firmes sont homogènes. Cette relation est illustrée par la figure 4.

Dans l'article précédent, on a montré que $\sqrt{V_{qi}}/\mu_{qi}=Z_i(\mu_p)\sqrt{V_p}/\mu_p$. S'il n'y a que des firmes de type 1, on aura $\sqrt{V_Q}/\mu_Q=Z_1(\mu_p)\sqrt{V_p}/\mu_p$. En considérant le point e de la figure 2, on note que pour toutes les distributions de la demande qui satisfont la relation précédente évaluée au point e, on aura un équilibre concurrentiel avec des firmes de type 1. Cette relation est représentée dans la figure 4 par le rayon passant par le point E et le nombre de firmes présentes à l'équilibre sera $n_1=\mu_Q/\mu_{q1}$, où $\mu_{q1}=F_1(\mu_p-B_1)$. Il en sera de même pour tous les points qui partent de l'abscisse jusqu'au point A, où seules des firmes de type 1 existeront.

Au point a de la figure 3, les types 1 et 2 peuvent coexister. Et si $Z_1(\mu_p) \neq Z_2(\mu_p)$, alors $\sqrt{V_{q1}}/\mu_{q1} \neq \sqrt{V_{q2}}/\mu_{q2}$, selon l'équation du paragraphe précédent. De la relation [15], on doit avoir $B_1<B_2$ puisqu'au point a, la pente de pen_1 est plus forte que celle de pen_2. Selon l'équation [13], on aura $Z_1(\mu_p) < Z_2(\mu_p)$ et $\sqrt{V_{q1}}/\mu_{q1} < \sqrt{V_{q2}}/\mu_{q2}$ au point a. Au point A, on n'a donc que des firmes de type 1 et la pente du rayon est égale à $Z_1(\mu_p)\sqrt{V_p}/\mu_p$, tandis qu'au point A', la pente du rayon est $Z_2(\mu_p)\sqrt{V_p}/\mu_p$ et il n'y a que des firmes de type 2. Tous les points entre ces deux rayons traduiront une combinaison linéaire unique, (n_1,n_2), des vecteurs OA et OA' qui identifient les distributions d'output des types 1 et 2 respectivement. Le même raisonnement s'applique pour les trois autres régions de la figure 4.

"Ce résultat montre qu'avec un choix discret de technologies et des coûts quadratiques, il doit y avoir des distributions de la demande qui soutiennent des structures industrielles concurrentielles avec des firmes hétérogènes, à moins qu'il n'y ait qu'une seule technologie soutenue par toutes les distributions de la demande."(Mills(1986), p.210)

Un autre résultat du même article, obtenu au moyen de statique comparative, est la démonstration que dans une zone mixte, la proportion de firmes flexibles présentes croît en avec $\sqrt{V_Q}/\mu_Q$, c'est-à-dire avec une hausse de la variabilité de la demande.

On peut se demander à présent quel peut être l'impact d'une technologie plus flexible sur le niveau de concurrence. Ce problème a été analysé par Vives(1986). Dans son modèle, cependant, la demande ne fluctue pas et il n'existe qu'une seule technologie disponible pour toutes les firmes. On y développe un jeu à deux étapes où les firmes s'engagent premièrement à choisir une capacité de production puis, à la deuxième étape, les firmes se concurrencent. Les hypothèses de base du modèle sont les suivantes:

i) Il y a n firmes dans l'industrie;

ii) Les biens produits sont homogènes;

iii) le coût total de production de x, lorsque la capacité installée est k, est donné par

$C_f(x;k) = ck$ si $x \leq k$

$= cx + IV(x-k)$ sinon,

où I indique le niveau d'inflexibilité et V est une fonction continue, non-négative sur $[0,\infty)$, strictement croissante, trois fois différentiable, $V(0)=0$, $V'(0)=0$, V' est strictement croissant et concave;

iv) la demande inverse est $P(\cdot)$, elle est positive, deux fois différentiable, strictement décroissante, et concave sur l'intervalle $(0,X^{\circ})$. La demande, $D(\cdot)=P^{-1}$, possède les mêmes propriétés que P sur l'intervalle $(0,P^{\circ})$, où $P^{\circ}=P(0)$.

La fonction de coût s'interprète comme suit: À la première étape, la firme i se procure une capacité de production k dont le coût unitaire de production est égal à c. Si, à la deuxième étape, elle veut produire plus que k, elle doit payer le coût additionnel $c(x-k)+IV(x-k)$. Si $I=0$, la technologie est entièrement flexible et si $I=\infty$, elle est entièrement inflexible.

En égalisant l'offre et la demande sur le marché en entier, Vives montre que la fonction de profit pour la firme i à la deuxième étape est

$$\pi_i = [P(K)-c]k_i \quad \text{si } K > D(c) \qquad [16]$$

$$= (p-c)\{k_i + \Phi[(p-c)/I]\} - IV\{\Phi[(p-c)/I]\} \quad \text{sinon,}$$

où $p=F(K)$, avec $K=\Sigma_i k_i$.

F(K) est définie comme la fonction qui résout, pour p, l'équation de la demande $D(p)=K + n\Phi[(p-c)/I]$, et $\Phi=V'^{-1}$, c'est-à-dire que la fonction Φ donne l'offre de la firme i excédant sa capacité pour un prix donné. La fonction d'offre peut donc être écrite comme suit

$$S_i(p;k_i) = k_i \quad \text{si } p \le c,$$
$$= k_i + \Phi[(p-c)/I] \quad \text{sinon.}$$

On peut alors montrer qu'en équilibre symétrique de Nash, avec n firme et un niveau d'inflexibilité I, les conditions de premier ordre sont

$$p^*-c = -S_i(p^*,k^*)F'(nk^*) = S_i(p^*,k^*)[(n/I)\Phi'-D']. \quad [17]$$

De cette relation, on note que si $I=\infty$, alors $p^*-c=-k^*D'$, et si $I=0$, alors $p^*=c$. Ces résultats sont très intéressants car ils suggèrent que, à mesure que I va de l'infini vers zéro, c'est-à-dire de l'inflexibilité vers la flexibilité, le prix d'équilibre passe du prix de Cournot à celui de Bertrand. On en conclut que le choix de capacité ne constitue un engagement sérieux que si la technologie est peu flexible. Si la technologie est très flexible, le prix se rapprochera du coût marginal de long terme et le choix de capacité aura peu de valeur d'engagement (pre-commitment value). Et pour la société, plus la technologie est flexible, plus elle gagne en bien-être.

Ce dernier modèle serait plus réaliste si le choix de technologie se faisait en situation d'incertitude sur le niveau de la demande. De plus, afin de mieux faire ressortir les effets stratégiques, il serait préférable de modéliser une situation d'oligopole au lieu de concurrence. Vives(1989) propose un tel modèle qui permet, en plus, de séparer les effets directs de la flexibilité en volume des effets stratégiques. Comme on l'a vu dans le modèle précédent, la valeur d'engagement diminue, en situation de certitude, lorsque le niveau de flexibilité augmente. En sera-t-il toujours de même si le niveau d'incertitude de la demande augmente? Si oui, et en supposant, tel que l'a montré Mills, que le niveau de flexibilité recherché augmente avec l'incertitude en situation de concurrence, une firme cherchera-t-elle, en fin de compte, à être plus flexible pour faire face à l'incertitude, ou moins flexible pour augmenter sa valeur d'engagement? Vives(1989) essaie d'y répondre en posant un jeu à deux étapes. Les firmes choisissent leur technologie en premier lieu, puis les décisions de production sont prises après avoir reçu de l'information sur un paramètre affectant les profits. Les hypothèses de base sont les suivantes:

i) il existe n firmes risconeutres;

ii) le bien produit est homogène;

iii) le prix est donné par $p = a - bZ$, où Z est l'output total, b est connu avec certitude et a varie avec moyenne μ et variance V;

iv) le coût total est quadratique: $C(x;I) = c(I)x + Ix^2$, avec $c'<0$, $c''>0$, $\lim_{I\to\infty}c(I)=0$ et $c(0)\equiv c^0$. (Cette fonction de production est illustrée à la figure 5);

v) à la deuxième étape, avant de prendre une décision sur le niveau de production, la firme i reçoit le signal imparfait $s_i = a + e_i$ sur l'état de la demande. e_i est un bruit blanc avec variance v.

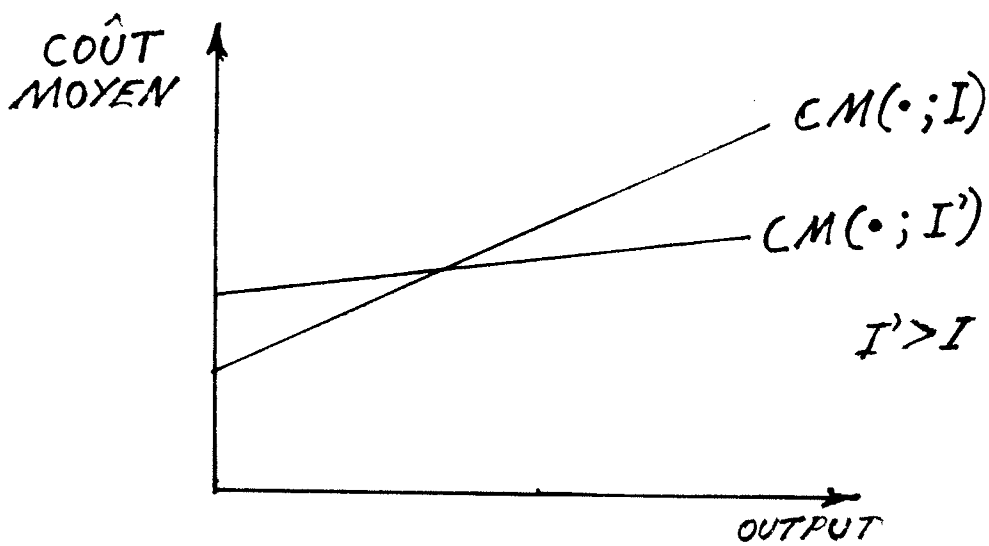


Figure 5: Fonction de coût moyen du modèle de Vives(1989)

Dans la fonction de coût, on a $C_{II} = 2I$, ce qui indique que la flexibilité diminue avec I. Cependant, les conditions attribuées à la fonction c(I) impliquent qu'il existe un compromis entre flexibilité et efficacité statique. Plus la flexibilité est élevé, plus le coût moyen minimum est élevé. Quant à la structure de l'information, on observe que l'accroissement de l'incertitude peut provenir soit d'une hausse de la variance de a, V, ou bien de l'attente de recevoir un signal plus précis, c'est-à-dire une variance plus petite de v.

