

Innovation schumpétérienne et prospérité durable : Quelques réflexions et idées pour le Québec

Wilfried Koch¹ & Alain Paquet²

Note de recherche
Research note
2023-02

Septembre / September 2023

¹ Université du Québec à Montréal

² Université du Québec à Montréal

CHAIRE en macroéconomie
et prévisions
ESG UQÀM

La Chaire en macroéconomie et prévisions est fière de s'appuyer sur un partenariat avec les organisations suivantes:



Les opinions et analyses contenues dans les notes de recherche de la Chaire ne peuvent en aucun cas être attribuées aux partenaires ni à la Chaire elle-même et elles n'engagent que leurs auteurs.

Opinions and analyses contained in the Chair's research notes cannot be attributed to the Chair or its partners and are the sole responsibility of the authors.

Innovation schumpétérienne et prospérité durable : Quelques réflexions et idées pour le Québec

Wilfried Koch*
(koch.wilfried@uqam.ca)

et

Alain Paquet*
(paquet.alain@uqam.ca)

Chaire en macroéconomie et prévisions, ESG-UQAM
Axe : analyse et modélisation macroéconomiques

&

Département des sciences économiques, ESG-UQAM

Septembre 2023

* Chaire en macroéconomies et prévisions & Département des sciences économiques, ESG-UQAM, C.P. 8888, succursale Centre-Ville, Montréal, QC, Canada, H3C 3P8. Toutes omissions ou erreurs résiduelles sont la responsabilité des auteurs.

Sommaire

La préparation de ce rapport fait suite à la conférence sur *Les fondements et les incidences économiques de l'innovation* organisée sous l'égide de la Chaire en macroéconomie et prévisions de l'ESG-UQAM en l'honneur de Philippe Aghion et la consultation lancée par le ministère des Finances du Québec afin d'identifier les sources d'écart de niveaux de vie du Québec vis-à-vis de l'Ontario et des États-Unis et proposer des avenues pour accroître le potentiel de croissance économique à long terme du Québec en mai dernier.

La littérature théorique, les études empiriques et les meilleures pratiques et expériences ont clairement établi que l'innovation est un incontournable, car elle est un des facteurs les plus puissants pour fonder solidement une croissance économique durable et s'attaquer de front aux enjeux de productivité et aux écarts de richesse entre le Canada ou le Québec et les États-Unis.

Bien que le Québec et son écosystème d'innovation disposent de certains éléments forts, il existe des faiblesses marquées qui transparaissent tant au niveau des intrants que des extrants de l'innovation. Pour combler son retard relatif et rehausser sa position concurrentielle, le Québec se doit d'avancer plus vite que les autres.

Ce rapport situe comment l'innovation schumpétérienne peut et doit être directement être au cœur d'une vision et d'une politique de croissance économique tant en termes d'innovations incrémentales que radicales. Il dresse une recension et analyse les expériences tirées de diverses expériences aux États-Unis et ailleurs qui ont eu des retombées significatives. Ces expériences, les travaux les plus récents dans la littérature en économie et les échanges stimulants avec les participants pendant la conférence tenue à l'UQAM ont alimenté notre analyse et notre réflexion.

C'est ainsi qu'en complément à la *Stratégie québécoise de recherche et d'investissement en innovation 2022-2027*, elles nous amènent à proposer des avenues porteuses pour accroître significativement la qualité et le nombre d'innovations et permettre leur valorisation. Ceci requiert notamment d'accentuer une synergie et une mobilisation concertée en faveur de projets d'envergure sur des thématiques prioritaires, avec plusieurs volets, s'intégrant dans une chaîne d'innovation de la preuve de concepts jusqu'à la commercialisation.

Nous recommandons ainsi la mise sur pied d'un programme ARPA québécois qui catalyserait la croissance et l'excellence technologique au Québec, dans des domaines où le Québec a des avantages et un positionnement reconnu. Puis, nous préconisons la création d'un programme de Grands projets mobilisateurs concertés (GPMC) sur des thématiques spécifiques d'envergure, mobilisant des acteurs publics et privés d'innovations et nous discutons du cadre et de paramètres clés qui peuvent maximiser son succès.

Le rapport souligne également l'importance à accorder à la confection et à l'accessibilité d'une riche banque de données et d'indicateurs sur l'innovation, à favoriser son utilisation par les chercheurs à comprendre et à établir leur utilité pour suivre la performance et les progrès québécois en innovation et pour développer la pratique d'études d'impact des mesures gouvernementales (financières ou non) visant à valoriser l'innovation.

Tables des matières

1	Introduction	1
2	Innovation, croissance économique schumpétérienne et destruction créatrice	3
	2.1 Définition et domaine de l'innovation	3
	2.2 Concevoir et s'approprier l'innovation	4
	2.3 L'innovation schumpétérienne et la croissance	5
	2.4 Pertinence empirique et faits stylisés	6
	2.5 Implications et leçons pour les politiques économiques	9
3	Une comparaison d'indicateurs macroéconomiques de l'innovation : Québec, Canada et international	14
	3.1 Quelques indicateurs agrégés : le Canada, le Québec et le reste du monde	14
	3.2 Note globale du Canada, des provinces canadiennes et de différents pays comparables	15
	3.3 Comparaison des provinces canadiennes aux chapitres de la capacité à innover, des activités d'innovation et des résultats d'innovation	16
	3.3.1 La capacité à innover	16
	3.3.2 Les activités d'innovation	17
	3.3.3 Les résultats d'innovation	19
	3.4 Performance relative multidimensionnelle du Québec en innovation : comparaison avec une sélection de pays et de provinces	20
4	La complémentarité de la recherche publique et de la recherche privée : un filon à enrichir	21
	4.1 L'actionnement de la R-D publique comme levier : leçons de l'expérience française	21
	4.2 Le contexte québécois du maillage privé, public et universités en innovation	23
	4.3 La pertinence de renforcer l'écosystème québécois d'innovation et la mise en place de chaînes intégrées thématiques d'innovation de l'idée à la commercialisation	25
	4.4 Le modèle ARPA comme source d'inspiration	28

4.4.1	Le modèle ARPA	28
4.4.2	Quelques exemples de secteurs qui pourraient bénéficier du modèle ARPA	30
4.5	Pour l'émergence de grands projets mobilisateurs consortiaux d'innovation	33
4.5.1	Quelques exemples et enseignements d'expériences diverses	33
4.5.2	L'expérience du California Institute for Regenerative Medicine (CIRM)	34
4.5.3	Les grands projets mobilisateurs consortiaux (GPMC)	35
5	Mesurer et évaluer l'impact des éléments de politiques économiques pour l'innovation	37
6	Conclusion	38
	Bibliographie	42
	Appendices	47
	A – Descriptif des variables utilisées par le Conference Board du Canada pour construire leurs indicateurs	47
	B – Méthodologies variées à la base de tableaux de bord de l'innovation	49

« À l'heure actuelle, il existe un large consensus parmi les économistes universitaires et les décideurs politiques sur le fait que les activités de recherche et développement (R&D) jouent un rôle décisif dans la promotion de la croissance de la productivité et, par conséquent, du niveau de vie, car les industries à forte intensité d'innovation créent des emplois hautement qualifiés, affichent des salaires plus élevés, sont plus productives, sont souvent axées sur les exportations et améliorent la compétitivité pendant les cycles économiques. »

[Traduction libre]

--Benedetti-Fasil et Sanchez-Martinez (2022)

1. Introduction

En mai dernier, le ministère des Finances du Québec lançait une consultation auprès d'experts en provenance des secteurs privé et universitaire afin notamment d'identifier les sources d'écart de niveaux de vie du Québec vis-à-vis l'Ontario et les États-Unis et proposer des avenues pour accroître le potentiel de croissance économique à long terme du Québec.

Dans le cadre de la conférence sur *Les fondements et les incidences économiques de l'innovation* tenue en mai 2023, que nous avons organisée sous l'égide de la Chaire en macroéconomie et prévisions en l'honneur de Philippe Aghion lors de la remise d'un doctorat *honoris causa* par l'UQAM, l'importance de l'innovation et de la destruction créatrice en tant que moteur de croissance et de prospérité a été mise en avant. Lors de cette conférence, les 20 conférenciers et participants à des tables rondes ont échangé sur des questions à la frontière des connaissances en sciences économiques avec des implications pratiques sur des thématiques centrées sur l'innovation.

Conformément aux meilleures pratiques et expériences, plus qu'un terme à la mode, l'innovation est une clé indispensable pour le développement économique durable et pour s'attaquer de front aux déficits de productivité et de richesse du Québec et du Canada vis-à-vis les États-Unis. Il est établi que les régions avec le plus d'innovation connaissent la plus forte croissance. Comme l'explique Akcigit (2022), l'innovation est socialement souhaitable en étant source de croissance économique, de mobilité sociale et d'accroissement de bien-être pour l'ensemble de la société. D'ailleurs, selon Aghion *et al.* (2020) ainsi qu'Aghion et Howitt (2023), il n'est pas nécessaire de choisir entre l'innovation et l'inclusion. Des politiques favorables à une éducation accessible de qualité et propices à préserver, voire à encourager l'exposition des entreprises en place à la concurrence ainsi qu'à la formation et au recyclage de la main-d'œuvre ont été identifiées comme moyens effectifs de réduire les inégalités, y compris celles pouvant découler d'innovations.¹ De plus, l'innovation est un levier qui peut diriger la destruction créatrice dans la poursuite d'une croissance plus verte, en permettant la découverte et l'utilisation de sources d'énergie plus propres, de produits plus propres et de technologies de production plus propres.²

¹ Voir entre autres : Aghion *et al.* (2020), Akcigit (2021), Akcigit et Van Reenen (2023), ainsi que Blundell *et al.* (2023).

