



Science and Technology
Redesign Project

**RESEARCH
PAPER**

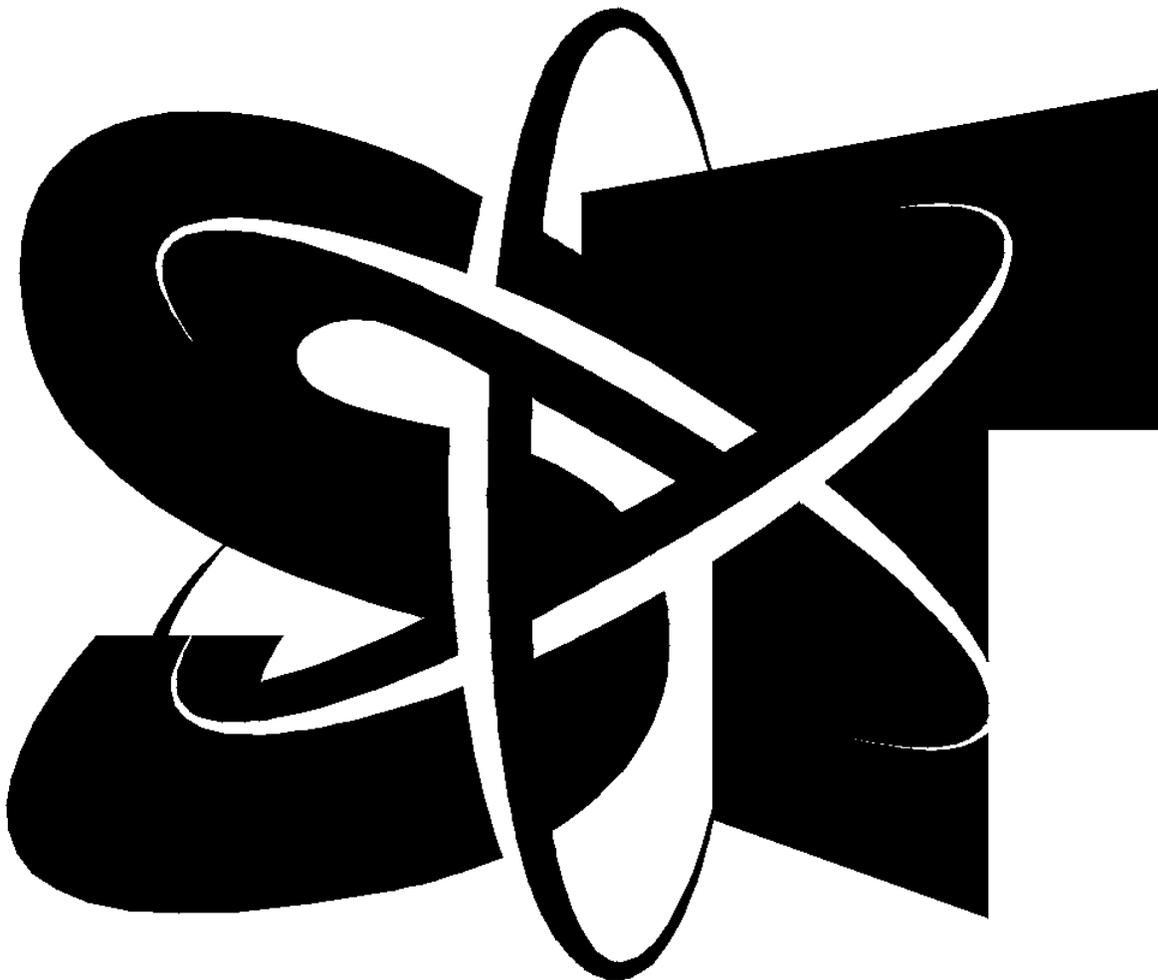
Projet de remaniement
des sciences et de la technologie

**DOCUMENT
DE RECHERCHE**

**L'ÉTAT DES INDICATEURS SCIENTIFIQUES ET
TECHNOLOGIQUES DANS LES PAYS DE L'OCDE**

Benoit Godin
INRS / CIRST

No.1



Statistics
Canada

Statistique
Canada

Canada

***L'ÉTAT DES INDICATEURS SCIENTIFIQUES ET
TECHNOLOGIQUES DANS LES PAYS DE L'OCDE***

Benoît Godin
INRS / CIRST

Document de référence présenté à Statistique Canada

Août 1996

PROJET DE SYSTÈME D'INFORMATION POUR LES SCIENCES ET LA TECHNOLOGIE

L'objectif de ce projet est de développer des indicateurs d'activités utiles réunis ensemble dans un cadre conceptuel permettant de dresser un portrait cohérent de la science et de la technologie au Canada.

Pour l'atteinte de cet objectif, des mesures statistiques sont développées pour cinq domaines-clé: les systèmes d'innovation, l'innovation, les activités S-T gouvernementales, l'industrie et les ressources humaines, incluant l'emploi et l'éducation supérieure. Le travail est effectué à Statistique Canada, en collaboration avec Industrie Canada et un réseau de sous-traitants.

Avant l'avènement de ce projet, le programme de mesure des activités en S-T était limité à l'investissement monétaire et en ressources humaines pour la recherche et le développement (R-D). Ces mesures étaient complétées par les activités scientifiques connexes (ASC) des gouvernements tels les enquêtes et les tests routiniers. Ces mesures proposaient une vision limitée et potentiellement erronée de la science et de la technologie au Canada. Cette vision devait être complétée par d'autres mesures.

L'innovation rend les firmes compétitives. D'autres travaux devront être fait pour comprendre les caractéristiques des firmes qui sont, ou ne sont pas, innovatrices, plus particulièrement dans le secteur des services puisqu'il domine l'économie canadienne. La capacité d'innover réside dans les personnes. Des mesures sont développées sur les caractéristiques de ces personnes dans les industries qui sont chef de file des activités scientifiques et technologiques. Dans ces mêmes industries, des mesures sur la création et la perte d'emploi sont entreprises pour comprendre en partie les impacts du changement technologique.

Le gouvernement fédéral est l'acteur principal en science et technologie par son investissement de plus de cinq milliards de dollars chaque année. Antérieurement, il était possible L'État des indicateurs scientifiques et de déterminer combien le gouvernement fédéral dépense et où il le fait. Le prochain rapport, qui paraîtra au début de 1997, montrera auxquelles fins sont affectées les dépenses en S-T. En plus de fournir les bases d'un débat public sur les priorités de dépenses du Gouvernement, toute cette information servira à mettre en contexte les rapports des différents ministères et agences sur les indicateurs de performance ciblés en fonction des résultats au niveau de chacun des projets.

À la fin du Projet en 1998-99, il y aura suffisamment d'information en place pour décrire le Système canadien d'innovation et montrer le rôle qu'y joue le gouvernement fédéral. De plus, seront en place de nouveaux indicateurs qui fourniront un portrait plus complet et réaliste des activités en science et en technologie au Canada.

PERSONNES-RESSOURCES À CONTACTER POUR DE PLUS AMPLES INFORMATIONS

Projet de remaniement des sciences et de la technologie

Directeur Dr. F.D. Gault (613-951-2198)

Projet de système d'information pour les sciences et la technologie

Chef, Élaboration des indicateurs
Dr. Frances Anderson (613-951-6307)

Chef, Programme d'intégration des données
Daood Hamdani (613-951-3490)

Agent d'élaboration d'enquêtes
Rachel Bernier (613-951-2582)

Agent d'élaboration de produits
Antoine Rose (613-951-9919)

Section des sciences et de la technologie

Chef, secteur privé
M. Boucher (613-951-7683)

Agent supérieur de projet
D. O'Grady (613-951-9923)

Chef, secteur publique
B. Plaus (613-961-6347)

Agent supérieur de projet
J. Thompson (613-951-2580)

Télécopieur: (613-951-9920)

Documents de recherche

Les Documents de recherche publient des travaux relatifs aux questions liées à la science et la technologie. Tous les documents sont sujet à un contrôle interne. Les opinions exprimées dans les articles sont celles des auteurs et ne sont pas nécessairement partagées par Statistique Canada.

Une version anglaise de ce document est aussi disponible.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS

INTRODUCTION	6
Un bref rappel historique	7
Les indicateurs d'intrants.....	11
Les investissements monétaires	11
Les ressources humaines	13
Les équipements	13
Les indicateurs d'extrants.....	14
Les innovations.....	14
Les brevets	16
Les publications	17
Les diplômés.....	18
Les indicateurs d'impacts	19
La diffusion	19
La balance des paiements technologiques.....	21
Le facteur d'impact	21
Les indicateurs de flux.....	22
CONCLUSION.....	25
RÉFÉRENCES	26
ANNEXE.....	30

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier Robert Dalpé, Yves Gingras, André Lemelin et Michel Trépanier qui ont bien voulu commenter une première version du présent document. Doivent également être remerciés Frances Anderson, Antoine Rose et Bert Plaus, de Statistique Canada, qui ont également apportés de précieux commentaires. Enfin, Yvon Martineau et Jean Pelletier, professionnels de recherche, ont été des collaborateurs à part entière dans cette recherche et doivent être généreusement mentionnés.

INTRODUCTION

Quel effort fait un pays en matière de science et de technologie ? Quels résultats produisent ces efforts du point de vue scientifique, économique, ou social ? Comment un pays donné se positionne-t-il par rapport à d'autres pays en matière de développement scientifique et technologique ? Quel est l'état de santé de la science et de la technologie au Canada ? Voilà autant de questions auxquelles ce qu'on appelle la *scientométrie* essaie de répondre.

La scientométrie est la science de la *mesure de la science*. Elle prend appui sur une méthodologie qui est celle dite des indicateurs (Lazarsfeld, 1965). Un indicateur est une mesure d'une dimension donnée d'un phénomène, événement, entité, ou concept. Trois éléments clés sont présents dans cette définition : concept, dimension, indicateur. Prenons un exemple.

