

SÉRIE DE DOCUMENTS DE TRAVAIL

**DÉBORDEMENTS TRANSFRONTALIERS
DE R&D ENTRE LES INDUSTRIES DU
CANADA ET DES ÉTATS-UNIS**

*Document de travail n° 3
Septembre 1994*



Industrie Canada Industry Canada

SÉRIE DE DOCUMENTS DE TRAVAIL

**DÉBORDEMENTS TRANSFRONTALIERS
DE R&D ENTRE LES INDUSTRIES DU
CANADA ET DES ÉTATS-UNIS**

*par Jeffrey I. Bernstein, de l'Université Carleton et du National
Bureau of Economic Research, à contrat pour Industrie Canada*

*Document de travail n° 3
Septembre 1994*

Also available in English

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Xiaoyi Yan et Lin Bian pour leur aide dans cette recherche, ainsi que Ross Preston, Someshwar Rao, Brian Erard, Steven Globerman et les participants aux ateliers d'Industrie Canada, pour leurs commentaires et suggestions.

Les opinions exprimées dans ces documents de travail ne reflètent pas nécessairement celles d'Industrie Canada ou du gouvernement fédéral.

Vous trouverez à la fin du présent ouvrage des renseignements portant sur les documents publiés dans le cadre du Programme de publication de recherche et sur la façon d'en obtenir des exemplaires.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	<i>i</i>
INTRODUCTION	1
REVUE DES ÉTUDES EMPIRIQUES PUBLIÉES SUR LES DÉBORDEMENTS INTÉRIEURS ET INTERNATIONAUX	3
Débordements intérieurs	4
<i>Effets des débordements sur la croissance de la productivité</i>	4
<i>Effets des débordements sur la rentabilité et l'offre d'extrants</i>	7
<i>Effets des débordements sur la demande d'intrants</i>	8
<i>Taux de rendement de la R&D</i>	8
Débordements internationaux	10
ÉLASTICITÉS DES DÉBORDEMENTS	13
Gains de productivité	25
Taux de rendement	35
CONCLUSION ET CONSÉQUENCES EN MATIÈRE DE POLITIQUES	39
APPENDICE	
UN MODÈLE ÉCONOMÉTRIQUE DE LA PRODUCTION ET DES DÉBORDEMENTS TRANSFRONTALIERS	43
BIBLIOGRAPHIE	61
PROGRAMME DE PUBLICATIONS DE RECHERCHE	63

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Études sur les effets de débordement	5
Tableau 2	Taux de rendement social et privé dans certaines industries canadiennes (%)	9
Tableau 3	Taux de rendement social et privé dans certaines industries américaines (%)	10
Tableau 4	Élasticités des débordements intérieurs et transfrontaliers - Produits chimiques	14
Tableau 5	Élasticités des débordements intérieurs et transfrontaliers - Produits électriques	15
Tableau 6	Élasticités des débordements intérieurs et transfrontaliers - Aliments et boissons	16
Tableau 7	Élasticités des débordements intérieurs et transfrontaliers - Métaux transformés	17
Tableau 8	Élasticités des débordements intérieurs et transfrontaliers - Machines non électriques	18
Tableau 9	Élasticités des débordements intérieurs et transfrontaliers - Minéraux non métalliques	19
Tableau 10	Élasticités des débordements intérieurs et transfrontaliers - Papier et produits connexes	20
Tableau 11	Élasticités des débordements intérieurs et transfrontaliers - Produits pétroliers	21
Tableau 12	Élasticités des débordements intérieurs et transfrontaliers - Métaux primaires	22
Tableau 13	Élasticités des débordements intérieurs et transfrontaliers - Caoutchouc et plastiques	23
Tableau 14	Élasticités des débordements intérieurs et transfrontaliers - Matériel de transport	24

Tableau 15	Décomposition des taux annuels moyens de CPTF dans l'industrie des produits chimiques (%)	27
Tableau 16	Décomposition des taux annuels moyens de CPTF dans l'industrie des produits électriques (%)	27
Tableau 17	Décomposition des taux annuels moyens de CPTF dans l'industrie des aliments et boissons (%)	28
Tableau 18	Décomposition des taux annuels moyens de CPTF dans l'industrie des métaux transformés (%)	29
Tableau 19	Décomposition des taux annuels moyens de CPTF dans l'industrie des machines non électriques (%)	30
Tableau 20	Décomposition des taux annuels moyens de CPTF dans l'industrie des minéraux non métalliques (%)	30
Tableau 21	Décomposition des taux annuels moyens de CPTF dans l'industrie du papier et des produits connexes (%)	31
Tableau 22	Décomposition des taux annuels moyens de CPTF dans l'industrie des produits pétroliers (%)	32
Tableau 23	Décomposition des taux annuels moyens de CPTF dans l'industrie des métaux primaires (%)	33
Tableau 24	Décomposition des taux annuels moyens de CPTF dans l'industrie du caoutchouc et des plastiques (%)	33
Tableau 25	Décomposition des taux annuels moyens de CPTF dans l'industrie du matériel de transport (%)	34
Tableau 26	Taux de rendement - États-Unis	36
Tableau 27	Taux de rendement - Canada	38

RÉSUMÉ

L'objet de cette étude est triple. D'abord et avant tout, elle vise à analyser à quel point les efforts de recherche et développement (R&D) déployés dans onze industries manufacturières du Canada ou des États-Unis débordent de l'autre côté de la frontière, et à estimer les effets des débordements intérieurs et transfrontaliers sur les coûts de production, sur les ratios intrants-extrants classiques (comme les ratios travail-production et capital matériel-production) et sur l'intensité de la R&D dans le processus productif. Ensuite, elle se propose de mesurer les taux de croissance de la productivité dans chacune de ces onze industries et de connaître les gains de productivité liés aux débordements internationaux. Enfin, elle a pour troisième but d'estimer les taux de rendement social et privé du capital investi en R&D et de déterminer les rendements des débordements canado-américains au-delà des notions de rentabilité purement privée.

Les investissements en R&D influent sur le niveau de vie d'un pays. En effet, les activités de R&D permettent aux particuliers et aux entreprises de disposer de nouveaux produits qui peuvent être fabriqués à l'aide de moyens de production relativement plus efficaces, ce qui a pour conséquence de rehausser la compétitivité et l'efficacité dynamique d'une économie. Les investissements en R&D ont ceci de particulier que les entreprises qui les font ne peuvent pas en conserver toutes les retombées bénéfiques pour leur usage exclusif, car elles sont dans l'impossibilité d'empêcher les autres de se les approprier, du moins en partie : en matière de R&D, les débordements sont donc inévitables puisqu'ils ne sont ni plus ni moins que des idées empruntées par une entreprise faisant de la R&D à une autre.

Dans un monde caractérisé par une expansion du commerce extérieur, des investissements directs étrangers et des échanges internationaux d'information, la masse de connaissances à la disposition d'un pays dépend de ses propres investissements en R&D mais aussi, précisément parce que les connaissances techniques débordent les frontières nationales, des efforts de R&D des autres nations.

Dans cette étude, nous avons estimé les effets des débordements intérieurs et internationaux sur les coûts variables moyens de production et sur les ratios travail-production, consommations intermédiaires-production, capital matériel-production et capital de R&D-production dans onze industries du Canada et des États-Unis. Ces industries sont celles des produits chimiques, des produits électriques, des aliments et boissons, des métaux transformés, des machines non électriques, des produits minéraux non métalliques, du papier et des produits connexes, des produits pétroliers, des métaux primaires, du caoutchouc et du plastique, et du matériel de transport. Les ratios intrants-extrants sont aussi appelés *intensités des facteurs* dans la suite du texte.

Les débordements transfrontaliers étudiés ici ont trait aux effets externes que les activités de R&D ont entre mêmes industries du Canada et des États-Unis, par le biais de retombées qui se jouent des frontières. Les débordements intérieurs, eux, décrivent les externalités intra-industrielles limitées au territoire d'un pays. De plus, les débordements interindustriels

transfrontaliers sont indirectement pris en compte par les débordements intérieurs.

À l'issue de notre étude, nous avons constaté que les débordements transfrontaliers influent en général plus que les débordements intérieurs sur les coûts de production et les intensités des facteurs, ce qui n'est pas surprenant puisqu'ils lient une même industrie présente dans les deux pays. En outre, les débordements de R&D des États-Unis vers le Canada ont des retombées plus importantes que les flux inverses : au Canada, les débordements en provenance des États-Unis permettent d'abaisser les coûts dans tous les secteurs analysés, sauf dans celui du caoutchouc et du plastique. L'effet conjoint des débordements transfrontaliers et intérieurs va dans le sens d'une réduction des coûts, mais il arrive qu'un débordement majore le coût variable. Notre étude s'attache donc aux interrelations des débordements transfrontaliers et intérieurs sans indûment restreindre le rôle de chaque forme de débordements.

Ces réductions directes du coût variable (qui équivalent à maintenir fixes les intensités du capital) ont été estimées. Ainsi, une hausse de 1 % du capital investi en R&D aux États-Unis engendre des économies de 0,06 % dans les produits chimiques, de 0,69 % dans les produits électriques, de 1,13 % dans les aliments et boissons, de 0,39 % dans les métaux transformés, de 0,18 % dans les machines non électriques, de 0,44 % dans les produits minéraux non métalliques, de 0,05 % dans le papier et les produits connexes, de 0,36 % dans les produits pétroliers, de 0,23 % dans les métaux primaires et de 0,39 % dans le matériel de transport.

Le capital de R&D au Canada abaisse les coûts aux États-Unis dans toutes les industries sauf dans celles des produits chimiques, des métaux primaires et du matériel de transport. Les estimations montrent même que pour l'industrie du papier et des produits connexes, les économies réalisées aux États-Unis du fait des débordements en provenance du Canada sont quatre fois et demie plus fortes que dans le sens inverse. Dans les six industries restantes où des réductions de coûts ont été observées, l'effet de la R&D américaine au Canada est de deux à vingt fois plus grand que celui de la R&D canadienne aux États-Unis.

Les débordements transfrontaliers tendent à accroître l'intensité de la R&D dans les deux pays, preuve qu'ils viennent en complément du capital investi en R&D au niveau intérieur. Cette complémentarité signifie que les producteurs canadiens augmentent la teneur en R&D de leur production à mesure que les producteurs américains de l'industrie correspondante investissent eux-mêmes davantage en R&D, et vice-versa. Il n'y a pas complémentarité, mais substitution des débordements internationaux et de l'intensité de la R&D dans quelques industries : aux États-Unis, seulement pour les produits électriques, pour le caoutchouc et les plastiques et pour le matériel de transport; au Canada, pour les produits pétroliers et pour le caoutchouc et les plastiques.

Dans les industries où existe une relation complémentaire, une hausse de 1 % du capital de R&D aux États-Unis se traduit par une augmentation de l'intensité de la R&D canadienne, qui va d'un minimum d'environ 0,14 % (pour les machines non électriques) à un maximum de 2,85 % (pour les métaux transformés). Dans le sens inverse, une hausse de 1 % du capital investi en R&D au Canada donne lieu à une augmentation de l'intensité de la R&D aux États-Unis variant entre 0,01 % (pour les produits pétroliers) et 0,54 % (pour le papier et les produits dérivés). Pour

ce qui est des autres facteurs, nous avons constaté que dans les deux pays, les débordements transfrontaliers entraînent généralement un accroissement de l'intensité du capital matériel et une régression de celles du travail et des consommations intermédiaires.

Les taux de croissance de la productivité totale des facteurs (PTF) ne sont pas très différents entre industries correspondantes du Canada et des États-Unis, mais les écarts qui existent apparaissent clairement dans la décomposition des taux d'ensemble. Aux États-Unis, les débordements intérieurs contribuent en général plus que les débordements transfrontaliers aux gains de productivité. Au Canada, ce sont ces derniers qui ont relativement plus d'effets sur le plan de la productivité, et ils ont une incidence généralement positive sur l'élévation de la PTF : leurs contributions en pourcentage sont étagées entre un minimum de 26 % pour les produits chimiques et un maximum de 100 % pour les aliments et boissons.

Les gains de productivité réalisés aux États-Unis sont en général stimulés par une augmentation du capital investi en R&D au nord de la frontière. Les débordements transfrontaliers en provenance du Canada sont en effet responsables de 33 % du taux de croissance moyen annuel de la productivité totale des facteurs dans l'industrie américaine des produits électriques (ce taux annuel moyen est de 1,9 % dans ce secteur). Les chiffres correspondants de l'effet bénéfique de la R&D canadienne sur le rythme de croissance de la PTF des autres industries outre-frontière sont les suivants : presque 100 % d'un taux de 2,3 % pour les aliments et boissons, 58 % d'un taux de 0,3 % pour les métaux transformés, 5 % d'un taux de 1 % pour les machines non électriques, 8 % d'un taux de 1 % pour les minéraux non métalliques, 1 % d'un taux de 0,3 % pour le papier et les produits connexes, 64 % d'un taux de 1,1 % pour les produits pétroliers et 47 % d'un taux de 0,8 % pour le caoutchouc et les plastiques. On constate donc que le capital de R&D au Canada est à l'origine d'une proportion considérable des gains de productivité de plusieurs secteurs d'activité américains.

En termes réels, après impôts et après déduction des amortissements, les taux de rendement privé sont approximativement de 1,5 % au Canada et de 1,8 % aux États-Unis, c'est-à-dire qu'ils ne diffèrent pas de façon importante l'un de l'autre. En outre, ils sont voisins de 13 % et de 16 % respectivement lorsqu'ils sont calculés en valeurs nominales brutes (avant amortissements) et avant impôts. À cause de l'ampleur non négligeable des débordements intérieurs et transfrontaliers, les taux de rendement social du capital de R&D sont nettement supérieurs aux taux privés dans les deux pays. Au Canada, les débordements transfrontaliers sont généralement responsables d'un pourcentage plus grand du rendement social que les débordements intérieurs, alors que c'est l'inverse aux États-Unis : les taux de rendement social (nominaux, bruts et avant impôts) du Canada vont d'un minimum de 32 % dans l'industrie du matériel de transport à un maximum de 162 % dans celle des machines non électriques, et sont de deux fois et demie à douze fois supérieurs aux taux de rendement privé; aux États-Unis, ils varient entre 44 % pour le caoutchouc et les plastiques et 183 % pour les aliments et boissons et sont de trois fois et demie à dix fois plus élevés que les taux de rendement privé.

Ces taux de rendement social peuvent être interprétés de la façon suivante : un accroissement de 100 \$ du capital investi en R&D dans un secteur d'activité fait augmenter de 32 \$ à 162 \$ (selon l'industrie) la production canadienne et de 44 \$ à 183 \$ la production

américaine. Le fait qu'ils soient élevés signifie que le Canada est à l'heure actuelle en situation de net sous-investissement sur le plan de la R&D, en raison des débordements aussi bien intérieurs qu'internationaux.

Les avantages retirés des débordements transfrontaliers de R&D donnent à penser que le gouvernement canadien devrait encourager les transferts internationaux de technologie. Il peut le faire de plusieurs façons : en premier lieu, il conviendrait d'éliminer les obstacles à la vitesse de diffusion des connaissances dans le domaine de la R&D, ainsi que les restrictions à l'importation de matériel de R&D et à l'entrée de chercheurs et d'ingénieurs; en second lieu, le gouvernement devrait ouvrir plus grand les voies de pénétration de la technologie en continuant à promouvoir le libre-échange, à faciliter l'entrée des investissements directs et à encourager plus de sociétés à passer des accords de licence et à former des co-entreprises; en troisième et dernier lieu, il devrait chercher des moyens d'harmoniser ses politiques fiscales avec celles de ses grands partenaires commerciaux pour ce qui est des activités de R&D.

INTRODUCTION

Cette étude a pour objectif d'analyser dans quelle mesure les investissements en R&D se propagent entre les industries du Canada et des États-Unis, afin de déterminer les gains de productivité et les taux de rendement social qui sont liés à ces débordements transfrontaliers. La forte intégration des économies américaine et canadienne, par le biais des échanges commerciaux, des investissements et des co-entreprises, justifiait de les prendre comme objet de cette étude. Celle-ci passe par ailleurs en revue les travaux empiriques publiés sur les débordements intérieurs et internationaux.

Les investissements en recherche et développement (R&D) influent sur le niveau de vie d'un pays. En effet, les activités de R&D permettent aux particuliers et aux entreprises de disposer de nouveaux produits qui peuvent être fabriqués à l'aide de moyens de production relativement plus efficaces, ce qui a pour conséquence de rehausser la compétitivité et l'efficacité dynamique d'une économie. Jusqu'à une date récente, les analystes économiques faisaient peu de cas de la R&D : les théories de la croissance, de la production et de l'investissement traitaient le progrès technique comme un facteur exogène et se concentraient sur l'accumulation du capital. On attache maintenant plus d'importance au capital investi en R&D et aux innovations qui en découlent sous l'effet d'incitations diverses, en les considérant davantage comme sources de progrès technique et de gains de productivité. L'innovation naît des investissements cumulés en R&D, et l'accroissement de la productivité dépend donc des efforts de R&D du passé et du moment. Des études empiriques montrent de façon convaincante que les investissements intérieurs cumulés en R&D constituent une source importante de gains de productivité (voir Griliches, 1988).

Les investissements en R&D ont ceci de particulier que les entreprises qui les font ne peuvent pas empêcher les autres de s'approprier gratuitement les retombées bénéfiques de leurs efforts de R&D. L'accumulation de capital de R&D présente donc un aspect de bien public, et les débordements sont inévitables puisqu'une entreprise ne peut garder pour elle-même tout le fruit de ses efforts de R&D.