² Voir, par exemple, Aghion et Howitt (2023), Stern (2023) et Dechezleprêtre et Hémous (2023).

Comme le révèlent notamment l'Indice global de l'innovation de la World Intellectual Property Organization et différents indicateurs répertoriés par le Conference Board du Canada, malgré certains points forts, le Canada et le Québec exposent des faiblesses marquées par rapport à nos concurrents qui sont préoccupantes et qui sous-tendent de manière non négligeable notre retard de richesse et qui limitent les perspectives pour l'avenir. Afin de combler notre retard relatif et rehausser la position concurrentielle du Québec, il est impératif d'avancer plus vite que les autres.

Notre rapport de recherche vise (i) à situer comment l'innovation schumpétérienne peut et doit être directement être au cœur d'une vision et d'une politique de croissance économique tant en termes d'innovations incrémentales que radicales; (ii) à recenser et à analyser les expériences tirées de diverses expériences aux États-Unis et ailleurs pour en dégager une ou des adaptations dans le cadre québécois; et (iii) à proposer des avenues et des éléments efficaces de politique relatifs à la sélection et au financement de projets mobilisateurs d'innovation, avec un souci vers la commercialisation de leurs retombées (de produits, de services ou de procédés innovants).

En s'inspirant et adaptant des expériences suivies qui ont livré des résultats, nous proposons de doter le Québec de deux outils complémentaires à l'actuelle *Stratégie québécoise de recherche et d'investissement en innovation 2022-2027* pour accentuer une synergie et une mobilisation concertée qui permettrait d'intégrer divers maillons de la chaîne d'innovation, de la preuve de concepts jusqu'à la commercialisation.

Premièrement, la mise sur pied d'un programme ARPA québécois catalyserait la croissance et l'excellence technologique au Québec, dans des domaines où le Québec a des avantages et un positionnement reconnu (p. ex., en intelligence artificielle et technologie des données ou en énergies renouvelables et transition énergétique).

La création d'un programme de Grands projets mobilisateurs concertés (GPMC) sur des thématiques spécifiques d'envergure, mobilisant des acteurs publics et privés d'innovations et cofinancés moitié-moitié par un fonds dédié du gouvernement du Québec et d'autres partenaires. Les projets seraient menés par des consortiums de recherche engageant des acteurs publics et privés. Ils seraient sélectionnés par un jury international et viseraient à apporter des solutions par l'innovation à des problèmes concrets. Les déboursés par le gouvernement et les autres partenaires seraient faits par étapes et seraient liés à la progression des phases des projets. Le fonds gouvernemental pourrait être financé par l'émission d'obligations dédiées à l'innovation. Suivant des retombées financières de la commercialisation d'innovations d'une CPMC, des contributions contingentes sans intérêt seraient remboursables au gouvernement du Québec et permettraient de retrouver un retour sur l'investissement consenti par les Québécois.

Nous croyons que les deux mesures proposées favoriseraient une augmentation du nombre de brevets provenant d'innovations québécoises et placeraient les entreprises québécoises en meilleure position pour bénéficier de la valeur des innovations générées et commercialiser par elles.

Finalement, d'autres propositions concernent l'importance de colliger systématiquement et de produire des données permettant de suivre le progrès ou non du Québec en matière d'innovations, de mesurer et d'évaluer les impacts des mesures financières et non financières des éléments de politique publique en innovation et de mieux comprendre les liens de causalité entre les indicateurs et les retombées de l'innovation.

Le texte est organisé comme suit. La section 2 présente les notions et la pertinence de l'innovation et la croissance schumpétérienne pour relever les défis de productivité et de performance économique, avec une attention particulière accordée à l'évidence empirique documentée dans la littérature récente et leurs implications dans l'élaboration de politiques d'innovations performante. La section 3 décrit et discute de la position relative du Québec en ce qui a trait à certains indicateurs révélateurs en comparaison des autres provinces canadiennes et d'autres pays et identifie des écarts à combler pour accroître sa capacité, ses activités et ses résultats en matière d'innovation. La section 4 met en exergue le rôle déterminant de la complémentarité avérée entre la recherche publique et la recherche privée en examinant l'expérience d'autres pays. Elle démontre également la pertinence de renforcer l'écosystème québécois d'innovation et la mise en place de chaînes intégrées thématiques d'innovation de l'idée à la commercialisation. Deux approches y sont étudiées et sont utilisées pour formuler deux propositions. La section 5 s'intéresse à l'importance de mesurer et d'évaluer l'impact des éléments de politiques économiques pour l'innovation. La section 6 résume nos conclusions.

2. Innovation, croissance économique schumpétérienne et destruction créatrice

2.1 Définition et domaine de l'innovation³

À partir de connaissances existantes, puis, en s'appuyant sur la capacité de questionner, de revoir et de rompre avec les habitudes et, finalement, en usant de créativité pour répondre à des besoins et des attentes, l'innovation est un processus de transformation d'une idée sous une forme nouvelle ou sensiblement améliorée. Ce processus se déploie du germe de l'idée jusqu'à sa traduction et son implémentation. Son principe général est lié aux facultés d'une société, d'une ou plusieurs organisations privées ou publiques (individuellement ou en groupe) à découvrir des solutions nouvelles. Celles-ci créent alors une valeur ajoutée économique et sociale par rapport à ce qui se faisait antérieurement. Elle concerne tant des activités marchandes que non marchandes.

Les **innovations de rupture** modifient de manière plus radicale les façons de faire ou de produire alors que des technologies préexistantes deviennent obsolètes. Les **innovations incrémentales** ou de continuité sont importantes, car elles apportent des améliorations significatives sur une base plus évolutive. Dans tous les cas, une innovation pertinente doit avoir une valeur ajoutée qui se traduit par une valeur économique ou sociale tangible, la création d'un nouveau marché ou un avantage concurrentiel et impliquent des gestes ou des façons de faire nouvelles pour l'organisation, l'entreprise ou la société.

Il y a 4 types d'innovations. L'**innovation de produits** correspond à l'introduction d'un bien ou d'un service nouveau ou significativement amélioré en ce qui a trait à leurs capacités, leur convivialité, leurs composantes ou leurs sous-systèmes. L'**innovation de procédés** s'applique à une approche, méthode ou technique de production ou mode d'approvisionnement et de distribution. L'**innovation de commercialisation** touche le concept ou la stratégie de mise en marché, la présentation, l'emballage, le placement, la promotion ou la tarification d'un bien ou d'un service. L'**innovation organisationnelle** procède des pratiques opérationnelles d'une organisation (incluant la gestion du savoir) relativement à l'organisation de son lieu de travail ou de ses relations extérieures.

³ Bien qu'il y ait quelques variantes dans la formulation du concept d'innovation, elles sont pratiquement toutes articulées autour du consensus exprimé par l'OCDE dans le manuel d'Oslo (voir OCDE, 2019).

Les **maillons de la chaîne d'innovation** se déploient en partant de l'un ou l'autre des maillons suivants. Dans le *Manuel de Frascati* préparé par l'OCDE (2016), les trois premiers identifiés sous le vocable de R-D expérimentale sont: la **recherche fondamentale** pour comprendre un phénomène, la **recherche appliquée** pour acquérir des connaissances pratiques et le **développement expérimental** pour appliquer des connaissances existantes et trouver de nouvelles utilisations potentielles.⁴ OCDE (2016) définit une activité de R-D en bonne et due forme si elle satisfait cinq critères, en comportant un élément de **nouveauté**, de **créativité** et d'**incertitude** quant à son résultat et elle doit être **systématique**, ainsi que **transférable et/ou reproductible**.

Les trois autres maillons de la chaîne d'innovation sont l'**adaptation technologique** pour modifier une technologie existante, le **transfert technologique** pour implanter une technologie ou une pratique au sein d'une l'organisation et la **diffusion** pour transmettre de nouvelles connaissances, identifier des utilisateurs potentiels et introduire de nouveaux produits.

Finalement, une **Stratégie pour l'innovation** doit s'appuyer sur cinq priorités d'action : en dotant les individus de la capacité d'innover, en libérant l'innovation dans les entreprises, en créant des connaissances et en les mettant en pratique, en s'appuyant sur l'innovation pour relever les défis mondiaux et sociaux, en améliorant la gouvernance des politiques pour l'innovation.

Les questions liées à l'identification et aux mesures des déterminants, ainsi que des effets de l'innovation sont essentiels pour reconnaître les avantages comparatifs et les potentiels de croissance et de rendements pour un pays, une région, un secteur économique, de même que pour une entreprise. Ces sujets ont une portée hautement pratique.