Nous sommes intéressés à mesurer la science : voilà notre *concept*. Nous reconnaissons à ce concept plusieurs dimensions, mais nous en retiendrons deux : les intrants et les extrants. En effet, la science se caractérise par des ressources affectées à la recherche (intrants) dans le but de produire certains résultats (extrants). Ce sont là nos deux *dimensions*. Comment maintenant mesurerons-nous ces dimensions ? En définissant chacune d'elles à l'aide d'*indicateurs*. Un indicateur d'intrant par exemple pourrait être les investissements monétaires réalisés en recherche et développement (R-D), un indicateur d'extrant le nombre d'innovations produites par les chercheurs.

On notera que les indicateurs que nous avons choisis dans notre exemple sont partiels et limités. Il en va cependant ainsi de tous les indicateurs. Un indicateur est partiel parce que nous pouvons toujours multiplier les indicateurs afin d'obtenir une meilleure mesure du concept considéré. Par exemple, nous aurions pu ajouter d'autres types d'intrants : le personnel affecté à la recherche, les équipements utilisés dans le cadre des travaux de recherche, etc. C'est en ce sens que tout indicateur est partiel. Dans un autre sens aussi, nous disons qu'un indicateur est toujours limité : un indicateur, et le modèle qui le supporte, est toujours un reflet partiel de la réalité. Il mesure une facette seulement de celle-ci, quantitative par surcroît, et on ne saurait réduire la réalité à ce seul indicateur.

En général, deux questionnements peuvent nous aider à apprécier la qualité de la mesure que nous réalisons avec un indicateur. Premièrement, nous devons dès le début interroger la validité théorique de notre indicateur. Par validité théorique, nous entendons qu'il faut pouvoir répondre positivement à la question suivante : l'indicateur mesure-t-il bien le concept choisi ? Deuxièmement, nous devons questionner la fiabilité technique de l'indicateur : l'indicateur donne-t-il des résultats cohérents et consistants ? Si les réponses données à ces deux questions sont positives, nous avons un indicateur qui, bien qu'imparfait, est satisfaisant.

On reconnaîtra l'intérêt indéniable des indicateurs si l'on admet qu'il n'est aucune mesure optimale du niveau de science et technologie auquel un pays devrait s'adonner. Un pays devrait-il investir 1 %, 2 %, ou 10 % de ses ressources en R-D par exemple ? Cette question est normative et indécidable objectivement. On peut cependant se comparer aux autres pays, et voir si, à niveau de R-D égal, nous produisons les mêmes résultats ou si, pour un niveau supérieur de R-D, les résultats sont suffisamment intéressants pour qu'on augmente notre R-D au niveau de ce pays. Les indicateurs, développés et colligés régulièrement, permettent d'obtenir de telles comparaisons dans l'espace et dans le temps, comparaisons qui aident à la décision.

Le présent document fait le point sur l'état des indicateurs dans les principaux pays de l'OCDE. Les principaux indicateurs actuellement utilisés en matière de science et de technologie sont passés en revue, définis et décrits d'abord, évalués sommairement ensuite.

Nous avons regroupé en annexe les indicateurs dont disposent aujourd'hui les gouvernements et qui sont suffisamment systématisés pour qu'on les ait considérés dans le présent document. Cette liste est basée sur l'analyse d'un certain nombre de répertoires statistiques nationaux et internationaux. Les répertoires retenus devaient essentiellement répondre à deux critères : ils devaient couvrir un ensemble assez large d'indicateurs, et ils devaient être produits de façon systématique et régulière. Quatre séries de répertoires satisfont à ces critères, soit ceux de l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE), de la Communauté économique européenne (CEE), de la National Science Foundation (NSF), et de l'Observatoire des sciences et des techniques (OST)¹. Pour fins de comparaison, nous avons ajouté à ces informations (dernière colonne de l'annexe), les indicateurs actuellement compilés par Statistique Canada.

Nous ne voulions pas cependant nous contenter de faire le point sur ce qui existe. Il fallait aller plus loin et prendre note des développements en cours. Nous traiterons donc également de quelques nouveaux indicateurs, soit parce que leur potentiel est reconnu, soit parce qu'ils font l'objet d'une demande gouvernementale. Ceux-ci, nous le verrons, ajoutent une dimension supplémentaire à la science et à la technologie, soit la problématique des réseaux et des synergies, bref des interrelations entre les acteurs d'un système national d'innovation.

La première section brosse un rapide historique du développement des indicateurs dans les pays de l'OCDE jusqu'à aujourd'hui. Elle est suivie d'une deuxième section où sont passés en revue les principaux indicateurs actuellement disponibles, soit ceux qui sont suffisamment standardisés pour être utilisés par les gouvernements des pays de l'OCDE. Enfin, en conclusion, nous ferons le point sur les développements récents et les défis auxquels sont actuellement appelés les gouvernements relativement à la mesure de la science et de la technologie.

Un bref rappel historique

La scientométrie a maintenant une trentaine d'années. En effet, cela fait un peu plus de trente ans que les pays occidentaux disposent, via l'OCDE notamment, d'indicateurs qui leur permettent de suivre l'évolution des systèmes scientifiques et technologiques nationaux. C'est en 1963 que l'OCDE publiait pour la première fois le *Manuel de Frascati* proposant une «méthode type pour les enquêtes sur la recherche et le développement expérimental». Le Manuel standardise la façon dont les gouvernements recueillent l'information sur les

¹ OCDE (1995), *Principaux indicateurs de la science et de la technologie : 1995* (1), Paris; OCDE (1995), *Les dépenses en recherche et développement dans l'industrie : 1973-1992*, Paris; OCDE (1995a), *Industrie et Technologie : tableau de bord d'indicateurs 1995*, Paris; Observatoire des sciences et des techniques (OST) (1996), *Science et technologie : indicateurs 1996*, Paris; National Science Foundation (NSF) (1993), *Science and Engineering Indicators : 1991* (10e édition), Washington; CEE (1994), *Rapport européen sur les indicateurs scientifiques et technologiques*, Bruxelles; CEE (1995), *Recherche et Développement : statistiques 1995*, Luxembourg : Eurostat.

investissements en recherche-développement (R-D). Compte tenu, comme nous l'avons noté en introduction, qu'il n'existe pas de mesure optimale des investissements en R-D, les données ainsi amassées permettent aux différents pays d'apprécier leurs efforts en se comparant entre eux, ou en comparant leur situation actuelle à celle d'un passé plus récent.

Le *Manuel de Frascati* a fait l'objet de nombreuses révisions et améliorations depuis 1963. Qu'on pense notamment aux précisions apportées à la mesure des activités de R-D dans l'enseignement supérieur (OCDE, 1989). Le Manuel en est maintenant à sa cinquième édition (OCDE, 1993).

Le Manuel distingue trois ensembles d'*activités scientifiques et techniques* (AST) pour lesquelles des indicateurs sont développés. Premièrement, la *recherche-développement* (R-D), définie par l'ensemble des travaux de création visant à accroître les connaissances et les applications de celles-ci (OCDE, 1993 : 31). Deuxièmement, les *activités d'éducation et de formation* qui englobent les activités d'enseignement de niveau universitaire et post-universitaire. Enfin, les *services connexes* constitués essentiellement des activités d'information, de diffusion et de normalisation.

Le *Manuel de Frascati* repose sur un modèle théorique bien connu dit «entrée-sortie» ou intrant-extrant (figure 1). Des investissements (intrants) sont réalisés sur diverses activités scientifiques et techniques (AST) qui se traduisent — potentiellement — en connaissances et applications (extrants). Jusqu'à récemment, la majeure partie des réflexions, travaux et indicateurs de l'OCDE et des pays occidentaux étaient relatifs aux intrants tels qu'ils viennent d'être définis². Des considérations historiques expliquent cette situation. En effet, les indicateurs d'intrants sont en lien direct avec les besoins de la politique scientifique et technique des années 1960, plus particulièrement avec l'émergence de la politique scientifique et technique. Dans les années 60 et 70, les gouvernements commencent à être concernés et à élaborer des politiques scientifiques et technologiques. L'objectif premier est alors de participer au *financement* des activités de R-D. Des indicateurs d'intrant permettent ainsi de voir où les sommes sont investies et où il se fait moins de recherche. Les gouvernements disposent donc de mesures qui, espèrent-ils, indiqueraient les lieux d'investissements à privilégier quant au financement public.

De par la complexification du phénomène scientifique et technologique cependant, plusieurs des indicateurs du passé sont devenus aujourd'hui plus ou moins bien adaptés à la réalité, ou à tout le moins insuffisants pour mesurer adéquatement cette réalité. Du peu d'acteurs exécutant de la R-D par exemple, donc facilement identifiables et sondables, on est passé à une grande diversité, telle l'apparition des PME aux côtés de la grande entreprise. Les niveaux technologiques, par ailleurs, ont eux aussi changé : il est maintenant insuffisant de savoir, comme nos indicateurs actuels le proposent souvent, qu'une entreprise dispose d'une technologie donnée, en l'occurrence les machines informatiques et numériques, mais peut-être faut-il connaître si elle en possède deux ou plus, ou si elle dispose de celles de la dernière génération.

² On rappellera que Statistique Canada par exemple ne produit de façon récurrente, du moins aujourd'hui, que des statistiques sur la R-D industrielle et la R-D gouvernementale.