Les débordements de R&D sont des idées empruntées par une entreprise faisant de la R&D au « capital » de connaissances d'une autre. Mais même si l'entreprise bénéficie de ces idées (ou effets externes), elle subit des coûts pour les incorporer dans ses propres procédés de production ou dans de nouveaux produits. La présence de débordements – à tout le moins de ceux qui sont positifs – sous-entend que les sociétés qui investissent en R&D ne sont pas convenablement récompensées de leurs efforts : ils permettent certes la propagation des connaissances nouvelles mais, en même temps, découragent les investissements en R&D. Plusieurs articles récents montrent empiriquement que les débordements intérieurs de R&D influent de façon importante sur les gains de productivité et sur l'accumulation de capital de R&D dans l'économie (voir l'enquête faite à ce sujet dans Bernstein, 1991).

Dans un monde caractérisé par une expansion du commerce extérieur, des investissements

directs étrangers et des échanges internationaux d'information, la masse de connaissances à la disposition d'un pays dépend de ses propres investissements en R&D mais aussi, précisément parce que la R&D déborde les frontières nationales, des efforts de R&D des autres nations.

REVUE DES ÉTUDES EMPIRIQUES PUBLIÉES SUR LES DÉBORDEMENTS INTÉRIEURS ET INTERNATIONAUX

En règle générale, le progrès technique a un effet positif sur l'amélioration de la productivité qui, à son tour, stimule l'activité économique. La formation de capital de R&D, en particulier dans les entreprises, constitue une source importante des innovations technologiques endogènes qui contribuent au bout du compte à l'expansion.

Un investissement en R&D, nous l'avons vu, a la nature d'un bien public : de nombreuses sociétés autres que celles qui font de la R&D peuvent avoir accès aux retombées de celle-ci. C'est donc un fait qu'au sein d'une économie, beaucoup d'entreprises profitent du capital de R&D accumulé par quelques-unes seulement.

Les économistes classent aussi les biens publics et privés selon la mesure dans laquelle ils sont rivaux et exclusifs. Un produit est purement rival s'il a pour propriété que sa demande de la part d'un agent empêche sa demande de la part de l'autre; un produit purement non rival est donc demandé par un agent d'une façon non limitée par la demande d'un autre. Un bien est exclusif dès lors que son propriétaire est en mesure d'empêcher les tiers de l'utiliser; il peut être rendu totalement ou partiellement exclusif par des protections juridiques, notamment par celles que confèrent les lois sur les brevets et les droits de propriété intellectuelle.

Le capital de R&D est non rival parce que son emploi par son propriétaire ne limite pas la capacité d'autres agents économiques de l'utiliser, et il est aussi non exclusif (au moins en partie) puisque son propriétaire ne peut pas empêcher complètement les autres d'en bénéficier. Aussi présente-t-il un problème inhérent d'appropriation : ses rendements ne peuvent qu'incomplètement revenir à l'entreprise qui a investi en R&D, ce qui dénote qu'une forme d'externalité ou de débordement accompagne l'accumulation de capital de R&D. En fait, le coût de l'exclusivité contribue à l'existence des débordements. Ainsi, une société qui fait de la R&D peut essayer de tenir ses inventions secrètes jusqu'à en avoir récupéré tous les bénéfices, mais à un coût habituellement trop élevé pour lui permettre d'interdire vraiment tout usage non autorisé du savoir-faire à protéger.

Les débordements sont des connaissances issues des investissements en R&D à mesure qu'il y a accumulation de capital de R&D, des idées empruntées au savoir-faire d'autrui. Les entreprises, par exemple, s'achètent mutuellement des machines et de l'outillage, et il est inévitable que ces transferts ou échanges de biens matériels s'accompagnent d'un transfert des connaissances qui ont permis de fabriquer ces machines et cet outillage. Le transfert de connaissances emprunte aussi d'autres voies, comme l'utilisation d'inventions brevetées, l'embauche de personnes qui travaillaient pour d'autres sociétés, ou les associations d'entreprises sur un projet commun. De toute évidence, les usagers profitent du capital de R&D par ces transferts et ces débordements : la R&D débouche sur l'introduction de nouveaux produits ou procédés ou sur l'amélioration de produits existants et les utilisateurs, qu'ils soient de l'intérieur ou de l'extérieur de l'entreprise qui a fait l'investissement, peuvent tous bénéficier des retombées futures de l'innovation en question.

Débordements intérieurs

Différents modèles permettent d'estimer l'ampleur et la portée des débordements de R&D. Les études qui ont porté sur des entreprises, des industries et des branches d'activité et ont été fondées sur des séries temporelles ont utilisé des données transversales ou de panels pour leurs estimations des débordements, et la plupart des échantillons ont été constitués à partir d'un certain nombre d'industries manufacturières, de quelques-unes à plusieurs centaines. Ces modèles ont diverses caractéristiques en commun : la technologie est spécifiée par une fonction de production ou par son dual, une fonction de coût; les fonctions de production sont en général du type Cobb-Douglas, les fonctions de coût sont translogarithmiques ou translogarithmiques tronquées; il s'agit de modèles d'équilibre à court terme, à long terme ou temporaire, dans ce dernier cas en fonction de coûts d'ajustement qui sont engagés à mesure que les producteurs accumulent du capital matériel et du capital de R&D; les variables descriptives des débordements sont distinguées selon qu'elles sont intra-industrielles et interindustrielles; et les modèles permettent généralement d'estimer les effets des débordements sur les taux de rendement, les coûts de production, la demande de facteurs, la demande de produits et la croissance de la productivité totale des facteurs.

Le tableau 1 présente les études importantes qui ont été faites sur le sujet et donne leurs résultats sur quatre plans : effets des débordements sur l'augmentation de la productivité, effets des débordements sur la rentabilité et l'offre d'extrants, effets des débordements sur la demande d'intrants, et taux de rendement social et privé de la R&D.

Effets des débordements sur la croissance de la productivité

Il a été constaté que les débordements de R&D réduisent les coûts variables. La plupart des études font d'ailleurs ressortir des gains de productivité. L'amplitude des réductions de coûts varie selon les secteurs d'activité. Voici les conclusions importantes de ces études. Les débordements interindustriels exercent de plus fortes pressions à la baisse sur le coût moyen de production que les débordements intra-industriels. Bernstein (1988) et Jaffe (1986) ont trouvé que cela est vrai aussi bien pour les industries canadiennes qu'américaines. Les coûts unitaires diminuent plus sous l'effet d'une augmentation des débordements intra-industriels dans les industries dont les dépenses de R&D représentent une part relativement importante des coûts (aéronautique, produits électriques et produits chimiques, par exemple). Ils baissent par contre plus en réponse à une augmentation des débordements interindustriels dans les industries dont la proportion des coûts de R&D est relativement faible (Bernstein, 1988). L'apport de la R&D effectuée au sein d'une même industrie (R&D interne) à la croissance de la productivité totale des facteurs est conséquent. Cependant, les débordements interindustriels de R&D (R&D externe) contribuent plus que la R&D interne à la croissance de la productivité totale des facteurs, comme l'ont constaté Terleckyj (1980), Scherer (1984) ainsi que Griliches et Lichtenberg (1984). En outre, la part de la R&D externe qui est financée par le secteur privé a une influence beaucoup plus grande sur l'amélioration de la productivité que la partie financée par l'État. La R&D publique paraît en effet ne jouer qu'un rôle négligeable (voir Terleckyj, 1974, 1980), bien que la

distinction entre les effets des financements public et privé soit quelque peu difficile à faire dans ces études.

Tableau 1
Études sur les effets de débordement

Étude	Échantillon	Spécification du modèle		
		Représentation de la technologie	Équations estimées et équilibre	Description des débordements
Bernstein (1988)	680 sociétés de 7 industries 1978-1981	fonction de coût (translogarithmique)	fonction de coût, parts des coûts du travail, des matières, du capital matériel et du capital de R&D modèle statique à long terme	effets inter- et intra-industriels sur le coût, la production et les taux de rendement
Bernstein (1989)	9 industries canadiennes 1963-1983	fonction de coût (translogarithmique tronquée)	fonction de coût variable, parts des coûts du travail, des matières et du capital matériel modèle statique à court terme	effets interindustriels sur le coût, la production et les taux de rendement
Bernstein Nadiri (1988)	5 industries américaines 1958-1981	fonction de coût variable (translogarithmique)	fonction de coût variable, parts des coûts du travail, des matières et du capital matériel modèle statique à court terme	effets interindustriels sur les coûts de production, la demande de facteurs et les taux de rendement
Bernstein Nadiri (1989b)	48 sociétés américaines de 4 industries 1965-1978	fonction de valeur (quadratique généralisée)	fonction de valeur, fonctions de demande de facteurs variables, de capital matériel et de capital de R&D modèle dynamique temporaire	effets intra-industriels sur le coût variable, la production et les taux de rendement
Bernstein-Nadiri (1991)	6 industries américaines 1957-1986	fonction de coût variable (translogarithmique tronquée)	fonction de coût variable, fonction inverse de demande de produits, offre de production, parts des coûts du travail, des matières, du capital matériel et du capital de R&D modèle dynamique temporaire	effets interindustriels sur la demande de produits, les coûts de production et les taux de rendement

Étude	Échantillon	Spécification du modèle		
		Représentation de la technologie	Équations estimées et équilibre	Description des débordements
Griliches & Lichtenberg (1984)	193 industries manufacturières sous-périodes de 1957-1978	taux de croissance de la PTF (de Cobb-Douglas)	équation du taux de croissance de la PTF modèle statique à long terme	effets interindustriels sur la croissance de la PTF
Jaffe (1986)	432 sociétés 1973-1979	fonction de production de connaissances (de Cobb-Douglas généralisée)	équations sur les brevets, le profit et la valeur marchande modèle statique à long terme	effets intra-industriels sur la productivité, le profit et la valeur marchande
Levin-Reiss (1988)	116 activités manufacturières (FTC) en 1976	fonction de coût variable unitaire (de Cobb-Douglas)	équations d'offre de production, de R&D de procédés et de R&D de produits modèle statique à long terme	effets interindustriels sur l'offre de production et les intensités de R&D de procédés et de produits
Mohnen-Lepine (1988)	12 industries canadiennes 1975, 1977, 1979, 1981-1983	fonction de coût variable (translogarithmique)	fonction de coût variable, équations des parts des coûts des intrants variables pour le travail, les matières et les paiements de technologie modèle statique à court terme	effets interindustriels sur la demande de capital de R&D et le coût de production
Scherer (1982, 1984)	87 sous-groupes d'industries sous-périodes de 1964-1978	fonction de production (de Cobb-Douglas généralisée)	équation du taux de croissance de la productivité du travail modèle statique à long terme	effets interindustriels sur la croissance de la productivité
Sveikauskas (1981)	144 industries manufacturières 1959-1969	fonction de production (de Cobb-Douglas généralisée)	équation du taux de croissance de la PTF modèle statique à long terme	effets extra-industriels sur la croissance de la productivité des facteurs
Terleckyj (1974)	20 industries manufacturières et 13 autres 1948-1966	fonction de production (de Cobb-Douglas généralisée)	équation du taux de croissance de la PTF modèle statique à court terme	effets interindustriels sur la croissance de la productivité et l'amplitude des effets

Étude	Échantillon	Spécification du modèle		
		Représentation de la technologie	Équations estimées et équilibre	Description des débordements
Terleckyj (1980)	20 industries manufacturières 1948-1966	fonction de production (de Cobb-Douglas généralisée)	équation du taux de croissance de la PTF modèle statique à court terme	effets inter- et intra-industriels sur la croissance de la PTF
Wolff-Nadiri (1987)	19 industries manufacturières et 50 secteurs manufacturiers et autres 1947, 1958, 1963, 1967, 1972	fonction de production (de Leontief)	équation du taux de croissance de la PTF modèle statique à long terme	effets de liaison interindustriels sur la croissance de la productivité, l'intensité de la R&D et le taux de rendement

Effets des débordements sur la rentabilité et l'offre d'extrants

L'offre de production est étroitement liée à la rentabilité qui, à son tour, est déterminée par les coûts de production et les prix des produits. Une étude récente (Bernstein et Nadiri, 1991) montre qu'en général, les débordements de R&D font monter la production et baisser les prix des produits. Ils font aussi croître le chiffre d'affaires et, par conséquent, la part de marché occupée par les produits considérés. Jaffe (1986) estime que l'élasticité du profit par rapport à la masse des débordements est d'environ 0,1 % pour un accroissement de 1 % des débordements.

Effets des débordements sur la demande d'intrants

Les débordements de R&D influent sur la demande de facteurs, généralement en faisant diminuer la demande de travail et de consommations intermédiaires et augmenter la demande de capital matériel. Cela laisse penser qu'ils sont des substituts au moins partiels à la main-d'œuvre et aux matières, mais qu'ils jouent un rôle complémentaire de celui du capital matériel. Ces constatations ont été faites par Bernstein (1988) et par Bernstein et Nadiri (1991). Il a aussi été trouvé que le capital matériel est complémentaire des débordements interindustriels de R&D, en particulier dans les industries qui ont une forte propension à faire des dépenses de R&D (Bernstein, 1988).

L'effet de la demande de capital de R&D dépend de l'origine des débordements. Plus précisément, les débordements intra-industriels sont des substituts à la R&D dans les secteurs qui ont une relativement faible propension à dépenser dans ce domaine, mais sont complémentaires dans ceux qui consacrent une part relativement importante de leur budget à la R&D. Cela signifie que les industries actives en R&D augmentent aussi leur R&D interne quand elles obtiennent de nouvelles connaissances d'entreprises rivales par les débordements intra-industriels. Les

débordements interindustriels tendent à être des substituts à la R&D interne, indépendamment de la nature du secteur d'activité (Bernstein, 1988).

Taux de rendement de la R&D

L'existence des débordements oblige à faire une distinction entre le taux de rendement privé et le taux de rendement social de la R&D, le premier donnant ce que rapporte l'*exécution* d'activités de R&D à l'entreprise *privée* qui en est l'auteur et le second, ce que rapporte l'*emploi* des retombées de la R&D au sein de la *société* en général. Donc, le taux de rendement social englobe l'effet des débordements et est égal au taux privé, majoré de la somme des avantages marginaux consentis aux entreprises rivales du même secteur d'activité (débordements intra-industriels) et de la somme des avantages marginaux transmis à toutes les entreprises des autres secteurs (débordements interindustriels).

Les études montrent que le taux de rendement social est généralement plus élevé que le taux privé. Aux États-Unis et au Canada, cette supériorité est d'au moins le double dans des industries comme celles des machines non électriques, du caoutchouc et du plastique, des produits pétroliers et des produits chimiques (Bernstein, 1989, utilisait des données sectorielles selon la classification à deux chiffres, tandis que Bernstein, 1988, utilisait des données au niveau de l'entreprise). Bernstein et Nadiri (1988) ont trouvé que le taux social était plus élevé que le taux privé dans des proportions allant de 10 % à 1 000 %. Les tableaux 2 et 3, dressés respectivement pour le Canada et les États-Unis, indiquent les taux de rendement privé et social dans certaines industries. Bernstein et Nadiri (1988) ont aussi constaté que le taux de rendement social de la R&D varie beaucoup d'une industrie à une autre.

Tableau 2
Taux de rendement social et privé
dans certaines industries canadiennes (%)

Industrie	Taux de rendement					
	Bernstein (1988)		Bernstein (1989)		Mohnen-Lepine (1988)	
	priv.	soc. ^a	priv.	soc. ^b	priv.	soc. ^b
Aéronautique (appareils & pièces)	12	23			8	11
Produits chimiques	12	26	25	81	15 51	17 ^c 132
Produits électriques	12	26	38	38	5 33	24 ^c 47
Aliments et boissons	12	20				
Puits de gaz et de pétrole			33	37		
Transformation des métaux	12	20	29	29	274	314
Machines non électriques	12	19	24	94	6 27	12 ^c 117
Produits pétroliers			40	87		
Métaux primaires			26	42	17	51
Pâtes et papiers	12	20				
Caoutchouc et plastiques			47	89	143	157
Instruments scientifiques					49	75
Matériel de transport			28	29		

a = taux de rendement nets (des amortissements)

b = taux de rendement bruts (des amortissements)

c = selon les sous-agrégats au sein de l'industrie

d = taux de rendement moyens de 1965, 1975 et 1985

Il est souvent difficile d'isoler les dépenses consacrées à la recherche et au développement de procédés et celles consacrées à la R&D de produits. Toutefois, Griliches et Lichtenberg (1984) ont calculé que le rendement social est supérieur pour la R&D de procédés que pour la R&D de produits : entre 38 % et 76 % dans le premier cas, entre 21 % et 29 % dans le second. Scherer (1982) a trouvé un intervalle de variation comparable pour le taux de rendement social de la R&D de procédés (entre 37 % et 93 %), mais n'a pas découvert le moindre débordement pour

la R&D de produits. Le taux social est également supérieur lorsque la R&D est financée par le secteur privé (de 28 % à 60 %), au point que Terleckyj (1974, 1980) et Wolff et Nadiri (1987) constatent même une absence de débordements pour la R&D subventionnée par le secteur public.