À la deuxième étape, après avoir choisi I_i et observé s_i, la firme i choisira un niveau d'output, $z_i^*(\cdot;J)$, qui maximisera son espérance de gain, $P_i(J)$, où

$$P_i(J) = E\{pz_i^*(s_i;J) - C[z_i^*(s_i;J);I_i]\} \qquad [18]$$

$i=1,\ldots,n$, $J=(I_1,I_2,\ldots,I_n)$,

où $p = a - b\Sigma_{j=1}^{n} z_j^*(s_j;J)$, et $z_i^*(\cdot)$ est l'équilibre Bayésien-Cournot de deuxième étape.

L'équilibre symétrique de Nash donnera

$$\delta P_i(J)/\delta I_i = E\{-bz_i^*(s_i;J)\Sigma_{j\neq i}\delta z_j^*(s_j;J)/\delta I_i - \delta C[z_i^*(s_i;J);I_i]/\delta I_i\} = 0 \qquad [19]$$

De manière à séparer l'effet flexibilité de l'effet stratégique, Vives trouve l'équilibre de boucle ouverte (Open Loop Equilibrium - OLE). Dans ce cas, on considère le niveau de flexibilité, I_j, de même que les règles de production , $z_j(\cdot)$, des autres firmes, $j \neq i$, comme fixes. La firme i choisit alors la paire $(I_i, z_i(\cdot))$ en considérant le gain donné par $E\{pz_i(s_i) - C(z_i(s_i);I_i)\}$. À l'équilibre symétrique, on obtient $E\{-\delta C(z_i^*(s_i);I_i)/\delta I_i\}=0$. En comparant cette dernière relation avec celle de l'équation [19], on s'aperçoit que la rentabilité marginale du choix technologique, $\delta P_i/\delta I_i$, peut être décomposé en un effet flexibilité direct, $E\{-\delta C/\delta I_i\}$, et un effet stratégique, $E\{-bz_i^{*}\Sigma_{j\neq i}\delta z_j^{*}/\delta I_i\}$.

Vives montre alors que si l'index de convexité de $c(\cdot)$ est suffisamment élevé, alors il existe un équilibre symétrique unique parfait en sous-jeu. L'effet flexibilité sera

$$w^f \equiv -E\{\delta C/\delta I_i\} = -\{c'(I)\mu_z + E[z(s_i)]^2\}$$

$$= -\{a^2 V/t + \mu_z^2 c'(I)\} \qquad [20]$$

et l'effet stratégique sera

$$w^S \equiv -b(n-1)E\{z(s_i)\delta z(s_j)/\delta I_i$$

$$= -\{\Theta\alpha^2 V/t + \Theta^0\mu_z + (\Theta_0/2)\mu_z c'(I)\} \qquad [21]$$

où $t=V/(V+v)$, $\alpha=t/[2(b+I^{*})+(n-1)bt]$, $\Theta=2(n-1)b^2t^2/D$, $D=[2(b+I^{*})-bt]t/\alpha$, $\Theta^0=\Theta|_{t=1}$.

Des équations [20] et [21], on conclut que dans une situation symétrique, une hausse de l'incertitude, que ce soit en termes de V ou de v^{-1}, renforce toujours l'effet stratégique, en autant que les signaux soient informatifs. La valeur d'engagement ne serait donc pas affaiblie par la hausse de l'incertitude. Et une hausse de l'incertitude initiale, V, augmente l'effet flexibilité, mais des changements dans la précision de l'information, v^{-1}, ont un effet ambigu: l'effet flexibilité augmentera avec v si $2I^{*} \geq b[t(n-1)-2]$.

Les firmes chercheront donc à être plus flexibles lorsque la variance du niveau de la demande augmente, en autant que les signaux sur la demande soient informatifs. Il en sera de même d'une hausse de précision de l'information lorsque $2I^{*} \geq b[t(n-1)-2]$. Cette dernière inégalité signifie que si le nombre de firmes, n, est élevé, ou bien si les signaux, s_i, sont très informatifs (t sera alors grand), alors les firmes chercheront à être moins flexibles. Le choix d'un monopole sera ainsi très différent de celui d'un oligopole.

Tous les modèles présentés jusqu'ici supposent un choix de technologie simultané entre les firmes. Dans la pratique, il existe certainement des cas où une firme, le suiveur, est appelée à choisir sa technologie après avoir observé le choix d'un concurrent, le leader. M. Boyer et M. Moreaux(1993) ont analysé cette situation en développant un modèle à deux étapes avec duopole, où les firmes choisissent, en premier lieu, leur niveau de flexibilité de long terme, mais l'une après l'autre. Puis, à la seconde étape, elles choisissent simultanément leur niveau de production de court terme, après avoir observé le niveau de la demande. Les hypothèses de base du modèle sont:

i) il n'y a que deux firmes risconeutres présentes;

ii) le bien produit est homogène;

iii) le prix est donné par $p=MAX\{0,a - b(q^L+q^F)\}$, où b est connu avec certitude mais le niveau de la demande, a, suit une distribution de probabilité F(a) sur $[a_l,a_h]$ avec moyenne μ et variance V. a est connu avec certitude avant les décisions de production et $a_l \geq 2bx+s$ de façon à ce que le niveau d'output soit positif en tout temps pour chacune des firmes;

iv)la fonction de coûts totaux est donnée par

$TC(q,v,I,x) = H(I,x) + S(I,x) + VCP(v;I,x) + D(q;v)$

où q est la quantité mise en marché, v est la quantité produite, x est la capacité, I est le niveau d'inflexibilité, H est le coût initial de l'investissement, S est le coût d'installation pour la production de court terme (set-up cost), VCP est le coût variable de production, D est le coût de mise au rebut de la production excédentaire (v-c). Ces dernières fonctions sont définies comme suit:

$H(I,x)=H(I)+kx$, $H(0)=H>0$, $H(\infty)=0$, signifiant que le coût initial d'une technologie flexible est plus élevé que celui d'une technologie inflexible;

$S(0,x)=0$, $VCP(v;0,x)=cv$, pour tout v et x, et

$S(\infty,x)=sx$ si $v>0$, $VCP(v;\infty,x)=0$ si $v\in\{0,x\}$, $VCP(v;\infty,x)=\infty$ sinon, signifiant que le coût d'installation en flexibilité est moindre qu'en inflexibilité, et qu'après l'installation, le coût de production par unité est moindre en inflexibilité. Par contre, la firme inflexible ne peut produire que son niveau de capacité, ni plus, ni moins.

$$D(q;v) = \delta(v-q) \text{ si } q\leq v,\ \delta\in\{0,\infty\},$$
$$= \infty \text{ sinon},$$

où δ est le coût unitaire de mise au rebut, qui sera ou bien nul, ou bien infiniment grand.

Ainsi, on suppose qu'il n'existe que deux choix extrême de flexibilité, la flexibilité parfaite, I=0, et l'inflexibilité, I=∞. Afin de simplifier le modèle et de se concentrer sur les considérations stratégiques du choix de flexibilité, on fixe le

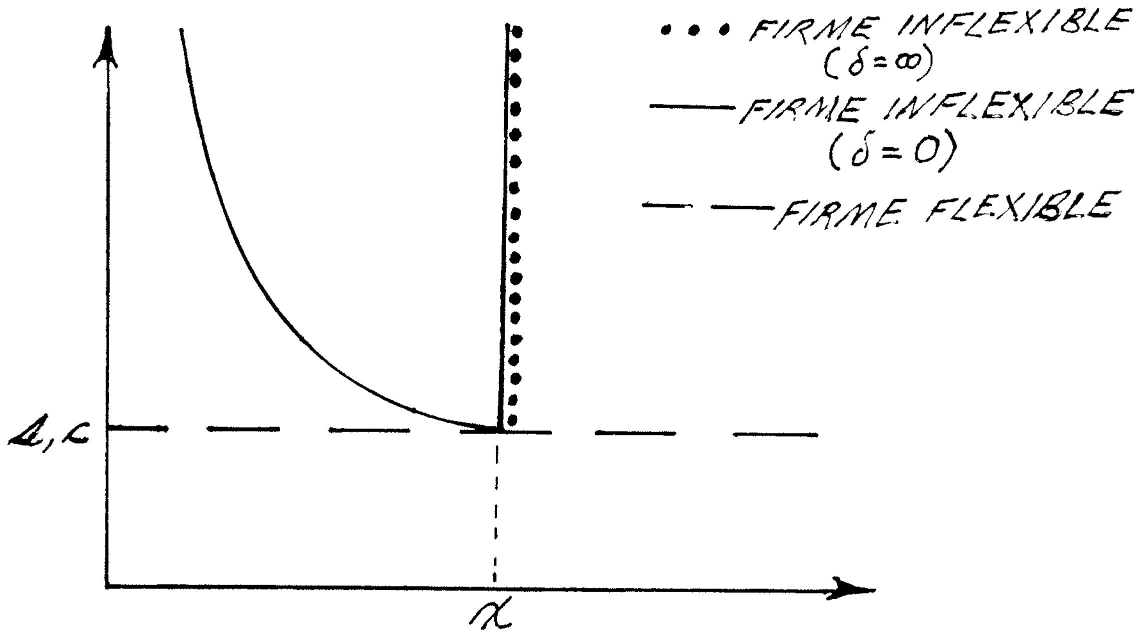


Figure 6: Fonctions de coûts moyens utilisées dans le modèle de Boyer et Moreaux(1993)

niveau de capacité à x de façon exogène et on pose k=0, de même que l'on pose c=s. La figure 6 illustre les différentes fonctions de production. Une comparaison avec les fonctions de coûts de Stigler est révélatrice (fig. 1).

À partir de ce modèle, on analyse les effets, sur les choix de technologie, de changements dans la valeur de paramètres importants d'une industrie tels que la variabilité de la demande, V, la grandeur moyenne du marché, μ, l'élasticité de la demande, b, le niveau de capacité, x, et la différence de coût d'investissement initial entre technologies flexibles et inflexibles, H.

L'avantage de la flexibilité, ex-post, est déterminé en posant le coût fixe H égal à zéro. On obtient les résultats exposés au tableau 4. Ces résultats suggèrent que, même si l'investissement en technologie flexible n'implique aucun coût supplémentaire, lorsque le coût de mise au rebut est prohibitif, il peut être préférable pour un suiveur de s'engager à être peu flexible si le niveau de la demande est bas et si le leader est flexible. Mais si le leader est inflexible, l'engagement perd sa raison d'être et il est préférable pour le suiveur d'être flexible. Dans le cas où les coûts de mise au rebut sont nuls, pour un niveau intermédiaire de la demande et des coûts d'opérations suffisamment bas, il peut être préférable pour un suiveur d'être inflexible lorsque le leader l'est aussi. Et lorsque le leader est flexible, l'inflexibilité du suiveur n'est préférable que pour des niveaux intermédiaires de la demande.