2.2 Concevoir et s'approprier l'innovation

Essentiels et intimement liés, l'entrepreneuriat et l'innovation sont des clés incontournables pour ouvrir les portes du progrès économique et social du Québec et pour répondre aux défis posés par le contexte actuel. Pierres d'assises de la création de richesses humaine et financière, tous deux sont des leviers incontournables pour identifier et saisir des opportunités, générer durablement de la croissance économique, des emplois et des retours sur investissement, de même que pour encourager la création et le développement d'entreprises qui répondent aux besoins des personnes et des communautés.

Selon une analogie intéressante, applicable tant du point de vue d'une entreprise individuelle que du point de vue agrégé,⁵ la production économique et sa croissance s'apparentent à faire de la cuisine. En effet, la croissance économique apparaît lorsque des hommes et des femmes utilisent des ressources et les recombinent pour en tirer des formes qui ont encore plus de valeurs. En combinant des ingrédients, souvent peu dispendieux, en suivant une recette, on peut créer des produits et services finaux de valeur. Le « repas » que l'on peut cuisiner est limité par l'offre d'ingrédients, et la plupart des façons de cuisiner ont certains effets secondaires indésirables. Si la croissance économique ne pouvait résulter qu'en

⁴ Selon l'OCDE (2016), les travaux expérimentaux ou théoriques en recherche fondamentale n'envisagent pas une application ou une utilisation particulière, tandis que les travaux originaux constituant la recherche appliquée visent à acquérir de nouvelles connaissances principalement dirigées vers un but ou un objectif pratique déterminé. Enfin, les travaux systématiques de développement expérimental s'intéressent à trouver de nouveaux produits ou procédés ou à améliorer les produits ou procédés existants.

⁵ Cette image a été proposée par Paul M. Romer, professeur à la Carroll School of Management de Boston College, co-lauréat du Prix de la Banque de Suède en sciences économiques en mémoire d'Alfred Nobel en 2018, et un des initiateurs des modèles de la croissance endogène.

répétant plus ou moins toujours le même type de recettes, éventuellement, toutes les matières premières seraient épuisées et nous souffririons de niveaux inacceptables de pollution et d'inconvénients environnementaux.⁶ En fait, empiriquement, la croissance économique découle davantage de meilleures recettes, pas juste de cuisiner plus. De nouvelles recettes occasionnent généralement moins d'effets négatifs et génèrent plus de valeur ajoutée par unité de matière première (incluant les ressources naturelles).

Traditionnellement, les grandes classes d'ingrédients avaient été confinées à la quantité de travail (heures-personnes) disponible, au stock de capital physique privé (machinerie, équipements et bâtiments) et, parfois explicitement, au stock d'infrastructures publiques. On reconnaissait bien sûr le rôle du progrès technologique, mais celui-ci était surtout postulé, plutôt qu'expliqué. Depuis la fin des années 80, tant les théoriciens que les praticiens de l'économie ont cherché à approfondir leur compréhension des déterminants de la productivité et de la croissance. Alors qu'on s'est mis à parler d'économie du savoir, les modèles économiques ont commencé à traiter explicitement du rôle du stock de connaissances et d'idées (fruit de l'innovation) et du stock de capital humain en tant qu'intrants additionnels.

2.3 L'innovation schumpétérienne et la croissance

Schumpeter (1912, 1942) avait proposé une analyse dynamique du capitalisme qui faisait ressortir les mécanismes incitatifs des décisions des agents économiques et le rôle des institutions en mettant à l'avant-plan les concepts d'innovation, d'entrepreneur et de destruction créatrice. Le texte fondamental d'Aghion et Howitt (1992) et les nombreuses contributions de ces auteurs et de ceux qu'ils ont inspirés depuis 30 ans, comme en témoignent richement les différents chapitres dans Akcigit et Van Reenen (2023a), ont démontré théoriquement et empiriquement la place centrale de l'innovation dans la croissance durable.

En effet, le progrès technologique doit compter en bonne partie sur l'existence et d'entreprises innovantes par de nouvelles activités, productions ou façons de faire. En particulier, de nouvelles entreprises entrées sur le marché déplacent et rendent obsolètes les produits d'entreprises précédemment en place avec des technologies plus vieilles. Ces nouvelles venues bénéficient alors d'un avantage conféré par les innovations et, pour un temps, exercent un pouvoir de marché qui leur permet de dégager une rente de type monopolistique. Une partie de cette rente peut alors être réinvestie en recherche et développement pour de nouvelles innovations. Par contre, une autre possibilité est que cette rente puisse être employée pour prévenir l'arrivée de nouvelles innovations qui rendraient caduques les innovations précédentes, remplacer les anciennes technologies et mettre à risque les firmes qui leur sont associées. Ainsi, la R-D est à la fois créatrice et destructrice.

Le principe de destruction créatrice désigne le mécanisme continu d'innovation dans les produits et le processus par lequel de nouvelles unités de production remplacent les unités de production obsolètes. Il décrit ainsi le processus concurrentiel selon lequel les entrepreneurs cherchent constamment de nouvelles idées qui rendront les idées de leurs rivaux obsolètes. Une innovation réussie est normalement une source de pouvoir de marché temporaire, qui érode les profits et la position des entreprises anciennes, mais qui finira lui-même par succomber à la pression de nouvelles inventions commercialisées par des firmes concurrentes qui arrivent sur le marché. C'est pourquoi une croissance

⁶ En poursuivant l'analogie, on peut penser à beaucoup de chaudrons à récurer.

économique plus rapide implique généralement un taux de roulement des entreprises plus élevé, parce que le processus de destruction créatrice génère l'entrée de nouveaux innovateurs et la sortie d'anciens innovateurs.

Les trois idées maîtresses du paradigme de la croissance schumpétérienne d'Aghion et Howitt (2023) sont:

- 1) Comme les nouvelles innovations s'appuient sur les innovations antérieures, l'innovation cumulative est essentielle à la croissance à long terme et elle profite d'institutions qui favorisent la diffusion et la codification des connaissances.
- 2) La possibilité de retirer une rente à la suite d'une innovation est une incitation clé à investir en R-D, d'où notamment la protection de la propriété intellectuelle (p. ex., par des brevets).
- 3) La destruction créatrice se manifeste par l'obsolescence des innovations précédentes qui sont remplacées par les nouvelles innovations.

En somme, le taux de croissance tendancielle d'une économie est fonction positive de la probabilité d'innover et qui dépend de l'intensité de l'effort de recherche, elle-même définie en fonction du montant d'investissements en R-D relativement à l'ampleur de l'avancée escomptée par une ou des innovations, fussent-elles incrémentales ou radicales.

2.4 Pertinence empirique et faits stylisés

Dans la foulée d'Aghion et Howitt (1992), les 30 dernières années ont vu se développer une vaste littérature qui a permis de colliger diverses observations relatives à l'innovation, l'entrepreneuriat et la croissance et de tester nombre d'implications de la croissance schumpétérienne.

En ayant recours aux données microéconomiques sur la dynamique des entreprises, les différentes études empiriques ont permis de documenter plusieurs faits stylisés que nous résumons ici.^{7, 8}

1) *Croissance et innovation*

- a) L'étendue de la concurrence et la croissance économique affichent une corrélation positive.
- b) Les entreprises évoluant à proximité de la frontière technologique⁹ sont stimulées par la concurrence et l'entrée de nouvelles firmes. Cela encourage l'innovation et la croissance de

⁷ Ces constats sont évoqués et présentés notamment dans Aghion et Howitt (2014, 2023), Benedetti *et al.* (2022), Akcigit (2023) et Akcigit et Van Reenen (2023b) où on retrouvera les nombreuses études originales qui les ont documentés.

⁸ Dans les sections 2.4 et 2.5, des références plus précises sont identifiées en utilisant la nomenclature suivante : Aghion *et al.* (2020) [AAB 2020], Akcigit (2022) [A 2022], Akcigit (2023) [A 2023], Akcigit et Ates (2021) [AA 2021], Akcigit et Kerr (2018) [AK 2018], Akcigit et Stancheva (2021), [AS 2021], Akcigit et Van Reenen (2023) [AV 2023], Akcigit *et al.* (2018) [ASI 2018], Akcigit *et al.* (2022) [ABFILSM 2022], Agrawal *et al.* (2020) [ARS 2020], Baghana (2013) [B 2013], Benedetti et Sanchez-Martinez (2022) [ASM 2022], Benedetti *et al.* (2022) [BFISM 2022], Dechezleprêtre et Hémous (2023) [DH 2023], Hall (2021) [H 2021], Jones et Summers (2021) [JS 2021], Lerner (2021) [L 2021], Liu, Li, Wang et Yi (2023) [LLWY 2023], Stancheva (2023) [S 2023], Stern (2023) [S 2023], Teichgraeber et Van Reenen (2022) [TVR 2022].