Tableau 3
Taux de rendement social et privé
dans certaines industries américaines (%)

Industrie	Taux de rendement							
	Bernstein & Nadiri (1988)		Bernstein & Nadiri (1989a)		Bernstein & Nadiri (1989b)		Bernstein & Nadiri (1991)	
	priv.	soc. ^b	priv.	soc.	priv.	soc. ^b	priv. ^d	soc. ^d
Produits chimiques	13	21	20		7	12	23	45
Produits électriques	15	18			15	25		
Aliments et boissons			9					
Transformation des métaux				21	21			
Machines non électriques	27	58	16		7	9	22	28
Produits pétroliers					7	16		
Métaux primaires			10					
Instruments scientifiques	17	111			7	14	25	110
Matériel de transport	10	11					15	29

a = taux de rendement nets (des amortissements)

b = taux de rendement bruts (des amortissements)

c = selon les sous-agrégats au sein de l'industrie

d = taux de rendement moyens de 1965, 1975 et 1985

Débordements internationaux

La plupart des études portant surtout sur les débordements intérieurs, il existe peu de données empiriques sur les débordements internationaux et leurs effets sur la structure de la production et la croissance de la productivité. Comme les débordements de R&D sont une forme d'externalité provenant de la nature (non rivale et partiellement exclusive) de la formation de capital de R&D, ils ne sont pas forcément confinés à un territoire national. Les débordements internationaux se font de diverses façons, notamment par l'exportation de biens et services, les alliances internationales entre sociétés (accords de licence, co-entreprises, etc.), les investissements directs de l'extérieur, le recrutement de chercheurs et d'ingénieurs étrangers, les

communications internationales (conférences, etc.).

Il faut souligner qu'il n'est pas nécessaire qu'une transaction internationale ait lieu pour qu'une technologie déborde des frontières. Par exemple, les constructeurs automobiles japonais implantés aux États-Unis peuvent très bien démonter un véhicule américain sur place pour en connaître les caractéristiques techniques, puis transférer cette information au Japon. Les liens entre entreprises d'amont et d'aval de pays différents interviennent aussi, en plus des débordements entre sociétés d'un même secteur d'activité mais de nations différentes. Les fournisseurs d'intrants de production et les demandeurs de consommations intermédiaires font aussi partie du réseau de débordements internationaux et, comme dans le cas des débordements intérieurs, des entreprises qui n'ont pas de relations d'affaires proprement dites entre elles peuvent néanmoins être auteurs ou bénéficiaires de débordements internationaux. Bref, l'ampleur et la portée des débordements internationaux peuvent être très grandes.

Quelques études ont estimé les effets des débordements internationaux. Mohnen (1990) s'est penché sur les retombées du capital étranger de R&D sur le secteur de la fabrication canadien. Comme variable à mesurer pour représenter ces débordements, il a pris la somme des stocks de R&D dans les pays étrangers, pondérée en fonction du pourcentage que représentent les importations de haute technologie provenant du pays considéré au sein du total des importations de haute technologie. Le fait d'avoir utilisé les importations de haute technologie pour la pondération repose implicitement sur trois hypothèses : plus un pays importe des produits avancés d'un autre pays, plus les deux pays sont proches sur le plan technologique; la nation importatrice bénéficie de la R&D des pays exportateurs en proportion de la part de ses importations qui viennent de ces pays; et chaque unité d'importation de haute technologie a la même valeur sur le plan des externalités de R&D, sans considération du pays d'origine. Ces hypothèses réductrices doivent être signalées car il est important de connaître les limitations des différentes méthodes de pondération pour juger des résultats de ces études empiriques.

Les liens technologiques qui unissent les pays empruntent diverses voies, les transferts de technologie ne se faisant pas uniquement par les échanges commerciaux : par exemple, les multinationales et les co-entreprises donnent lieu à des débordements sans qu'il y ait flux d'achats entre les pays d'origine et de destination, et la mobilité internationale des scientifiques et ingénieurs permet la diffusion de la R&D hors commerce. Pour ces raisons, l'utilisation des importations de haute technologie comme critère ne rend compte que d'une partie des débordements.

Hartwich et Ewen (1983) ont mesuré les débordements internationaux de R&D par agrégation sectorielle des stocks de capital de R&D des pays étrangers, en employant comme coefficients de pondération les achats de consommations intermédiaires faits par chaque secteur d'activité du pays auprès des mêmes secteurs des pays étrangers – une méthode analogue à celle qu'a utilisée Terleckyj (1974, 1980) au niveau intérieur. Cette approche suppose que les débordements accompagnent les flux d'achats d'intrants. Mais cela ne rend compte que des débordements associés aux liaisons vers l'aval, alors que le capital de R&D peut aussi se propager des utilisateurs d'aval vers les fournisseurs d'amont. L'industrie automobile en fournit un bon exemple : les raffinements apportés aux véhicules génèrent des innovations technologiques dans

les secteurs de l'acier, du verre, des machines-outils et du matériel électrique.

Dans un article très récent (Bernstein et Mohnen, 1994) sur les débordements internationaux entre les secteurs japonais et américains à haute intensité de R&D, les effets de ces débordements ont été analysés dans les deux sens (États-Unis–Japon et Japon–États-Unis) en même temps, à l'aide d'un modèle bilatéral de production liant les économies des deux pays. L'intérêt de cette approche réside dans le fait qu'elle considère simultanément les effets des débordements transfrontaliers sur les coûts de production, les gains de productivité et les structures de production (y compris sur les décisions relatives au capital intérieur de R&D). Les résultats ont montré qu'une augmentation de 1 % du capital de R&D aux États-Unis a fait baisser de 0,63 % les coûts variables moyens au Japon, mais que l'effet est bien moindre dans le sens inverse (1 % de hausse du capital japonais de R&D donne lieu à une baisse de 0,05 % des coûts variables moyens américains). Ainsi, les deux pays bénéficient des débordements transfrontaliers, mais le Japon dans une proportion douze fois plus grande que les États-Unis. Il est important de noter que les diminutions de coûts unitaires de production induites par ces débordements impliquent que les rendements sociaux du capital de R&D sont supérieurs à ses rendements privés.

Les structures de production, à savoir les ratios de demande d'intrants et d'offre d'extrants ainsi que les ratios intrants-extrants, sont modifiées par les débordements internationaux. Au Japon et aux États-Unis, une augmentation de ces débordements provoque une diminution des intensités du travail et du capital matériel (c'est-à-dire les ratios intrants-extrants), mais une hausse de l'intensité des consommations intermédiaires. On constate par ailleurs qu'elle fait faire plus de R&D : l'intensité de la R&D interne est donc complémentaire des nouvelles connaissances acquises de source étrangère.

Les débordements internationaux influent aussi sur l'efficacité dynamique d'une économie, le savoir-faire obtenu des pays étrangers tendant à améliorer la compétitivité intérieure. Ainsi, pas moins de 52 % de la croissance de la productivité totale des facteurs au Japon est imputable à l'accumulation du stock de capital de R&D aux États-Unis. Inversement, la productivité globale de l'économie américaine n'augmente que d'environ 15 % du fait des débordements de R&D en provenance du Japon. L'article de Bernstein et Mohnen (1994) montre donc que les deux pays enregistrent des gains de productivité grâce aux débordements internationaux.

ÉLASTICITÉS DES DÉBORDEMENTS

Cette partie traite des effets des débordements intérieurs et internationaux sur les coûts de production variables moyens et sur la structure de production, la structure de production référant ici aux intensités des facteurs (donc, aux ratios intrants-extrants). La description du modèle et des données est présentée dans l'annexe, qui donne aussi les formules permettant de calculer les élasticités des débordements, aux équations (10), (11) et (12).

Les débordements intérieurs (à l'échelle infranationale) d'une industrie donnée sont mesurés comme la somme des stocks de capital de R&D – pas des dépenses consacrées à la R&D, mais de l'accumulation (après correction en fonction de l'inflation et avant amortissements) des dépenses de R&D – des autres industries intérieures. Par exemple, dans la présente étude, le débordement intérieur de l'industrie canadienne des produits chimiques est la somme des stocks de capital de R&D de toutes les industries manufacturières du Canada, sauf le stock du secteur de la chimie, et le débordement transfrontalier de cette industrie est le stock de capital de R&D de l'industrie chimique des États-Unis. Les élasticités des débordements, qui en représentent les effets, rendent compte de la variation en pourcentage des coûts variables moyens et des intensités des facteurs qui est induite par une hausse de 1 % d'un débordement intérieur ou d'un débordement transfrontalier, selon le cas. Les tableaux 4 à 14 donnent les résultats des calculs.

Commençons par l'industrie des produits chimiques. Le tableau 4 permet de voir que le débordement transfrontalier des États-Unis vers le Canada a un effet direct négatif sur le coût variable moyen. Cet effet direct (qui, pour les débordements intérieurs comme pour les débordements transfrontaliers, figure dans la colonne « Moyenne » en regard de « Coût variable moyen direct », à la dernière ligne de tous les tableaux 4 à 14) représente la variation en pourcentage du coût variable moyen lorsque toutes les intensités des facteurs sont maintenues constantes (à -0,6106 pour le débordement États-Unis–Canada dans la chimie). Il est possible qu'un débordement ait une valeur positive, c'est-à-dire qu'il fasse monter le coût variable moyen direct (voir explication au paragraphe suivant). C'est ce qui se produit pour le débordement Canada–États-Unis (0,24375).

Un débordement peut avoir un effet direct positif sur le coût variable. Étant donné le niveau des prix des facteurs variables, de la quantité de production et des intensités du capital (capital matériel et capital de R&D), un accroissement du débordement agit comme un changement qualitatif des caractéristiques de la production. Or, un tel changement peut alourdir le coût d'utilisation des intrants existants du travail et des consommations intermédiaires, et donc alourdir le coût variable. En un sens, l'efficacité technique de ces intrants diminue – une cause de surcoûts – et la production issue des intrants existants du travail et des consommations intermédiaires devient moins rentable.

Tableau 4
Produits chimiques

Élasticités des débordements intérieurs

	États-Unis		Canada	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Travail/production	-0,00589	0,00114	0,01879	0,00878
Cons. interm./production	-0,01676	0,00495	0,03384	0,01389
Capital matériel/production	0,00147	0,00017	-0,01362	0,00154
Capital de R&D/production	0,00057	0,00007	-0,21594	0,02255
Coût variable moyen	-0,01155	0,00215	0,03028	0,01261
Coût variable moyen direct	-0,01095	0,00195	0,02663	0,01293

Élasticités des débordements transfrontaliers

	États-Unis		Canada	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Travail/production	0,14461	0,02720	-0,04337	0,02518
Cons. interm./production	0,39942	0,04589	0,07780	0,04152
Capital matériel/production	-0,11756	0,01987	0,02662	0,00468
Capital de R&D/production	0,01563	0,00244	0,53853	0,05251
Coût variable moyen	0,27897	0,00777	-0,06963	0,03750
Coût variable moyen direct	0,24375	0,01453	-0,06106	0,03758

L'effet sur le coût variable moyen (à l'avant-dernière ligne des tableaux, pour les débordements intérieur et transfrontalier) donne la somme des effets directs ainsi que l'effet sur le coût variable moyen résultant des variations en pourcentage des intensités des facteurs variables. Il est important de signaler que l'effet global des débordements (la conjugaison de leurs effets directs et indirects, individuellement et conjointement) est habituellement négatif, mais qu'il peut être positif parce que ces effets font aussi varier les intensités des facteurs. C'est ce qui se produit, par exemple, quand un débordement a pour effet direct de réduire le coût variable moyen, mais provoque aussi une augmentation substantielle des intensités des facteurs variables, ce qui est source de surcroûts de coûts. Dans ce cas, comme il faut plus d'intrants pour produire chaque unité d'extrants, il arrive que cet effet indirect positif surpasse l'effet direct négatif au point de faire augmenter le coût variable moyen.

Il y a une relation complémentaire entre l'intensité de la R&D et le débordement transfrontalier dans chaque pays. Ainsi, l'expansion du capital de R&D dans l'industrie chimique américaine fait monter l'intensité de la R&D dans la chimie canadienne : une hausse de 1 % de la R&D dans les produits chimiques aux États-Unis se traduit par une élévation de 0,54 % de l'intensité de la R&D correspondante au Canada. Le phénomène se produit aussi à l'inverse, sauf que les retombées dont profite le Canada sont nettement supérieures à celles dont bénéficient les États-Unis.

Pour ce qui est des intensités des facteurs autres que le capital de R&D, au Canada, celles du travail et des consommations intermédiaires sont des substituts au débordement transfrontalier, alors que l'intensité du capital matériel est complémentaire. Aux États-Unis, c'est l'inverse.

Les effets des débordements intérieurs (entre industries) sont complètement différents de ceux des débordements transfrontaliers. Au Canada, le débordement intérieur provoque une diminution de l'intensité de la R&D : par exemple, à mesure qu'elle emprunte plus de connaissances à d'autres industries du Canada, la chimie canadienne *substitue* ces connaissances externes à sa R&D interne pour chaque unité de production. Aux États-Unis, la relation entre l'intensité de la R&D interne et les débordements intérieurs est très faible. Par ailleurs, les débordements intérieurs du Canada font croître les intensités du travail et des consommations intermédiaires mais décroître celles du capital matériel, à l'opposé de ce qui se passe aux États-Unis.

Tableau 5
Produits électriques

Élasticités des débordements intérieurs

	États-Unis		Canada	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Travail/production	0,11067	0,03899	-0,02723	0,01595
Cons. interm./production	0,22378	0,01518	-0,03780	0,01102
Capital matériel/production	-0,25838	0,05373	0,12199	0,03209
Capital de R&D/production	0,22211	0,01721	-0,35236	0,18433
Coût variable moyen	0,15970	0,02973	-0,03356	0,00897
Coût variable moyen direct	0,16808	0,03484	-0,04104	0,01040

Élasticités des débordements transfrontaliers

	États-Unis		Canada	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Travail/production	-0,07975	0,07065	-0,66398	0,55930
Cons. interm./production	-0,14043	0,08300	-0,79874	0,20500
Capital matériel/production	-0,13645	0,05122	0,35762	0,05676
Capital de R&D/production	-0,12656	0,07207	0,62644	0,02420
Coût variable moyen	-0,10723	0,07817	-0,73513	0,27414
Coût variable moyen direct	-0,11316	0,08424	-0,68744	0,26225

Dans l'industrie des produits électriques (tableau 5), les effets des débordements transfrontaliers sur la structure de production et les coûts au Canada sont plus forts que ceux des débordements intérieurs. Aux États-Unis, par contre, ce sont les effets des débordements intérieurs qui dominent. L'intensité de la R&D augmente au Canada par suite de la R&D faite dans le même secteur aux États-Unis : quand les entreprises américaines fabriquant des

produits électriques font 1 % de plus de R&D, l'intensité de la R&D s'accroît de 0,63 % dans ce secteur au Canada. À l'inverse, l'intensité de la R&D *diminue* au sud de la frontière lorsque les entreprises américaines de produits électriques *ou* leurs homologues canadiennes font plus de R&D. Le tableau 5 montre aussi que les débordements intérieurs entraînent une diminution de l'intensité de la R&D au Canada, mais une augmentation aux États-Unis. On voit donc que les industries des produits électriques des deux pays réagissent très différemment aux débordements selon qu'ils sont intérieurs ou transfrontaliers. Pour les intensités des autres facteurs, on constate que les deux formes de débordements exercent des influences parallèles au Canada, mais divergentes aux États-Unis.

Tableau 6
Aliments et boissons

Élasticités des débordements intérieurs

	États-Unis		Canada	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Travail/production	0,05191	0,00527	-0,00103	0,00037
Cons. interm./production	0,11922	0,01758	-0,00170	0,00071
Capital matériel/production	-0,01069	0,00147	-0,01253	0,00203
Capital de R&D/production	-0,03191	0,00398	0,24255	0,01987
Coût variable moyen	0,10042	0,01170	-0,00156	0,00061
Coût variable moyen direct	0,09929	0,01167	-0,00138	0,00061

Élasticités des débordements transfrontaliers

	États-Unis		Canada	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Travail/production	-0,28282	0,13178	-0,75403	0,40347
Cons. interm./production	-0,66799	0,35261	-1,25666	0,74248
Capital matériel/production	0,05160	0,01571	0,96805	0,00776
Capital de R&D/production	0,24634	0,07994	0,31532	0,02964
Coût variable moyen	-0,55498	0,27310	-1,14886	0,65294
Coût variable moyen direct	-0,54878	0,27040	-1,13207	0,64861

Le tableau 6 donne les résultats obtenus pour le secteur des aliments et boissons. Ils sont analogues à ceux de l'industrie des produits électriques : au Canada, les débordements intérieurs et transfrontaliers réduisent tous deux le coût variable moyen, quoique l'effet des premiers soit très faible; pour les débordements transfrontaliers, une hausse de 1 % fait diminuer le coût variable moyen d'un peu plus de 1 % au Canada, soit environ deux fois plus que la réduction enregistrée aux États-Unis. À nouveau, l'influence exercée par la R&D américaine au Canada est supérieure

aux effets que produit la R&D canadienne aux États-Unis.

Dans les deux pays, l'intensité de la R&D est complémentaire des débordements transfrontaliers, avec des élasticités voisines : quand ces débordements augmentent de 1 %, l'intensité de la R&D croît de 0,32 % au Canada et de 0,25 % aux États-Unis. Pour ce qui est des autres facteurs, les deux pays réagissent de façon comparable – les intensités du travail et des consommations intermédiaires sont des substituts, celle du capital matériel est complémentaire – quoique les effets soient plus marqués dans le sens États-Unis–Canada que dans l'autre. Les élasticités des débordements intérieurs sont plus faibles en valeurs absolues que celles des débordements transfrontaliers.