Quant aux résultats de l'équilibre de Stackelberg parfait en

Choix du leader (i)	Meilleure réponse du suiveur (j) Coût de mise au rebut prohibitif ($\delta=\infty$)	Coût de mise au rebut nul ($\delta=0$)
flexible ($I_i=0$)	inflexibilité si $a \leq 3bx+s$ flexibilité sinon	flexibilité si $a > 3bx+s$ ou si $s < \frac{1}{4}$ <u>et</u> $a < 9bx/4$ inflexibilité si $s < \frac{1}{4}bx$ <u>et</u> $9b/4<a<3bx+s$ ou si $s > \frac{1}{4}bx$ <u>et</u> $2bx+s<a<3bx+s$
inflexible ($I_i=\infty$)	flexibilité	flexibilité si $s>2bx/3$ ou si $a < 3bx-s$ ou si $a > 3bx$ inflexibilité si $\frac{1}{2}bx<s<2bx/3$ <u>et</u> si $3bx-s<a<3bx$

Tableau 4: Avantage de la flexibilité (Boyer et Moreaux(1993))

sous-jeu, ils sont résumés dans le tableau 5, où sont présenté les choix optimaux (I^{L*}, I^{S*}) selon les valeurs prises par les différents paramètres d'une industrie.

$\uparrow V$		$\uparrow \mu$		$\downarrow H$	$\downarrow x$ ou $\downarrow b$
$\delta=\infty$	$\delta=0$	$\delta=\infty$	$\delta=0$	$\delta=\infty$	$\delta=\infty$
(∞,∞)	$(0,0)$	$(\infty,0)$	(∞,∞)	(∞,∞)	(∞,∞)
$\downarrow$	$\downarrow$	$\downarrow$	$\downarrow$	$\downarrow$	$\downarrow$
$(\infty,0)$	(∞,∞)	(∞,∞)	$(0,\infty)$	$(\infty,0)$	$(\infty,0)$
$\downarrow$	$\downarrow$	$\downarrow$	$\downarrow$	$\downarrow$	$\downarrow$
$(0,\infty)$	$(0,\infty)$	$(0,\infty)$	$(0,0)$	$(0,\infty)$	$(0,\infty)$
$\downarrow$		$\downarrow$		$\downarrow$	$\downarrow$
$(0,0)$		$(0,0)$		$(0,0)$	$(0,0)$

Tableau 5: Exemple d'équilibres atteints en variant les paramètres d'une industrie (Boyer et Moreaux(1993))

Dans tous ces cas, Boyer et Moreaux montrent que le leader fait des profits au moins aussi élevés que ceux du suiveur. Il est donc préférable d'être leader dans ce modèle. Dans le cas d'une hausse du niveau de la demande, μ, on obtient à peu près le même résultat quel que soit le coût de mise au rebut, c'est-à-dire que les deux firmes voudront être plus flexibles pour une forte demande et inversement pour une faible demande. On obtient également le même résultat intuitif que les firmes préféreront la flexibilité lorsque sont coût d'investissement initial supplémentaire, H, diminue, et il en va de même lorsque la capacité de la technologie inflexible diminue ou lorsque l'élasticité de la demande croît. Ce dernier résultat sur la capacité n'est pas surprenant puisqu'on peut imaginer qu'avec une capacité réduite, pour un niveau moyen de la demande constant, la demande résiduelle deviendra grande pour la firme flexible, ce qui haussera proportionnellement les profits de cette dernière. Ce résultat concorde bien avec celui de Mills et Schumann(1985) selon lequel les firmes inflexibles ont une capacité plus grande que les firmes flexibles.

Une conclusion plus inattendue porte sur l'effet d'une hausse de la variabilité de la demande. On obtient des résultats opposés selon que le coût de mise au rebut est prohibitif, c'est-à-dire lorsque l'engagement de la firme inflexible est maximal dû à son obligation de produire <u>et</u> de mettre en marché la quantité x, ou bien que ce coût soit nul, ce qui réduit, mais n'élimine pas, l'engagement initial. Dans le premier cas, la hausse de la variabilité encourage les firmes à être plus flexibles et inversement dans le second cas. Le premier cas est assez intuitif puisque les firmes voudront réduire leur output lorsque la demande est basse, événement plus probable avec V élevé, et inversement lorsqu'elle est élevée. Le deuxième cas peut s'expliquer comme suit: on a (0,0) au départ puisque μ est déjà élevé, puis la hausse de V permettrait aux firmes inflexibles de garder une plus grande part de marché lorsque la demande est basse, à cause de l'effet d'engagement, au détriment d'un output limité lorsque la demande est forte. Mais le prix demeurant élevé dans ce dernier cas, les firmes généreront de bons profits, d'autant plus que μ est déjà élevé.

Enfin, à l'exception de ce dernier cas, on remarque que l'industrie supportera des firmes hétérogènes pour des niveaux intermédiaires des paramètres. On observe que le leader s'accapare des profits plus élevés car en choisissant le premier, il préfère l'inflexibilité lorsque la variabilité de la demande est intermédiaire-basse, ce qui lui assure un output élevé en tout temps, et il choisit la flexibilité lorsqu'elle est intermédiaire-élevée, ce qui lui permet de bien profiter des fluctuations de la demande.

5.2.2. FLEXIBILITÉ MULTIPRODUIT

Tous les modèles d'interactions stratégiques revus jusqu'ici ne considéraient que des cas d'adoption de flexibilité en volume. nous allons maintenant passer à des cas de flexibilité multiproduits. Un article produit par Roller et Tombak(1990) et son addenda par Kim, Roller et Tombak(1992), analyse le cas où une technologie flexible permet de produire deux biens partiellement substituables, et deux technologies dédiées ne permettant de produire qu'un seul des deux produits chacune. L'idée de modéliser des biens partiellement substituables provient du fait que les technologies flexibles ne permettent typiquement de produire que des biens d'une même industrie. Le modèle propose un jeu à deux étapes, en absence d'incertitude, où les firmes adoptent simultanément une technologie à la première étape, et, à la deuxième étape, une concurrence à la Cournot s'ensuit. Les hypothèses de base du modèle sont:

i) seules deux firmes sont présentes;

ii) il existe deux marchés: celui du bien A et celui du bien B. Les prix sont donnés par $P^A=a-bQ^A-cQ^B$ et $P^B=a-bQ^B-cQ^A$, où c mesure le degré de substituabilité entre les biens A et B. On pose b=1 et $0\leq c\leq 1$. Ainsi, plus c se rapproche de b, plus les biens sont de proches substituts, et l'effet de prix direct domine l'effet de prix indirect, car $b\geq c$;

iii) trois choix de technologie sont disponibles: une technologie flexible (F) qui permet de produire l'un et/ou l'autre des deux produits en une période, et deux technologies dédiées (D) qui ne permettent de produire qu'un seul des deux produits. La forme générale de la fonction de coûts totaux est

$CT = F_k + C(Q_{i,j}{}^A + Q_{i,j}{}^B)$

où i réfère à la firme, i = 1 ou 2, j réfère à la technologie, j=1 si les deux firmes sont flexibles (F,F), j=2 si (F,D), j=3 si (D,F), et j=4 si (D,D). (On suppose que lorsqu'une seule des deux firmes adopte une technologie dédiée, elle choisira de produire le bien A.) F_k est le coût fixe associé à la technologie k, où on pose $F_F = 1+s \geq F_D = 1$, et C est le coût marginal égal entre les deux technologies. (Cette dernière hypothèse d'égalité entre les coûts variables se vérifie empiriquement et est expliquée par le fait que si les deux technologies sont hautement automatisées, alors les matériaux sont responsables de la majorité des coûts variables.)

Les gains de deuxième période seront donnés par

$$\pi_{i,j} = P^A Q_{i,j}{}^A + P^B Q_{i,j}{}^B - F_k - C(Q_{i,j}{}^A + Q_{i,j}{}^B) \qquad [22]$$

et les paramètres d'une industrie qui seront étudiés sont la grandeur du marché, t, où t=a-C, la différence de coûts fixes entre technologies flexibles et dédiées, s, et le degré de segmentation du marché, c. Les quatres équilibres possibles sont présentés au tableau 6.

L'équilibre (F,F) est obtenu si $\pi_{21}{}^* - \pi_{22}{}^* \geq 0$ et $\pi_{11}{}^* - \pi_{13}{}^* \geq 0$. Ces

		FIRME 2	
		F	D
FIRME 1	F	π_{11}, π_{21}	π_{12}, π_{22}
	D	π_{13}, π_{23}	π_{14}, π_{24}

Tableau 6: Jeu de technologie de production

deux conditions sont respectées lorsque

$$t^2(1-c)-9s(1+c) \geq 0, \quad [23]$$

c'est-à-dire que l'adoption de technologie flexible sera favorisée par des marchés plus grands, car cela permet une présence plus active dans les deux marchés, des produits plus différenciés (c plus petit), car choisir une technologie dédiée revient à se séparer de près de la moitié du marché, et par une différence réduite des coûts fixes.

L'équilibre (D,D) est atteint avec $\pi_{23}^*-\pi_{24}^*<0$ <u>et</u> $\pi_{14}^*-\pi_{12}^*>0$, ce qui implique

$$t^2(1-c)(5c^2+12c+16)-36s(c+1)(c+2)^2 < 0. \quad [24]$$

Cette inégalité sera respectée pour des valeurs de paramètres opposées à celles de l'équilibre (F,F).

L'équilibre mixte (F,D) est obtenu avec $\pi_{21}^*-\pi_{22}^*<0$ <u>et</u> $\pi_{12}^*-\pi_{14}^*\geq 0$, et l'équilibre (D,F) avec $\pi_{13}^*-\pi_{11}^*<0$ <u>et</u> $\pi_{23}^*-\pi_{24}^*\geq 0$. Chacune de ces deux paires de conditions est remplie par les équations[2] $[23]^{-1}$ et

---

[2]L'exposant $^{-1}$ signifie le complément de la région définie par l'inégalité.

$[24]^{-1}$. Mais puisque [24] est plus grand que [23], il n'existe pas de région qui puisse supporter un équilibre mixte. La région comprise entre [23] et [24] pourra supporter deux équilibres en stratégies pures, c'est-à-dire (F,F) et (D,D), et nous assisterons à un jeu de type "bataille des sexes" ou de "coordination".