⁹ La frontière technologique correspond aux combinaisons d'intrants qui livrent les niveaux les plus élevés de production atteignables, étant donné les technologies existantes et connues. Elle correspond ainsi au stade le plus avancé du développement technologique, ou technologie de production qui est la plus efficace à ce jour. L'innovation repousse la frontière au fil du temps.

la productivité au sein des firmes déjà établies, tout comme celles qui sont en concurrence directe (au « coude-à-coude ») avec leurs rivales.

- c) Pour les pays et les secteurs plus près de la frontière technologique, une plus grande ouverture au commerce extérieur, la diplomation au niveau d'études supérieures et un régime démocratique favorisent l'innovation et la croissance.
- d) Pour les pays situés plus loin de la frontière technologique, l'éducation primaire, secondaire et au premier cycle universitaire ont davantage de retombées en termes de croissance.

2) *Dynamisme des entreprises et innovation*

- a) Les entreprises faisant initialement face à un faible niveau de compétition sont fortement incitées à innover et à croître lorsque la concurrence devient plus intense, mais cet effet est plus faible, voire négatif, si les entreprises opéraient déjà dans un environnement fortement concurrentiel.
- b) Les taux de roulement associés à la création et à la disparition des entreprises et des emplois sont souvent plus élevés dans un contexte d'accélération de la croissance due à l'innovation.
- c) La distribution des entreprises selon leur taille est asymétrique où les petites entreprises représentent une très grande proportion.
- d) La taille et l'âge des entreprises sont corrélés.
- e) Le taux de sortie des petites entreprises a tendance à être plus élevé que celui des grandes entreprises, mais les petites entreprises qui survivent ont généralement un taux de croissance plus grand que la moyenne.
- f) Les entreprises déjà en place sont responsables d'une forte proportion de la R-D aux États-Unis.
- g) Les jeunes et petites entreprises sont davantage responsables des innovations plus radicales. [AK 2018, A 2023]
- h) Les grandes entreprises et en place depuis plus longtemps sont davantage responsables d'innovations plus incrémentales, notamment afin de diminuer l'émergence de nouveaux concurrents qui pourraient les surpasser. [AK 2018, A 2023]
- i) La réallocation des intrants entre les entreprises en place et les nouvelles entreprises sur le marché contribue significativement à la croissance.
- j) La tendance baissière dans le dynamisme des entreprises aux États-Unis est associée à un fléchissement dans la diffusion des connaissances en ce qui a trait à l'innovation incrémentale.
- k) Les investissements en R-D sont complémentaires à la productivité des entreprises, car elles sont plus à même de transformer les intrants de R-D en innovation. [AS 2021]
- l) Dans les secteurs où coexistent des entreprises leaders (en avance) et des entreprises en retard sur la frontière technologique, plus de concurrence, qui diminue le flux de profits des firmes non innovantes, et plus de protection des droits de propriétés intellectuelles (brevets) qui augmente le flux de profits des firmes innovantes, se complètent. [AH 2023]

- m) Les grandes entreprises américaines de 1000 employés et plus et en place depuis plus de 21 ans ont tendance à déplacer leurs inventeurs auparavant engagés dans la recherche de percée vers des activités misant sur des innovations pour défendre leur position concurrentielle déjà acquise. [AG 2023]

3) *Ouverture aux marchés internationaux*

Les retombées de la R-D étrangère sont plus importantes pour les petites économies ouvertes qui bénéficient davantage des retombées de la R-D étrangère que les grosses économies (p. ex., les États-Unis, le Japon et l'Allemagne). [H 2021]

4) *Fiscalité*

- a) Les crédits d'impôt à la R-D ont un effet significatif positif sur la R-D des petites entreprises. L'effet est particulièrement plus important si les crédits sont remboursables. [ARS 2020]
- b) Des taux marginaux d'imposition plus élevés tendent à avoir un effet négatif sur la quantité, la qualité et la localisation de l'innovation, notamment par une réduction du nombre de brevets et sur la localisation des innovateurs vedettes. [H 2021, A 2022]

Les dispositions fiscales dites de *boîtes à brevets* (« *patent box* »)¹⁰ pour alléger le fardeau fiscal sur les revenus tirés de la commercialisation des brevets détenus, en vue d'encourager la mobilité de la propriété intellectuelle et de l'innovation, ne semblent pas empiriquement avoir d'effets significatifs sur la quantité d'invention brevetable ou l'investissement en R-D dans un pays, lorsqu'on tient compte des caractéristiques des pays et des tendances observées. [H 2021]

5) *Le déclin du dynamisme économique américain observé depuis les années 1980* [AA 2021]

- a) La concentration dans les marchés a augmenté, tout comme les taux de marge bénéficiaire (markup).
- b) La part des profits dans le PIB a augmenté alors que la part du travail dans le PIB a diminué.
- c) La concentration dans les marchés et la part du travail dans le PIB sont négativement corrélées.
- d) L'écart de productivité du travail entre les leaders de l'industrie (affichant le 5% des entreprises avec le plus haut niveau de productivité du travail et donc les plus près de la frontière technologique) et les autres concurrents s'est creusé.
- e) On a observé un déclin dans le taux d'entrée des entreprises et la part des emplois dans l'économie attribuables aux jeunes entreprises (c.-à-d. de moins de cinq ans).
- f) Il y a eu une réduction à la fois dans la réaffectation et le taux de roulement des emplois (définis par rapport à la somme des emplois créés et disparus).
- g) La dispersion des entreprises en ce qui a trait à leurs taux de croissance a chuté avec la baisse d'activité des jeunes pousses en haute technologie.

¹⁰ Elles sont surtout employées en Europe, mais aussi en Israël, en Inde, au Japon et en Turquie. (voir Hall, 2021).

6) *Impact des incitatifs financiers québécois à l'innovation*

- a) Baghana (2013) a effectué une analyse très détaillée de l'impact des mesures financières directes et indirectes du gouvernement du Québec en appui à R-D et à l'innovation sur les entreprises québécoises. Ses différentes analyses utilisent des données qui s'étendent de 1997 ou après jusqu'en 2008, au plus tard.
- b) L'aide fiscale du gouvernement québécois aux entreprises, en sus à celle du gouvernement fédéral, est globalement la plus généreuse comparativement aux autres provinces, notamment en raison de la proportion relativement plus grande de crédits d'impôts remboursables.
- c) Les petites entreprises avaient davantage recours à l'appui financier du gouvernement que les grandes entreprises, bien que les plus grandes en recevaient la plus grande partie. De même, ce sont les entreprises de plus haute technologie qui en bénéficiaient le plus.
- d) L'évidence empirique montre que les crédits d'impôt à la R-D des PME basés sur les coûts de la main-d'œuvre n'ont pas d'effet significatif sur la proportion de chercheurs.
- e) L'aide fiscale basée sur le volume des dépenses en R-D n'est pas particulièrement efficace pour accroître le niveau de R-D en entreprise, et particulièrement auprès des grandes entreprises qui auraient poursuivi les mêmes activités même en l'absence de soutien public. L'effet net de cette forme d'aide est tout de même positif pour les petites entreprises, jusqu'à un certain seuil.
- f) Les crédits d'impôt à la R-D basés sur les incréments de dépenses en R-D contribuent significativement à accroître les investissements en R-D, nonobstant la taille des firmes.

Les subventions publiques directes et les crédits fiscaux à la R-D ont un effet positif sur la croissance de la productivité des entreprises et l'impact d'une combinaison des deux formes d'aide est plus grand que pour les firmes qui ont uniquement recours auxdits crédits d'impôt.

2.5 Implications et leçons pour les politiques économiques

Comme l'expliquent Benedetti-Fasil et Sanchez-Martinez (2022), les enjeux suivants sont souvent au cœur des réflexions sur la politique d'innovation : les meilleures pratiques politiques pour stimuler l'innovation par le secteur privé avec des impacts aussi importants que possible à l'échelle de la société; la diffusion de la technologie dans les pays et les entreprises, l'appréhension des innovations de rupture et les moyens de les promouvoir; le rôle de l'innovation hors R-D; et les rôles respectifs de la R-D publique de la R-D privée.

Les recensions de la littérature empirique par Bloom *et al.* (2019) et Teichgraeber et Van Reenen (2022) montrent que des instruments de politiques économiques bien conçus peuvent stimuler sensiblement l'innovation. Selon Teichgraeber et Van Reenen (2022), une combinaison de subventions à la R-D, de politiques qui redynamisent la concurrence et qui sont orientées vers une offensive claire sur le front de

<i>Politique</i>	<i>Qualité des données probantes</i>	<i>Caractère concluant des données probantes</i>	<i>Bénéfice net</i>	<i>Calendrier</i>	<i>Effet sur les inégalités</i>
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Subventions directes à la R&D	Moyen	Moyen	💡💡	Moyen terme	↑
Crédits d'impôt R&D	Élevé	Élevé	💡💡💡	Court terme	↑
Boîte à brevets	Moyen	Moyen	Négatif	s.o.	↑
Immigration qualifiée	Élevé	Élevé	💡💡💡	Court et moyen terme	↓
Universités : incitations	Moyen	Faible	💡	Moyen terme	↑
Universités : offre de STIM	Moyen	Moyen	💡💡	Long terme	↓
Commerce et concurrence	Élevé	Moyen	💡💡💡	Moyen terme	↑
Réforme de la propriété intellectuelle	Moyen	Faible	Inconnu	Moyen terme	Inconnu
Politiques axées sur la mission	Faible	Faible	💡	Moyen terme	Inconnu

Tableau 1 – Boîte à outils pour les politiques d'innovation.