Figure 1 — Le modèle intrant-extrant



En même temps, dans les années 1980, les gouvernements sont devenus davantage intéressés par l'innovation. Tel est d'ailleurs l'impératif sous lequel est placée la récente stratégie fédérale en science et technologie (Industrie Canada, 1996). Ces considérations politiques sont en voie d'être formalisées dans de nouveaux indicateurs. En effet, l'OCDE a récemment conçu ce que l'on appelle le *Manuel d'Oslo* (OCDE, 1992b). Celui-ci s'intéresse à la partie de la R-D directement concernée par la création de nouveaux produits et procédés et qui est appelée innovation. Le *Manuel d'Oslo* définit, à l'exemple de celui de Frascati, les normes de l'OCDE pour colliger l'information à cet effet (OCDE, 1992b). Nous y reviendrons plus loin.

En même temps qu'ils commencent à s'intéresser à l'innovation — et peut-être pour cette raison —, les gouvernements prennent également conscience de façon plus directe qu'auparavant de la nécessité de mesurer les résultats de la recherche. Et pour mesurer ceux-ci, il apparut que les indicateurs d'intrants, ceux dont on dispose en grand nombre et depuis un bon moment déjà, étaient insatisfaisants. Il fallait dorénavant des indicateurs d'extrants et des indicateurs d'impacts. Bien sûr, l'OCDE publiait depuis déjà longtemps des indicateurs sur les brevets. Bien sûr également, des chercheurs universitaires avaient développé des indicateurs bibliométriques (publications) en grand nombre depuis plusieurs années. Quelques pays, les États-Unis et la France, produisent mêmes des statistiques régulièrement à cet effet. Toutefois, très peu des indicateurs d'extrants font encore l'objet d'une standardisation comme c'est le cas pour les indicateurs d'intrants. Pour cette raison, la production de tels indicateurs varie énormément d'un pays à l'autre, et l'utilisation qu'en font les gouvernements dans le cadre des politiques est encore très réduite. Voilà pourquoi l'OCDE s'est donné un nouveau défi en 1992 avec le programme *TEP — Technologie-Économie-Productivité* (OCDE, 1992a) : mettre sur pied un programme qui a pour objectif de développer de nouveaux indicateurs, notamment des indicateurs de l'innovation et des indicateurs d'extrants.

À ces impératifs cependant, le programme en ajoute un autre qui est en fait inscrit en filigrane de toutes les mesures à venir : opérationnaliser le concept de *système national d'innovation* (SNI), concept qu'a fait sien l'OCDE. En effet, l'attention des gouvernements se tourne maintenant vers l'analyse de la dynamique des systèmes nationaux d'innovation, c'est-à-dire notamment des flux et des transferts qui existent entre les acteurs. Un système national d'innovation est défini comme un ensemble d'acteurs en interrelations et dont les activités sont orientées vers la mise au point de nouveaux produits, procédés et services (Niosi et al, 1993; Lundvall, 1992; Nelson, 1993).

Les indicateurs spécifiques à cette nouvelle dimension de la science et de la technologie sont aujourd'hui à peu près inexistantes. Tel est le défi associé à ce nouveau concept : comment opérationnaliser l'idée de système national d'innovation ? Dans le but précis de mieux comprendre la dynamique des SNI, l'OCDE suggère maintenant un ensemble de recommandations relativement aux indicateurs scientifiques et technologiques, notamment (OCDE, 1992a) :

- améliorer l'intégration des statistiques de la science et de la technologie, des statistiques industrielles, de l'éducation et de l'emploi;

- définir de nouveaux indicateurs sur :
 - a) l'innovation et sa diffusion;
 - b) l'investissement immatériel et ses diverses composantes;
- améliorer les données sur les ressources humaines et spécialement sur la formation, l'offre et la demande de scientifiques et d'ingénieurs;
- étendre les indicateurs sur les entreprises et spécialement sur les firmes multinationales;
- améliorer les indicateurs sur la recherche à long terme (fondamentale), particulièrement dans le secteur de l'enseignement supérieur.

Encadré 1 — Principaux documents de l'OCDE relatifs à la mesure de la science et de la technologie

1963	<i>Manuel de Frascati</i> (première édition)
1989	Supplément concernant la R-D dans l'enseignement supérieur
1990	Méthode type proposée pour le recueil et l'interprétation des données sur la balance des paiements technologiques
1992	<i>Manuel d'Oslo</i> (première édition)
1992	Le programme <i>Technologie-Économie-Productivité (TEP)</i>
Autres documents :	
	L'utilisation des données sur les brevets en tant qu'indicateurs de la science et de la technologie
	Recommandation pour l'élaboration d'indicateurs du potentiel humain dans la science et la technologie
	Mesure des produits et secteurs de haute, moyenne ou petite technologie
	Recommandations pour l'utilisation d'indicateurs établis à partir des études statistiques des publications scientifiques et techniques (bibliométrie)
	<i>Manuel sur les indicateurs internationaux de l'enseignement</i>

Les indicateurs d'intrants

De tous les indicateurs scientifiques et technologiques, les indicateurs d'intrants sont certes les indicateurs les plus développés. En effet, ils bénéficient d'une méthode standard de collecte et de classification remontant aux années 1960 et consignés dans ce qu'il est convenu d'appeler, nous l'avons déjà noté, le *Manuel de Frascati* (OCDE, 1993).

Nous présenterons dans la présente section trois grands indicateurs d'intrants : les investissements monétaires, les ressources humaines, les équipements. Les deux premiers sont relativement bien documentés, le dernier beaucoup moins.

Les investissements monétaires

Le volume des investissements monétaires en R-D constitue l'indicateur le plus généralisé. Il dispose à cet égard d'au moins trois avantages (Stead, 1992; Averch, 1991). Le premier est que les dépenses en argent permettent des comparaisons directes avec les autres types de dépenses engagées pour d'autres fonctions. Ainsi, il est facile de comparer l'importance accordée à la science et à la technologie par rapport aux dépenses gouvernementales en santé ou en éducation par exemple, ou, dans le cas d'une entreprise, par rapport aux autres dépenses de fonctionnement. Deuxièmement, et pour la même raison, les données monétaires sur la R-D permettent facilement la comparaison entre les pays. L'optimalité des investissements en R-D d'une société demeurant encore aujourd'hui une question non résolue, seule des comparaisons peuvent permettre d'apprécier ces dépenses. Enfin, parce que les données sont disponibles depuis quelques décennies, elles permettent des analyses de tendances, analyses essentielles à la politique scientifique et technologique.

Les investissements sont habituellement présentés grâce à l'indicateur de Dépense Intérieure de R-D (DIRD). La DIRD représente le montant *absolu* investi en R-D au sein d'un pays par différents acteurs nationaux, sur différents objets de recherche. Les investissements monétaires sont colligés et présentés, tel que le suggère le Manuel, sous les trois grands ensembles suivants :

- les objectifs :
 - missions gouvernementales;
 - disciplines scientifiques;
 - secteurs industriels;
- les secteurs d'exécution et de financement :
 - industrie;
 - gouvernement;
 - université;
 - organisme sans but lucratif (OSBL);
 - étranger;
- le type de recherche :
 - pure;
 - appliquée;

- développement.

Parce que la DIRD est un montant absolu, il est difficile de comparer des pays de taille différente selon cet indicateur : en effet, un petit pays aura toujours de plus petits investissements qu'un grand pays, mais il ne fait pas pour autant moins d'efforts. Pour apprécier cet effort, une mesure *relative* doit être utilisée. C'est ce qu'on fait lorsque l'on ramène la DIRD sur un dénominateur tel le Produit Intérieur Brut (PIB), ou encore le nombre d'habitants. La DIRD en % du PIB par exemple permet ainsi de comparer entre eux les pays et d'apprécier leurs efforts en matière de science et de technologie.

Comme tout indicateur, les investissements monétaires en R-D possèdent certaines limites dont il faut être conscient afin de faire un bon usage de l'indicateur. Malheureusement, plusieurs de ces limites sont souvent mésestimées, oubliées ou passées sous silence. Il faut lire avec attention les notes méthodologiques des tableaux conçus par l'OCDE par exemple pour apprécier l'envergure de ces limites. Rappelons quelques-unes de celles-ci.

Premièrement, il faut garder en mémoire que, malgré une standardisation suggérée par le *Manuel de Frascati*, d'importantes différences dans la classification des données existent entre les pays, différences qui rendent les comparaisons parfois difficiles. Notons entre autres que les niveaux de gouvernement infra-nationaux ne sont pas toujours bien couverts³; la définition des secteurs, particulièrement du secteur universitaire, varie grandement d'un pays à l'autre⁴ et, compte tenu des différences nationales dans les systèmes d'éducation, les données sur la R-D universitaire ne comprennent pas toujours les sciences humaines; les données sur les missions ou les objectifs sont rendues différemment selon les pays⁵.

Un deuxième ensemble de problèmes est relatif aux besoins des utilisateurs relativement à des statistiques détaillées. D'abord, les classifications actuelles ne permettent pas de discriminer la composante la plus importante de la R-D (75 % environ), soit le développement (Averch, 1991). Il en va de même pour la recherche dite stratégique et la recherche pré-compétitive. Ensuite, les PME, dont le nombre caractérise souvent une structure industrielle nationale, sont très mal échantillonnées et la contribution de ces dernières à la R-D nationale est sous-estimée considérablement (Kleinknecht et Reijnen, 1991; Campbell et Wehrell, 1992). Toujours en matière de R-D industrielle, notons également que celle-ci est attribuée à une industrie donnée selon la composante principale d'appartenance de l'entreprise, et non selon les objets technologiques sur lesquels porte la R-D. Cela a pour conséquence de sous-estimer, parfois de façon importante, la recherche dans les branches secondaires de l'entreprise, c'est-à-dire la recherche dans des domaines technologiques quelconques. Enfin, dans le cas de Statistique Canada plus précisément, il est parfois difficile d'obtenir des données publiques *régionalisées*⁶ sur la R-D industrielle, ou désagrégées sur les laboratoires gouvernementaux, par exemple ceux du *Conseil National de Recherche*.