Tableau 7
Métaux transformés

Élasticités des débordements intérieurs

	États-Unis		Canada	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Travail/production	0,01169	0,01257	0,02273	0,00619
Cons. interm./production	0,01801	0,01955	0,02049	0,00320
Capital matériel/production	-0,26311	0,05767	-0,05788	0,00938
Capital de R&D/production	0,36905	0,03793	0,48809	0,21809
Coût variable moyen	0,01501	0,01622	0,02124	0,00415
Coût variable moyen direct	-0,01023	0,02521	0,01950	0,00412

Élasticités des débordements transfrontaliers

	États-Unis		Canada	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Travail/production	-0,03161	0,01805	-0,48104	0,18788
Cons. interm./production	-0,04823	0,02725	-0,42754	0,12731
Capital matériel/production	0,05385	0,02444	1,26277	0,06510
Capital de R&D/production	0,02883	0,01521	2,85225	0,95321
Coût variable moyen	-0,04037	0,02283	-0,44548	0,14686
Coût variable moyen direct	-0,03448	0,02076	-0,39285	0,14427

Les résultats relatifs à l'industrie des métaux transformés sont donnés par le tableau 7. Dans ce secteur, les effets des débordements transfrontaliers dominent les élasticités des débordements intérieurs. De plus, le Canada réagit de manière relativement plus élastique

que les États-Unis aux débordements en provenance de l'autre pays, puisqu'un renforcement de 1 % des débordements transfrontaliers fait directement tomber le coût variable moyen de 0,40 % ici, contre seulement 0,03 % là-bas. L'intensité de la R&D est complémentaire des débordements transfrontaliers, mais dans des proportions extrêmement différentes : pour 1 % de débordements de plus venant de l'économie américaine, l'intensité de la R&D canadienne grimpe de 2,85 %, soit cent fois plus que dans l'autre sens, du Canada vers les États-Unis. Comme dans d'autres secteurs, les débordements transfrontaliers réduisent les intensités du travail et des consommations intermédiaires et augmentent celle du capital matériel.

Tableau 8
Machines non électriques

Élasticités des débordements intérieurs

	États-Unis		Moyenne	Canada	
	Moyenne	Écart-type		Écart-type	
Travail/production 0,0828	-0,0016	0,0013	0,0539		
Cons. interm./production 0,1198	-0,0028	0,0017	0,0701		
Capital matériel/production 0,0170	0,0039	0,0008	0,0694		
Capital de R&D/production 0,0262	0,0009	0,0002	0,7311		
Coût variable moyen 0,1068	-0,0022	0,0015	0,0647		
Coût variable moyen direct 0,1069	-0,0016	0,0014	0,0655		

Élasticités des débordements transfrontaliers

	États-Unis		Moyenne	Canada	
	Moyenne	Écart-type		Écart-type	
Travail/production 0,0756	-0,1432	0,1859	-0,1426		
Cons. interm./production 0,0904	-0,2145	0,2761	-0,2123		
Capital matériel/production 0,0428	0,7234	0,0936	0,1320		
Capital de R&D/production 0,0169	0,2263	0,0899	0,1399		
Coût variable moyen 0,0857	-0,1807	0,2299	-0,1879		
Coût variable moyen direct 0,0837	-0,0640	0,1843	-0,1774		

Le tableau 8, qui porte sur l'industrie des machines non électriques, montre que les retombées des débordements transfrontaliers surpassent en général celles des débordements intérieurs. Ce n'est toutefois pas le cas de l'intensité de la R&D au Canada : elle monte de 0,73 % sous l'effet d'un accroissement de 1 % des débordements intérieurs, mais de seulement 0,14 % à cause des débordements en provenance des États-Unis. Les élasticités des débordements transfrontaliers ne sont généralement pas plus élastiques au Canada, car bien qu'une hausse de 1 % du capital américain de R&D réduise directement le coût variable moyen ici de 0,18 % (trois

fois plus que dans le sens contraire), il n'en demeure pas moins que 1 % de plus de capital de R&D au Canada accroît de 0,23 % l'intensité de la R&D au sud de la frontière (moitié plus que dans le sens sud-nord). Les débordements transfrontaliers ont leurs effets habituels sur les intensités des autres intrants : baisse de celles du travail et des consommations intermédiaires, hausse de celle du capital matériel, au point que dans ce dernier cas, une augmentation de 1 % du capital canadien de R&D majore de 0,72 % l'intensité du capital matériel dans l'industrie américaine de la machinerie non électrique.

Tableau 9
Minéraux non métalliques

Élasticités des débordements intérieurs

	États-Unis		Canada	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Travail/production	0,06728	0,00634	0,03787	0,01312
Cons. interm./production	0,10862	0,01090	0,04373	0,01087
Capital matériel/production	0,19472	0,04577	0,05560	0,00602
Capital de R&D/production	0,13955	0,08587	0,15188	0,04784
Coût variable moyen	0,08741	0,00733	0,04176	0,01156
Coût variable moyen direct	0,02319	0,00782	0,03629	0,01118

Élasticités des débordements transfrontaliers

	États-Unis		Canada	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Travail/production	-0,02186	0,01073	-0,46727	0,20352
Cons. interm./production	-0,03533	0,01829	-0,53337	0,18639
Capital matériel/production	0,04065	0,01404	0,58311	0,05047
Capital de R&D/production	0,20850	0,03104	0,21054	0,04679
Coût variable moyen	-0,02841	0,01431	-0,51109	0,19163
Coût variable moyen direct	-0,01976	0,01151	-0,43711	0,17987

Du tableau 9, on peut déduire que les résultats relatifs aux minéraux non métalliques rejoignent à peu près ceux de la plupart des autres secteurs : les débordements transfrontaliers ont plus d'effets que les débordements intérieurs; l'incidence du capital de R&D américain au Canada est plus grande que celle du capital canadien aux États-Unis; l'intensité de la R&D, tout comme celle du capital matériel, est complémentaire des débordements transfrontaliers; et les intensités du travail et des consommations intermédiaires

sont des substituts. Quand les débordements de l'autre côté de la frontière augmentent de 1 %, le coût variable moyen direct diminue de 0,44 % au Canada, alors que l'élasticité correspondante est de 0,02 % aux États-Unis. Par contre, les élasticités des intensités de R&D sont beaucoup plus proches puisqu'un débordement transfrontalier en hausse de 1 % les fait monter d'environ 0,21 % dans l'un ou l'autre des deux pays.

Tableau 10
Papier et produits connexes

Élasticités des débordements intérieurs

	États-Unis		Canada	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Travail/production	-0,02612	0,00457	0,04091	0,03180
Cons. interm./production	-0,05576	0,01245	0,06121	0,03580
Capital matériel/production	-0,02335	0,00387	-0,32142	0,03995
Capital de R&D/production	-0,34324	0,08887	0,11641	0,03705
Coût variable moyen	-0,04278	0,00753	0,05541	0,03459
Coût variable moyen direct	-0,05094	0,00931	0,04216	0,03540

Élasticités des débordements transfrontaliers

	États-Unis		Canada	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Travail/production	-0,14968	0,02301	-0,04204	0,06771
Cons. interm./production	-0,31493	0,03826	-0,05236	0,08787
Capital matériel/production	0,25846	0,02761	0,22284	0,06050
Capital de R&D/production	0,53660	0,10286	0,86844	0,49254
Coût variable moyen	-0,24292	0,02195	-0,04953	0,08182
Coût variable moyen direct	-0,19779	0,01327	-0,04483	0,08060

Les chiffres trouvés pour l'industrie du papier et des produits connexes, présentés au tableau 10, contrastent avec les résultats obtenus d'ordinaire pour les autres secteurs. Une expansion de 1 % du capital de R&D ici fait directement baisser le coût variable moyen aux États-Unis de 0,20 %, alors que dans le sens inverse, l'effet de réduction n'est que de 0,05 % au Canada. Le capital de R&D de l'industrie canadienne du papier et des produits dérivés a donc des retombées favorables supérieures au sud de la frontière. Dans les deux pays, l'intensité de la R&D réagit positivement aux débordements transfrontaliers : quand ceux-ci s'accroissent de 1 %, le capital de R&D par unité de production augmente de 0,87 % au Canada et de 0,54 % aux États-Unis. Comme dans d'autres secteurs, les intensités du

travail et des consommations intermédiaires sont des substituts aux débordements transfrontaliers tandis que celle du capital matériel est complémentaire.

Dans l'industrie papetière, les effets des débordements intérieurs sont tout à fait différents de ceux des débordements transfrontaliers. Ils sont diamétralement opposés au Canada, sauf pour l'intensité de la R&D (pour les deux formes de débordements, celle-ci est complémentaire). Aux États-Unis, les intensités de tous les facteurs, capital de R&D compris, sont des substituts aux débordements intérieurs.

Tableau 11
Produits pétroliers

Élasticités des débordements intérieurs

	États-Unis		Canada	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Travail/production	0,01734	0,00152	-0,00926	0,00146
Cons. interm./production	0,02424	0,00160	-0,01162	0,00219
Capital matériel/production	0,01384	0,00353	-0,01365	0,00253
Capital de R&D/production	-0,27711	0,04533	0,32172	0,04125
Coût variable moyen	0,02361	0,00155	-0,01150	0,00216
Coût variable moyen direct	0,01756	0,00185	-0,00860	0,00296

Élasticités des débordements transfrontaliers

	États-Unis		Canada	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Travail/production	-0,15276	0,05718	-0,32198	0,10975
Cons. interm./production	-0,21812	0,09371	-0,40773	0,15780
Capital matériel/production	0,17910	0,02661	1,07858	0,07437
Capital de R&D/production	0,00668	0,00246	-0,43254	0,05415
Coût variable moyen	-0,21251	0,09148	-0,40375	0,15619
Coût variable moyen direct	-0,18854	0,09866	-0,35877	0,16623

Les produits pétroliers constituent aussi un cas intéressant : le tableau 11 montre que même si le coût variable moyen diminue en réponse à une croissance des débordements transfrontaliers canado-américains, ceux-ci ont très peu d'effets sur l'intensité de la R&D aux États-Unis alors qu'au Canada, l'intensité se substitue aux débordements en provenance du sud (une hausse de 1 % du capital américain de R&D fait chuter de 0,43 % environ le capital canadien de R&D par unité produite). Mais les débordements intérieurs n'ont pas les mêmes effets sur l'industrie pétrolière canadienne, dont le capital de R&D joue un rôle complémentaire. Aux États-

Unis, par contre, les débordements intérieurs réduisent l'intensité du capital de R&D. Il y a opposition totale entre les effets de ces débordements à l'intérieur des deux pays : lorsqu'ils augmentent, les intensités de tous les facteurs montent aux États-Unis mais baissent au Canada, quoique dans une mesure minime dans les deux cas. Pour ce qui est des débordements transfrontaliers, les intensités des facteurs autres que le capital de R&D suivent le modèle habituel.

Tableau 12
Métaux primaires

Élasticité des débordements intérieurs

	États-Unis		Canada	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Travail/production	-0,15799	0,04839	0,02663	0,00826
Cons. interm./production	-0,30109	0,12344	0,03468	0,00519
Capital matériel/production	0,01141	0,00181	-0,06809	0,00718
Capital de R&D/production	-0,39764	0,09336	-0,04922	0,00447
Coût variable moyen	-0,24341	0,09107	0,03282	0,00582
Coût variable moyen direct	-0,24666	0,09093	0,03060	0,00579

Élasticité des débordements transfrontaliers

	États-Unis		Canada	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Travail/production	0,03806	0,00698	-0,19799	0,07602
Cons. interm./production	0,06921	0,00865	-0,25557	0,05903
Capital matériel/production	-0,00820	0,00157	0,27570	0,02659
Capital de R&D/production	0,07857	0,01025	0,29396	0,03186
Coût variable moyen	0,05677	0,00734	-0,24224	0,06210
Coût variable moyen direct	0,05657	0,00737	-0,23263	0,06154

Le tableau 12 donne les résultats de l'industrie des métaux primaires. Dans ce secteur, une élévation de 1 % des débordements transfrontaliers abaisse directement le coût variable moyen de 0,24 % au Canada, mais fait augmenter celui des États-Unis, d'environ 0,06 %. Comme nous l'avons déjà mentionné, il est possible que l'une des formes de débordements entraîne directement une hausse du coût variable. L'intensité du capital de R&D s'accroît en réponse aux débordements transfrontaliers. Les résultats obtenus pour cette industrie sont intéressants en ce que, même si les intensités des autres facteurs paraissent suivre le modèle général au Canada, une expansion du capital de R&D canadien se traduit par un accroissement des intensités du travail et des consommations intermédiaires et une diminution de celle du capital matériel aux États-Unis.

L'inverse se produit avec les débordements intérieurs : dans les deux pays , débordements intérieurs et transfrontaliers produisent des effets opposés sur les intensités des facteurs de production de métaux primaires.

Tableau 13
Caoutchouc et plastiques

Élasticités des débordements intérieurs

	États-Unis		Canada	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Travail/production	-0,01723	0,00505	1,16765	0,97986
Cons. interm./production	-0,03305	0,01619	0,19523	0,15878
Capital matériel/production	0,24499	0,14014	-0,15570	0,02750
Capital de R&D/production	0,09589	0,00749	-0,29961	0,04530
Coût variable moyen	-0,02608	0,01047	-1,77431	1,12728
Coût variable moyen direct	-0,01891	0,01025	-1,73295	1,09633

Élasticités des débordements transfrontaliers

	États-Unis		Canada	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Travail/production	-0,04658	0,08295	1,00776	0,87687
Cons. interm./production	-0,06071	0,12182	0,70864	0,51395
Capital matériel/production	-1,55444	0,60980	-0,30750	0,10278
Capital de R&D/production	-0,08447	0,03737	-0,55072	0,17972
Coût variable moyen	-0,05602	0,10582	1,27928	0,49284
Coût variable moyen direct	-0,09106	0,12316	1,19924	0,45463

Un résultat intéressant peut aussi être observé pour le secteur du caoutchouc et des plastiques puisque, comme le montre le tableau 13, le Canada subit des majorations de coûts plutôt importantes par suite des débordements transfrontaliers. Quand les entreprises américaines de cette industrie investissent 1 % de plus en R&D, celles du Canada voient leur coût variable moyen direct monter de 1,20 %. L'effet inverse n'est pas particulièrement fort puisque le coût variable moyen direct des États-Unis baisse de 0,09 % lorsque c'est le Canada qui étoffe de 1 % son capital de R&D. Par contre, les débordements intérieurs réduisent directement le coût variable moyen. Dans ce secteur, le capital de R&D par unité de production est en général un substitut des débordements, aussi bien intérieurs que transfrontaliers. Seule l'intensité de la R&D aux États-Unis augmente parallèlement aux débordements intérieurs, mais dans une proportion relativement faible. Il apparaît aussi que les deux formes de débordements influent dans le même sens sur les intensités des facteurs autres que de capital, quoique le sens des variations ne soit pas

toujours identique dans les deux pays.

Tableau 14
Matériel de transport

Élasticités des débordements intérieurs

	États-Unis		Canada	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Travail/production	-0,45523	0,14395	-0,05997	0,03638
Cons. interm./production	-0,86963	0,42248	-0,08193	0,03371
Capital matériel/production	-0,53415	0,11279	-0,18250	0,02251
Capital de R&D/production	0,33554	0,02302	-1,86780	0,55418
Coût variable moyen	-0,69237	0,26342	-0,07689	0,03464
Coût variable moyen direct	-0,68685	0,27208	-0,05970	0,03394

Élasticités des débordements transfrontaliers

	États-Unis		Canada	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Travail/production	0,24514	0,04982	-0,34349	0,12620
Cons. interm./production	0,43462	0,09380	-0,49474	0,08466
Capital matériel/production	0,07840	0,00864	2,42493	0,21265
Capital de R&D/production	-0,11279	0,02738	1,76953	0,67274
Coût variable moyen	0,35557	0,03623	-0,07689	0,03464
Coût variable moyen direct	0,34319	0,03686	-0,38867	0,09469

La dernière industrie étudiée est celle du matériel de transport (voir le tableau 14). Dans ce secteur, le Canada voit ses coûts baisser globalement à mesure que s'accroît le capital de R&D au sud de la frontière : son coût variable moyen direct fléchit de 0,39 % lorsque les débordements transfrontaliers s'élèvent de 1 %. Par contre, la R&D canadienne fait monter les coûts variables moyens aux États-Unis, à peu près dans la même proportion (0,34 %) mais évidemment en sens inverse. Le capital canadien de R&D a relativement peu d'incidence sur les intensités du capital (matériel et de R&D) aux États-Unis, ce qui ne se retrouve pas dans le sens inverse. Au Canada, les débordements transfrontaliers ont des effets très sensibles – en fait élastiques (supérieurs à un en valeur absolue) – sur les intensités des facteurs de nature capitalistique.

Dans l'industrie américaine du matériel de transport, les débordements intérieurs sont beaucoup plus importants que les débordements transfrontaliers. Ce n'est pas le cas au Canada, où les débordements en provenance des États-Unis jouent un rôle plus conséquent. Ainsi, il y a augmentation de 1,8 % de l'intensité de la R&D lorsque les débordements transfrontaliers

s'accroissent de 1 %.

Gains de productivité

La croissance de la productivité totale des facteurs (PTF) est une mesure de l'efficacité dynamique d'un producteur. Dans cette partie, nous cherchons à quantifier et à décomposer la CPTF pour les industries canadiennes et américaines et, plus particulièrement, à déterminer à quel point les débordements intérieurs et transfrontaliers de R&D contribuent aux taux de CPTF.

Par définition, la mesure classique de la CPTF est la différence entre le taux de croissance de la production et celui des intrants correspondants, ces derniers étant ici le travail, le capital matériel, les consommations intermédiaires et le capital de R&D. Il s'ensuit que la CPTF peut être mesurée en série chronologique discrète comme :

$$\text{CPTF}(t,s) = (y_t - y_s)/y_m - s_{vm}^T (v_t - v_s)/v_m - s_{km}^T (K_t - K_s)/K_m$$

où :

l'indice t représente la période en cours,

l'indice s représente la période antérieure,

l'indice m est la valeur moyenne d'une variable (par ex., $y_m = (y_t + y_s)/2$),

s_v est le vecteur des parts des coûts autres que de capital,

s_k est le vecteur des parts des coûts de capital,

et les parts des coûts sont définis en fonction du coût de tous les facteurs de production.