Les auteurs de l'article poursuivent l'étude par une analyse des implications de ces équilibres sur le bien-être général. Ils montrent que, pour des valeurs fixes de s, le surplus du consommateur est le plus élevé en équilibre flexible, étant donnée la concurrence plus féroce qui en résulte. Ainsi, le surplus du consommateur croît avec le degré de différenciation des produits et avec la grandeur du marché. Quant au surplus des producteurs, il est plus élevé en technologie dédiée, suggérant que si l'inégalité [24] fait force, on assiste à un jeu du type "dilemme du prisonnier", où en adoptant des technologies flexibles, les deux firmes réduisent leurs profits. Les auteurs proposent que la standardisation entre les firmes peut aider à briser ce dilemme. Quant à l'effet sur le surplus total, il est plus élevé en équilibre flexible.

Afin d'introduire un peu plus de réalisme dans cette étude sur la flexibilité multiproduits, il serait plus révélateur d'accroître le nombre de firmes présentes et d'ajouter une spécification selon laquelle le coût fixe d'adoption d'une technologie flexible est spécifique à chaque firme. En effet, tel que le suggèrent Milgrom et Roberts(1990), il semblerait que le coût d'implantation d'une technologie flexible peut varier passablement entre différentes firmes, ceci étant principalement dû à une foule de facteurs complémentaires rendant cette implantation plus ou moins facile selon les caractéristiques propre à chaque firme. Les hypothèses de base du modèle sont: (Pour une meilleure description de certains paramètres, voir modèle précédent.)

i) il y a n firmes dans l'industrie;

ii) il existe deux marchés: ceux du bien A et ceux du bien B, dont la demande est caractérisée par $P^k=f(Q^k)+g(Q^l)$, $k,l=A,B$, $k=l$, où $f(\cdot)$ est l'effet prix direct et $g(\cdot)$ est l'effet prix indirect. On posera $P^k=a-bQ^k-cQ^l$, où $b=1$ et $0 \leq c \leq 1$;

iii) il y a trois choix de technologie possibles, comme dans le modèle précédent, dont les coûts totaux sont donnés par

$CT_i^F = F_i^F + C(Q_i^A+Q_i^B)$ et

$CT_i^D = F^D + C(Q_i^k)$,

où F_i^F est spécifique à chaque firme, $F^D=1$, $F_i^F=1+s_i$, $F_i^F>F^D$, $F_i^F<2F^D$. Sans cette dernière égalité, aucune firme n'adopterait jamais de technologie flexible[3].

Si τ mesure la proportion de firmes ayant adopté des technologies flexibles, alors les gains de deuxième période seront

---

[3]Voir mon commentaire sur ces coûts de productions à la page 61.

$$\pi_{i,\tau n}^{F} = P^{A}Q_{i}^{A} + P^{B}Q_{i}^{B} - F_{i}^{F} - C(Q_{i}^{A}+Q_{i}^{B}),\ i=1,\ldots,\tau n, \qquad [25]$$

$$\pi_{i,\tau n}^{D} = P^{k}Q_{i}^{k} - F^{D} - C(Q_{i}^{k}),\ i=\tau n+1,\ldots,n, \qquad [26]$$

où $\pi_{i,j}^{T}$ est le profit de la firme i lorsque j firmes ont investi en technologie flexible. Les effets étudiés sont ceux de variations du nombre de firmes présentes, n, de la grandeur du marché, t=a-C, des différences de coûts fixes, s_i, et du degré de segmentation du marché, c.

Avec un équilibre hétérogène, en supposant que le nombre de firmes inflexibles est le même pour chaque marché, les profits à l'équilibre de Cournot sont

$$\pi_{i,\tau n}^{D*} = \{4t^2/[n\tau(1-c)+n(1-c)+2]^2\} - 1, \qquad [27]$$

$$\pi_{i,\tau n}^{F*} = [2(\pi_{i,\tau n}^{D*} + 1)/(c+1)] - 1 - s_i. \qquad [28]$$

Si les marchés sont parfaitement différenciés, c=0, alors $\pi_{i,\tau n}^{F*} = 2\pi_{i,\tau n}^{D*} + 1 - s_i > 2\pi_{i,\tau n}^{D*}$, et toutes les firmes investiront en technologies flexibles à la première étape. Si on n'a qu'un seul grand marché, c=1, alors $\pi_{i,\tau n}^{F*} = \pi_{i,\tau n}^{D*} - s_i$, et toutes les firmes investiront en technologie dédiée.

Pour étudier les autres cas, nous allons ordonner les firmes selon leurs coûts fixes d'adoption de technologie flexible: $s_1<s_2<\ldots<s_n$. L'équilibre parfait en sous-jeu sera identifié par τ^* tel que $\pi_{\tau^*n,\tau^*n}^{F*}=\pi_{i,\tau^*n}^{D*}$, $i>\tau^*n$, c'est-à-dire que la firme flexible avec le s_i le plus élevé, la firme τ^*n, ne veut dévier, de même que toutes les firmes inflexibles. En posant s^0 comme le coût fixe critique de la firme τ^*n, on obtient

$$s^0 = R[(1-c)/(1+c)], \text{ où } R=4t^2/[n\tau(1-c)+n(1+c)+2]^2. \qquad [29]$$

Cette relation montre que si le nombre de firmes augmente, alors la proportion de firmes flexibles diminue, ceteris paribus. Ceci suggère qu'avec un petit nombre de firmes, la hausse proportionnelle du nombre de firmes flexibles permet de maintenir un niveau élevé de concurrence, réduisant par le fait même les possibilités de profits élevés découlant souvent d'une forte concentration de l'industrie. On note également que la proportion de firmes flexibles augmente avec le marché, t, et diminue avec le degré de différentiation , 1/c.

En présence d'un marché parfaitement concurrentiel, on devra avoir $\pi_{i,\tau^* n}{}^{0*}=0$, ce qui implique R=1, $s^0=(1-c)/(1+c)$ et $n^*=2(t-1)/[\tau^*(1-c)+c+1]>0$. Ainsi, même en situation de parfaite concurrence, un équilibre hétérogène existera grâce à l'avantage conféré aux firmes ayant des coûts fixes moins élevés d'adoption de technologies flexibles.

Pour ce qui est des équilibres homogènes, ils seront obtenus pour des valeurs extrêmes de s^0. Par exemple, lorsque $s^0 \geq s_n$, toutes les firmes seront flexibles et lorsque $s^0 \leq s_1$, elles seront toutes inflexibles. Ce dernier cas survient lorsque les produits sont parfaitement substituables, c=1, car alors $s^0=0$.

5.2. COMMENTAIRES SUR REVUE DE LITTÉRATURE DES EFFETS STRATÉGIQUES DE LA FLEXIBILITÉ

Considérons en premier lieu la conclusion de Mills et Schumann(1985) voulant que, dans un marché fortement concurrentiel et où la demande fluctue considérablement, les grandes firmes, plus intensives en capital, puissent produire à un coût moindre que les petites firmes, mais au détriment d'une perte de flexibilité. C'est cette flexibilité additionnelle qui permettrait aux petites firmes de survivre. Quelles seront alors les conséquences pour ces firmes de l'apparition des nouvelles technologies flexibles de production (TFP)? Ces technologies étant aussi intensives en capital, génèrent des coûts variables de production similaires aux technologies inflexibles, mais confèrent un niveau de flexibilité plus proche de celui des petites firmes moins intensives en capital. On en vient donc à se demander si les grandes firmes qui n'adoptent pas ces technologies flexibles ne pourront plus être concurrentielles, et si les petites firmes auparavant plus flexibles seront éliminées du marché en perdant cet avantage comparatif. La structure des industries à forte concurrence, où la demande fluctue beaucoup et où l'adoption de TFP peut s'appliquer s'en trouvera certainement profondément modifiée.

Il est intéressant de noter que même si le nombre de firmes présentes diminue à cause de l'apparition de TFP, le niveau de concurrence ne s'en trouvera pas nécessairement réduit tel que proposé par Vives(1986) et Roller et Tombak(1990). Ceci est dû à la réduction de la valeur d'engagement de la capacité lorsque la technologie est flexible.

L'article de Vives(1986) constitue une bonne introduction sur la valeur d'engagement d'un choix de capacité. Il est cependant peu réaliste car il suppose que la demande future est connue avec certitude. Vives(1989) essaie de corriger cette situation en proposant un modèle où le niveau de la demande n'est pas connu avec certitude avant de faire un choix technologique. Ce deuxième modèle n'est cependant pas très convainquant car les fonctions de coûts totaux ne comportent aucun choix de capacité. Selon cette fonction, le coût minimum moyen est obtenu lorsque la production est nulle (voir figure 5). Ce que Vives défini comme une flexibilité est plutôt l'habileté à pouvoir produire de grandes quantités à coût plus faible et l'inflexibilité est l'aptitude à produire de petites quantités à faible coût. Il n'est donc pas surprenant qu'il obtienne le résultat selon lequel l'effet flexibilité n'implique que la baisse des coûts et que, pour un niveau moyen de la demande donné, une hausse de la variabilité de la demande lui donne de la valeur. En effet, lorsque la demande sera élevée, la firme flexible pourra profiter pleinement des prix plus élevés, au détriment d'une perte de profits lorsqu'elle est basse, perte qui sera de toute manière limitée dû à la faible demande.

L'intuition nous suggère, cependant, qu'une plus grande flexibilité devrait permettre de faire augmenter l'espérance de profits à la fois à cause de la baisse des coûts et de la hausse des revenus lorsque la demande fluctue. Elle devrait également diminuer le taux de risque car la firme peut mieux profiter des différents niveaux de la demande. Ainsi, le revenu devrait aussi avoir un impact sur le choix de flexibilité.

Le problème du choix de capacité est pris en compte par Boyer et Moreaux(1993) en introduisant un choix de capacité maximale pour la firme inflexible et aucune limite de capacité pour la firme flexible. Ces hypothèses extrêmes permettent de bien faire ressortir la valeur d'engagement stratégique d'un choix de capacité. Toutefois, ce modèle suppose toujours la neutralité face au risque. Cela est peu satisfaisant car, comme mentionné plus haut, un des avantages de la flexibilité consiste à pouvoir mieux profiter des fluctuations de la demande et d'ainsi réduire le risque, ce qui devrait avoir de la valeur pour un preneur de décision.