³ La couverture des dépenses gouvernementales est souvent limitée aux niveaux de gouvernement central ou fédéral, comme aux États-Unis, laissant dans l'ombre les États et les gouvernements locaux; au Canada, les provinces de l'Est ne sont pas systématiquement incluses dans les données. On base celles-ci sur des estimations.

⁴ Il en va de même de la définition du secteur des services, du personnel de recherche, des OSBL, et l'étranger.

⁵ Ainsi en est-il de l'objectif relatif à l'avancement des connaissances aux États-Unis, et ceci parce que ces dépenses sont réparties dans les autres missions, notamment la défense.

⁶ Au niveau infra-provincial dans le cas du Canada.

Les remarques précédentes ne discréditent pas les statistiques sur les intrants monétaires. Elles montrent plutôt qu'il faut être prudent dans l'interprétation de celles-ci et que la meilleure philosophie est peut-être de combiner les données monétaires avec d'autres indicateurs plus divers pour obtenir un portrait fidèle des efforts investis en R-D.

Les ressources humaines

Un des indicateurs supplémentaires qui permet justement de circonscrire l'ampleur des efforts en recherche est celui relatif aux ressources humaines affectées à la R-D :

- administrateurs;
- chercheurs;
- professionnels et techniciens.

Se posent tout de suite, pour l'utilisateur de ces statistiques, deux questions importantes, à savoir ce qu'on mesure et comment le mesurer. En effet, comment définir un chercheur (OTA, 1991 : 36) ? Deux méthodes sont utilisées. On peut définir un chercheur par la profession exercée, c'est-à-dire par l'emploi, la profession de chercheur. On peut aussi, ce qui se fait le plus souvent mais qui demeure moins précis, se contenter du niveau de qualification des travailleurs, soit le diplôme. La première méthode est celle qui est souhaitée parce qu'elle mesure mieux la dimension recherchée — rappelons-nous la validité théorique que nous avons posée comme critère d'appréciation de la qualité d'un indicateur. Cependant, plusieurs pays se contentent de fournir l'information selon la dernière classification et ce, la plupart du temps, pour les détenteurs de diplômes universitaires seulement.

Une seconde question importante relativement aux ressources humaines est leur comptabilisation soit en personne physique soit en ETP (Équivalent Temps Plein). En effet, une personne physique peut être assignée à la R-D, mais n'y affecter qu'une partie de son temps. La deuxième mesure tient compte de cette précision. Encore ici, des différences existent entre les pays. La lecture et l'interprétation des données doivent donc se faire de façon prudente.

Les données sur le personnel universitaire se butent quant à elles à une autre catégorie de problèmes bien connus (OCDE, 1989) du fait que la recherche est partie intégrante du travail des professeurs-chercheurs et non une activité distincte. La recherche varie selon les exigences de l'enseignement, et elle n'est pas nécessairement menée à l'intérieur de l'établissement ni pendant les heures de travail. D'où les difficultés considérables de mesure : il est difficile de mesurer le temps consacré par les chercheurs universitaires à la R-D ⁷.

Les équipements

Un dernier ensemble d'indicateurs d'intrants permet en principe de compléter le portrait des efforts et des ressources consacrés à la R-D. Ce sont les dépenses en capital, notamment les équipements et les technologies utilisés pour réaliser les activités de recherche. On connaît tous l'ampleur de tels équipements dans certaines disciplines de la physique — la physique

⁷ Une autre question se pose également : que faire des activités de recherche des étudiants et assistants pourtant partie intégrante de la recherche des professeurs ?

des particules par exemple. Pour cette raison, on qualifie généralement ces disciplines de Méga-science.

Toutefois, et malgré l'importance des équipements dans les activités de recherche, notamment dans les sciences expérimentales, il existe très peu de données sinon aucune à cet égard dans les répertoires statistiques d'indicateurs de science et de technologie. Certes, les achats et dépenses d'équipements sont incluses dans les montants de R-D investis et comptabilisés en intrant. Mais l'identification de la part dévolue à ces investissements, qui permettrait de désagréger précisément les montants réservés aux équipements, n'est pas encore publiquement disponible. En fait, seuls les États-Unis (NSF) publient des données spécifiques sur les équipements. Celles-ci cependant concernent uniquement les équipements en milieu universitaire. De plus, les données ne sont disponibles que sous forme d'amortissements.

Ceci étant dit, terminons en mentionnant qu'un autre type d'enquête permet d'obtenir certaines informations à cet effet. En effet, une partie de ces indicateurs nous est fournie par les enquêtes sur la diffusion des technologies comme nous le verrons plus loin. Cependant, ces enquêtes ne concernent que les entreprises et seulement certaines technologies.

Les indicateurs d'extrants

Jusqu'à récemment, nous l'avons mentionné en introduction, la mesure des extrants a été le parent pauvre des indicateurs de la science et de la technologie. La situation est cependant en voie de se modifier. Diverses tentatives sont actuellement en cours, tant dans le milieu gouvernemental qu'universitaire, visant à doter les gouvernements de mesures d'extrants. Nous nous contenterons ici de rappeler les indicateurs les mieux acceptés — d'une part, les extrants de la recherche technologique (innovations, brevets), d'autre part, la recherche scientifique (publications) - tout en concluant sur un indicateur peu considéré, les diplômés.

Les innovations

Jusqu'à récemment, les enquêtes sur l'innovation étaient toutes des études réalisées de façon ad hoc par des chercheurs en milieu académique (Smith, 1992). On connaît à cet égard les enquêtes du SPRU dès les années 1970. Cependant, ce genre d'enquête concerne seulement les innovations les plus significatives ou jugées les plus importantes. D'ailleurs, les critères utilisés pour définir l'importance d'une technologie sont multiples et varient selon les chercheurs. Les principes de classification des innovations vont de considérations historiques, à leur participation à des secteurs particuliers de la production économique nationale (matériaux, énergie), en passant par les principes de construction technique immanents aux innovations. L'importance d'une innovation est aussi définie de façon variable : selon le chiffre d'affaires, la contribution aux profits, la réduction des coûts, la dissémination interindustrielle⁸, ou le degré de nouveauté (majeur-mineur).

⁸ La distinction produit-procédé utilisée à cette fin n'est pas encore stable dans les enquêtes, ni sa compréhension et sa définition acceptée par tous. On sait d'ailleurs que cette compréhension varie selon le répondant à l'enquête (Simonetti et al, 1995).

Dans le but de mieux mesurer le processus d'innovation, et de remédier à une lacune que nous avons identifiée précédemment en relation avec la faible compréhension de la R-D qu'offre une classification très générale en trois types de recherche (fondamentale-appliquée-développement), l'OCDE a publié récemment le *Manuel d'Oslo* (OCDE, 1992). L'innovation y est définie de façon très large comme incluant tout nouveau concept, produit ou procédé — majeur ou mineur —, et tout nouveau marché. Elle comprend également différents intrants autres que les activités de recherche proprement dites, telles les activités menées à l'interne et relatives au design et aux études de marché, et les acquisitions externes de technologies. Les dimensions et les informations suivantes sont colligées par une enquête menée selon le modèle d'Oslo :

- prévalence de l'innovation (nombre d'entreprises, industries);
- types d'innovation (produits, procédés);
- buts de l'innovation (nouvelle fonction, performance, automatisation, production);
- bénéfiques (qualité, capacités technologique, conditions de travail, extension de la ligne de produits, augmentation des profits, nouveaux marchés);
- sources de l'innovation :
 - interne (services de R-D : recherche, développement, engineering; ventes et marketing; gestion; production);
 - externe (fournisseurs, clients, compétiteurs, consultants, laboratoires publics — gouvernement, université —, publications);
- intensité de l'innovation (continue, occasionnelle);
- impacts sur les travailleurs (nombre d'employés, productivité, compétences);
- obstacles à l'innovation (personnel qualifié, information sur les marchés, réglementation, collaboration);
- pratiques de protection des innovations (brevets, marques de commerce, secret industriel, dessins industriels, copyright).

Il est encore trop tôt pour évaluer le Manuel d'Oslo. En effet, les pays commencent seulement à mettre en oeuvre de telles enquêtes. Les pays de la CEE et le Canada, par exemple, viennent de procéder pour la première fois à une enquête basée sur la méthodologie d'Oslo. L'enquête de Statistique Canada, réalisée en 1993, vise les entreprises manufacturières de toute taille. L'univers de base est constitué de toutes les entreprises avec un établissement manufacturier répertoriées dans le Registre des entreprises de Statistique Canada : 1) les établissements (usines) filiales de grande entreprise, 2) les sièges sociaux de ces mêmes établissements, et 3) les petites entreprises dont la direction et l'usine sont situées sur le même emplacement. L'échantillon de 1993 compte au total 5 729 unités, soit : 1 595 sièges sociaux et 1 954 établissements pour un total de 3 549 unités de grandes entreprises (62 %), et 2 180 unités de petites entreprises (38 %).

L'enquête sur l'innovation a plusieurs avantages sur celles concernant la R-D. Premièrement, elle adresse pour la première fois, au niveau des intentions tout au moins, et ce contrairement à l'enquête sur la R-D, ouvertement la question des extrants. Deuxièmement, l'enquête sur l'innovation ouvre la boîte noire sur les activités propres d'innovation. En effet, les indicateurs scientifiques et technologiques actuels, basés sur le modèle linéaire de l'innovation, mesurent

soit les intrants soit les extrants, laissant dans l'ombre ce qui se passe dans l'entreprise. Troisièmement, l'enquête ambitionne d'obtenir des mesures sur les impacts.