Les taux de CPTF peuvent être décomposés à l'aide de la fonction estimée du coût variable. Comme celle-ci est de la famille des fonctions quadratiques du deuxième ordre dans lesquelles les paramètres du deuxième ordre ne varient pas au cours du temps, les différences entre les coûts variables sont décomposables en :

$$\begin{aligned} c_t^v - c_s^v = & .5[\sum_{i=1}^n (v_{it} + v_{is}) (w_{it} - w_{is}) \\ & + ((\partial c^v / \partial y)_t + (\partial c^v / \partial y)_s) (y_t - y_s) \\ & + \sum_{k=1}^m ((\partial c^v / \partial K_k)_t + (\partial c^v / \partial K_k)_s) (K_{kt} - K_{ks}) \\ & + \sum_{j=1}^o ((\partial c^v / \partial S_j)_t + (\partial c^v / \partial S_j)_s) (S_{jt} - S_{js})] \end{aligned}$$

Cette équation identifie la différence du coût variable entre les deux périodes, différence attribuable aux prix des facteurs variables, à la quantité de production, aux stocks de capital et aux débordements de R&D. Le coût variable dépend de ces variables. En

outre, d'après la définition du coût variable, la variation d'une période à l'autre est donnée par :

$$c_t^v - c_s^v = \sum_{i=1}^n (w_{is} (v_{it} - v_{is}) + v_{it} (w_{it} - w_{is})).$$

Ensemble, les trois équations précédentes donnent :

$$\begin{aligned} \text{TFPG}(t,s) = & ((y_t - y_s)/y_m) [1 - (\partial c^v/\partial y)_m (y_m/c_m^v)(c_m^v/c_m)] \\ & - \sum_{j=1}^o (\partial c^v/\partial S_j)_m (S_{jm}/c_m) (S_{jt} - S_{js})/S_{jm}. \end{aligned}$$

La décomposition de la CPTF, dans le membre de droite de l'équation ci-dessus, comprend deux éléments : l'effet d'échelle (si les rendements sont constants à l'échelle, alors le terme entre crochets est nul), et les effets des débordements de R&D qui peuvent eux-mêmes être décomposés en deux éléments, car les débordements ont sur le coût variable des effets direct et indirect. L'effet direct (défini comme l'impact direct sur le coût variable) est essentiellement celui que produit le progrès technique classique sur la CPTF et qui est double (une composante due aux débordements intérieurs et l'autre causée par les débordements transfrontaliers entre les industries du Canada et des États-Unis). L'effet indirect des débordements sur l'augmentation de la productivité représente l'incidence que les nouvelles connaissances obtenues d'autres industries du pays et de la même industrie du pays étranger ont sur les intensités du capital.

Les tableaux 15 à 25 présentent les taux de croissance de la productivité et leurs décompositions pour les onze industries étudiées, au Canada et aux États-Unis. Dans le tableau 15, qui porte sur l'industrie des produits chimiques, trois composantes sont identifiées pour la CPTF : l'effet des rendements à l'échelle, l'effet des débordements intérieurs et l'effet des débordements transfrontaliers. Ces effets se produisent parce que la CPTF englobe le déplacement de la fonction de production engendré par le progrès technique (en d'autres termes, les effets des débordements et le fait que la fonction de production passe à une autre dimension parce que les rendements ne sont pas constants à l'échelle, donc l'effet d'échelle). Les composantes des débordements sont en plus subdivisées en composantes directe et indirecte. Le taux de la CPTF (colonne du même nom) est calculé comme la somme nette des composantes pour chaque période (ligne).

Dans la chimie, les CPTF trouvées pour le Canada et les États-Unis ne diffèrent pas sensiblement. La productivité a progressé moins vite dans les deux pays au cours de la période d'échantillonnage, et globalement, son taux annuel moyen de croissance est de 0,73 % (arrondi de 0,728) aux États-Unis et de 0,68 % (arrondi de 0,676) au Canada.

Les débordements jouent un rôle intéressant dans les deux pays : le capital américain de R&D contribue directement à la hausse de la productivité canadienne, à raison de 25 % environ, alors que l'expansion du capital de R&D au Canada engendre des surcoûts aux États-Unis, contribuant ainsi directement à des pertes de productivité là-bas. Ces pertes s'expliquent par le fait que les débordements en provenance du Canada ont pour effet direct d'alourdir le coût variable aux États-Unis. Dans les deux pays, par contre, les débordements intérieurs ont une incidence (positive) plus faible que les débordements transfrontaliers.

Tableau 15
Décomposition des taux annuels moyens de CPTF
dans l'industrie des produits chimiques (%)

Période	Taux de CPTF	Échelle	Débordement intérieur		Débordement transfrontalier	
			Direct	Indirect	Direct	Indirect
États-Unis						
1964-1968	1,700	2,293	0,232	-0,243	-0,980	0,368
1969-1974	1,008	1,459	0,240	-0,249	-0,352	-0,090
1975-1980	0,633	0,545	0,215	-0,225	0,056	0,042
1981-1986	-0,126	0,405	-0,083	0,088	-0,323	-0,213
1964-1986	0,752	1,126	0,148	-0,153	-0,377	0,024
Canada						
1964-1968	1,472	0,990	0,018	0,122	0,072	0,270
1969-1974	0,755	0,597	-0,014	-0,020	0,088	0,104
1975-1980	0,469	0,331	0,022	-0,030	0,118	0,028
1981-1986	0,085	0,069	-0,170	0,204	0,398	-0,416
1964-1986	0,676	0,478	-0,038	0,067	0,173	-0,004

Tableau 16
Décomposition des taux annuels moyens de CPTF
dans l'industrie des produits électriques (%)

Période	Taux de CPTF	Échelle	Débordement intérieur		Débordement transfrontalier	
			Direct	Indirect	Direct	Indirect
États-Unis						
1964-1968	2,162	1,783	0,195	-0,049	0,265	-0,032
1969-1974	1,170	0,457	0,367	-0,051	0,394	0,004
1975-1980	1,858	1,377	0,270	-0,073	0,300	-0,016
1981-1986	2,605	1,302	-0,187	-0,033	1,567	-0,044
1964-1986	1,940	1,206	0,160	-0,052	0,647	-0,021
Canada						
1964-1968	2,652	0,439	-0,331	-0,010	2,278	0,276
1969-1974	2,479	0,764	-0,193	-0,031	1,868	0,071
1975-1980	0,907	0,385	-0,026	0,006	0,591	-0,049
1981-1986	3,393	0,532	0,108	0,069	3,009	-0,325
1964-1986	2,357	0,534	-0,101	0,009	1,922	-0,007

Les taux de croissance de la productivité dans l'industrie des produits électriques sont donnés au tableau 16. Les taux annuels moyens de la CPTF sont relativement élevés dans les deux pays, un peu plus au Canada qu'aux États-Unis (2,4 % et 1,9 % respectivement). Le taux américain a été très stable au cours de la période d'échantillonnage alors que le taux canadien a chuté pendant la première moitié des années 1970, puis s'est repris dans la décennie suivante. Les débordements transfrontaliers ont été à l'origine de la majeure partie des gains de productivité au Canada, rendant compte de plus de 80 % du taux annuel moyen de la CPTF. Par contre, l'augmentation du stock canadien de R&D n'est intervenue que pour 33 % de la CPTF aux États-Unis. Les débordements intérieurs ont aussi joué un rôle moins important que les débordements transfrontaliers.

Tableau 17
Décomposition des taux annuels moyens de CPTF
dans l'industrie des aliments et boissons (%)

Période	Taux de CPTF	Échelle	Débordement intérieur		Débordement transfrontalier	
			Direct	Indirect	Direct	Indirect
États-Unis						
1964-1968	1,707	-0,880	0,205	0,009	2,324	0,049
1969-1974	2,617	-0,571	0,276	-0,006	2,900	0,018
1975-1980	2,052	0,226	0,154	-0,003	1,674	0,001
1981-1986	2,756	0,847	-0,078	-0,003	2,038	-0,048
1964-1986	2,308	-0,060	0,136	-0,001	2,230	0,003
Canada						
1964-1968	1,549	-0,787	-0,002	0	2,006	0,332
1969-1974	2,701	-0,266	0,001	0	2,579	0,387
1975-1980	2,673	0,112	0	0	3,060	-0,499
1981-1986	3,439	0,244	0,007	0	3,187	0,001
1964-1986	2,635	-0,148	0,001	0	2,739	0,043

L'industrie des aliments et boissons a enregistré de solides gains de productivité dans les deux pays, comme en témoignent les chiffres du tableau 17 : le Canada a légèrement devancé les États-Unis pour ce qui est des taux annuels moyens de la CPTF (2,6 % contre 2,3 %). Les débordements transfrontaliers ont contribué pour presque 100 % de la CPTF, qui a été très stable pendant la période d'échantillonnage. Il n'y a pas eu non plus de grandes fluctuations dans les apports des débordements infranationaux aux gains de productivité.

Tableau 18
Décomposition des taux annuels moyens de CPTF
dans l'industrie des métaux transformés (%)

Période	Taux de CPTF	Échelle	Débordement intérieur		Débordement transfrontalier	
			Direct	Indirect	Direct	Indirect
États-Unis						
1964-1968	0,550	0,455	-0,056	0,037	0,101	0,013
1969-1974	0,361	0,013	-0,008	0,031	0,338	-0,013
1975-1980	0,333	0,131	0,047	0,008	0,144	0,003
1981-1986	0,171	-0,033	-0,016	0,012	0,211	-0,003
1964-1986	0,333	0,128	-0,008	0,019	-0,194	0
Canada						
1964-1968	0,913	0,273	0,032	-0,002	0,554	0,056
1969-1974	0,875	0,099	-0,014	-0,017	0,765	0,042
1975-1980	0,522	0,047	0,012	-0,007	0,613	-0,143
1981-1986	0,378	-0,043	-0,098	-0,043	0,543	0,019
1964-1986	0,662	0,086	-0,019	-0,018	0,622	-0,009

Dans l'industrie des métaux transformés (tableau 18), la CPTF a été plus forte au Canada qu'aux États-Unis, avec un taux annuel moyen de 0,66 % ici et de 0,33 % là-bas. Ces taux ont été relativement stables au fil des années, malgré une régression dans les deux pays. De plus, les débordements transfrontaliers de R&D ont joué un rôle moteur dans l'augmentation de la productivité, à raison de 58 % de la CPTF aux États-Unis et de presque 100 % au Canada.

Les taux de la CPTF observés pour l'industrie des machines non électriques et donnés au tableau 19 ont été très voisins dans les deux pays, de 1,12 % en moyenne annuelle au Canada contre 1 % aux États-Unis. Mais leur évolution a été différente. Le taux canadien est demeuré stable entre les milieux des années 1960 et 1970, puis a régressé pendant tout le reste de la période, alors que le taux américain a reculé au début des années 1970, pour remonter à la fin de cette décennie-là, puis rechuter pendant les années 1980. Le capital de R&D des États-Unis a contribué pour 76 % de la CPTF. L'inverse n'a pas été vrai puisque seulement 5 % environ des gains de productivité au sud de la frontière ont été imputables à l'effet net des débordements en provenance du nord.

Tableau 19
Décomposition des taux annuels moyens de CPTF
dans l'industrie des machines non électriques (%)

Période	Taux de CPTF	Échelle	Débordement intérieur		Débordement transfrontalier	
			Direct	Indirect	Direct	Indirect
États-Unis						
1964-1968	1,452	1,295	0	-1,219	0	1,376
1969-1974	0,690	0,377	0,004	-0,003	-0,868	1,180
1975-1980	1,173	1,115	0,001	-0,001	0,233	-0,175
1981-1986	0,773	0,874	0,009	-0,009	0,691	0,792
1964-1986	1,004	0,899	0,003	-0,300	0,047	0,355
Canada						
1964-1968	1,400	0,709	0,170	0,081	0,454	-0,014
1969-1974	1,419	0,654	-0,004	0,164	0,583	0,022
1975-1980	0,836	0,318	-0,044	-0,090	0,876	-0,224
1981-1986	0,883	-0,399	-0,534	0,145	1,436	0,235
1964-1986	1,124	0,304	-0,115	0,075	0,854	0,006

Tableau 20
Décomposition des taux annuels moyens de CPTF
dans l'industrie des minéraux non métalliques (%)

Période	Taux de CPTF	Échelle	Débordement intérieur		Débordement transfrontalier	
			Direct	Indirect	Direct	Indirect
États-Unis						
1964-1968	1,185	1,069	0,032	0,004	0,065	0,015
1969-1974	1,191	1,022	0,057	-0,020	0,113	0,019
1975-1980	1,041	1,136	-0,162	-0,023	0,100	0,010
1981-1986	1,108	1,035	-0,040	0,019	0,080	0,014
1964-1986	1,098	1,024	-0,027	-0,005	0,091	0,015
Canada						
1964-1968	1,362	0,453	0,052	-0,014	0,844	0,027
1969-1974	1,510	0,495	-0,021	-0,020	0,998	0,058
1975-1980	0,899	-0,072	0,024	0,010	1,219	-0,282
1981-1986	0,455	-0,080	-0,162	-0,072	0,702	0,067
1964-1986	1,080	0,230	-0,030	-0,030	0,945	-0,035

Les taux de croissance de la productivité dans l'industrie des minéraux non métalliques, avec leurs décompositions, sont présentés au tableau 20. Dans les deux pays, les taux annuels moyens de CPTF ont été de 1,1 % approximativement. Celui des États-Unis a été plus constant sur l'ensemble de la période, les gains de productivité ayant été initialement plus rapides au Canada avant que la tendance ne s'inverse au milieu des années 1970. Les débordements transfrontaliers de R&D ont été à l'origine de 88 % de l'augmentation de la PTF au Canada et d'environ 10 % aux États-Unis. Dans les deux cas, ces proportions sont demeurées assez stables pendant toute la période.

Tableau 21
Décomposition des taux annuels moyens de CPTF
dans l'industrie du papier et des produits connexes (%)

Période	Taux de CPTF	Échelle	Débordement intérieur		Débordement transfrontalier	
			Direct	Indirect	Direct	Indirect
États-Unis						
1964-1968	0,766	0,316	-0,098	-0,002	0,551	-0,001
1969-1974	-0,089	0,207	-0,100	0,025	-0,238	0,017
1975-1980	-0,181	0,201	-0,086	-0,007	-0,289	0
1981-1986	0,785	0,743	0,034	0,019	-0,015	0,004
1964-1986	0,324	0,369	-0,061	0,009	0,002	0,005
Canada						
1964-1968	0,031	0,309	-0,020	-0,057	-0,206	0,005
1969-1974	0,090	0,133	0,003	-0,045	-0,073	0,072
1975-1980	0,198	0,067	0,068	-0,039	0,218	-0,116
1981-1986	0,339	0,058	-0,321	-0,127	0,669	0,060
1964-1986	0,171	0,134	-0,069	-0,067	0,168	0,005

Le tableau 21 fait ressortir des taux de croissance relativement faibles pour la productivité de l'industrie du papier et des produits connexes, mais avec de très importantes fluctuations. Ainsi, le taux américain a fortement baissé pendant les années 1970, puis est revenu à son niveau antérieur durant la décennie suivante. Il y a aussi eu des variations dans les effets des débordements transfrontaliers : au début de la période d'échantillonnage, la R&D canadienne a contribué pour 72 % à la productivité aux États-Unis, puis elle l'a fait diminuer, ce qui a donné un effet global moyen minime sur la période. Au Canada, par contre, les débordements transfrontaliers ont joué un rôle plus important dans la hausse de la productivité à partir du milieu des années 1970.

Tableau 22
Décomposition des taux annuels moyens de CPTF
dans l'industrie des produits pétroliers (%)

Période	Taux de CPTF	Échelle	Débordement intérieur		Débordement transfrontalier	
			Direct	Indirect	Direct	Indirect
États-Unis						
1964-1968	0,619	0,173	0,028	0,002	0,382	0,034
1969-1974	0,447	0,311	0,039	-0,007	0,092	0,012
1975-1980	1,110	0,394	0,026	-0,006	0,806	-0,110
1981-1986	1,998	0,608	-0,031	0,005	1,369	0,047
1964-1986	1,062	0,380	0,015	-0,002	0,675	-0,006
Canada						
1964-1968	0,793	-0,012	-0,019	-0,001	0,654	0,171
1969-1974	1,129	0,471	0,004	0,005	0,505	0,144
1975-1980	0,688	0,118	-0,003	0	0,848	-0,275
1981-1986	0,409	-0,401	0,047	0,003	0,854	-0,094
1964-1986	0,753	0,046	0,008	0,002	0,718	-0,021

Dans l'industrie des produits pétroliers, les débordements transfrontaliers de R&D sont déterminants pour la productivité. Le tableau 22 montre que celle-ci a affiché une croissance moyenne de 1,1 % par an aux États-Unis, dont 64 % du fait de la R&D canadienne. La CPTF a été moins élevée au Canada, de 0,75 % en moyenne annuelle, mais ce taux est attribuable à 95 % aux retombées de la R&D américaine. Malgré les différences marquées entre les tendances de la productivité dans les industries pétrolières des États-Unis et du Canada, il est clairement observable que les débordements transfrontaliers y exercent une influence prédominante depuis le milieu des années 1970.

Comme en témoigne le tableau 23, il existe une disparité considérable entre les taux canadien et américain de CPTF dans l'industrie des métaux primaires : 0,63 % en moyenne au Canada, mais -0,71 % aux États-Unis; dans ce pays, le taux a été systématiquement négatif à partir de 1969, et si cette perte de productivité est en partie reliée au capital canadien de R&D, elle tient plus à l'effet direct des débordements intérieurs. Ceux-ci peuvent être contre-productifs dès lors qu'ils suscitent des hausses des coûts variables ou que l'expansion du capital de R&D se ralentit, et certains sont causes de surcoûts. Au Canada, les débordements transfrontaliers ont été à nouveau le principal déterminant de la CPTF, expliquant plus de 95 % des gains de productivité de façon très stable au cours de la période étudiée.