Pour ce qui est des deux modèles de Roller et Tombak, leur principale déficience réside dans le fait qu'ils n'imposent aucune limite de capacité pour la technologie flexible. Conséquemment, lorsque les deux produits sont parfaitement différenciés, la firme flexibles produira deux fois plus que la firme inflexible, car elle est présente sur les deux marchés. Mais le coût d'adoption de la technologie flexible étant moindre que deux fois celui de la technologie dédiée, il n'est pas surprenant que les profits soient plus élevés pour la firme flexible. Il aurait été plus réaliste d'ajouter une contrainte selon laquelle la firme flexible ait une capacité maximale sur la somme des deux produits égale à celle de la firme inflexible sur son unique produit.

Afin de répondre à quelques-unes des critiques formulées dans cette section, les sections 5.4 et 5.5 proposent un nouveau modèle et une autre façon d'évaluer l'effet direct de la flexibilité, respectivement. Mais avant d'y passer, faisons le point sur la meilleure stratégie à adopter pour une entreprise.

5.3. "CHIEN MÉCHANT" OU "LA PEAU ET LES OS"?

En référence à la décomposition entre effet direct et effet stratégique telle que proposée par Tirole au début de la section 5, les résultats des études sur les effets stratégiques de la flexibilité pointent vers un signe positif pour le terme $\delta x_2^*/\delta K_1$ dans l'équation [1] lorsque K_1 est défini comme le niveau de flexibilité de la firme 1.

En effet, les études sur la flexibilité en volume montrent que si la firme 1 devient plus flexible, alors la firme 2 haussera sa production en sachant que la firme 1 peut facilement réduire son niveau de production sans trop de pertes. Quant aux études sur la flexibilité multiproduit, elles montrent également que la hausse de la flexibilité augmente le niveau de concurrence et qu'il peut être préférable pour une firme de ne se cantonner que dans un seul marché de façon à réduire la concurrence.

Ces résultats suggèrent que la stratégie optimale en matière de flexibilité serait celle de "la peau et les os" de manière à ce qu'une firme ait l'air plus agressif. Ceci implique un signe négatif pour le terme $(\delta\pi_1/\delta x_2)(\delta x_2^*/\delta K_1)$ et, conséquemment, un sousinvestissement en flexibilité.

Un problème important auquel on est confronté est à savoir si, selon les paramètres d'une industrie, l'ordre de grandeur de l'effet stratégique est comparable à celui de l'effet direct. Par exemple, comme on l'a vu, si la variabilité de la demande est très forte, l'effet direct deviendra beaucoup plus important que l'effet stratégique.

5.4. PROPOSITION D'UN MODÈLE DE TECHNOLOGIE FLEXIBLE MULTIPRODUIT AVEC INCERTITUDE

Ce modèle essaiera de faire ressortir les effets directs et stratégiques d'un choix de flexibilité multiproduit en présence d'un duopole. Il consiste en un jeu à deux étapes où, en premier lieu, les firmes sont appelées à choisir simultanément leur niveau de flexibilité en faisant face à un niveau de demande incertain, puis, après résolution de l'incertitude, un jeu de concurrence à la Cournot s'ensuit à la deuxième étape. Ce modèle est différent de ceux de Roller et Tombak(1990,1993) en ce qu'il introduit un élément d'incertitude dans la demande et qu'il permet d'imposer un niveau de capacité plus réaliste pour chaque technologie. Les hypothèses de base du modèle sont comme suit:

i) il y a deux firmes risconeutres;

ii) l'industrie est composée de deux produits partiellement substituables A et B dont le prix est déterminé par

$P^A = a - bQ^A - cQ^B + e + u,$

$P^B = a - bQ^B - cQ^A - e + u,$

où e et u sont des bruits blancs avec variance V_e et V_u respectivement, b=1 et 0<c<1;

iii) les fonctions de coût total avec capacité des technologies flexibles et dédiées sont quadratiques et données par

$C^F = G + H^F(q^A+q^B) + I^F(q^A+q^B)^2/2,$

$C^D = G + H^D q^k + I^D q^{k2}/2$, où k = A ou B;

iv) le coût d'acquisition de chaque technologie est

$F^D = 1$

$F^F = F^D + s = 1 + s,$

où F^D et F^F réfèrent aux technologies dédiées et flexibles respectivement.

Le paramètre c mesure le degré de substituabilité entre les produits A et B. Lorsque c=1, on n'a qu'un seul produit homogène et lorsque c=0, on a deux produits parfaitement différenciés. Le fait que c soit posé plus petit que b signifie que l'effet direct sur le prix d'un produit est plus grand que l'effet croisé. La variable stochastique e introduit l'incertitude sur la direction de la demande future entre les deux produits. Un exemple donné par He et Pindick(1992) est celui de la production de moteurs à quatre ou six cylindres. Dépendant de facteurs externes tels que les prix du pétrole, les goûts, la technologie, etc, les gens délaisseront un type de moteur au profit de l'autre. La variable stochastique u, quant à elle, dépeint l'état de l'économie en général. En récession, on s'attend à ce que le niveau de la demande a diminue pour les deux produits[4], et l'inverse en période de reprise économique.

---

[4]Dans l'exemple des moteurs à quatre ou six cylindres, ces derniers devraient être frappés plus durement en période de récession que les premiers. Ceci pourrait être modélisé en introduisant une certaine corrélation entre u et e.

Quant aux fonctions de coûts quadratiques, elles sont définies telles que l'a fait Mills(1984). Le niveau de capacité, défini comme la quantité pour laquelle le coût moyen est minimisé, est donnée par $q^{Fo} = (2G^F/I^F)^{\frac{1}{2}}$, avec $q^{Fo} \equiv q^A+q^B$ pour la firme flexible, et par $q^{Do} = (2G^D/I^D)^{\frac{1}{2}}$ pour la firme dédiée. Ce coût moyen minimum sera quant à lui égal à $C[q^{To}(T)]/q^{To}(T) = H^T + (2GI)^{\frac{1}{2}}$, où T réfère au type de technologie utilisée. Les différentes courbes de coûts moyens qui peuvent être générées par ces fonctions de production permettent de choisir à partir d'une panoplie de cas de manière à bien représenter la réalité. Les coûts fixes par période sont considérés égaux entre les deux technologies puisque les deux sont hautement automatisées. Le coût d'acquisition est considéré plus élevé pour les technologies flexibles que pour les technologies dédiées, bien que cette différence devra tenir comte du niveau de capacité. Par exemple, si on q posait $q^{Fo} = 2q^{Do}$, le coût d'acquisition de technologie flexible devrait être plus de deux fois supérieur à celui de la technologie dédiée (ce qui n'avait pas bien été pris en compte par Roller et Tombak(1990,1993)).

GAINS DE DEUXIÈME PÉRIODE:

Le gain de deuxième période sera donné par

$$R_l = P^k q_l^k + P^l q_l^l - G_l - H_l(q_l^k+q_l^l) - I_l(q_l^k+q_l^l)^2/2 \qquad [30]$$

où l réfère à la firme l, k et l réfèrent aux biens A ou B, $k \neq l$. Lorsque la technologie est dédiée, on pose q_l^l, ou q_l^k, égal à zéro.

CONDITIONS DE PREMIER ORDRE DE DEUXIÈME PÉRIODE:

$$\delta R_1/\delta q_1{}^k = P^k + q_1{}^{k*}\delta P^k/\delta q_1{}^k + q_1{}^{l*}\delta P^l/\delta q_1{}^l - H_1 - I_1(q_1{}^{k*}+q_1{}^{l*}) = 0$$

$$\rightarrow a - b(q_1{}^{k*}+q_2{}^k) - c(q_1{}^{l*}+q_2{}^l) + e + u - bq_1{}^{k*} - cq_1{}^{l*} - H_1 - I_1q_1{}^{k*} - I_1q_1{}^{l*} = 0$$

$$\rightarrow (a-H_1+e+u) - q_1{}^{k*}(2b+I_1) - q_2{}^k b - q_1{}^{l*}(2c+I_1) - q_2{}^l c = 0 \qquad [31]$$

De la même façon, on trouve pour $\delta R_1/\delta q_1{}^l = 0$,

$$(a-H_1-e+u) - q_1{}^{k*}(2c+I_1) - q_2{}^k c - q_1{}^{l*}(2b+I_1) - q_2{}^l b = 0 \qquad [32]$$

Les quantités $q_1{}^{k*}$ et $q_1{}^{l*}$ sont celles qui maximisent les profits de deuxième période pour la firme 1 lorsque les quantités $q_2{}^k$ et $q_2{}^l$ de la firme 2 sont données. Dans un jeu à la Cournot, ces choix de quantité se feront simultanément et les quantités choisies seront données par le vecteur Q^* du système d'équations linéaire suivant:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} (2b+I_1) & b & (2c+I_1) & c \\ (2c+I_1) & c & (2b+I_1) & b \\ b & (2b+I_2) & c & (2c+I_2) \\ c & (2c+I_2) & b & (2b+I_2) \end{bmatrix}}_{M} \underbrace{\begin{bmatrix} q_1{}^{k*} \\ q_2{}^{k*} \\ q_1{}^{l*} \\ q_2{}^{l*} \end{bmatrix}}_{Q^*} = \underbrace{\begin{bmatrix} a-H_1+e+u \\ a-H_1-e+u \\ a-H_2+e+u \\ a-H_2-e+u \end{bmatrix}}_{N}$$

À la première période, l'espérance de gain de la firme 1 sera

$$G_1 = E\{P^k q_1{}^{k*} + P^l q_1{}^{l*} - F_1 - a_1 - b_1(q_1{}^{k*}+q_1{}^{l*}) - I_1(q_1{}^{k*}+q_1{}^{l*})^2/2\}$$

$$= E\{(P^k-b_1)q_1{}^{k*} + (P^l-b_1)q_1{}^{l*} - I_1(q_1{}^{k*2}+2q_1{}^{k*}q_1{}^{l*}+q_1{}^{l*2})$$

$$- 1 - s_1 - a_1\}$$

On peut réécrire cette dernière équation sous la forme matricielle suivante:

$$G_1 = E\{ \left[p^k \begin{bmatrix} 1 \\ Q^* \end{bmatrix} - b_1 \quad 0 \quad p^l \begin{bmatrix} 1 \\ Q^* \end{bmatrix} - b_1 \quad 0 \right] Q^*$$

$$- [1 \;\; 0 \;\; 1 \;\; 0]Q^*Q^{*\prime}[1 \;\; 0 \;\; 1 \;\; 0]' I_1/2 - (1 + s_1 + G_1)\}$$

Et de la même façon, on obtient pour la firme 2:

$$G_2 = E\{ \; 0 \quad \left[p^k \begin{bmatrix} 1 \\ Q^* \end{bmatrix} - b_2 \quad 0 \quad p^l \begin{bmatrix} 1 \\ Q^* \end{bmatrix} - b_2 \right] Q^*$$

$$- [0 \;\; 1 \;\; 0 \;\; 1]Q^*Q^{*\prime}[0 \;\; 1 \;\; 0 \;\; 1]' I_2/2 - (1 + s_2 + G_2)$$

où le vecteur p^k est égal à $[(a+e+u) \;\; -b \;\; -b \;\; -c \;\; -c]$ et le vecteur p^l est égal à $[(a-e+u) \;\; -c \;\; -c \;\; -b \;\; -b]$.