Une remarque critique s'impose cependant. Telle qu'elle est conçue actuellement, l'enquête sur l'innovation ne livre malheureusement aucune mesure sur le *volume* d'extrants technologiques ni sur les impacts. En effet, les questions cherchent moins à quantifier l'innovation qu'à comprendre les processus de l'innovation eux-mêmes et ses déterminants : les entreprises sont invitées à cocher si oui ou non elles font tel type d'innovation et où elles estiment que se trouvent les impacts. L'objectif de comprendre les processus et activités est un objectif fort louable en soi. Cependant, l'information obtenue est dans le cas de cette enquête essentiellement qualitative. De plus, une fois les comportements connus, on ne saurait répéter ce genre d'enquête annuellement, à moins d'avoir des indices que ces comportements changent d'année en année. Bref, l'enquête ne peut donc pas encore, du moins telle qu'elle est conçue, constituer la base tant attendue d'indicateurs d'extrants.

Les brevets

L'enquête sur l'innovation ne livre donc pas réellement de mesure sur le volume d'extrants produits par les entreprises. Il faut donc utiliser des statistiques disponibles ailleurs, soit l'indicateur que constitue le brevet, pour mesurer le volume des activités d'innovation. À cette fin, il existe aujourd'hui plusieurs banques de données sur les brevets. En effet, ces dernières années les gouvernements ont informatisé les informations qu'ils détiennent sur les brevets. Il s'agit d'informations semblables à celles contenues dans les banques de données bibliométriques dont nous parlerons ci-après : titre et numéro du brevet, nom et adresse de l'inventeur, date de délivrance, résumé, références, mots-clés. Parmi ces banques de données, il en est une largement utilisée parce que la majorité des pays déposent des demandes de brevets dans ce pays : la banque américaine de brevets.

Le brevet en tant qu'indicateur de l'innovation possède plusieurs avantages, au nombre desquels le fait que :

- tous les pays ou presque disposent d'un système national de brevets;
- tous les pays sont représentés dans les grands systèmes comme USTPO (Office américain des brevets) et/ou OEB (Office européen des brevets);
- les brevets recouvrent la grande majorité des domaines technologiques et un grand nombre de secteurs industriels.

Le brevet en tant qu'indicateur comporte cependant quelques limites bien connues (Archibugi et Pianta, 1996; Archibugi, 1992; Pavitt, 1985; Basberg, 1987). Premièrement, les inventions ne sont pas toutes brevetées — le secret industriel demeurant très important — ni brevetables — tel le logiciel. On mesure donc davantage l'invention et l'inventivité que l'innovation. À cet égard toutefois, le brevet permet des comparaisons internationales intéressantes. Deuxièmement, les brevets ne sont pas tous d'égale valeur et n'ont pas tous le même impact : à partir de ceux-ci, il est impossible de se prononcer sur la valeur marchande des technologies. Notons enfin la propension différente des industries à breveter, la propension beaucoup plus faible des PME à breveter — pour des raisons de coûts notamment —, et l'existence de systèmes de nomenclatures différents de pays en pays.

Néanmoins, c'est-à-dire malgré ces limites, les brevets en tant qu'indicateur peuvent livrer davantage d'information que celle qu'ils livrent actuellement quand on les confine au seul dénombrement. Qu'on pense aux flux entre la science et la technologie mesurés par les citations dans les brevets, et sur lesquels nous reviendrons plus loin, aux secteurs d'origine des brevets (de plus en plus le secteur académique fait des demandes de brevets), enfin aux technologies brevetées. En ce sens, l'indicateur demeure encore très peu exploité.

On doit terminer en ajoutant que, si plusieurs répertoires comptabilisent les brevets depuis quelque temps, les marques de commerce, les modèles et les dessins industriels, et les droits d'auteur sont rarement considérés dans les répertoires statistiques sur la science et la technologie. Puisque les statistiques existent à cet effet auprès des organismes responsables, les utiliser et les inclure dans les répertoires de science et de technologie fourniraient des indicateurs supplémentaires d'inventivité et d'innovation.

Les publications

Contrairement à la production technologique, la production scientifique est très bien couverte dans certains répertoires scientifiques et technologiques — en sciences naturelles, en génie, et dans les sciences biomédicales tout au moins. Les statistiques sur les publications, appelées statistiques bibliométriques, exploitent des banques de données bibliographiques sur les publications développées à des fins documentaires depuis le début des années 1970. Chaque article est indexé avec une série de champs ou variables : auteur(s), adresse, revue, discipline, année, titre, résumé, références, mots-clés.

Deux bases de données méritent mention. La première, le *Science Citation Index* (SCI) de l'Institute for Scientific Information (ISI), recense plus de 3500 revues et 400 000 articles annuellement depuis 1945 (Garfield, 1972; 1990). Ces documents vont de la simple note de recherche à l'article plus fondamental. Parce que le SCI possède un biais évident pour la littérature de langue anglaise cependant, une deuxième banque de données est parfois utilisée : la banque française PASCAL du Centre national de la recherche scientifique (CNRS). PASCAL recense plus de 7 000 revues annuellement.

La couverture de la production scientifique des pays varie légèrement selon que l'on utilise une banque de données plutôt que l'autre. Dans l'ensemble cependant, le rang des pays est conservé. Chaque banque offre toutefois ses avantages. Le SCI est la seule banque de données à fournir les références (citations) apparaissant dans un article. Grâce à ces références, et nous y reviendrons plus loin, on peut mesurer l'impact d'un article en calculant le nombre de citations reçues durant une période donnée. À l'opposé, la banque de données PASCAL est la seule à indexer les articles par mots-clés. C'est grâce aux mots-clés, on peut identifier les articles portant sur une thématique spécifique.

La bibliométrie est l'utilisation de ces banques de données à des fins statistiques. On distingue deux méthodes en bibliométrie : le dénombrement des articles et l'analyse de réseau (que nous traiterons plus loin). Le dénombrement est une méthode essentiellement centrée sur le calcul du volume de production d'articles : on mesure ainsi l'importance de la production d'articles d'un acteur donné dans un domaine choisi (NSF, 1993; OST, 1996; MESS, 1994). Le niveau d'agrégation peut être une institution, un secteur, ou un pays. Le domaine peut être une discipline scientifique quelconque, une technologie ou un créneau technologique spécifique.

Les indicateurs bibliométriques, aujourd'hui assez bien développés, sont de plus en plus utilisés pour contribuer à l'évaluation de la recherche universitaire. De plus, ils ont l'avantage, par rapport aux investissements en R-D, de ne pas être sujets aux contraintes de confidentialité : les bases de données sont publiques — c'est également le cas des brevets dont nous avons déjà parlés.

Malgré ces avantages, les indicateurs bibliométriques sont produits systématiquement par très peu de pays. En fait, seuls les États-Unis et la France produisent et publient régulièrement de tels indicateurs. Au Canada, seul le Québec produit des indicateurs bibliométriques, et ce depuis le milieu des années 80.

On ne peut pas expliquer ce peu de popularité par la faible fiabilité et validité des indicateurs bibliométriques. Peut-être fut-il un temps en effet où la standardisation des indicateurs bibliométriques limitait leur utilisation, mais tel n'est plus le cas. Ils sont, de plus, relativement peu coûteux à produire. Certes, l'indicateur possède diverses limites, notamment le fait qu'il ne couvre habituellement que les sciences naturelles, le génie, et les sciences biomédicales. Mentionnons également que des biais linguistiques évidents limitent la couverture de la production scientifique mesurée à la littérature anglophone surtout⁹. Enfin, il convient de répéter que la publication constitue une partie seulement de l'activité des chercheurs.

Nonobstant ces limites, les indicateurs bibliométriques constituent un des principaux indicateurs des extrants de la recherche, en plus de s'appliquer très bien — contrairement à la croyance — à la recherche menée par d'autres types d'acteurs (Godin, 1995). Pour cette raison, ils méritent un traitement dans les répertoires scientifiques et technologiques.

Les diplômés

Terminons brièvement cette section sur les extrants en rappelant que les ressources humaines sont souvent identifiées comme une variable déterminante du processus de l'innovation. Les ressources humaines spécifiquement associées au processus de R-D sont déjà comptabilisés, nous l'avons vu. Cependant, les statistiques sur les diplômés (inscriptions, diplômations) — un des extrants majeurs du système d'éducation — ne se retrouvent généralement pas dans les répertoires de science et technologie. Certes, tous les gouvernements disposent de données à cet effet. Celles-ci apparaissent d'ailleurs dans de nombreuses publications. Mais elles n'apparaissent pas encore aux côtés des indicateurs plus connus de science et technologie.

L'importance accordée par l'OCDE aux ressources humaines dans ses réflexions sur les systèmes nationaux d'innovation (OCDE, 1992; 1996) devrait se traduire sous peu par de nouveaux indicateurs à cet effet. Actuellement, les seuls indicateurs de compétence actuellement retenus en science et technologie sont relatifs aux ressources humaines *directement* affectées aux activités de recherche. Les indicateurs sur la formation des travailleurs et les compétences de ceux-ci, sur l'offre et la demande, et sur les diplômés seront prochainement standardisés grâce au *Manuel de Canberra* récemment conçu par l'OCDE (1995d) dans le but de mesurer précisément l'état des compétences.

⁹ Pour les limites proprement méthodologiques de la bibliométrie, voir Leydesdorff, 1989; Anderson et al., 1988; Callon et Leydesdorff, 1987.

Les indicateurs d'impacts

Les sections précédentes ont identifié les principaux indicateurs scientifiques et technologiques disponibles aujourd'hui. Il en est d'autres cependant, et ceux-ci, bien qu'encore peu systématisés dans des répertoires statistiques gouvernementaux, méritent une mention.

Comme nous le notions en introduction, les gouvernements lancent depuis plusieurs années des messages clairs à l'effet qu'il faut dorénavant mesurer les performances des investissements en science et en technologie (Science, 1995; Industrie Canada, 1996). On pense ainsi aux impacts. Les impacts de la science et de la technologie peuvent être de différents ordres :

- économiques : augmentation des profits, de la productivité, des parts de marché, et des exportations;
- intangibles : amélioration des compétences de la main-d'oeuvre, de la qualité des produits, etc.