C'est la lecture hautement subjective — selon le dire des auteurs — des éléments d'évidence empirique. La colonne #1 est le reflet d'un amalgame de plusieurs études et de la qualité de la conception de la recherche. La colonne #2 indique si les résultats empiriques existants appuient supportent toute conclusion politique ferme. La colonne #3 présente l'évaluation des auteurs quant à l'ampleur de l'écart entre les bénéfices et les coûts (lorsqu'il est apparemment positif). La colonne #4 indique si les principaux avantages (le cas échéant) sont probables sont attendus plutôt à court terme (environ dans les trois ou quatre prochaines années) ou à plus long terme (environ dix ans ou plus) ; s.o. signifie sans objet. La colonne #5 indique l'effet probable sur les inégalités. L'offre de STIM indique l'offre d'étudiants diplômés en science, en technologie, en ingénierie et en mathématiques.

Source : adaptation et traduction libre de Bloom et al. (2019)

la quantité et de la qualité de la main-d'œuvre est nécessaire. Le Tableau 1, tiré de Bloom *et al.* (2019), présente d'ailleurs une boîte à outils pour les politiques d'innovation inspirée par l'expérience et la littérature. Teichgraeber et Van Reenen (2022) suggèrent que le regroupement d'outils de politiques d'innovation adaptées et orientées sur des thématiques ciblées associées, par exemple, à des enjeux de changements climatiques, de la santé, etc., pourrait être porteur.

La littérature théorique et empirique récente a également permis de dégager plusieurs enseignements et implications pour guider les politiques publiques.

1) Innovation et externalités

Les bénéfices de la R-D pour la société sont généralement supérieurs à ses bénéfices privés, ce qui sous-tend un sous-investissement dans ses activités et motive l'existence d'aides financières de l'État pour les promouvoir, en plus du besoin de corriger des défaillances de marché. L'ensemble des retombées d'une innovation bénéficient également ultimement à d'autres entreprises qui peuvent reprendre l'innovation et/ou tirer parti de la R-D et des connaissances de l'innovateur original, sans oublier les consommateurs. [JS 2021, TVR 2022, LLWY 2023]

2) Croissance et innovation

- a) Dans un cadre d'analyse où les entreprises réalisent des innovations externes pour créer de nouveaux produits et capturer des marchés d'autres acteurs, tandis que les innovations internes améliorent les gammes de produits que les entreprises possèdent actuellement, l'hétérogénéité dans les formes d'innovation et l'ampleur des progrès associés est centrale

pour expliquer les différences en matière d'innovation entre les grandes et les petites entreprises. Aux États-Unis, la contribution de l'innovation externe à la croissance a récemment dépassé celle de l'innovation interne. Étant donné le rôle particulier que peuvent jouer les petites entreprises innovantes et les nouveaux entrants dans la croissance économique, ceci peut justifier un traitement fiscal préférentiel pour les petites entreprises engagées dans la R-D. [AK 2018, AS 2021]

- b) Ce qui importe le plus pour augmenter la productivité multifactorielle agrégée (et la productivité du travail) est: (i) la reconnaissance du rôle dominant des innovations à la frontière, spécialement pour une économie avancée; (ii) une large diffusion des technologies de pointe parmi les personnes, les entreprises, les industries et les pays; (iii) une dynamique de réallocation économique efficace vers une part accrue de production par les entreprises à forte productivité et s'éloignant des entreprises à faible productivité. [TVR 2022]

3) *Éducation*

L'accessibilité à l'éducation pour les futurs inventeurs potentiels est importante, car leurs idées créatives peuvent être une source de la croissance économique. [AS 2021, A 2022]

4) *Réallocation des ressources et efficacité*

- a) En favorisant la réallocation des ressources des entreprises en déclin et sortantes, une hausse du taux d'entrée des entreprises augmente le taux de croissance du PIB et de l'emploi et encourage le passage de nouvelles idées vers l'introduction de nouveaux produits sur le marché, d'où l'importance de réduire les barrières à l'entrée. [BFISM 2022]
- b) Des politiques visant à accroître la taille moyenne des petites start-ups donnent lieu à des gains d'efficacité. [BFISM 2022]
- c) Des subventions ciblées vers les entreprises innovantes et productives peuvent être plus efficaces que des subventions générales à tout un secteur ou des secteurs, en exploitant la sélection des firmes par le marché. [A 2022]
- d) Il faut se méfier des risques de saupoudrage et d'éparpillement que peut engendrer l'application d'un critère de « diversité géographique » menant au financement d'entreprises moins innovatrices.¹¹ [L 2021]

5) *Ouverture aux marchés internationaux*

Les barrières commerciales protectionnistes désincitent à innover et sont coûteuses à long terme, bien qu'à court terme, elles peuvent avantager temporairement les secteurs assujettis à la concurrence des importations à la condition de ne pas subir d'imposition de droits compensateurs imposés en représailles par les pays concurrents. [ASI, 2018] En encourageant l'innovation, une économie réduit le besoin en fonds publics pour subventionner l'innovation. [BFISM 2022]

¹¹ Par exemple, certaines zones d'innovation sont certainement justifiables, mais la tentation pourrait devenir grande de les multiplier artificiellement pour que chaque région ait la sienne.

6) *Fiscalité*

- a) La fiscalité et particulièrement les crédits d'impôt en appui à la R-D sont des incitatifs non négligeables pour que les entreprises soient plus innovantes et ainsi plus concurrentielles et qu'une économie soit plus attractive. [B 2013, A 2022]
- b) Un traitement particulier et préférentiel, dans une certaine mesure, en faveur des PME peut être motivé par le fait qu'elles tendent à manifester une intensité plus grande d'innovation, à améliorer la qualité de l'innovation et à produire des innovations radicales [AAB 2020]
- c) Les investissements en R-D des petites entreprises bénéficient des crédits d'impôt basés sur le volume et sur l'incrément de dépenses en R-D. L'effet pour les grandes entreprises tient uniquement au crédit incrémental. [B 2013]
- d) Il faut prendre garde au design des incitatifs fiscaux qui pourraient désinciter une entreprise à croître, ce qui pourrait se faire au prix de perdre des avantages fiscaux. [AAB 2020, TVR 2022]
- e) Il pourrait être utile que les taux marginaux de taxation, de crédits (ou même les subventions) soient fonction de l'intensité de la R-D de l'entreprise (p. ex., le ratio entre les dépenses en R-D et la taille de l'entreprise). [AAB 2020]
- f) Les taux d'imposition linéaires sur les profits des entreprises apparaissent comme étant assez efficaces pour stimuler les firmes innovantes, particulièrement lorsqu'ils sont couplés à une stratégie non linéaire de subventions à la recherche et développement (R-D). Cette combinaison permet d'ajuster les incitatifs fiscaux en fonction des caractéristiques spécifiques et de la productivité de chaque entreprise en matière de recherche, permettant ainsi une approche personnalisée. Les entreprises qui démontrent une plus grande rentabilité et une productivité de recherche élevée pourraient ainsi bénéficier de taux d'imposition réduits et de subventions à la R-D ajustées pour encourager l'innovation et la croissance. [AS 2022]
- g) Des taux marginaux d'imposition plus élevés peuvent imposer des coûts importants via des effets négatifs sur les incitations à innover, notamment en considérant le degré de mobilité des innovateurs. [A 2022]
- h) Une fiscalité élevée peut induire plus d'égalité, mais moins de mobilité sociale. [H 2021, A 2022]
- i) Un renforcement des infrastructures de recherche et du capital humain peut être plus porteur et efficace comme élément d'une politique d'innovation que simplement privilégier une course vers le bas de la taxation avec les concurrents (régions et pays). [S 2023]

7) *Innovation et changements technologiques dirigés*

Étant donné la base bien en place des technologies polluantes, les innovations dans le secteur des technologies propres et le passage vers leur adoption requièrent une combinaison de subventions directes à la R-D et de mécanismes de prix du carbone. [AH 2023, AV 2023, DH 2023, S 2023].