La programmation de ce système d'équation devrait se faire relativement aisément. Il faudra bien tenir compte du fait qu'il s'agit d'une espérance de profit et que l'on doit poser, par exemple, $E[q_1 e] = 0$, $E[e^2] = V_e$, $E[u^2] = V_u$, et $E[eu] = 0$ si la corrélation est nulle entre e et u.

Les gains de chacun des quatres équilibres seront obtenus en posant les restrictions suivantes:

1) (F,F): aucune restriction sur q_1 et q_2;

2) (D,D): on pose $q_2^k = q_1^l = 0$ dans le vecteur Q;

3) (F,D): on pose $q_2^l = 0$ dans le vecteur Q;

4) (D,F): on pose $q_1^l = 0$ dans le vecteur Q.

Les conditions d'obtention de chacun des équilibres seront:

		FIRME 2	
		F	D
FIRME 1	F	G_1^F , G_2^F	G_1^F , G_2^D
	D	G_1^D , G_2^F	G_1^D , G_2^D

(F^*,F^*) si $G_1^F > G_1^D$ et $G_2^F > G_2^D$,

(D^*,D^*) si $G_1^D > G_1^F$ et $G_2^D > G_2^D$,

(F^*,D^*) si $G_1^F > G_1^D$ et $G_2^D > G_2^F$,

(D^*,F^*) si $G_1^D > G_1^F$ et $G_2^F > G_2^D$.

Ce modèle permet de générer des simulations afin de trouver les équilibres symétriques de Nash de même que les équilibres de Stackelberg. On peut analyser l'influence, sur l'équilibre final, de différents paramètres d'une industrie tels que (l'effet prévu sur la demande de flexibilité multiproduit est donné entre parenthèse):

V_e, l'incertitude sur la direction du choix des consommateurs entre les deux produits (effet positif);

V_u, l'incertitude sur le niveau général de la demande (effet neutre);

c^{-1}, le degré de différenciation entre les deux produits (effet positif);

s_i, la différence de coût d'acquisition entre les deux technologies (effet négatif),

$(2G_i^{T}/I_i)^{\frac{1}{2}}$, le niveau de capacité disponible[5];

$H^{T} + (2GI)^{\frac{1}{2}}$, le coût moyen minimum;

I_i, le degré d'<u>in</u>flexibilité en volume de chacune des technologies. L'effet des trois derniers paramètres n'est pas mentionné puisqu'il dépendra de la différence entre les deux technologies.

On espère que les principales contributions de ce modèle seront de vérifier certains résultats de Roller et Tombak lorsque la demande devient incertaine et lorsque le niveau de capacité joue un rôle plus réaliste.

---

[5]Il serait également intéressant d'étudier le choix de capacité optimal dans un tel modèle avec flexibilité multiproduit.

5.5. EFFET DIRECT DE LA FLEXIBILITÉ: VALEUR D'OPTION

Le but de cette étude sur les effets directs de la flexibilité sera d'en souligner les avantages lorsque la demande future est incertaine. Dans son article sur la flexibilité en volume, Vives(1989) montre que l'effet direct de la flexibilité n'affecte que les coûts de production et non les revenus. Ce résultat est insatisfaisant car l'intuition nous porte à croire que l'habileté à pouvoir varier plus aisément les niveaux d'output devrait permettre à une firme de mieux profiter des variations de la demande, ce qui, ceteris paribus, devrait augmenter l'espérance de revenus de la firme plus flexible. La variabilité des flux monétaires futurs, ou le niveau de risque de l'investissement, devrait également être réduite.

Afin de bien faire ressortir les avantages directs de la flexibilité, il est nécessaire d'introduire des modèles dynamiques où la demande fluctue à chaque période. Le modèle présenté dans ce qui suit, tiré de Pindick(1988), correspond en partie à la flexibilité en volume telle que présentée dans Vives(1989). Dans son article, l'objectif de Pindick est différent du nôtre car il essaie d'y démontrer que la méthode de la valeur actualisée nette (VAN), normalement utilisée pour évaluer un projet, mène à de mauvaises décisions d'investissement. Ceci serait dû au fait que dans le cas où le but premier du décideur consiste à maximiser la valeur de la firme pour les actionnaires, le coût d'opportunité d'un investissement devrait non seulement inclure le coût d'achat et d'installation de l'équipement, mais il doit de plus inclure la valeur d'option de cet investissement additionnel, valeur qui disparaîtra avec sa réalisation. Certains auteurs auraient en effet montrés que la valeur totale d'une firme pour les actionnaires ne consiste pas seulement en la valeur de son capital en place, mais également en la valeur de toutes ses options d'investissement que l'on croit réalisables dans le futur.

En utilisant un modèle similaire à celui utilisé pour évaluer les options d'achat, Pindick montre, au moyen de simulations, que pour un niveau d'incertitude sur la demande raisonnablement élevé, la valeur de ces options d'investissement peut compter pour plus de la moitié de la valeur totale d'une firme. Cependant, en ce qui nous concerne, nous nous bornerons à emprunter à Pindick(1988) la méthode utilisée pour calculer la valeur d'un équipement flexible en volume. Les hypothèses de base du modèle sont:

i) le prix, P, est donné par

$P = A(t) - Bq$

où q est la quantité produite par la firme, t réfère à la période et A(t) est le niveau de la demande qui suit un processus stochastique continu décrit par[6]

---

[6]Ce processus pour A est appelé mouvement Brownien géométrique avec dérive (drift) et est souvent utilisé pour modéliser les variations de prix d'actifs. Il signifie que le rendement d'un actif suit une distribution normale avec un écart type qui croit avec la racine carrée de la période de détention. La pertinence de son utilisation pour modéliser le niveau de la demande reste à démontrer. Pour une excellente introduction à ce type de

$$dA = \alpha A dt + \sigma A dz, \qquad [33]$$

avec α et σ constants, et où $dz = e(t)(dt)^{\frac{1}{2}}$, $e(t) \sim N(0,1)$ et $E[e(t)e(r)] = 0$, $t \neq r$. Ces conditions impliquent que le niveau actuel de la demande est connu, que son niveau futur est incertain et que sa variance croît avec l'éloignement dans le temps.

ii) Une unité de capital produit une unité d'output par période. Ainsi, $Q \leq K$, où K est la quantité totale de capital en place. L'achat d'une unité de capital coûte k et le coût variable de production est

$C(q) = cq + Iq^2/2$.

On remarque que cette fonction est la même que celle utilisée par Vives(1989). On suppose que le capital ne se déprécie pas et qu'il constitue un investissement irréversible, c'est-à-dire qu'il n'a aucune valeur de revente.

iii) Les variations stochastiques de la demande peuvent être répliquées par des actifs existants, c'est-à-dire qu'il existe un portefeuille d'actifs parfaitement correlé avec A.

Cette dernière hypothèse réduit le problème d'investissement à celui d'une évaluation de valeurs contingentes (contingent claims

---

processus, voir l'appendice dans Pindick(1991).

valuation), ce qui permet d'éliminer toute hypothèse restrictive sur les préférences face au risque ou sur le taux d'actualisation.

Quant à la flexibilité en volume, elle vient du fait que la firme, avec une capacité installée égale à K, peut choisir de produire une quantité moindre que K si la demande baisse. D'après la fonction de coûts totaux fournie plus haut, la forme de la courbe de coût moyen sera telle qu'illustrée à la figure 8.(À comparer avec celle de Vives p.42)

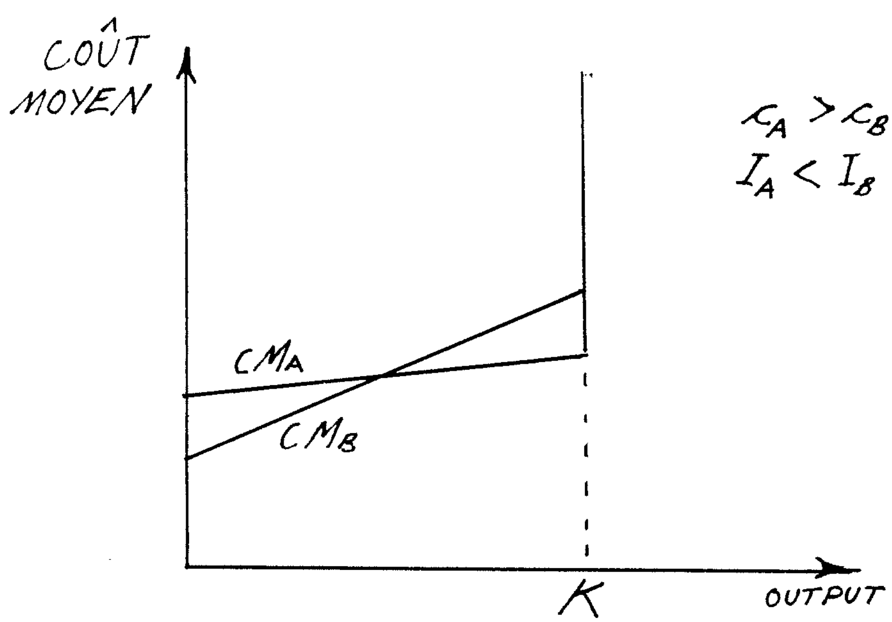


Figure 7: Fonction de production du modèle de Pindick(1988)

Pour chaque période t, la firme détient une option de produire ou non, et son profit instantané sera donné par

$G_t(K) = MAX[0 \ , \ PK - C(K)]$

$= MAX[0 \ , \ (A(t)K - BK^2 - cK - IK^2/2].$

Et la valeur d'une unité infinitésimale de capacité, $DG_t(K) = \delta G_t/\delta K$, sera

$$DG_t(K) = MAX[0 \ , \ (A(t) - (2B+I)K - c]. \qquad [34]$$

On remarque que selon cette dernière équation, la valeur actualisée du profit au temps t, due à une addition infinitésimale de capacité, équivaut à la valeur d'une option d'achat européenne avec date d'échéance t et prix de levée (2B+I) + c, sur un actif dont le prix est A et qui paie un dividende proportionnel τ. La valeur d'une addition infinitésimale de capacité, $\delta V(K)/\delta K = DV(K)$, sera alors égale à la valeur actualisée de tous les profits futurs qu'elle suscite, DG(t), c'est-à-dire

$$DV(K) = \int_0^{\infty}\int_0^{\infty} DG_t(K;A)f(A;t)dAe^{-\mu t}dt,$$

où f(A;t) est la fonction de densité de A. Cette dernière relation étant cependant difficile à évaluer, nous ferons appel à la méthode d'évaluation des valeurs contingentes.