Les intangibles — tel que leur nom l'indique — sont difficilement mesurables et en effet très peu mesurés (cf. section sur les innovations). Quant aux indicateurs économiques, ils sont souvent disponibles dans d'autres publications des organismes statistiques nationaux que celles spécifiques à la science et à la technologie. Toutefois, ces statistiques sont très agrégées, et ne concernent pas spécifiquement la technologie mais, par exemple, la productivité d'une industrie dans son ensemble. En général, les indicateurs d'impacts demandent des études d'évaluation spécifique (ex. : Mansfield, 1991). Certes, l'enquête d'Oslo aborde la question, mais nous avons déjà noté que les informations obtenues étaient essentiellement qualitatives.

La diffusion

Un premier indicateur d'impact pour lequel on possède quelques données historiques est celui relatif à la diffusion et à l'utilisation des technologies. En effet, en 1989 et à nouveau en 1993, Statistique Canada a procédé à une enquête sur la diffusion des technologies dans les entreprises manufacturières canadiennes¹⁰.

Les informations obtenues au Canada dans l'enquête sur la diffusion concernent et permettent de se prononcer sur les dimensions suivantes de la diffusion des technologies de pointe :

- l'utilisation :
 - fréquence et intensité;
 - temps de diffusion;
 - provenance de la technologie;
- les investissements dans l'acquisition;
- les processus de diffusion;
 - source;

¹⁰ En 1993, les données sur la diffusion sont intégrées dans l'enquête sur l'innovation.

- avantages;
- entraves;
- facteurs.

Les technologies de pointe retenues pour les fins de l'enquête sont les suivantes : conception et ingénierie, fabrication et montage, manutention automatisée des matériaux, inspection et communications, systèmes d'information de fabrication, intégration et contrôle. Un des défis des prochaines années sera certes la mise à jour de cette liste. Est-ce qu'une technologie qui date de plusieurs années et qui est utilisée par une majorité d'entreprises doit encore être considérée comme une technologie de pointe ? C'est notamment le cas pour les technologies d'inspection et communications (72,9 %) et celles de conception et d'ingénierie (62,5 %). Un autre défi sera la construction des indicateurs appropriés. En effet, puisque les technologies n'ont pas le même poids technologique, leur simple décompte constitue une évaluation partielle. Est-ce qu'une entreprise utilisant plusieurs technologies de conception et de gestion est plus importante, au plan technologique, que celle utilisant une seule technologie de production à contrôle numérique ? Règle générale, les technologies plus éprouvées affichent un taux d'adoption supérieur à celui des technologies plus récentes.

La mesure de l'importance technologique des entreprises connaît des problèmes semblables. Cette dernière se base sur le nombre de technologies présentes par rapport à la valeur des livraisons. Compte tenu que le rapport entre la qualité technologique des activités de l'entreprise et la valeur des livraisons n'est pas toujours évident, l'évaluation des technologies devrait peut-être plutôt être basée sur la valeur ajoutée.

Terminons en rappelant que le Canada est un des rares pays à procéder systématiquement à une telle enquête. Ailleurs, les indicateurs de diffusion technologique ne se retrouvent pourtant pas dans les répertoires de science et de technologie. Au plus y retrouve-t-on des mesures sur les achats de technologies, mesures élaborés à partir de matrices croisées tel que nous le verrons dans la section suivante. Quant à la diffusion des technologies dans les foyers (tels l'ordinateur par exemple), elles font l'objet d'une certaine cueillette à travers des enquêtes plus larges, mais les données à cet effet ne sont pas davantage intégrées dans les documents scientifiques et technologiques.

La balance des paiements technologiques

L'indicateur d'impact le plus couramment utilisé est relatif à la balance des paiements technologiques (BPT). Celle-ci mesure les échanges de technologies selon les flux financiers relatifs à deux types d'opérations :

- les opérations relatives à des éléments de propriété intellectuelle (brevets, licences, techniques, procédés, savoir-faire, dessins, modèles);
- les opérations relatives à des services à contenu technique et à des services intellectuels (études d'ingénierie, assistance technique, services de R-D).

La mesure des flux et des transferts technologiques repose sur la méthodologie suivante : on distingue la technologie développée dans une industrie elle-même et celle acquise au travers des achats de biens intermédiaires et d'équipements. On le voit, l'intensité technologique est mesurée à partir des dépenses de R-D, et la diffusion à travers les flux interindustriels.

Compte tenu que les flux enregistrés doivent avoir un caractère international et être de nature commerciale, les limites de ces statistiques sont évidentes : les transferts sans flux financiers associés, tels les transferts entre sociétés d'un même groupe et les échanges intra-firmes ne sont pas considérés; les transferts réalisés à l'aide de modes de paiements non commerciaux non plus, et les coûts indirects (biens et services associés) pas davantage.

Un second indicateur d'impact associé à la balance des paiements technologiques est celui sur la balance commerciale. Cependant, bien que les organismes statistiques disposent de données sur celle-ci, ces informations sont rarement intégrées dans les répertoires sur la science et la technologie. Lorsqu'elles le sont, il faut ajouter qu'on mesure en général les exportations d'une industrie dite de haute technologie dans son ensemble, et non celles des produits à teneur technologique propre à cette industrie. Ceci parce qu'on définit une entreprise de haute technologie selon qu'elle réalise un certain pourcentage de R-D. Une définition d'ailleurs largement contestée.

Le facteur d'impact

Nous mentionnerons en terminant un dernier indicateur d'impact : le facteur d'impact. En bibliométrie, l'analyse de citations est considérée comme une mesure d'impact des publications. Les citations reçues par une publication scientifique sont déjà largement utilisées par les chercheurs en sociologie de la science et en évaluation pour mesurer l'impact des revues scientifiques. En procédant au dénombrement des citations faites aux articles d'une revue, on mesure l'impact de ladite revue : plus une revue reçoit de citations, plus elle est réputée avoir d'impact.

On peut appliquer cette méthode à des institutions ou à des pays plutôt qu'à des revues, et ainsi comparer l'impact de la recherche publiée par ces institutions et pays. Malheureusement, l'impact ainsi mesuré se limite à l'impact scientifique uniquement. Pour mesurer l'impact de la recherche sur l'économie par exemple, il faut appliquer la méthode aux brevets. CHI Inc. est le pionnier de cette approche de la bibliométrie appliquée aux références dans les brevets notamment (Carpenter, 1983; Narin, Carpenter, et Woolf 1984). En repérant dans les brevets les articles scientifiques cités, on obtient une mesure de l'impact de ces articles sur le développement technologique et une mesure des flux entre science et technologie.

Mis à part la NSF, aucun pays ne publie de données bibliométriques sur le facteur d'impact, qu'il soit appliqué aux publications scientifiques ou aux brevets. Certes, et nous l'avons déjà dit pour les données bibliométriques en général, il faut être prudent dans l'interprétation de telles données. Dans le cas présent, la pratique de la citation — dont la fonction est encore mal connue — varie selon les disciplines; les citations possèdent un cycle de vie et incluent des auto-citations, l'indicateur repose uniquement sur la base de données SCI. Ces limites ont certes pour effet de contaminer la valeur de l'indicateur, mais jamais ne l'invalident-elles complètement.

Les indicateurs de flux

Là où nous en sommes rendu, il est utile de résumer ce que nous avons vu jusqu'à présent. La figure 2 synthétise notre compréhension actuelle des systèmes nationaux d'innovation et les indicateurs utilisés pour suivre et mesurer ceux-ci. Quatre grands ensembles d'indicateurs sont identifiés pour les deux principales composantes d'un SNI, la recherche et l'innovation : les indicateurs d'intrants, les indicateurs d'extrants, les indicateurs d'impacts, et, nouvelle série, les indicateurs de flux. Ces derniers apparaissent au sein de chacune des deux grandes composantes, et également entre elles.

Avec les indicateurs d'extrants et les indicateurs d'impacts, les indicateurs de flux sont une priorité des prochaines années. Il existe depuis quelque temps déjà des indicateurs de flux dans la littérature. Jusqu'à ce jour cependant, la plupart d'entre eux sont basés sur des mesures relatives aux intrants. Ainsi en est-il des flux sur le financement de la recherche vers différents secteurs d'exécution, notamment des industries vers les universités par exemple, ou des achats de technologies entre entreprises. D'autres fois, les flux sont mesurés à partir des activités des acteurs : les projets conjoints, ou les alliances entre entreprises¹¹. Compte tenu que le concept de système national d'innovation privilégie au premier chef la dimension des extrants, des mesures de flux sur ces derniers est probablement un des défis majeurs de la mesure des flux.

¹¹ A. Rose, *Alliances stratégiques de R-D*, Statistique Canada, 1995.

Figure 2 — Quelques indicateurs des Systèmes Nationaux d’Innovation (SNI)

	Recherche		Innovation
Intrants	\$ Ressources humaines Équipement		\$ Main-d’oeuvre Équipements Information
Extrants	Articles Diplômés		Inventions Innovations (brevets)
Impacts	Facteur d’impact		Diffusion Marchés Exportations Productivité Profits
Flux	Cosignatures Citations		Relations U-I Cosignatures Citations dans les brevets Mobilité des personnes

On connaît déjà les applications de la bibliométrie à cet égard. L'analyse bibliométrique des réseaux est une analyse qui cherche à identifier les relations entre les acteurs d'un système donné. Ainsi, certains mettent en relation les citations que les auteurs se font les uns aux autres. Ils identifient ainsi ce que l'on appelle un réseau de cocitations (Small et Griffith, 1974) ou produisent des cartographies d'acteurs qui forment le coeur d'un domaine (Callon, 1993). Contrairement à la croyance cependant, ces applications ne sont pas réservées à la mesure des flux entre universitaires (Hicks et Katz, 1995; Godin, 1995; 1996).