Tableau 23
Décomposition des taux annuels moyens de CPTF
dans l'industrie des métaux primaires (%)

Période	Taux de CPTF	Échelle	Débordement intérieur		Débordement transfrontalier	
			Direct	Indirect	Direct	Indirect
États-Unis						
1964-1968	0,017	0,483	-0,576	0,271	-0,237	0,076
1969-1974	-0,466	0,188	-0,466	0,053	-0,241	0
1975-1980	-0,780	-0,141	-0,249	-0,212	-0,130	-0,048
1981-1986	-1,482	-1,780	0,114	0,298	-0,076	-0,038
1964-1986	-0,708	-0,347	-0,286	0,095	-0,168	-0,002
Canada						
1964-1968	0,700	0,121	0,063	0,004	0,525	-0,013
1969-1974	0,337	0,051	-0,023	0,002	0,337	-0,030
1975-1980	0,746	0,076	0,019	-0,002	0,577	0,076
1981-1986	0,749	-0,007	-0,139	-0,020	0,906	0,009
1964-1986	0,630	0,057	-0,023	-0,004	0,589	0,011

Tableau 24
Décomposition des taux annuels moyens de CPTF
dans l'industrie du caoutchouc et des plastiques (%)

Période	Taux de CPTF	Échelle	Débordement intérieur		Débordement transfrontalier	
			Direct	Indirect	Direct	Indirect
États-Unis						
1964-1968	2,147	1,943	-0,043	0,018	-0,169	0,398
1969-1974	-0,416	-0,714	-0,044	0,017	0,099	0,226
1975-1980	0,574	0,225	-0,028	0,004	0,368	0,005
1981-1986	0,663	0,201	0,017	0,005	1,095	-0,655
1964-1986	0,786	0,437	-0,024	0,010	0,371	-0,007
Canada						
1964-1968	1,294	1,704	1,883	0,748	-2,085	-0,956
1969-1974	-0,236	4,846	-0,723	-0,904	-3,391	-0,064
1975-1980	-1,791	0,079	0,686	-0,652	-2,568	0,664
1981-1986	1,283	0,951	-0,859	0,003	1,745	0,299
1964-1986	0,431	1,883	0,271	-0,243	-1,463	0,017

Le capital américain de R&D influe négativement sur la CPTF dans l'industrie canadienne du caoutchouc et des plastiques. Ce résultat transparaît clairement des chiffres du tableau 24 : l'effet direct des débordements transfrontaliers, à cause des hausses du coût variable associées à ces derniers, est la principale cause des pertes de productivité au Canada. La CPFT dans cette industrie canadienne croît d'abord à un rythme respectable, 1,3 %, au milieu des années 1960, diminue pendant la décennie suivante et remonte dans les années 1980, mais enregistre globalement un taux annuel moyen de seulement 0,43 %. Aux États-Unis, la CPFT a aussi été vive dans un premier temps, puis a chuté au cours de la première moitié des années 1970. Le gain de productivité a commencé plus tôt là-bas, mais vers la fin de la période d'échantillonnage, le taux de croissance a été plus élevé ici. L'effet direct du capital canadien de R&D a contribué pour 47 % à la CPFT aux États-Unis. Ces dernières années, les débordements transfrontaliers ont sensiblement stimulé la productivité dans les deux pays.

Tableau 25
Décomposition des taux annuels moyens de CPTF
dans l'industrie du matériel de transport (%)

Période	Taux de CPTF	Échelle	Débordement intérieur		Débordement transfrontalier	
			Direct	Indirect	Direct	Indirect
États-Unis						
1964-1968	0,192	1,602	-1,081	-0,005	-0,334	0,010
1969-1974	-0,183	0,150	-0,629	0,288	0,004	0,004
1975-1980	-0,448	0,545	-1,066	0,364	-0,345	0,054
1981-1986	-0,180	0,927	0,372	0,060	-1,485	-0,054
1964-1986	-0,170	0,771	-0,580	0,185	-0,549	0,003
Canada						
1964-1968	2,621	1,256	0,047	0,015	0,778	0,525
1969-1974	0,823	0,477	0,093	0,036	0,167	0,050
1975-1980	-0,144	-0,029	-0,043	0,007	-0,095	0,016
1981-1986	1,058	0,139	0,411	-0,096	0,735	-0,131
1964-1986	1,023	0,426	0,131	-0,011	0,380	0,097

La dernière industrie étudiée est celle du matériel de transport. Le tableau 25 montre que les taux de croissance annuels de la productivité ont généralement été négatifs aux États-Unis, avec un taux moyen global de -0,17 %, et que ces pertes venaient des effets directs des débordements intérieurs et transfrontaliers. Situation opposée au Canada : la CPFT y a été

de 1 % par an en moyenne et régulièrement positive, sauf durant la seconde moitié des années 1970; les débordements en provenance du sud de la frontière ont justifié environ 37 % de cette CPFT.

Taux de rendement

Le taux de rendement social du capital de R&D est son taux de rendement privé, majoré des rendements découlant des débordements intérieurs et internationaux. Ces derniers rendements peuvent être calculés. Il est en effet possible de définir conjointement les flux d'argent prévus entre le Canada et les États-Unis, après actualisation, de la façon suivante :

$$\Omega_t = \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^{11} (C^{vij} (w_t^{ij}, y_t^{ij}, K_t^{ij}, S_{t-1}^{ij},) + \omega_t^{ij} K_t^{ij}).$$

Les exposants i et j représentent respectivement l'industrie et le pays.

Considérons le membre de droite de l'équation à évaluer aux ratios intrants-extrants d'équilibre pour chaque pays et chaque industrie. Le coût prévu actualisé conjoint n'est pas minimisé à cause de l'existence des débordements intérieurs et transfrontaliers de R&D, car leur internationalisation dégage un profit supplémentaire en raison de l'utilisation conjointe des stocks de capital de R&D. Ce profit supplémentaire est la réduction du coût conjoint. D'après l'équation (7) de l'annexe, au niveau intérieur, cette réduction résultant à l'équilibre en période t d'un accroissement du capital de R&D dans la $f^{\text{ième}}$ industrie et dans le $j^{\text{ième}}$ pays, est, par dollar de capital de R&D :

$$d_{rt}^{fj} = \sum_{i=1, i \neq f}^{11} \sum_{h=1}^2 (K_{ht}/y_t)^{ij} \eta_{hl}^{ij} W_t^{ij} y_t^{ij} / q_{rt}^{fj}$$

où q est le prix d'acquisition ou d'achat du capital de R&D.

Les débordements transfrontaliers ont aussi un effet sur le coût conjoint, exprimé par :

$$i_{rt}^{fj} = \sum_{h=1}^2 (K_{ht}/y_t)^{fk} \eta_{h2}^{fk} W_t^{fk} y_t^{fk} / q_{rt}^{fj}, j \neq k, j, k = 1, 2.$$

Ces deux équations donnent les écarts séparant les taux de rendement social et privé intérieurs et extérieurs, évalués par dollar de capital de R&D à l'équilibre qui s'établit pour le capital de R&D de la $f^{\text{ième}}$ industrie du $j^{\text{ième}}$ pays.

Considérons maintenant le taux de rendement privé du capital de R&D de chaque industrie de chaque pays. Ce taux est le taux de location divisé par le prix d'acquisition et il est obtenu d'après la condition du premier ordre du capital de R&D, donné comme équation (6.2) de l'annexe. Il s'agit donc du taux de rendement avant impôts et avant déduction des amortissements, égal à la réduction du coût marginal qui est due à l'expansion du capital de R&D par dollar investi en R&D. En définissant comme ρ_{rt}^{fj} le taux de rendement privé du capital de R&D à la période t , dans l'industrie f et dans le pays j , nous obtenons :

$$\rho_{rt}^{fj} = (\partial c_t^{vij} / \partial K_{rt}^{ij}) / q_{rt}^{fj}$$

Ainsi, le taux de rendement social de celui-ci, dans l'industrie f et dans le pays j , est :

$$\gamma_{fj}^f = \rho_{rt}^f + d_{rt}^f + i_{rt}^f, j \neq k, j, k = 1, 2.$$

Chaque taux de rendement social a trois composantes : le taux de rendement privé, le rendement imputable aux débordements intérieurs et le rendement imputable aux débordements transfrontaliers.

Les tableaux 26 et 27 présentent les taux de rendement du capital de R&D. Leur première colonne donne les taux de rendement privés. Au Canada, le même taux d'inflation a servi pour toutes les industries, par hypothèse (celle-ci fait peu de différences dans les résultats), et comme le taux privé est le taux de location corrigé du prix d'achat, les taux privés sont les mêmes pour toutes les industries. Le taux de rendement privé du tableau 27 est le rendement avant impôts, brut (avant déduction des amortissements) et en parités de pouvoirs d'achat. Il s'établit à 12,7 %, ce qui signifie que pour un taux d'amortissement de 10 % et un taux d'imposition des sociétés de 46 %, le rendement net, après impôts et en parités de pouvoirs d'achat, est d'environ 1,5 % en termes réels.

Tableau 26
Taux de rendement
États-Unis
(moyennes, en pourcentage)

Industrie	Taux de rendement privé	Rendement des débordements :		Taux de rendement social
		Intér.	Transfr.	
Produits chimiques	16,059	80,550	1,635	98,244
Produits électriques	13,297	75,723	6,535	95,555
Aliments et boissons	17,845	80,625	84,663	183,134
Métaux transformés	16,366	63,047	77,854	157,266
Machines non électriques	19,071	63,759	2,504	85,334
Minéraux non métalliques	17,322	63,981	50,841	132,144
Papier et produits connexes	18,518	66,470	14,236	99,223
Produits pétroliers	17,977	103,837	52,703	174,518
Métaux primaires	16,629	39,495	54,738	111,212
Caoutchouc et plastiques	12,042	34,495	-2,661	43,876
Matériel de transport	14,673	15,784	58,002	88,459

On peut déduire du tableau 21 qu'aux États-Unis, le taux de rendement nominal avant impôts et brut (avant amortissements) est approximativement de 16 % dans les onze industries. Après déduction des amortissements (10 %), de l'inflation (3 % en moyenne pour toutes les industries) et des impôts sur les bénéfices des sociétés (40 %), le taux de rendement net après impôts y est de 1,8 % en termes réels. (Aux États-Unis, les rendements privés diffèrent d'une industrie à une autre parce que les données utilisées comprennent les taux différentiels d'inflation.) Donc, en parités de pouvoirs d'achat, les rendements privés réels, nets et après impôts découlant du capital de R&D sont à peu près semblables aux États-Unis et au Canada.

Les rendements des débordements intérieurs et transfrontaliers figurent dans les deuxième et troisième colonnes des tableaux 26 et 27. Aux États-Unis (tableau 26), les « sur-rendements » privés résultant des débordements intérieurs sont en général supérieurs aux rendements issus des externalités transmises au Canada. Dans trois industries américaines (celles des métaux transformés, des métaux primaires et du matériel de transport), on constate que les rendements des débordements transfrontaliers surpassent nettement ceux des débordements intérieurs; dans une autre (aliments et boissons), les rendements des débordements intérieurs et transfrontaliers sont voisins; et dans les sept industries restantes, les rendements des débordements intérieurs sont de beaucoup supérieurs à ceux des débordements transfrontaliers, l'une d'elles (celle du caoutchouc et des plastiques) enregistrant un rendement négatif de ses débordements transfrontaliers. Un tel résultat se produit lorsqu'un débordement a pour effet direct de majorer les coûts. Cette condition est nécessaire, mais non suffisante, parce que les effets des débordements sur la CPTF sont pondérés par les taux de croissance du capital de R&D constituant les débordements infra- et internationaux. Toutefois, dans l'industrie américaine du caoutchouc et des plastiques, le rendement conjoint des débordements intérieurs *et* transfrontaliers demeure positif.

Pour les industries canadiennes, les rendements des débordements sont présentés au tableau 27. Ceux des débordements transfrontaliers dominent ceux des externalités intérieures dans huit des onze industries. Dans les trois autres (produits chimiques, métaux primaires et matériel de transport) où les taux intérieurs sont prépondérants, les rendements des débordements transfrontaliers sont en fait négatifs, mais ils sont toutefois plus que compensés par ceux des débordements intérieurs.

Les taux de rendement social sont calculés par sommation des trois premières colonnes des tableaux 26 et 27. Il convient de faire remarquer qu'ils sont exprimés en parités de pouvoirs d'achat, les données canadiennes étant corrigées par rapport aux américaines en fonction du différentiel de pouvoir d'achat des monnaies du Canada et des États-Unis, ce qui permet de comparer les rendements obtenus pour les deux pays. Des deux côtés de la frontière, les rendements sociaux sont beaucoup plus élevés que les rendements privés – de deux fois et demie à douze fois et demie au Canada et de trois fois et demie à dix fois aux États-Unis. Par contre, le classement des industries en fonction de l'ampleur de ces retombées diffère d'un pays à l'autre, en raison du rôle que les débordements transfrontaliers jouent dans chacun. Cinq des onze industries occupent à peu près le même rang aux États-Unis et au Canada (produits chimiques, aliments et boissons, métaux transformés, papier et produits connexes, et matériel de transport), trois qui se

positionnent plutôt bien au Canada se situent assez bas dans le classement aux États-Unis (machines non électriques, produits électriques et caoutchouc et plastiques), et trois autres sont dans la situation inverse (produits pétroliers, minéraux non métalliques et métaux primaires). Les taux de rendement du capital de R&D varient d'environ 32 % à 162 % au Canada et de 44 % à 183 % aux États-Unis.

Tableau 27
Taux de rendement

Canada
(moyennes, en pourcentage)

Industrie	Taux de rendement privé	Rendement des débordements :		Taux de rendement social
		Intér.	Transfr.	
Produits chimiques	12,729	43,204	-7,450	48,483
Produits électriques	12,729	57,012	101,357	158,369
Aliments et boissons	12,729	20,961	110,936	144,626
Métaux transformés	12,729	40,052	101,024	153,805
Machines non électriques	12,729	38,317	110,848	161,895
Minéraux non métalliques	12,729	20,753	77,812	111,294
Papier et produits connexes	12,729	21,630	92,060	126,419
Produits pétroliers	12,729	18,908	94,421	126,059
Métaux primaires	12,729	45,768	-6,350	52,151
Caoutchouc et plastiques	12,729	49,479	92,517	154,879
Matériel de transport	12,729	30,079	-11,136	31,673

De toute évidence, les investissements en R&D procurent des rendements sociaux élevés, dont une majeure partie ont une origine étrangère. Ce phénomène implique qu'aux niveaux actuels du capital de R&D, il y a net sous-investissement dans cette activité. Qui plus est, ce sous-investissement provient aussi bien des débordements intérieurs que des débordements internationaux.

CONCLUSION ET CONSÉQUENCES EN MATIÈRE DE POLITIQUES

Dans cette étude, nous avons estimé les effets des débordements intérieurs et internationaux sur les coûts variables moyens de production et sur les ratios travail-production, consommations intermédiaires-production, capital matériel-production et capital de R&D-production dans onze industries du Canada et des États-Unis. Ces industries sont celles des produits chimiques, des produits électriques, des aliments et boissons, des métaux transformés, des machines non électriques, des produits minéraux non métalliques, du papier et des produits connexes, des produits pétroliers, des métaux primaires, du caoutchouc et du plastique, et du matériel de transport. Les ratios intrants-extrants sont aussi appelés intensités des facteurs.

Nous avons constaté que les débordements transfrontaliers influent en général plus que les débordements intérieurs sur les coûts de production et les intensités des facteurs, ce qui n'est pas surprenant puisqu'ils lient une même industrie présente dans les deux pays. En outre, les débordements de R&D des États-Unis vers le Canada ont des effets plus importants que les flux inverses, sauf pour l'industrie du papier et des produits connexes dont les estimations montrent que les économies de coûts réalisées là-bas du fait des débordements en provenance d'ici sont quatre fois et demie plus fortes que dans l'autre sens. Dans les autres industries où des réductions de coûts ont été observées, l'effet de la R&D américaine au Canada est de deux à vingt fois plus grand que celui de la R&D canadienne aux États-Unis.

Les débordements transfrontaliers tendent à accroître l'intensité de la R&D dans les deux pays, preuve qu'ils viennent en complément du capital investi en R&D au niveau intérieur. Cette complémentarité signifie que les producteurs canadiens augmentent la teneur en R&D de leur production à mesure que les producteurs américains de l'industrie correspondante investissent eux-mêmes davantage en R&D, et vice-versa. Il n'y a pas complémentarité, mais substitution des débordements transfrontaliers et de l'intensité de la R&D dans quelques industries seulement. Pour ce qui est des autres facteurs, nous avons constaté que dans les deux pays, les débordements transfrontaliers entraînent généralement un accroissement de l'intensité du capital matériel et une diminution de celles du travail et des consommations intermédiaires.

L'étude mesure aussi les taux de croissance de la productivité totale des facteurs (PTF) et montrent qu'ils ne sont pas très différents entre des industries correspondantes du Canada et des États-Unis. Mais des écarts existent dans la décomposition des taux d'ensemble. Les débordements transfrontaliers ne contribuent en général pas sensiblement aux gains de productivité relevés aux États-Unis, alors qu'ils sont déterminants au Canada. Ils ont une incidence positive sur l'élévation de la PTF dans la plupart des industries, comme le prouvent les résultats d'un modèle bilatéral de production liant les secteurs d'activité canadiens et américains : au Canada, leurs contributions en pourcentage sont étagées entre un minimum de 26 % pour les produits chimiques et un maximum de 100 % pour les aliments et boissons; aux États-Unis, elles se situent entre 1 % pour le papier et les produits connexes et 100 % pour les aliments et boissons.