8) *L'innovation et la finance*

- a) Une source d'inefficacité de la finance en matière d'innovation peut survenir lorsqu'une entreprise délaisse ses objectifs de R-D et accorde une attention indue aux attentes des marchés financiers, notamment si elles sont trop court-termistes. [AAB 2020]
- b) Le capital de risque joue un rôle important s'il est performant à sélectionner, à appuyer et à accompagner les nouvelles entreprises à fort potentiel de croissance et d'innovation et qu'il a l'expérience de la pratique entrepreneuriale et le savoir technologique pour aiguiller les start-ups. [AAB 2020].
- c) Toutefois, il y a le risque de recherche rapide de voies de sortie rapide. Ce problème qui joue parfois trop souvent au Québec, en particulier, étant donné la taille limitée du nombre de joueurs financiers et la proximité du marché et des investisseurs américains, sans compter sur l'attrait d'encaisser un gain financier certain plus rapide, mais avec une perte de revenus futurs possiblement plus importants (quoiqu'incertain) sur une plus longue période.
- d) Les investisseurs institutionnels, plus actifs en Amérique du Nord, peuvent prendre le relais du capital-risque à des stades plus avancés, tout comme elles peuvent contribuer à favoriser l'innovation dans les grandes entreprises en contrant la frilosité des managers des grandes entreprises à innover. [AAB 2020].
- e) L'expérience avec le capital de risque a permis d'identifier des caractéristiques éprouvées, dont l'appariement de fonds par plusieurs partenaires, ainsi que l'échelonnement et le financement par rondes ou étapes. [L 2021]

9) *Le marché et la diffusion des idées*

- a) La diffusion des idées est critique dans la production d'innovations. Dans un contexte collaboratif, le partage d'idées et l'interaction d'un innovateur avec d'autres innovateurs avec des connaissances additionnelles ou des talents et expertises différentes ont un impact positif sur les connaissances et la production d'innovations de meilleure qualité. La productivité des innovateurs est accrue individuellement (avec la pratique, l'éducation formelle, l'expérience et la découverte personnelle) et par les rencontres et les interactions avec d'autres innovateurs. [AS 2021]
- b) Le marché secondaire des brevets contribue sensiblement à la productivité globale, en étant favorable à une meilleure utilisation des innovations et des idées et une allocation aux meilleurs utilisateurs. Une utilisation plus généralisée des nouvelles technologies est au moins aussi importante que leur invention pour accroître l'impact économique. [A 2022, AVR 2022, ABFILSM 2022, BFISM 2022]

10) *Pour augmenter les chances de succès des instruments de politiques d'innovation*

- a) Il faut s'attaquer aux enjeux de coordination des moyens et des acteurs. [AAB 2020]
- b) Ceci peut justifier l'utilité d'organiser la recherche autour d'un objectif précis ou de thématique ciblée.

11) Innovation, conjoncture et politiques économiques

- a) Lorsque les entreprises sont sujettes à des contraintes de crédit lors de perturbations cycliques, des politiques macroéconomiques de stabilisation peuvent être propices à maintenir les activités de R-D et à l'innovation. [AAB 2020]
- b) Afin que les décisions privées de R-D ne soient pas assujetties aux fluctuations cycliques conjoncturelles, les politiques conjoncturelles conventionnelles sont certes justifiées. Nous ajoutons toutefois que la prévisibilité et la patience sont de mises à pour que les projets de R-D demeurent sur les rails. C'est pourquoi le financement de l'État à des projets de R-D de qualité devrait être prémuni de fluctuations dans le soutien gouvernemental consenti, nonobstant la forme qu'il prend (subventions, abattement ou crédits).

3. Une comparaison d'indicateurs macroéconomiques de l'innovation : Québec, Canada et international

Les questions reliées à l'identification et aux mesures des déterminants, ainsi que des effets de l'innovation sont incontournables pour reconnaître les avantages comparatifs et les potentiels de croissance et de rendements pour un pays, une région, un secteur économique, de même que pour une entreprise. Ces sujets ont une portée hautement pratique. À cette étape-ci, nous nous tournons vers divers indicateurs plutôt agrégés de l'innovation.

3.1 Quelques indicateurs agrégés : le Canada, le Québec et le reste du monde

Plusieurs sources de données plutôt agrégées ou macroéconomiques permettent de brosser un portrait sommaire de caractéristiques associées à une économie dite propice à l'innovation.¹² Une analyse détaillée faisant appel à un grand éventail d'indicateurs avec les données les plus récentes disponibles serait certes utile et intéressante, d'autant plus, si elle se penchait empiriquement sur l'identification formelle de relations causales entre les indicateurs et les résultats, mais cela dépasse la portée de la réflexion à ce stade et exigerait plus de temps. Nous y reviendrons subséquemment dans une proposition plus loin.

En vertu de l'indice mondial de l'innovation 2022¹³, par exemple, le Canada se trouve au 15^e rang de l'ensemble des 132 pays considérés et au 14^e rang des 51 économies à revenu élevé, notamment derrière la Suisse, les États-Unis, la Suède, le Royaume-Uni et les Pays-Bas, l'Allemagne, la Finlande et le Danemark. (Voir World Intellectual Property Organization, 2022). Parmi les 51 économies à revenu élevé, le Canada est 8^e en ce qui a trait au sous-indice associé à l'input de l'innovation, et 22^e selon le sous-indice associé à l'output de l'innovation. En particulier, il se classe au 29^e rang pour l'indicateur

¹² L'OCDE, la Commission européenne et le Conference Board recueillent ou regroupent différentes variables permettant certaines comparaisons entre pays ou régions et une certaine évolution historique de l'innovation. L'OCDE produit un tableau de bord de l'innovation. La Commission européenne suit aussi un Tableau de bord européen de l'innovation, un Innobaromètre et un Moniteur régional de l'innovation. Voir, par exemple, OCDE (2023). D'autres classements et mesures de l'innovation sont l'Indice global de l'innovation publié par le World Intellectual Property Organization (WIPO), le Bloomberg Innovation Index 2023, basé sur les données de 2021. Voir l'appendice B.

¹³ L'indice mondial de l'innovation 2023 du WIPO paraîtra le 27 septembre prochain.

rattaché aux infrastructures et 22^e pour celui rattaché aux résultats des connaissances et de la technologie.

Pour les fins de ce document, afin de présenter un état de situation sommaire, nous nous référons à un bilan compilé par le Conference Board (2021) qui a regroupé des variables disponibles publiquement sur différents sites (dont ceux de l'OCDE, de la Banque mondiale et de Statistique Canada) en 3 classes d'indicateurs de l'innovation pré-COVID. Nous mettons aussi en exergue certains des chiffres obtenus avec des interprétations complémentaires.

La capacité à innover est représentée par la recherche publique en R-D, le nombre d'articles scientifiques publiés, un indice de vulnérabilité à l'automatisation. L'activité d'innovation est associée à l'ambition entrepreneuriale, aux investissements en capital de risque et à la R-D au sein des entreprises. Les résultats de l'innovation sont évalués en fonction du nombre de brevets enregistrés, du taux d'entrée des entreprises et de la productivité horaire du travail.

À l'aide de ces variables, le Conference Board du Canada transforme ces données en indicateurs normalisés de l'innovation, puis en note littérale, ce qui facilite graphiquement leurs comparaisons et leurs représentations. Les graphiques présentés dans les prochaines sous-sections ont été construits à partir des données reproduites par le Conference Board du Canada (2021).^{14, 15}

3.2 Note globale du Canada, des provinces canadiennes et de différents pays comparables

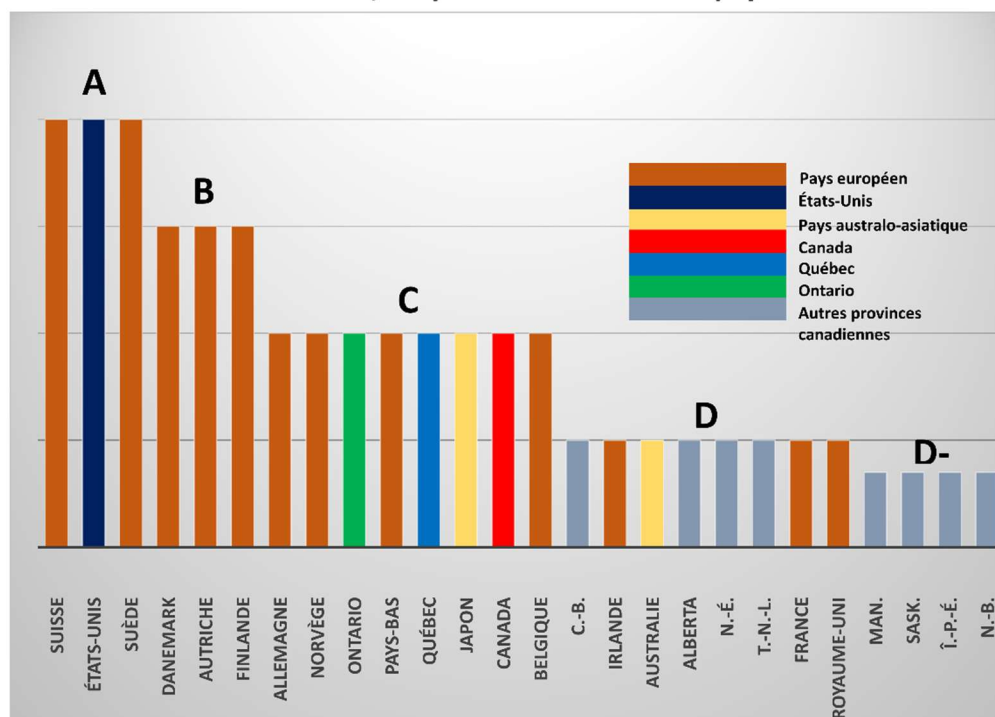
Avec raison, les contextes économique et géopolitique ne peuvent pas nous laisser indifférents face à la performance relative du Canada et du Québec en ce qui a trait aux enjeux d'innovation. Les défis démographiques, les tensions commerciales, les courants de protectionnisme, les conséquences des changements climatiques sans compter la volatilité du prix des ressources et matières premières se combinent pour faire ressortir les faiblesses de l'économie canadienne et québécoise en matière d'innovation. Tout n'est ni tout noir, ni tout blanc, mais la tendance de croissance de potentiel économique est insuffisante pour maintenir le niveau et la qualité de vie souhaitée par les citoyens.