Dans la même lignée, on connaît bien les indicateurs bibliométriques sur la collaboration internationale mesurée à partir des cosignatures. Ce sont des indicateurs de réseautage également. Notons cependant que la collaboration *nationale* n'a pas encore été vraiment caractérisée ni mesurée avec la bibliométrie qui peut nous livrer des mesures sur diverses dimensions qui intéressent les priorités de la politique scientifique et technologique :

- les flux entre secteurs;
- les flux entre régions;
- les flux entre disciplines;
- les flux entre institutions.

Ce travail de mesure des flux, sur les extrants notamment, doit être poursuivi. Il doit être poursuivi sur d'autres dimensions également, notamment l'innovation. Compte tenu des orientations du programme *TEP* de l'OCDE, le concept de Système National d'Innovation offre la possibilité de faire converger la recherche sur les indicateurs d'extrants, les indicateurs d'impacts et les indicateurs de flux.

CONCLUSION

Nous voudrions terminer ce document en dressant un bilan d'ensemble de l'état des indicateurs. Rappelons-nous que nous avons suggéré dès le début que nous sommes passés d'indicateurs axés sur les intrants et correspondant à l'apparition d'une politique scientifique axée sur le financement de la recherche, à des indicateurs relatifs à l'innovation. À cette fin, les demandes émises depuis le début des années 1990 sont dorénavant tournées vers le développement d'indicateurs d'extrants, d'indicateurs d'impacts, et d'indicateurs de flux (et de transfert) entre les acteurs des systèmes nationaux d'innovation. À l'issue de notre analyse, il nous semble donc possible de dégager les quelques grands constats généraux :

- les *besoins des utilisateurs* des indicateurs scientifiques et technologiques — en l'occurrence les ministères et organismes publics — doivent être la première motivation de la production de ceux-ci; parmi les attentes de ces utilisateurs mentionnons au premier chef :
 - une meilleure représentativité des *PME*,
 - une meilleure couverture du secteur des *services*,
 - des données plus désagrégées, notamment au niveau (*infra-*)*régional* ¹²,
 - des indicateurs d'*extrants*,
 - des informations sur les contenus de la R-D, soit sur les *domaines* précis d'activités : objets de recherche dans le cas des universités, technologies dans le cas des entreprises;
 - une meilleure exploitation des enquêtes existantes ¹³;
- le *regroupement des indicateurs scientifiques et technologiques en un seul et même document* aurait pour effet d'assurer aux indicateurs une plus grande visibilité et une meilleure utilisation par les intéressés.

¹² De telles données sont produites pour la R-D industrielle en Grande-Bretagne, et pour les intrants par la CEE et la France (qui produit également des données sur les extrants par région).

¹³ Statistique Canada reconnaît déjà cette responsabilité, lui qui a les projets visant à exploiter les données du recensement pour la formation, et les formulaires d'impôt pour les montants de R-D.

RÉFÉRENCES

- Anderson, J., et al. (1988) On-line Approaches to Measuring National Scientific Output: A Cautionary Tale, *Science and Public Policy*, June, 153-161.
- Archibugi, D., et M. Pianta (1996) Les enquêtes sur l'innovation et les brevets en tant qu'indicateurs de la technologie : état des connaissances, in OCDE, *Innovation, brevets et stratégies technologiques*, Paris, 17-55.
- Archibugi, D. (1992) Patenting as an Indicator of Technological Innovation: A Review, *Science and Public Policy*, 19 (6) : 357-368.
- Averch, H.A. (1991) The Political Economy of R&D Taxonomies, *Research Policy*, 20 : 179-194.
- Basberg, B.L. (1987) Patents and Measurement of Technological Change: A Survey of the Literature, *Research Policy*, 16 : 131-141.
- Carpenter, M.P. (1983) *Patent Citations as Indicators of Scientific and Technological Linkages*, Paper presented at the American Association for the Advancement of Science (AAAS) Annual Meeting (Detroit, Michigan).
- Callon, M., J.-P. Courtial et H. Pénan (1993) *La scientométrie*, Que sais-je, Paris.
- Callon, M., et L. Leydesdorff (1987) La recherche française est-elle en bonne santé, *La Recherche*, 18 (186) : 412-419.
- Callon, M., J. Law et A. Rip (1986) *Mapping the Dynamics of Science and Technology*, Macmillan.
- Campbell, B., et R. Wehrell (1992) *Technology Development and Diffusion in New Brunswick Manufacturing*, Department of Economic Development and Tourism, New Brunswick Government.
- CEE (1994) *Rapport européen sur les indicateurs scientifiques et technologiques*, Bruxelles.
- CEE (1995) *Recherche et Développement : statistiques 1995*, Luxembourg : Eurostat.
- Garfield, E. (1990) «How ISI Selects Journals for Coverage: Quantitative and Qualitative Considerations», *Current Contents*, 22 : 5-13.
- Garfield, E. (1972) Citation Analysis as a Tool in Journal Evaluation, *Science*, 178 : 471-479.
- Gibbons, M., et L. Georghiou (1987) *Évaluation de la recherche : un choix de pratiques en vigueur*, OCDE, Paris.
- Godin, B. et M.-P. Ippersiel (1996) Scientific Collaboration at the Regional Level: The Case of a Small Country, *Scientometrics*, 36 (1) : 59-68.
- Godin, B. (1995) Besides Academic Publications: Which Sector Compete, or Are There Competitors?, *Scientometrics*, 33 (1) : 3-12.
- Godin, B. (1994) *The Relationship between Science and Technology: A Bibliometric Analysis of Papers and Patents in Innovative Firms*, thèse de doctorat, Université de Sussex, Brighton.

- Godin, B., et F. Vallières (1995) «*Endangered Species*» : *une nouvelle estimation de la part du français dans les communications scientifiques*, étude réalisée pour le Conseil de la langue française, Québec.
- Godin, B., et R. Landry (1995) *L'avenir de la collaboration scientifique au Québec : une analyse basée sur la convergence d'indicateurs*, rapport présenté au Fonds FCAR.
- Godin, B., et C. Limoges (1995) *Les revues scientifiques québécoises : une évaluation des programmes de soutien aux revues du Fonds FCAR*, rapport présenté au Fonds FCAR.
- Hicks, D.M., et J.S. Katz (1995) Where is Science Going? Application, Interdisciplinarity, Collaboration, Internationalism, Dispersion and Concentration in UK Research Since 1981, *Science, Technology, and Human Values*, submitted.
- Industrie Canada (1996) *La science et les technologies à l'aube du XXIe siècle*, Ottawa.
- Kleinknecht, A., et D. Bain (1993) *New Concepts in Innovation Output Measurement*, London, St. Martin's Press.
- Kleinknecht, A., et J.O.N. Reijnen (1991) More Evidence on the Undercounting of Small Firm R&D, *Research Policy*, 20 : 579-587.
- Kline, S.J. et N. Rosenberg (1986) An Overview of Innovation, in R. Laudan et N. Rosenberg (ed.), *The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth*.
- Lazarsfeld, P. (1965) Des concepts aux indices empiriques, in R. Boudon et P. Lazarsfeld, *Le vocabulaire des sciences sociales*, Paris, Mouton.
- Leydesdorff, L. (1989) The Science Citation Index and the Measurement of National Performance in Terms of Numbers of Scientific Publications, *Scientometrics*, 17 : 111-120.
- Lundvall, B.A. (1992) *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*, Pinter, London.
- Mansfield, E. (1991) Academic Research and Industrial Innovation, *Research Policy*, 20 : 1-?.
- Martin, B.R., et J. Irvine (1983) Assessing Basic Research: Some Partial Indicators of Scientific Progress in Radio Astronomy, *Research Policy*, 12 : 61-90.
- MESS (Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science) (1994) *Compendium 1994 : indicateurs de l'activité scientifique et technologique au Québec*, Gouvernement du Québec.
- MICST (Ministère de l'Industrie, du Commerce, de la Science et de la Technologie) (1993) *La R&D au Québec : les entreprises*, Gouvernement du Québec.
- Moed, H.F., et al. (1985) The Use of Bibliometric Data for the Measurement of University Research Performance, *Research Policy*, 14 : 131-149.
- Narin, F., M.P. Carpenter, and P. Woolf (1984) Technological Performance Assessments Based on Patents and Patent Citations, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 31 : 172-183.
- National Science Foundation (NSF) (1993) *Science and Engineering Indicators: 1991* (10e édition), Washington.
- National Research Council (1995) *Allocating Federal Funds for Science and Technology*, Washington, National Academy Press.