En termes réels, après impôts et après déduction des amortissements, les taux de rendement privé sont approximativement de 1,5 % au Canada et de 1,8 % aux États-Unis, c'est-à-dire qu'ils ne diffèrent pas de façon importante l'un de l'autre. En outre, ils sont voisins de 13 % et de 16 % respectivement lorsqu'ils sont calculés en valeurs nominales brutes (avant amortissements) et avant impôts. À cause de l'ampleur non négligeable des débordements intérieurs et transfrontaliers, les taux de rendement social du capital de R&D sont nettement supérieurs aux taux privés dans les deux pays. Au Canada, les débordements transfrontaliers sont généralement responsables d'un pourcentage plus grand du rendement social que les débordements intérieurs, alors que c'est l'inverse aux États-Unis : les taux de rendement social (nominaux, bruts et avant impôts) du Canada vont d'un minimum de 32 % dans l'industrie du matériel de transport à un maximum de 162 % dans celle des machines non électriques, et ils sont de deux fois et demie à douze fois et demie supérieurs aux taux de rendement privé; aux États-Unis, ils varient entre 44 % pour le caoutchouc et les plastiques et 183 % pour les aliments et boissons et ils sont de trois fois et demie à dix fois plus élevés que les taux de rendement privé. Ces taux de rendement social élevés signifient qu'il y a net sous-investissement sur le plan de la R&D aux niveaux actuels d'activité dans ce domaine, en raison des débordements aussi bien intérieurs qu'internationaux, et peuvent être interprétés de la façon suivante : un accroissement de 100 \$ du capital investi en R&D dans un secteur d'activité fait augmenter de 32 \$ à 162 \$ (selon l'industrie) la production canadienne et de 44 \$ à 183 \$ la production américaine.

Parmi les enseignements à tirer de cette étude, il convient de souligner la présence d'un important tissu de relations entre les économies du Canada et des États-Unis qui n'apparaissent pas dans leurs échanges commerciaux, mais qui sont intimement liées à la propagation des connaissances entre les deux pays.

Cette étude a plusieurs conséquences sur le plan des politiques à suivre. En premier lieu, les retombées favorables des débordements technologiques canado-américains militent en faveur d'une suppression des obstacles aux transferts internationaux de technologies qui peuvent limiter le niveau des investissements en R&D ou la vitesse de diffusion (brevets aux conditions indûment restrictives, par exemple). En outre, le Canada devrait aussi éliminer les barrières imposées aux mouvements du capital existant de R&D, sans s'arrêter aux seuls éléments matériels de ce capital (tel que les équipements de pointe dont l'importation peut être entravée par des restrictions) mais en étendant cette politique à ses éléments humains : comme les traitements et salaires et les avantages sociaux des chercheurs, des ingénieurs et des techniciens représentent environ 50 % des dépenses de R&D, le Canada devrait s'employer, dans le cadre d'une politique de libéralisation des échanges de connaissances, à ne pas empêcher ni restreindre la circulation de ce personnel scientifique.

Le gouvernement canadien a d'autres moyens à sa disposition pour faciliter directement les transferts internationaux de technologie : en aidant à fournir et à diffuser des renseignements sur de nouveaux produits et procédés (par des conférences et des salons, par exemple), en enlevant les obstacles qui empêchent ou découragent les entreprises de passer des accords de licence, qui sont pour elles une autre façon prometteuse de se procurer de nouvelles technologies, et en

recherchant, de concert avec les États-Unis, des moyens d'harmoniser les mesures fiscales qui s'appliquent de part et d'autre de la frontière aux activités de production de savoir, les deux pays utilisant leurs politiques fiscales pour encourager les investissements en R&D.

Les canaux empruntés par les technologies pour déborder des frontières nationales sont nombreux – échanges commerciaux, investissements étrangers directs et co-entreprises, pour ne citer que ceux-là. À cet égard, le gouvernement devrait continuer à promouvoir le libre-échange international et l'abolition des entraves à l'entrée des capitaux d'investissement étrangers, et à faciliter la formation de co-entreprises transnationales à participation canadienne.

APPENDICE
UN MODÈLE ÉCONOMÉTRIQUE DE LA PRODUCTION
ET DES DÉBORDEMENTS TRANSFRONTALIERS

Cette annexe présente, pour le Canada et les États-Unis, un modèle sectoriel de production qui permet de déterminer et d'estimer les effets internationaux de débordement de la R&D sur les coûts de production, les intensités des facteurs et la croissance de la productivité dans onze industries des deux pays. Ces retombées débordant la frontière expliquent les différences entre les taux de rendement social et privé (calculés dans cette étude) du capital investi en R&D.

Modèle théorique

Dans ce modèle, les facteurs de production utilisés sont le travail (la main-d'œuvre), les consommations (ou intrants) intermédiaires, le capital matériel et le capital de R&D. En présence de deux débordements, intérieur et transfrontalier, les producteurs maximisent leur profit dans le cadre d'une fonction de production F donnée par l'équation :

$$(1) \quad y_t = F(v_t, K_t, S_{t-1})$$

où :

y est la production,

v est le vecteur des intrants du travail et des consommations intermédiaires,

K est le vecteur du capital, matériel et de R&D,

S est le vecteur des débordements de R&D, avec :

S_{1t} comme débordement intérieur,

S_{2t} comme débordement transfrontalier,

F est la fonction de production, qui est quasi concave et a des produits marginaux positifs et décroissants.

Le débordement intérieur est la somme des stocks de capital de R&D en $t-1$ (retard d'une période) de toutes les industries autres que celle qui est considérée. Le débordement transfrontalier est le stock de R&D (toujours de la période précédente) de l'industrie correspondante de l'autre pays. Les débordements intérieurs sont interindustriels tandis que les débordements transfrontaliers sont intra-industriels, car les débordements transfrontaliers qui se font aussi entre industries différentes sont par hypothèse pris en compte indirectement par les débordements intérieurs, puisque ceux-ci sont influencés par les stocks étrangers de capital de R&D de la période précédente. Si nous utilisons ainsi les valeurs en $t-1$ des stocks de capital de R&D pour ces débordements, c'est parce que les connaissances empruntées proviennent de ces stocks existants et non amortis.

Le problème de la maximisation du profit dans cette fonction de production est résolu en deux étapes. Dans la première, il est possible de minimiser les coûts des intrants de main-d'œuvre et de consommations intermédiaires pour une production et des intrants de capital donnés, sous réserve de la fonction de production décrite par l'équation (1) :

$$(2) \quad \min_v w_t^T v_t$$

où l'exposant T représente la transposition des vecteurs et où w est maintenant le vecteur des prix des intrants du travail et des consommations intermédiaires (donnés de façon exogène). Par substitution de la solution de l'équation (2) dans le coût des facteurs autres que le capital ou le coût des facteurs variables (soit $w^T v$), nous obtenons :

$$(3) \quad c_t^v = C^v(w_t, y_t, K_t, S_{t-1})$$

où c^v est le coût variable et C^v la fonction du coût variable, qui est croissante en w et en y , décroissante en K , concave et homogène de degré un en w , et convexe en K . Il est possible d'extraire de cette fonction les demandes des facteurs variables en appliquant le lemme de Shephard ($\partial c^v / \partial w_i = v_i$), ce qui donne :

$$(4) \quad v_t = \nabla_w C^v(w_t, y_t, K_t, S_{t-1})$$

Les demandes des facteurs variables dépendent de leurs prix, de la production, des intrants de capital et des débordements de R&D.

Passons à la seconde étape pour déterminer les demandes des intrants de capital et l'offre de production.

Avec la fonction du coût variable, le profit est maximisé :

$$(5) \quad \max_{y, K} p_t y_t - C^v(w_t, y_t, K_t, S_{t-1}) - \tilde{\omega}_t^T K_t$$

où p est le prix du produit et $\tilde{\omega}$ est le vecteur des prix des intrants de capital (soit le taux de location du capital). La solution de (5) est donnée par les équations :

$$(6.1) \quad p_t - C_y^v(w_t, y_t, K_t, S_{t-1}) = 0$$

$$(6.2) \quad -\nabla K C^v(w_t, y_t, K_t, S_{t-1}) - \tilde{\omega}_t = 0$$

La résolution du système d'équations (6) démontre que la demande de capital et l'offre de production dépendent des prix des intrants autres que de capital, des débordements de R&D, du prix du produit et des prix des intrants de capital. Les systèmes d'équations (4) et (6) décrivent le modèle à estimer.

Spécification empirique et résultats des estimations

Spécifions maintenant la fonction du coût variable ou, plus précisément, la fonction du coût variable moyen, qui est $C^v(w_t, K_t/y_t, S_{t-1})$:

$$(7) \quad c_t^v / y_t = (\sum_{i=1}^2 \beta_i w_{it} + 0.5 \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \beta_{ij} w_{it} w_{jt} W_t^{-1}) y^{\vartheta-1} \\ + [\sum_{i=1}^2 \psi_i k_{it} + 0.5 \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \alpha_{ij} k_{it} k_{jt} / y^{\vartheta-1} \\ + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \eta_{ij} k_{it} S_{jt-1}] W_t$$

où les paramètres à estimer sont donnés par $\beta_i, \beta_{ij}, \gamma_i, \alpha_{ij}, \eta_{ij}$, $i, j = 1, 2$, et où ϑ est l'inverse du degré des rendements à l'échelle. Posons aussi que $k_t = K_t/y_t$ et que $W_t = \sum_{i=1}^2 \gamma_i w_{it}$, où les γ_i ($i = 1, 2$) sont des coefficients fixes. W est défini comme un indice de Laspeyres des prix des intrants autres que de capital, ce qui évite d'avoir à normaliser arbitrairement la fonction de coût par le prix de l'un des deux intrants autres que de capital, mais permet plutôt de le faire par une moyenne pondérée des prix de ces deux intrants. L'intérêt de cette fonction du coût variable moyen réside dans le fait qu'elle permet d'imposer les conditions de courbure de la fonction pour toutes les valeurs des variables.

À l'aide de l'équation (7), les conditions d'équilibre pour les intrants autres que de capital (c'est-à-dire pour le système d'équations (4)) peuvent s'écrire sous la forme :

$$(8) \quad v_{it} = (\beta_i + \sum_{j=1}^2 \beta_{ij} w_{jt} W_t^{-1} \\ - 0.5 \sum_{h=1}^2 \sum_{j=1}^2 \beta_{hj} w_{ht} w_{jt} W_t^{-2} \gamma_i) y^{\vartheta-1} \\ + [\sum_{j=1}^2 \psi_j k_{jt} + 0.5 \sum_{h=1}^2 \sum_{j=1}^2 \alpha_{hj} k_{ht} k_{jt} / y^{\vartheta-1} \\ + \sum_{h=1}^2 \sum_{j=1}^2 \eta_{hj} k_{ht} S_{jt-1}] \gamma_i, \quad i = 1, 2,$$

où $v_{it} = v_{it}/y_t$, $i = 1, 2$. De plus, en fixant le degré des rendements à l'échelle, les équations (6.1) et (6.2) ne sont pas indépendantes l'une de l'autre puisque ϑ^{-1} , égal à $(1 - \sum_{h=1}^2 \partial \ln c^v / \partial \ln K) / \partial \ln c^v / \partial \ln y$, est le degré des rendements à l'échelle. Cela signifie qu'il suffit de résoudre une seule des équations (6.1) et (6.2). Nous avons choisi l'équation (6.2), ce qui permet de définir les demandes de capital comme :

$$(9) \quad k_{it} = (\alpha_{ij} A_{it} - \alpha_{ij} A_{jt}) / A, \quad i \neq j, \quad i, j = 1, 2,$$

où $A_{it} = (-\psi_i - \sum_{j=1}^2 \eta_{ij} s_{jt-1} - \omega_{it} W_t^{-1}) y^{\vartheta-1}$, $i = 1, 2$, and $A = (\alpha_{11} \alpha_{22} - \alpha_{12}^2)$.

Les systèmes d'équations (8) et (9) définissent le modèle à estimer. Il convient cependant de signaler un autre point technique : si nous posons que la matrice des paramètres β_{ij} est B , que le vecteur des paramètres β_i est β et que le vecteur des paramètres γ_i est γ , nous pouvons alors déterminer d'après la fonction du coût variable moyen que les paramètres $(B + 2\gamma\beta^T)$ peuvent être

identifiés. Pour cette identification, nous introduisons deux restrictions :

$$\beta_{ii} + \beta_{ij} = 0 \text{ et } i \neq j, i, j = 1, 2.$$

Cette étude traitant avant tout de l'incidence des débordements transfrontaliers de R&D sur la structure de la production, sur la croissance de la productivité et sur le taux de rendement social, nous pouvons analyser les effets des deux débordements de R&D (intérieur et transfrontalier) sur les ratios intrants-extrants (ou intensités des facteurs) et sur la décomposition de l'augmentation de la productivité, et mesurer les taux de rendement privé et social du capital de R&D.

Les effets des débordements intérieur et transfrontalier sur les coûts variables moyens et les intensités des facteurs peuvent être déterminés par différenciation des équations (7), (8) et (9) par rapport à S_1 , le débordement intérieur, et à S_2 , le débordement transfrontalier. D'abord, pour les intensités du capital, nous avons :

$$(10) \quad \epsilon_{k_c} S_j = S_j^{\delta-1} (\alpha_{12} \eta_{dj} - \alpha_{d1} \eta_{cj}) / A k_c \quad j = 1, 2, c \neq d, c, d = 1, 2,$$

où $\epsilon_{k_c} S_j$ est l'élasticité de l'intensité du $c^{\text{ième}}$ capital pour le $j^{\text{ième}}$ débordement.

Ensuite, pour les demandes d'intrants autres que de capital, nous avons :

$$(11) \quad \epsilon_{v_i} S_h = S_h [\eta_{hh} k_h + \eta_{gh} k_g + (\partial k / \partial S_h) (\psi_1 + \sum_{j=1}^2 \alpha_{j1} k_j y_j^{\delta-1} \\ + \sum_{j=1}^2 \eta_{1j} S_j) + (\partial k / \partial S_h) (\psi_2 + \sum_{j=1}^2 \alpha_{j2} k_j y_j^{\delta-1} \\ + \sum_{j=1}^2 \eta_{2j} S_j)] \gamma_i / v_i \quad i = 1, 2, g \neq h, g, h = 1, 2,$$

où $\epsilon_{v_i} S_h$ est l'élasticité de la demande du $i^{\text{ième}}$ intrant autre que de capital pour le $h^{\text{ième}}$ débordement. Les débordements ont deux effets sur les intensités des intrants autres que de capital : le premier est un effet direct découlant de ce que l'indice des prix de ces intrants est interrelié avec les débordements, et le second, un effet indirect venant de ce que les intensités de ces intrants sont influencées par les intensités du capital. Le dernier ensemble d'élasticités donne les effets des débordements sur le coût variable moyen :

$$(12) \quad \epsilon_{c^v} S_h = S_h [\eta_{hh} k_h + \eta_{gh} k_g + (\partial k / \partial S_h) (\psi_1 + \sum_{j=1}^2 \alpha_{j1} k_j y_j^{\delta-1} \\ + \sum_{j=1}^2 \eta_{1j} S_j) + (\partial k / \partial S_h) (\psi_2 + \sum_{j=1}^2 \alpha_{j2} k_j y_j^{\delta-1} \\ + \sum_{j=1}^2 \eta_{2j} S_j)] W / (c^v / y) \quad i = 1, 2, g \neq h, g, h = 1, 2,$$

où $ec^v_{yS_h}$ est l'élasticité du coût variable moyen pour le $h^{\text{ième}}$ débordement.

Il y a aussi deux effets des débordements sur le coût variable moyen : l'effet direct et l'effet indirect, ce dernier se produisant par le biais des intensités du capital.

Les données à l'appui de cette étude ont été puisées à plusieurs sources. Celles qui n'ont pas trait à la R&D et ont servi au modèle empirique sont décrites dans un article de Denny, Bernstein, Fuss, Waverman et Nakamura, intitulé « Productivité dans les industries manufacturières, Canada, Japon, États-Unis, 1953-1986 : est-ce que le ralentissement de la productivité est une tendance qu'on a renversée ? » et paru dans la *Revue canadienne d'économique*, 25, 3, 1992, 584-603. Les données sur les dépenses canadiennes de R&D ont été tirées de la publication de Statistique Canada sur les statistiques de R&D dans l'industrie, et les indices de prix de la R&D proviennent de l'étude de Bernstein, « Indices de prix des dépenses de recherche et développement dans l'industrie canadienne », Statistique Canada, ST-92-01, qui renferme aussi des données sur les dépenses de R&D.

Pour construire les séries statistiques des stocks de capital de R&D, les dépenses de R&D ont été ramenées en termes réels par une correction en fonction de leurs indices de prix qui a permis de calculer l'investissement en R&D. Le stock de référence a été estimé comme l'investissement en R&D de la période initiale, corrigé du taux de dépréciation du capital de R&D (posé égal à 10 %) puis majoré à l'aide du taux de croissance moyen du capital matériel. À partir de ce stock initial de capital de R&D, nous avons élaboré une série temporelle par application de la méthode de l'inventaire permanent. Pour éviter de compter deux fois les intrants considérés (travail, consommations intermédiaires et capital matériel), nous avons déduit de ces intrants les composantes des dépenses de R&D, par exemple en soustrayant des coûts de main-d'œuvre les traitements et salaires des chercheurs et des ingénieurs.