Si on pose x comme étant le prix du portefeuille d'actifs parfaitement correlé avec A, et h_{Am} comme le coefficient de corrélation entre A et le portefeuille de marché, alors on aura

$$dx = \mu xdt + \sigma xdz,$$

et, selon le modèle d'équilibre des actifs financiers (Capital Asset Pricing Model - CAPM), l'espérance de rendement, μ, sera donnée par $\mu = r + \Phi h_{Am}\sigma$, où r est le taux de rendement sans risque et Φ est le prix de marché du risque, σ. On pose également $\tau = \mu - \alpha$.

Au moyen de la méthode d'évaluation des valeurs contingentes, on trouve que la valeur d'une addition infinitésimale de capacité est (voir dérivation dans l'appendice)

$$DV(K) = b_1 A^{F1} \qquad \text{si } A < (2B+I)K + c, \qquad [35]$$

$$= b_2 + A/\tau - [(2B+I)K + c]/r \qquad \text{si } A > (2B+I)K + c,$$

où b_1, b_2, F1 et F2 sont tels que donnés en appendice.

Une représentation graphique de ces résultats indique clairement, tel qu'anticipé, que la valeur du capital augmente avec l'incertitude, tout comme le ferait la valeur d'une option d'achat sur un actif (voir graphiques 3 et 4 en appendice). Cependant, on obtient un résultat contraire à la proposition 2 de Vives(1989) (voir p. 44), c'est-à-dire que l'effet flexibilité diminue avec une hausse de l'incertitude. Voici une proposition d'explication possible de cette différence : Dans le modèle de Vives, la hausse de la flexibilité se traduit en réalité par une diminution des coûts de production lorsque le niveau de production est élevé. (Rappelons que la fonction de production y est définie par $C(x;I) = c(I)x + Ix^2$, où $c(I)$ diminue avec I.) Ainsi, pour un niveau moyen de la demande donné, plus sa variance augmente, plus la probabilité d'avoir une forte production augmentera, et plus le poids du paramètre I sera important par rapport à x car il multiplie un terme élevé au carré. La hausse de la flexibilité, c'est-à-dire une diminution de I, aura donc un effet croissant avec la variance de la demande. Ceci expliquerait le résultat de Vives(1989) selon lequel l'effet direct de la flexibilité n'a qu'un effet coût.

Toutefois, dans son évaluation de la valeur du capital, Pindick(1988), qui ne considère que l'effet direct, ne tient pas uniquement compte de l'effet coût, mais également de la possibilité de diminuer ou augmenter le niveau de production pour chacune des périodes futures. Ainsi, l'effet de la réduction des coûts par la flexibilité lorsque la demande varie beaucoup reste toujours présent, mais il devient beaucoup moins important que la possibilité d'augmenter les revenus en ajustant les niveaux d'output à la demande. Rappelons que, contrairement à celui de Vives, le modèle de Pindick n'implique aucune hypothèse préalable sur les préférences vis-à-vis du risque. Conséquemment, non seulement l'espérance de la valeur actualisée des profits futurs a un effet sur la valeur du capital, mais aussi le niveau de risque qui est ajusté à la prime de risque du marché.

6. CONCLUSION

Cette revue des différents facteurs qui entrent en jeu lors de l'évaluation d'investissements utilisant les nouvelles technologies de production nous convainc de la complexité du problème. Il n'en reste pas moins que les décideurs devront se munir de meilleurs outils d'évaluation afin de mieux comprendre toutes les implications de ces technologies car, comme certaines études de diffusion l'indiquent, l'adoption de ces technologies ne se fait pas de façon uniforme à travers le monde. Certains auteurs plus alarmistes soulignent que pendant que les firmes américaines essaient de rejoindre les Japonais dans la maîtrise de la qualité, ces derniers sont déjà passé à une étape ultérieure qui est la maîtrise de la flexibilité.

D'autres auteurs proposent cependant que le choix d'inflexibilité pourrait être délibéré dans certains cas, tout dépendant des paramètres d'une industrie. Ce travail étant donc principalement basé sur les résultats théoriques obtenus jusqu'à maintenant, la prochaine étape consistera à essayer de vérifier, par des études empiriques, la validité de ces résultats. Il sera alors intéressant de vérifier si, d'après les caractéristiques de chaque industrie, les effets directs et stratégiques sont tous les deux pris en compte lors des décisions d'investissement. Mais si le problème réside dans l'utilisation de mauvaises techniques d'évaluation des investissements, il faudra corriger cette situation au plus tôt car la pente sera de plus en plus difficile à remonter pour les non-utilisateurs de technologies flexibles.

APPENDICE: CALCUL DE LA VALEUR DE DV(K)[7]

La valeur d'une unité marginale de capacité, DV(K;A), est calculée en évaluant un projet additionnel qui produit une unité d'output par période au coût (2B+I)K+c, vendue au prix A(t), et qui peut être temporairement, et sans coûts, inutilisée si le prix tombe sous le coût marginal. À cette fin, on forme un portefeuille qui détient le projet et vend à découvert $DV_A = \delta DV/\delta A$ unités d'output, ou bien, de façon équivalente, DV_A unités du portefeuille d'actifs parfaitement correlé avec A. Puisque le taux de croissance espéré de A est $\alpha = \mu - \tau$, la position à découvert nécessite un paiement de $dADV_A$ par période car sinon, aucun investisseur ne serait intéressé à prêter ses DV_A unités d'actif. (τ correspond au taux de dividende payé sur les actifs x.) La valeur de ce portefeuille est égale à $DV - DV_A A$, et son rendement instantané est donné par

$$d(DV) - DV_A dA - \tau ADV_A dt + j[A - (2B+I)K - c]dt \qquad [A1]$$

où d(DV) est la variation de la valeur du projet détenu, $DV_A dA$ est la variation de la valeur des actifs vendus à découvert, $\tau ADV_A dt$ sont les paiements sur la vente à découvert, et le dernier terme correspond aux flux monétaires provenant de projet DV, où j=1 si $A(t) \geq (2B+I)K+c$, et j=0 sinon.

D'après le lemme d'Ito, on a $d(DV) = DV_A dA + \frac{1}{2}DV_{AA}(dA)^2$. En substituant également dA de l'équation [33], on obtient

[7] Tiré de Pindick(1988), pp. 983-984.

$\frac{1}{2}DV_{AA}\sigma^2A^2dt - \tau ADV_A dt + j[A-(2B+I)K-c]dt.$

Cette dernière équation implique que le rendement du portefeuille est sans risque puisque tous les termes aléatoires $dz=e(t)(dt)^{\frac{1}{2}}$ ont disparus. On peut donc l'égaliser au rendement obtenu si on avait placé le même montant au taux sans risque, c'est-à-dire $r(DV - DV_A A)dt$. On obtient alors l'équation suivante pour DV:

$$\frac{1}{2}\sigma^2A^2DV_{AA} + (r-\tau)ADV_A + j[A-(2B+I)K-c] - rDV = 0. \qquad [A2]$$

La solution doit satisfaire également les conditions suivantes:

$DV(K;0) = 0,$

$\lim_{A\to\infty}DV(K;A) = A/\tau - [(2B+I)K+c]/r,$

$\lim_{A\to\infty}DV_A(K;A) = 1/\tau,$

et DV et DV_A doivent être continus au point $A = (2B+I)K+c$. On peut vérifier que l'équation [35] satisfait à toutes ces conditions lorsque

$F_1 = -(r-d-\sigma^2/2)/\sigma^2 + [(r-d-\sigma^2/2) + 2r\sigma^2]^{\frac{1}{2}}/\sigma^2 > 1,$

$F_2 = -(r-d-\sigma^2/2)/\sigma^2 - [(r-d-\sigma^2/2) + 2r\sigma^2]^{\frac{1}{2}}/\sigma^2 < 0,$

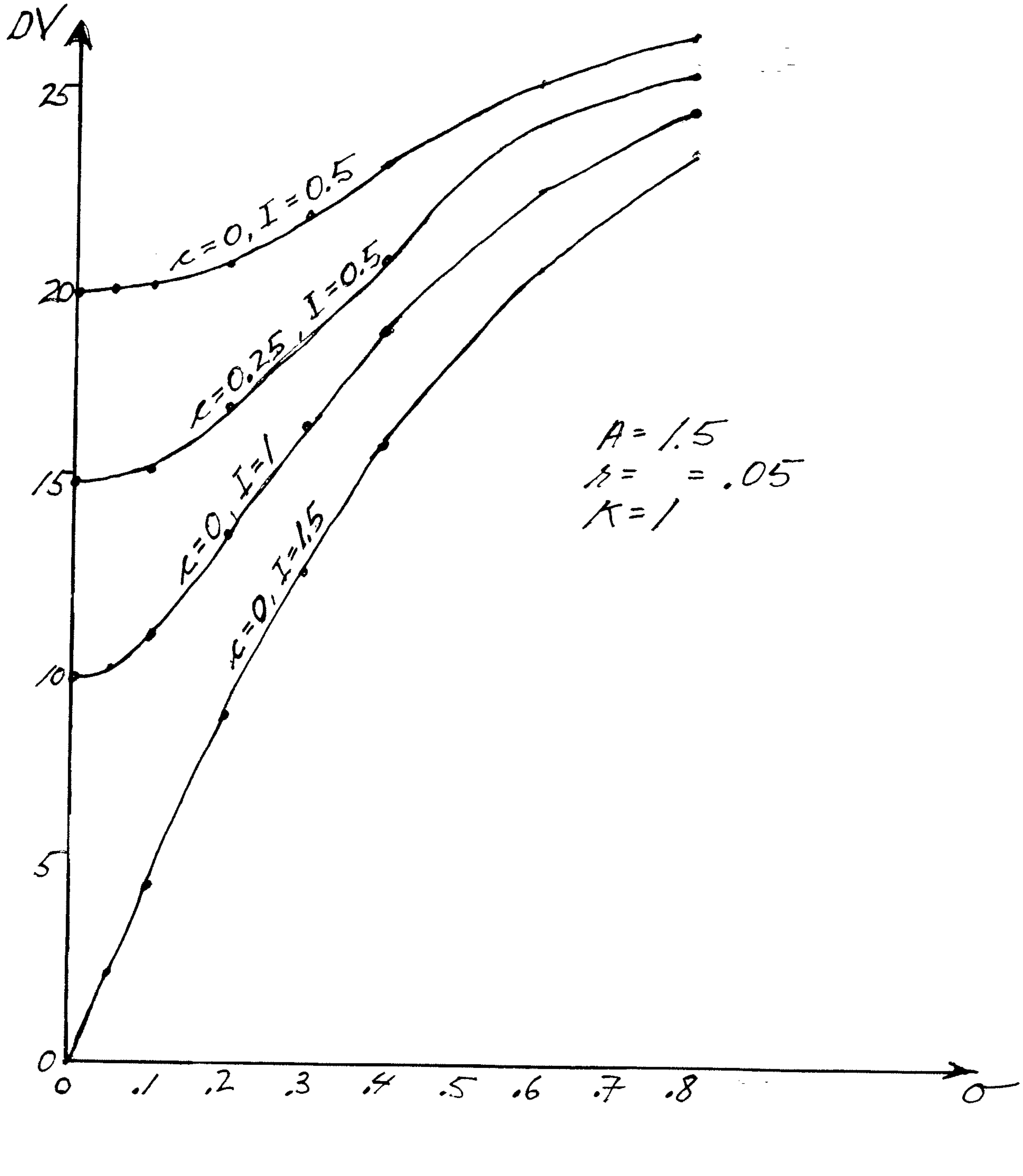
$b_1 = [(r-F_2(r-d))/rd(F_1-F_2)] * [(2B+I)K+c]^{1-F1} > 0,$