- Nelson, R.R. (ed.) (1993) *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*, New York, Oxford University Press.
- Niosi, J., P. Saviotti, B. Bellon et M. Crow (1993) National Systems of Innovation: In Search of a Workable Concept, *Technology and Society*, 15 : 207-227.
- Observatoire des sciences et des techniques (OST) (1996) *Science et technologie : indicateurs 1996*, Paris.
- OCDE (1996) *Measuring What People Know*, Paris.
- OCDE (1995a) *Industrie et Technologie : tableau de bord d'indicateurs 1995*, Paris.
- OCDE (1995b) *Les dépenses en recherche et développement dans l'industrie : 1973-1992*, Paris.
- OCDE (1995c) *Principaux indicateurs de la science et de la technologie : 1995 (1)*, Paris.
- OCDE (1995d) *Manual on the Measurement of Human Resources Devoted to Science and Technology*, Canberra Manual, Paris.
- OCDE (1994) *La mesure des activités scientifiques et techniques : méthode proposée pour les enquêtes sur la recherche et le développement expérimental* (manuel de Frascati), Paris.
- OCDE (1992a) *La technologie et l'économie : les relations déterminantes*, Paris.
- OCDE (1992b) *Principes directeurs proposés par l'OCDE pour le recueil et l'interprétation des données sur l'innovation technologique : manuel d'Oslo*, Paris.
- OCDE (1991) *Statistiques de base de la science et de la technologie*, Paris.
- OCDE (1989) *La mesure des activités scientifiques et techniques : statistiques de R-D et mesure des résultats dans l'enseignement supérieur*, Paris.
- Office of Technology Assessment (OTA) (1991) *Federally Funded Research: Decisions for a Decade*, Washington.
- Pavitt, K. (1985) : «Patent Statistics as Indicators of Innovative Activities: Possibilities and Problems», *Scientometrics*, 7 : 77-99.
- Rose, A. (1994) *The Development of S&T Indicators*, Ottawa, Statistique Canada.
- Rose, A. (1995) *Alliances stratégiques de R-D*, Ottawa, Statistique Canada.
- Science (1995) Asking Science to Measure Up, 6 janvier, 20-22.
- Simonetti, R., et al (1995) Product and Process Innovations: How Are They Defined? How Are They Quantified?, *Scientometrics*, 32 (1) : 77-89.
- Small, H., et B.C. Griffith (1974) The Structure of Scientific Literature: Identifying and Graphing Specialties, *Science Studies*, 4 : 339-365.
- Smith, K. (1992) Technological Innovation Indicators: Experience and Prospects, *Science and Public Policy*, 19 (6) : 383-392.
- Smith, P.M., et B. Boyle-Torrey (1996) The Future of the Behavioral and Social Sciences, *Science*, 271 : 611-612.

Stead, H. (1992) Collection of S&T Statistics, *Science and Public Policy*, 19 (5) : 275-280.

Walsche, G. (1992) Research and Development Trends: Criteria for Assessment, *Science and Public Policy*, 19 (2) : 75-88.

ANNEXE

PRINCIPAUX INDICATEURS EN SCIENCE & TECHNOLOGIE

O C D E	C E E	N S F	O S T	S T A T I C A N
------------------	-------------	-------------	-------------	--------------------------------------

LES INTRANTS

DÉPENSES de R-D (DIRD)

DIRD totale	x	x	x	x	x
DIRD civile/militaire	x		x		
DIRD par secteur d'exécution	x	x	x	x	x
DIRD par source de financement	x		x	x	x
Dépenses intérieures courantes de R-D par type d'activités	x				x
DIRD par catégorie de R-D (recherche fondamentale, recherche appliquée et développement)			x		
DIRD par type de dépenses	x				x
Exécution de la DIRD par grand domaine scientifique	x				x
Exécution de la DIRD par institution				x	x

Crédits budgétaires publics de RD (CBPRD)

CBPRD totaux	x	x	x		
CBPRD civile et militaire	x	x			
CBPRD en % des dépenses courantes et en capital des administrations centrales		x			
CBPRD par finalités budgétaires			x		
CBPRD par agence gouvernementale et par thème de recherche			x		
CBPRD par objectif socio-économique	x	x	x		
CBPRD par programme gouvernemental		x	x		
CBPRD par programme gouvernemental et par type d'activité		x			
CBPRD de recherche fondamentale par finalités budgétaires			x		
Fonds généraux des universités (FGU)	x				

R-D gouvernementale

Dépenses fédérales de R-D et programmes de R-D, par agences et par catégorie de R-D			x		x
Dépenses fédérales de R-D par exécutant et par catégorie de R-D			x		x
Dépenses gouvernementales par catégorie de R-D et par discipline scientifique			x		x
Dépenses fédérales pour la recherche académique			x		x
Impact budgétaire des crédits d'impôts fédéraux pour la recherche et l'expérimentation			x		x

R-D académique

Exécution de la DIRDES par institutions académiques			x	x	
Exécution de la DIRDES par discipline scientifique	x		x		x
Dépenses courantes d'équipement de recherche dans les institutions académiques			x		
Financement gouvernemental de la recherche académique par discipline et par institutions académiques			x		
Coût des nouvelles constructions pour la R-D académique par discipline			x		
Surface totale en pied carré des nouvelles constructions et rénovations pour la DIRDES			x		

R-D industrielle

DIRDE par source de financement	x				x
DIRDE par type de coûts	x				
Exécution de la DIRDE par industrie	x				x
Exécution de la DIRDE par taille d'entreprise				x	x

LES EXTRANTS

LA PRODUCTION

Publications scientifiques

Publications scientifiques par discipline		x			
Publications scientifiques par secteur d'exécution					
Publications scientifiques par spécialisation scientifique				x	
Indices de spécialisation par discipline				x	

Brevets

Demande nationale de brevets	x	x	x	x	
Demande résidente de brevets	x		x	x	
Demande non-résidente de brevets	x		x	x	
Demande de brevets à l'étranger	x	x	x	x	
Taux de dépendance (demande de brevets non-résidentes/résidentes)	x				
Taux d'autosuffisance (demande de brevets résidentes/nationales)	x			x	
Taux d'autosuffisance par secteur				x	
Coefficient d'inventivité (demande de brevets résidentes/10 000 habitants)	x				
Taux de diffusion (demande de brevets à l'étranger/résidentes)	x				
Demande de brevets par secteur industriel		x		x	
Nombre de brevets : par type d'inventeur (individu, industrie ou gouvernement), par pays d'origine, par pays de destination et par année de délivrance			x		
Nombre de brevets : par classe de technologie, par indice d'activité sectoriel	x		x	x	
Nombre de brevets : par taux de citation, ratio de citation			x		
Nombre de brevets accordés par institutions académiques			x		
Nombre de brevets accordés aux institutions académiques et par classe de technologie			x		
Part des filiales nationales de sociétés étrangères en brevets				x	
Contribution relative au solde par secteur				x	
Avantages comparatifs export, technologiques et en R-D				x	

LES IMPACTS

Production scientifique et impact comparés

Impact des publications scientifiques et techniques (taux de citation)				x	
Indices d'impact par discipline				x	

Balance des paiements

Balance de paiements technologiques (BPT) : recettes, paiements et solde	x	x			x
BPT : taux de couverture	x				
BPT : volume total des transactions	x				
BPT selon la nature des transferts	x				
Balance de paiements sur les droits de "royalties" et de licences générée par l'échange de procédés industriels à l'étranger : par région (zone géographique) et par pays				x	
Balance de paiements sur "royalties" et autres droits des résidents étrangers affiliés et non-affiliés			x		
Taux de couverture dans le commerce international par industrie	x				

La diffusion

Utilisation des technologies de pointe					x
Utilisation actuelle et prévue des technologies de pointe					x
Utilisation des technologies fonctionnelles					x
Type de technologies principales actuelles et projetées					x
Nombre de technologies utilisées, par type d'industrie					x
Taux d'utilisation des technologies, par groupe fonctionnel et par industrie					x
Utilisation des technologies fonctionnelle, selon la taille des entreprises					x
Utilisation des technologies de pointe, selon la taille des entreprises					x
Utilisation des technologies de pointe par région					x

Croissance de l'utilisation des technologies

| | | | | x |

LES FLUX

Coopération scientifique

Coopération scientifique internationale

| | x | | | |

Distribution des alliances stratégiques de technologie entre blocs économiques par technologie

| | | x | | |

Répartition de coopérations établies par les régions avec les autres pays grâce aux projets internationaux de recherche

| | | | x | |

Affinité des régions au partenariat avec les autres pays

| | | | x | |

Indicateurs de transfert technologique (en provenance des laboratoires gouvernementaux)

Nombre d'ententes coopératives par agences gouvernementale

| | | x | | |

Mobilité des effectifs humains de R-D (potentiels et actifs)

Participations étrangères dans le secteur industriel

| | | x | x | |

Origine des participations étrangères dans l'industrie manufacturière

| | | | x | |

Mobilité des étudiants : répartition des boursiers par pays

| | x | x | | |

Personnel national de recherche à l'étranger

| | | | | x |

Étudiants résidents et étrangers diplômés de DEA, répartition par discipline scientifique

| | | | x | x |

Soutenance de doctorat par des étudiants résidents et étrangers, répartition SSH - sc. exactes

| | | | | x |

Origine géographique des étudiants étrangers inscrits en thèse, répartition SSH - sc. exactes

| | | | | x |

Les flux d'étudiants en provenance des pays du Sud

| | | | | x |

Investissements internationaux directs (IID ou IDE)

Répartition du stock d'investissement direct dans les pays étrangers

| | | | x | |

Évolutions comparés de la production marchande, du commerce international et des flux d'investissement international direct (IID)

| | | | x | |

Part de l'industrie manufacturière dans les stocks d'IID des grands pays de l'OCDE

| | | | | x |

Stocks d'investissements directs étrangers (IDE) par secteur d'activité

| | | | | x |

Stocks d'IDE dans l'industrie par pays d'origine

| | | | | x |

Co-publications

Co-publications internationales par disciplines, nombre et %

| | | x | | |

Co-publications univ./indust. en proportion du total des articles publiés par l'industrie : par discipline

| | | x | | |

Co-publications Indust./Univ. en proportion des articles du sect. Indust.

| | | x | | |

Affinité à la co-publication

| | | | | x |

Affinité à la co-publication par discipline

| | | | | | |

Co-dépôts de brevets

Répartition des co-dépôts de brevets

| | | | x | |

Répartition des co-dépôts de brevets par domaine

| | | | x | |

Affinités aux co-dépôts de brevets

| | | | x | |

Affinités des co-dépôts de brevets par domaine

| | | | x | |

Échanges de biens incorporant de la technologie

Flux de biens incorporant de la technologie

| | | | x | |

Structure des échanges de biens incorporant de la technologie

| | | | x | |

Flux commerciaux de haute technologie c.o.f.

| | x | | | |

Flux commerciaux de haute technologie f.o.b.

| | x | | | |