Une note globale de l'innovation est calculée à partir d'une simple moyenne non pondérée des indicateurs normalisés. En juin 2021, le calcul du Conference Board a accordé au Canada la note globale

¹⁴ L'annexe A présente un descriptif de ces variables et l'approche employée pour construire les indicateurs du Conference Board.

¹⁵ Nous avons reproduit les indicateurs présentés par le Conference Board du Canada en date de juin 2021 à partir des variables disponibles publiquement sur plusieurs sites officiels de différentes organisations. Il faut noter que certaines statistiques réfèrent à des périodes antérieures en fonction de la disponibilité des données. Certaines variables, telles que l'indice de vulnérabilité à l'automatisation et le taux d'entrée des entreprises, ne sont pas compilées ou ne sont rapportées que pour les provinces canadiennes. Pour ce qui est de la vulnérabilité à l'automatisation, les ingrédients comparables n'ont été rassemblés sur une forme comparable que pour le Canada. Voir Sonmez (2020). Pour ce qui est du taux d'entrée des entreprises, la mesure employée par l'OCDE et par Statistique Canada pour les provinces est différente, car l'OCDE ne dénombre pas les entreprises à propriétaire unique et les entreprises autonomes alors que Statistique Canada en fait abstraction uniquement lorsque lesdits individus ne reçoivent pas de salaire. (Voir Conference Board du Canada, 2021).

Figure 1
Bulletin comparatif de l'innovation du Conference Board du Canada 2021:
le Canada, ses provinces et 16 autres pays



Source: Graphique construit en se référant aux données du Conference Board (2021), Statistique Canada. (Voir Annexe A).

de C au chapitre de l'innovation, le positionnant au 11^e rang parmi les 16 pays considérés à la Figure 1, ce qui est à tout le moins préoccupant.

En incluant les provinces canadiennes dans le classement, l'Ontario et le Québec se méritent également une note globale de C, respectivement en 9^e et 11^e position parmi les 26 pays et provinces canadiennes, mais se situent un peu à l'avant de l'ensemble du Canada au 13^e rang. De plus, comme le rapporte le Conference Board du Canada (2021), l'Ontario et le Québec ont affiché un glissement de 2 positions par rapport au classement précédent de 2018.

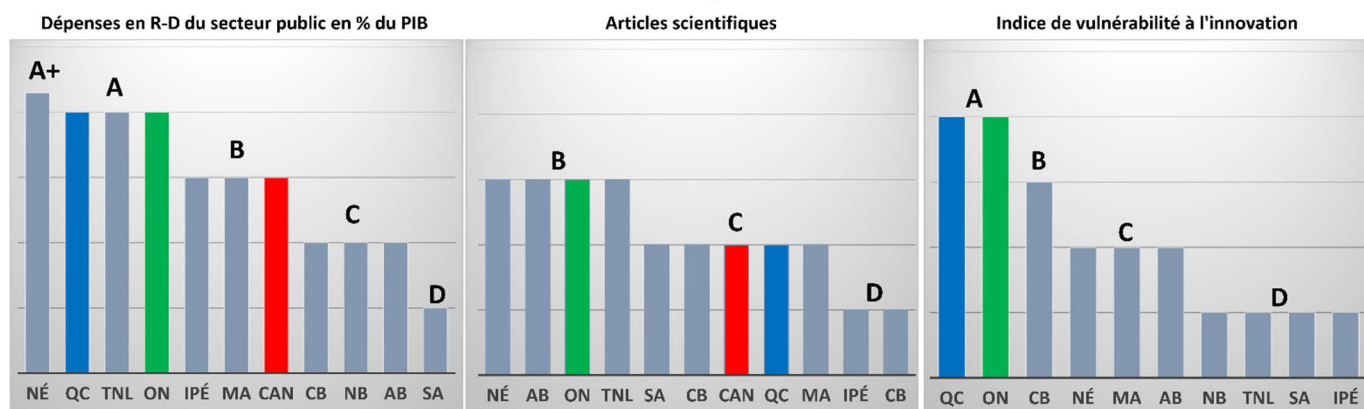
Par ailleurs, tout en étant déjà révélatrice, cette note globale ne permet pas de mettre en exergue les forces et faiblesses relatives de chaque pays ou région.

3.3 Comparaison des provinces canadiennes aux chapitres de la capacité à innover, des activités d'innovation et des résultats d'innovation

3.3.1- La capacité à innover

Au chapitre de la capacité à innover, un examen des indicateurs retenus par le Conference Board du Canada (2021), regroupés à la Figure 2, montre que le Québec fait relativement bonne figure au chapitre de la R-D publique tant au Canada que relativement aux autres pays de comparaison, au 2^e rang des 10 provinces canadiennes (ci-après appelé groupe des 10) avec un A et au 5^e rang des 16 pays et 10

Figure 2
Indicateurs de la capacité à innover



Source: Graphique construit en se référant aux données du Conference Board (2021), Statistique Canada. (Voir Annexe A).

provinces (ci-après appelé groupe des 26). Cependant, en regard du nombre d'articles scientifiques par million d'habitants, en 2018, le Québec se retrouve uniquement au 8^e rang parmi les 10 provinces et au 18^e rang parmi les 26 pays et provinces canadiennes. Cette statistique pourrait être relativisée si nous disposions d'une comparaison récente de la qualité ou de l'impact desdits articles scientifiques.¹⁶

Le Québec, suivi de l'Ontario, s'avère en excellente position et les moins exposés pour ce qui est de la vulnérabilité aux technologies d'automatisation.¹⁷

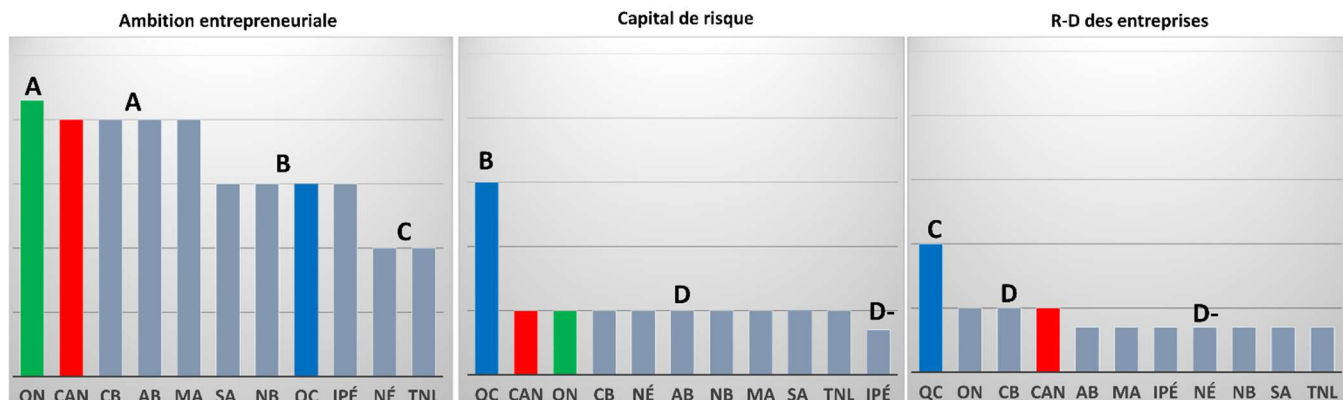
3.3.2- Les activités d'innovation

Quant au chapitre des activités d'innovation à la Figure 3, l'ambition entrepreneuriale réfère à la part de la population âgée entre 18 et 64 ans se déclarant être engagée dans une activité entrepreneuriale de démarrage. Sur la base des statistiques de 2019, comparativement au A+ affiché par l'Ontario au 1^{er} rang du groupe des 10 et du groupe des 26, avec un B, Québec se classe au 8^e rang du groupe des 10 et au 9^e rang du groupe des 26. En comparaison, les États-Unis occupent le 4^e rang du groupe des 26, avec un A, juste derrière l'Ontario, le Canada et la Colombie-Britannique. En 2019, avec 12,9%, le pourcentage des 18-64 ans associé à des entrepreneurs en devenir ou exploitant une nouvelle entreprise du Québec est 74,1% de celui des États-Unis et 63,2% de celui de l'Ontario. La performance du Québec en 2019 (avant la pandémie) est donc particulièrement préoccupante d'autant plus que, par rapport à 2016, le Québec a connu un recul marqué de 13,4% pendant que l'Ontario, le Manitoba, la Nouvelle-Écosse et la

¹⁶ Pour comparer l'impact de la recherche, le Comité d'experts sur l'état de la science et de la technologie et de la recherche-développement industrielle au Canada (2018) a employé un indicateur de la quantité de citations des publications scientifiques dans une juridiction relativement à la moyenne mondiale sur la période 2009-2014. À ce chapitre, l'Ontario et le Québec se classaient alors respectivement au 4^e sur un groupe formé de 10 pays et 10 provinces canadiennes pour lesquelles les données étaient disponibles, comparativement au 10^e rang sur 20 pour le Canada.