Les données sur la R&D américaine ont été obtenues de la National Science Foundation des États-Unis et ont été traitées avec les mêmes procédés que celles sur la R&D canadienne. On trouvera une description de ces statistiques américaines dans le document de travail 3625 du NBER, rédigé par Bernstein et Nadiri et intitulé « Product Demand, Cost of Production, and the Social Rate of Return to R&D ». En outre, nous avons fixé le degré des rendements à l'échelle de chaque industrie d'après les résultats de Bernstein (1989). (Voir les références de l'enquête sur les débordements.)

Les résultats des estimations sont présentés dans les tableaux A1 à A11. Nous avons effectué des tests de ratio de vraisemblance pour établir si l'ensemble des paramètres de débordement devait être inclus dans le modèle de chaque industrie : l'hypothèse d'une absence de débordement a pu être rejetée dans chaque cas. Chaque modèle comportait comme restriction que la fonction du coût variable devait être obligatoirement concave pour les prix des intrants autres que de capital, ce qui nous a amenés à poser que $\beta_{11} = -b_{11}^2$, et en plus à imposer comme condition que la fonction du coût devait aussi être obligatoirement convexe pour les intrants de capital. Nous avons ainsi posé que $\alpha_{12} = \lambda(\alpha_{11}\alpha_{22})^{0.5}$, avec $-1 < \lambda < 1$, où $\alpha > 0$ et où $i = 1, 2$. Dans chaque cas, la valeur absolue de λ se situait entre 0 et 1, et α_{11} et α_{22} étaient positifs. Les

dernières restrictions ont donc pu être levées. Le tableau A12 donne les coefficients de corrélation trouvés entre les valeurs réelles et ajustées des variables endogènes : ces coefficients étant très élevés, l'ajustement du modèle aux données statistiques paraît bon.

Tableau A1
Estimations pour l'industrie des produits chimiques

LOGARITHME DE LA FONCTION DE PROBABILITÉ = 353,285

Paramètres	Estimation	Erreur-type
β_{1U}	0,87363	0,33668
β_{1C}	0,41123	0,08014
b11	0,50882	0,12281
ϕ_{1U}	-2,46153	0,93500
ϕ_{1C}	-2,84468	0,58564
ϕ_{2U}	-8,67920	5,27393
ϕ_{2C}	1,08297	0,98331
α_{11}	6,34656	3,87388
α_{22}	40,47540	20,11290
λ	-0,03327	0,01750
η_{11U}	-0,00795	0,22475
η_{11C}	-0,98673	0,28411
η_{22U}	-0,00106	0,63116
η_{22C}	-0,00005	0,00005
η_{12U}	0,00065	0,00003
η_{12C}	0,00001	0,00002
η_{21U}		
η_{21C}	0,53309	0,28380
β_{2U}	2,33949	0,94535
β_{2C}	1,51681	0,37057

Tableau A2
Estimations pour l'industrie des produits électriques

LOGARITHME DE LA FONCTION DE PROBABILITÉ = 327,878

Paramètres	Estimation	Erreur-type
β_{1U}	1,00900	0,49803
β_{1C}	0,69339	0,24266
b11	0,67579	0,04278
ϕ_{1U}	-3,17410	0,71181
ϕ_{1C}	-1,46271	0,75241
ϕ_{2U}	-1,50722	0,60594
ϕ_{2C}	-0,67147	1,04174
α_{11}	3,82083	0,14507
α_{22}	1,04886	0,30917
λ	0,21512	0,49914
η_{11U}	0,61223	1,18047
η_{11C}	-1,61387	0,66973
η_{22U}	0,00001	0,00005
η_{22C}	-0,00004	0,000003
η_{12U}	-0,00006	0,00007
η_{12C}	-0,00001	0,000007
η_{21U}	-0,15515	0,43834
η_{21C}	0,91369	0,93690
β_{2U}	1,30880	0,70022
β_{2C}	1,47590	0,56923

Tableau A3
Estimations pour l'industrie des aliments et boissons

LOGARITHME DE LA FONCTION DE PROBABILITÉ = 575,431

Paramètres	Estimation	Erreur-type
β_{1U}	0,57370	0,13576
β_{1C}	0,34616	0,05040
b11	0,23359	0,13548
ϕ_{1U}	-10,98930	2,62227
ϕ_{1C}		
ϕ_{2U}	-6,64269	3,44588
ϕ_{2C}	-0,41577	0,20149
α_{11}	27,87620	6,78697
α_{22}		
λ	0,56750	0,26635
η_{11U}	0,19378	0,91193
η_{11C}		
η_{22U}	-0,00137	0,00116
η_{22C}	-0,00051	0,00023
η_{12U}	-0,00188	0,00201
η_{12C}	-0,00088	0,00024
η_{21U}	0,13074	0,21376
η_{21C}	-0,39792	0,16447
β_{2U}	2,37383	0,57650
β_{2C}	1,19124	0,29169

Tableau A4
Estimations pour l'industrie des métaux transformés

LOGARITHME DE LA FONCTION DE PROBABILITÉ = 503,336

Paramètres	Estimation	Erreur-type
β_{1U}	0,45617	0,20637
β_{1C}	0,46461	0,02472
b11	0,53095	0,05789
ϕ_{1U}	-0,92699	0,90580
ϕ_{1C}	-0,04840	0,44242
ϕ_{2U}	-1,50230	0,58400
ϕ_{2C}	2,81320	0,95710
α_{11}	1,40769	1,16809
α_{22}	2,61900	0,14600
λ	-0,02185	0,06359
η_{11U}	0,40213	0,96114
η_{11C}	0,34706	0,02605
η_{22U}	-0,00061	0,00832
η_{22C}	-0,00027	0,00230
η_{12U}	-0,00033	0,00107
η_{12C}	-0,00012	0,00005
η_{21U}	-4,49163	0,26140
η_{21C}	-4,60825	0,43660
β_{2U}	0,58859	0,33221
β_{2C}	0,87005	0,19583

Tableau A5
Estimations pour l'industrie des machines non électriques

LOGARITHME DE LA FONCTION DE PROBABILITÉ = 311,370

Paramètres	Estimation	Erreur-type
β_{1U}	0,2601	0,5696
β_{1C}	0,6692	0,1155
b11	0,8104	0,0681
ϕ_{1U}	2,1437	0,8143
ϕ_{1C}	-1,0311	0,8892
ϕ_{2U}	14,0182	11,4010
ϕ_{2C}	-5,8516	5,5131
α_{11}	0,9299	0,3447
α_{22}	-59,9233	44,8193
λ	0,1289	0,2412
η_{11U}		
η_{11C}	-0,9830	0,9551
η_{22U}	0,0049	0,0014
η_{22C}	0,1184E-05	0,1577E-03
η_{12U}		
η_{12C}	-0,5118E-05	0,1540E-04
η_{21U}		
η_{21C}	10,2888	8,0147
β_{2U}	-0,5459	0,8955
β_{2C}	1,5751	0,1702

Tableau A6
Estimations pour l'industrie des minéraux non métalliques

LOGARITHME DE LA FONCTION DE PROBABILITÉ = 318,163

Paramètres	Estimation	Erreur-type
β_{1U}	0,42483	0,05876
β_{1C}	0,52694	0,06742
b11	0,50121	0,10675
ϕ_{1U}		
ϕ_{1C}	-0,47515	0,23323
ϕ_{2U}	-0,53451	0,18204
ϕ_{2C}	-0,29714	0,15908
α_{11}	0,66158	0,36393
α_{22}		
λ	0,30948	0,40292
η_{11U}		
η_{11C}	0,19093	0,25027
η_{22U}	-0,00004	0,00018
η_{22C}	-0,00003	0,00006
η_{12U}	-0,00005	0,00028
η_{12C}	-0,00010	0,00006
η_{21U}	0,31785	0,13070
η_{21C}	0,01133	0,68072
β_{2U}	0,45704	0,09388
β_{2C}	1,05830	0,24590

Tableau A7
Estimations pour l'industrie du papier et des produits connexes

LOGARITHME DE LA FONCTION DE PROBABILITÉ = 483,572

Paramètres	Estimation	Erreur-type
β_{1U}	0,35130	0,08694
β_{1C}	0,25256	0,05512
b11	0,62521	0,07973
ϕ_{1U}	-0,89284	0,97235
ϕ_{1C}	-0,18464	0,62287
ϕ_{2U}	1,87758	0,04667
ϕ_{2C}	-1,98453	0,74183
α_{11}	1,90684	0,02540
α_{22}	8,66510	3,96580
λ	-0,07787	0,07097
η_{11U}	-0,13766	0,34177
η_{11C}	1,53340	0,21583
η_{22U}	0,00008	0,00329
η_{22C}	0,00076	0,00127
η_{12U}	-0,00025	0,00070
η_{12C}	-0,00013	0,00019
η_{21U}	1,07165	0,07158
η_{21C}	-6,57301	3,01860
β_{2U}	0,66922	0,18680
β_{2C}	0,81774	0,10868

Tableau A8
Estimations pour l'industrie des produits pétroliers

LOGARITHME DE LA FONCTION DE PROBABILITÉ = 502,178

Paramètres	Estimation	Erreur-type
β_{1U}	0,07886	0,01510
β_{1C}	0,05401	0,00396
b11	0,06718	0,02322
ϕ_{1U}		
ϕ_{1C}	-0,17791	0,27100
ϕ_{2U}	-1,47822	0,84206
ϕ_{2C}	-0,80420	0,21714
α_{11}	3,05956	1,92805
α_{22}	8,94753	2,25528
λ	0,03402	0,04419
η_{11U}		
η_{11C}	-0,01415	0,52350
η_{22U}	-0,00010	0,00026
η_{22C}	-0,00001	0,00004
η_{12U}	-0,00030	0,00030
η_{12C}	-0,00009	0,00005
η_{21U}	0,25856	0,18290
η_{21C}	-0,83129	0,21118
β_{2U}	1,16308	0,31578
β_{2C}	1,46244	0,21845

Tableau A9
Estimations pour l'industrie des métaux primaires

LOGARITHME DE LA FONCTION DE PROBABILITÉ = 404,989

Paramètres	Estimation	Erreur-type
β_{1U}	0,38553	0,14651
β_{1C}	0,38064	0,20144
b11	0,47063	0,11775
ϕ_{1U}		
ϕ_{1C}	0,69024	1,53380
ϕ_{2U}	-0,72679	0,91111
ϕ_{2C}	-11,94870	9,75360
α_{11}	3,18935	4,30659
α_{22}	9,51800	5,09700
λ	-0,02597	0,03408
η_{11U}	-1,06911	0,49612
η_{11C}	-0,16846	0,47785
η_{22U}	-0,00224	0,01527
η_{22C}	-0,00064	0,00181
η_{12U}	0,00019	0,00095
η_{12C}	0,00004	0,00019
η_{21U}	12,77170	7,77980
η_{21C}	3,14768	1,28770
β_{2U}	0,73008	0,30880
β_{2C}	1,18870	0,56659

Tableau A10
Estimations pour l'industrie du caoutchouc et des plastiques

LOGARITHME DE LA FONCTION DE PROBABILITÉ = 147,718

Paramètres	Estimation	Erreur-type
β_{1U}	1,55316	0,26148
β_{1C}	0,12314	0,71732
b11	1,60736	0,37594
ϕ_{1U}		
ϕ_{1C}	-8,72347	6,77116
ϕ_{2U}	-1,82184	0,77116
ϕ_{2C}	21,39080	9,85060
α_{11}	9,04695	6,24265
α_{22}	5,46000	4,26300
λ	-0,02418	0,01987
η_{11U}	-0,31506	0,70600
η_{11C}	0,43460	0,07840
η_{22U}	-0,06150	0,10872
η_{22C}	-0,00021	0,00239
η_{12U}	0,02166	0,02428
η_{12C}	0,00016	0,00069
η_{21U}		
η_{21C}	-7,45420	3,31100
β_{2U}	2,78612	0,48748
β_{2C}	2,68006	1,11995

Tableau A11
Estimations pour l'industrie du matériel de transport

LOGARITHME DE LA FONCTION DE PROBABILITÉ = 347,860

Paramètres	Estimation	Erreur-type
β_{1U}	0,71473	0,19876
β_{1C}	0,20525	0,02713
b11	0,73693	0,06069
ϕ_{1U}		
ϕ_{1C}		
ϕ_{2U}	-2,56448	1,06565
ϕ_{2C}	0,76912	0,52646
α_{11}	3,10403	2,29268
α_{22}		
λ	0,16496	1,04097
η_{11U}	1,13589	0,36665
η_{11C}	0,08893	0,83346
η_{22U}	0,00012	0,00018
η_{22C}	-0,000004	0,000007
η_{12U}	-0,00003	0,00018
η_{12C}	-0,000008	0,000004
η_{21U}	-1,47071	0,80115
η_{21C}	-2,87758	0,84249
β_{2U}	1,81319	0,52908
β_{2C}	0,97973	0,04545

Tableau A12
Corrélation des valeurs réelles et ajustées

Industrie	Demande de travail	Demande de cons. interm.	Demande de cap. matériel	Demande de cap. de R&D	Coût variable
Produits chimiques	0,96	0,91	0,99	0,99	0,99
Produits électriques	0,99	0,96	0,99	0,99	0,99
Aliments et boissons	0,99	0,96	0,99	0,99	0,93
Métaux transformés	0,99	0,90	0,99	0,99	0,99
Machines non électriques	0,99	0,97	0,93	0,99	0,99
Minéraux non métalliques	0,99	0,85	0,99	0,85	0,99
Papier et produits connexes	0,97	0,91	0,99	0,99	0,99
Produits pétroliers	0,99	0,87	0,99	0,98	0,95
Métaux primaires	0,99	0,86	0,96	0,93	0,97
Caoutchouc et plastiques	0,96	0,97	0,76	0,99	0,99
Matériel de transport	0,98	0,97	0,98	0,98	0,99

BIBLIOGRAPHIE

- Bernstein, J.I. « R&D Capital, Spillovers and Foreign Affiliates in Canada ». Dans *Foreign Investment, Technology and Economic Growth*. Publié par D. McFetridge. Calgary : University of Calgary Press, 1991, pp. 11-127.
- Bernstein, J.I. « Les coûts de production et les effets intra- et inter-industriels de débordement de la R&D : résultats canadiens », *Revue canadienne d'économique*, 21(2), 1988 : 342-47.
- Bernstein, J.I. « The Structure of Canadian Industrial R&D Spillovers and the Rates of Return to R&D », *Journal of Industrial Economics*, 37(3), 1989 : 315-28.
- Bernstein, J.I. et M.I. Nadiri. « Interindustry R&D Spillovers, Rates of Return, and Production in High-Tech Industries », *American Economic Review*, mai 1988 : 429-34.
- Bernstein, J.I. et M.I. Nadiri. « Rates of Return on Physical and R&D Capital and Structure of the Production Process: Cross-section and Time Series Evidence ». *Advances in Econometrics and Modelling*. Publié par B. Raj. Londres : Kluwer Academic Publishers, 1989a.
- Bernstein, J.I. et M.I. Nadiri. « Research and Development and Intraindustry Spillovers: an Empirical Application of Dynamic Duality », *Review of Economics Studies*, 56, 1989b : 249-69.
- Bernstein, J.I. et M.I. Nadiri. « Product Demand, Cost of Production, Spillovers, and the Social Rate of Return to R&D ». Document de travail n° 3625, National Bureau of Economic Research, 1991.
- Bernstein, J.I. et P. Mohnen. « International R&D Spillovers Between the U.S. and Japanese R&D Intensive Sectors », 1994, polycopié.
- Hartwick, J. et B. Ewan. « On Gross and Net Measures of Sectoral R&D Intensity for the Canadian Economy ». Document de travail n° 547 de l'Université Queen, 1983.
- Griliches, Z. « Productivity Puzzles and R&D: Another Nonexplanation », *Journal of Economic Perspectives*, 2, 1988 : 9-21.
- Griliches, Z. « Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth », *Bell Journal of Economics*, 10(1), 1979 : 92-116.

- Griliches, Z. et F. Lichtenberg. « Interindustry Technology Flows and Productivity Growth: A Reexamination ». *Review of Economics and Statistics*, 66, 1984 : 324-29.
- Jaffe, A.B. « Technological Opportunity and Spillovers of R&D: Evidence from Firms' Patents, Profits, and Market Value », *American Economic Review*, 79(5), 1986 : 957-70.
- Levin, R. et P. Reiss. « Cost-reducing and Demand-creating R&D with Spillovers », *Rand Journal of Economics*, 19(4), 1988 : 538-56.
- Mohnen, P. « Relations entre la R&D et la croissance de la productivité au Canada et dans d'autres grands pays industrialisés », Centre de Recherche sur les Politiques Économiques, Université du Québec à Montréal, 1990.
- Scherer, F.M. « Interindustry Technology Flows and Productivity Growth », *Review of Economics and Statistics*, 64, 1982 : 627-34.
- Scherer, F.M. « Using Linked Patent and R&D Data to Measure Interindustry Technology Flows ». Dans Z. Griliches (éd.), *R&D, Patents and Productivity*. Chicago : University of Chicago Press, 1984, pp. 417-64.
- Sveikauskas, L. « Technology Inputs and Multifactor Productivity Growth », *Review of Economics and Statistics*, 63, 1981 : 275-82.
- Terleckyj, N. « Effects of R&D on the Productivity Growth of Industries: An Explanatory Study », National Planning Association, Washington D.C., 1974.
- Terleckyj, N. « Direct and Indirect Effects of Industrial Research and Development on the Productivity Growth of Industries ». Dans *New Developments in Productivity Measurement and Analysis*. Publié par J. Kendrick et B. Vaccara. Chicago : University of Chicago Press, 1980 : 359-77.
- Wolff, E.N. et M.I. Nadiri. « Spillover Effects, Linkage Structure, Technical Progress, and Research and Development », C.V. Starr Centre Research Report #87/43.3, 1987.