$b_2 = [(r-F_1(r-d))/rd(F_1-F_2)] * [(2B+I)K+c]^{1-F2} > 0.$

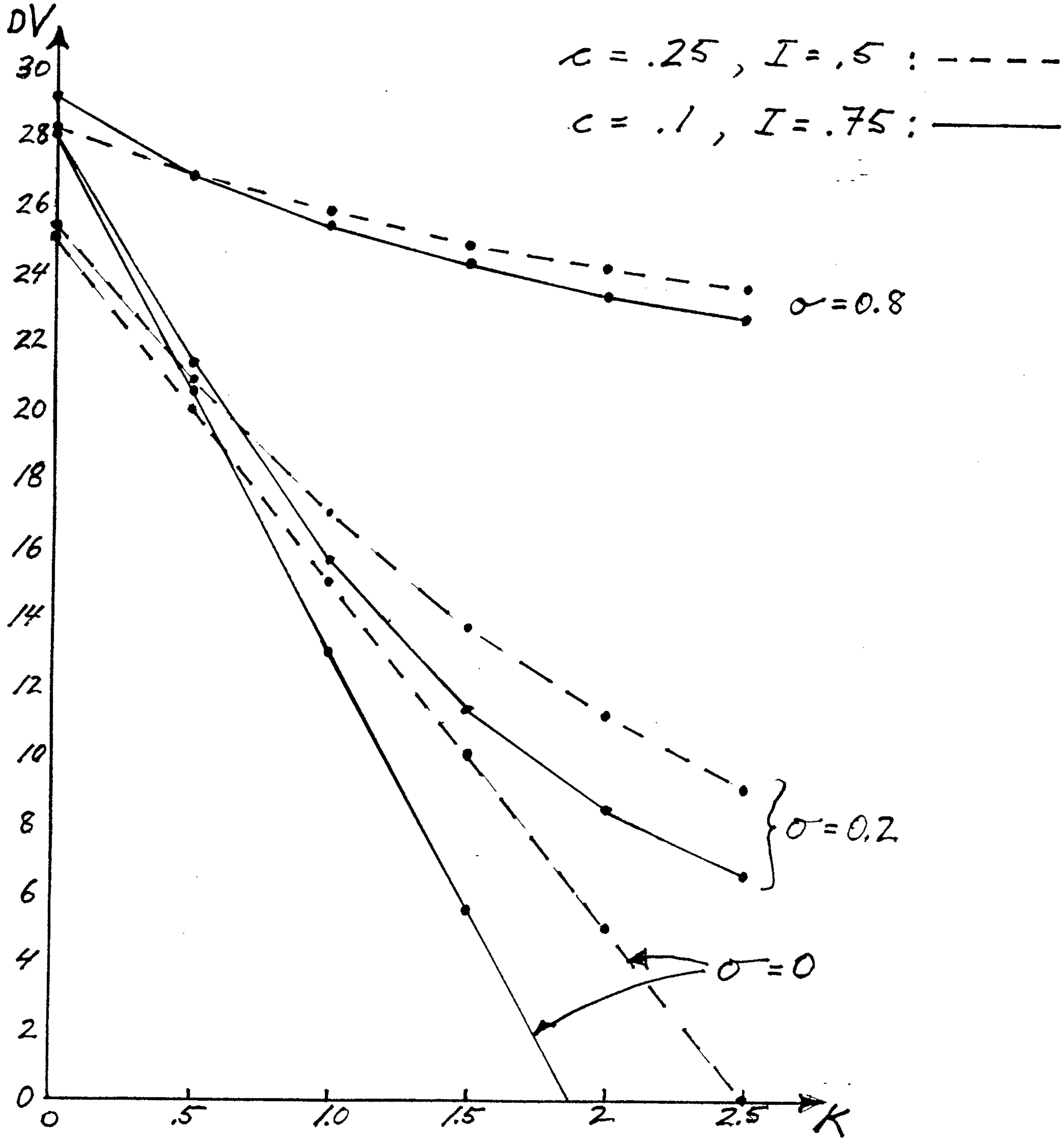
Le graphique 3 de la page suivante montre comment la valeur d'une unité additionnelle évolue lorsque la variabilité de la demande augmente pour un niveau de capital donné et ce, pour différents niveaux de flexibilité en volume, I, de la technologie. Le graphique 4 donne la valeur d'une unité de capital additionnelle en fonction du niveau de capital déjà en place et ce, pour différents niveaux de variabilité de la demande et de flexibilité en volume de la technologie. La valeur du capital en place est donc donné par la surface sous la courbe.

Ces deux graphiques démontrent clairement que la valeur d'une unité additionnelle de flexibilité diminue avec la variabilité de la demande, ce qui contredit la proposition 2 de Vives(1989) où il est mentionné que la flexibilité a plus de valeur lorsque la variabilité de la demande augmente.

GRAPHIQUE 3


DV
25
20
15
10
5
0
0
.1
.2
.3
.4
.5
.6
.7
.8
σ
κ=0, I=0.5
κ=0.25, I=0.5
κ=0, I=1
κ=0, I=1.5
A=1.5
r= =.05
K=1

GRAPHIQUE 4


DV
30
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
0
.5
1.0
1.5
2
2.5
K
c = .25 , I = .5 : - - - -
c = .1 , I = .75 : ———
σ = 0.8
σ = 0.2
σ = 0

RÉFÉRENCES

AYRES, R.U., (1990), Computer Integrated Manufacturing - Volume 1, Chapman & Hall, London.

BOYER, M. et M. MOREAUX, (1993), "Strategic Considerations in the Choice of Technological Flexibility", mimeo, Université de Montréal.

CARLSSON, B., (1989), "Flexibility and the Theory of the Firm", International Journal of Industrial Organisation 7.

HE, H. et PINDICK, R. S., (1992), "Investments in flexible production capacity", Journal of Economic Dynamics and Control 16.

KAPLAN, R.S., (1984), "Yesterday's accounting undermines production", Havard Business Review, July-August.

KIM, T., ROLLER, L-H ET TOMBAK, M. M., (1992), "Strategic Choice of Flexible Production Technologies and Welfare Implications: Addendum et Corrigendum, The Journal of Industrial Economics, June, Vol. XL, No. 2.

LEDERER, P.J. et V.R. SINGHAL, (1988), "Financial Justification of New Technologies", Working Paper, June, Simon School of Business, University of Rochester.

MANSFIELD, E., (1993), "The Diffusion of Flexible Manufacturing Systems in Japan, Europe and the United States", Management Science, Feb., Vol. 39, No. 2.

MENSAH, Y.M. et P.J. MIRANTI, (1989), "Capital Expenditure Analysis and Automated Manufacturing Systems: A Review and Synthesis", Journal of Accounting Literature, Vol. 8.

MILGROM, P. et J. ROBERTS, (1990), "The Economics of Modern Manufacturing: Technology, Strategy, and Organisation", The American Economic Review.

MILLS, D.E., (1984), "Demand Fluctuations and Endogenous Firm Flexibility", The Journal of Industrial Economics, Sept., Vol. XXXIII, No. 1.

MILLS, D.E., (1986), "Flexibility and Firm Diversity with Demand Fluctuations", International Journal of Industrial Organization 4.

MILLS, D.E., et L. SCHUMANN, (1985), "Industry Structure with Fluctuating Demand", The American Economic Review, Sept., Vol. 75, No. 4.

PINDICK, R.S., (1988), "Irreversible Investment, Capacity Choice, and the Value of the Firm", American Economic Review, Dec., vol. 78, no. 5.

PINDICK, R.S., (1991), "Irreversibility, Uncertainty, and Investment", Journal of Economic Litterature, Vol. XXIX, Sept.

ROLLER, L-H, ET M.M. TOMBAK, (1990), "Strategic Choice of Flexible Production Technologies and Welfare Implications", The Journal of Industrial Economics, June, Vol. XXXVIII, No. 4.

ROLLER, L-H, et M. M. TOMBAK, (1993), "Competition and Investment in Flexible Technologies", Management Science, January, Vol. 39, No. 1.

TCHIJOV, I., (1989), FMS in use: an international comparative study, Working Paper WP-89-45, International Institute for

Applied Systems Analysis, Austria.

TIDD, J., (1991), Flexible Manufacturing Technologies and International Competitiveness, Pinter Publishers, London, England.

TIROLE, J., (1988), The Theory of Industrial Organization, Chapitre 8, The MIT Press, Cambridge, Massachussets.

VIVES, X., (1986), "Commitment, Flexibility and Market Outcomes", International Journal of Industrial Organization 4.

VIVES, X., (1989), "Technological Competition, Uncertainty, and Oligopoly", Journal of Economic Theory 48.