¹⁷ L'indicateur de vulnérabilité à l'automatisation de Sonmez (2020) est construit en équipondérant cinq variables. Il tient compte : du pourcentage de la population active occupant des postes dans des professions caractérisées avec un risque élevé et une faible mobilité; du coût économique moyen de la transition professionnelle lié à la formation requise pour changer de profession; de la proportion de la population active dans des professions avec une perspective sur 10 ans de croissance des postes vacants inférieurs à la moyenne; de la proportion de la population active âgée de 55 ans et plus; et de la proportion de la population active possédant au plus un diplôme d'études secondaires.

Figure 3
Activités d'innovation



Source: Graphique construit en se référant aux données du Conference Board (2021), Statistique Canada. (Voir Annexe A).

Colombie-Britannique progressaient respectivement de 17,2%, 13,9%, 13,0% et 5,8%. La variation dans le même indicateur se situait entre -2,4% et 0 % dans les autres provinces. Nous conjecturons que la situation québécoise est possiblement liée au vieillissement de la population, jumelé au marché du travail particulièrement favorable en emplois disponibles. Néanmoins, étant donné la contribution relativement importante des entreprises en démarrage avec l'innovation, le constat mérite d'être souligné.

La seconde variable dans cette catégorie fait référence au pourcentage du PIB associé à l'investissement en capital risque. À ce titre, avec un B, le Québec affiche la meilleure performance des provinces canadiennes sur la période 2017-2019 et la deuxième meilleure performance dans le groupe des 26 (par rapport à la moyenne des pays sur la période 2018-2019). De fait, les investissements en capital de risque en pourcentage du PIB au Québec (à 0,33%) sont plus du double de celui du Canada dans son ensemble au 3^e rang sur 26 pays (à 0,16%, avec un C) et provinces canadiennes et de l'Ontario au 4^e rang (à 0,15%, avec un C). Notons toutefois que les États-Unis sont au premier rang avec un A et 0,62%, ce qui représente près du double du chiffre du Québec.

Finalement, sur la base des données disponibles, en ce qui a trait aux dépenses en R-D des entreprises, malgré un C, le Québec fait mieux que les 10 autres provinces. Cependant, avec 1,37%, sa performance le situe seulement au 12^e rang par rapport aux 16 pays et 10 provinces considérées dans la comparaison. Qui plus est, le Québec comme la plupart des provinces (sauf la Colombie-Britannique et l'Île-du-Prince-Édouard) ont exhibé une chute des dépenses en R-D des entreprises entre 2014 et 2017. Cette tendance baissière est d'ailleurs une caractéristique plutôt générale pour le Canada, le Québec et l'Ontario depuis 2001, avec l'affaiblissement du secteur manufacturier dans les provinces centrales.

En comparaison, depuis une vingtaine d'années, la R-D des entreprises a connu une tendance haussière aux États-Unis et dans la plupart des 16 pays considérés, à des rythmes divers – la Finlande, l'Irlande et l'Australie faisant exceptions. Étant donné la corrélation fortement positive entre les dépenses en R-D des entreprises et le nombre de brevets par habitant, on ne doit donc pas sous-estimer l'importance de cet indicateur. Lessard (2021) montre d'ailleurs une tendance décroissante et des baisses considérables de la contribution relative des entreprises commerciales dans les dépenses intérieures brutes en R-D, tant dans l'exécution de la R-D (de 64,8% à 55,3% entre 2001 et 2018) que dans son financement (de 57,3% à 45,3% sur la même période).

3.3.3- Les résultats d'innovation

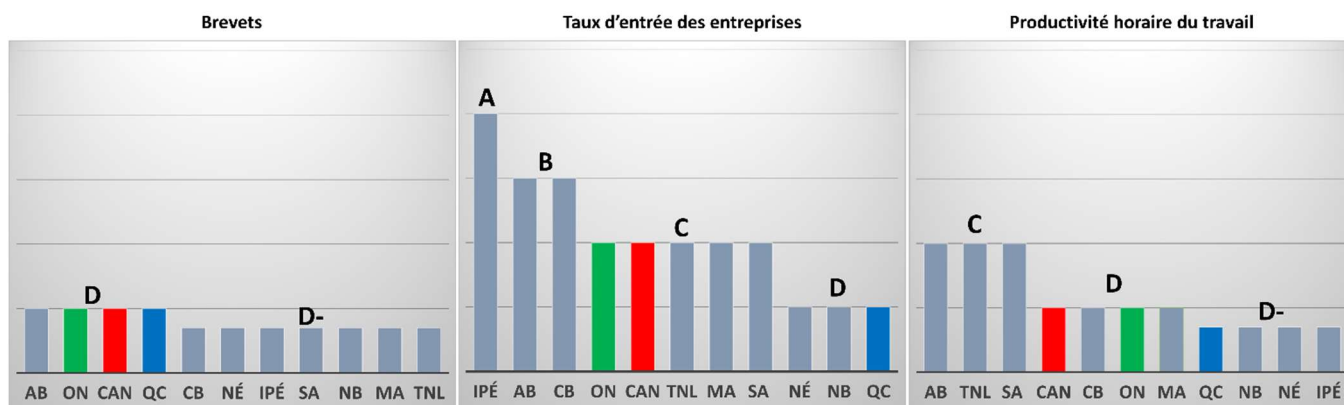
Alors que les indicateurs des catégories précédentes offrent un bilan partagé pour le Québec en matière d'innovation, les indicateurs classés comme appartenant à la catégorie des résultats de l'innovation, à la Figure 4, sont particulièrement inquiétants.

Avec un D, la performance du Canada, du Québec et de l'Ontario pour ce qui est du nombre de brevets par million d'habitants en 2017, bien qu'elle surpasse les six autres provinces. De fait, dans le groupe des 26, l'Ontario est au 14^e rang (avec une valeur de l'indicateur de 94,58), le Canada est au 17^e rang (avec 80,54) et le Québec au 18^e rang (avec 77,33). Les trois premiers pays du groupe des 26, qui affichent un A, sont le Japon (avec 355,51), la Suède (avec 324,10) et la Suisse (avec 317,53). Par rapport à 2013, les pays du peloton de tête ont amélioré leur performance, pendant que la situation des provinces a soit stagné, soit régressé.

Une autre source de préoccupation à ce titre, est la capacité démontrée à convertir la R-D des entreprises en brevets. Le Conference Board du Canada (2021) a calculé que pour 2017, pendant que le Japon et la Finlande produisent respectivement 0,34 et 0,31 brevet par millions de dollars américains, le Canada en produit 0,20, ce qui est dans la moyenne du groupe des 26, malgré une excellente performance de la Nouvelle-Écosse (avec 0,43), de l'Alberta et de l'Île-du-Prince-Édouard (tous deux avec 0,37) qui devancent notamment, le Japon (0,34), la Finlande (0,31), les Pays-Bas (0,31) et la Suède (0,27), pour former ensemble les 7 premiers pays ou provinces. L'Ontario est au 11^e rang avec 0,21, mais le Québec est au 22^e rang avec 0,15. Tout en reconnaissant que la structure industrielle et économique des pays et des provinces peut sous-tendre en partie les chiffres observés, l'écart est suffisamment important, à notre avis, cela n'augure déjà pas très bien en ce qui a trait à la compétitivité des entreprises canadiennes dans leur ensemble, mais l'état de situation est même exacerbé pour le Québec si elle n'est pas corrigée.

En ce qui concerne, le taux d'entrée des nouvelles entreprises, les résultats relatifs du Québec ne sont pas plus reluisants, avec un D et une 10^e position au classement des provinces canadiennes. Avec une statistique plus ou moins proche pour comparer les pays, le Canada est 9^e sur 14 pays dont les données sont disponibles en 2013. Cet indicateur peut refléter qu'une baisse de la concurrence et des

Figure 4
Résultats de l'innovation



Source: Graphique construit en se référant aux données du Conference Board (2021), Statistique Canada. (Voir Annexe A).

perspectives de développement de marchés qui se conjuguent alors pour inhiber les incitatifs à innover, d'autant plus pour les entreprises québécoises et canadiennes qui se ressentent en retrait du peloton de tête des entreprises du même secteur ici et à l'extérieur de leur région ou du pays.

Malheureusement, il s'avère d'ailleurs que la productivité moyenne horaire du travail n'est pas vraiment plus reluisante. En effet, les provinces canadiennes affichent au mieux un C pour les trois premières, un D pour le Canada, la Colombie-Britannique, l'Ontario et le Manitoba, et un D- pour le Québec et les provinces restantes. Plus précisément, en 2019, alors qu'avec un A, l'Irlande en 1^{re} place a un PIB par heure travaillée de 102,71 \$ US de 2010, 2 pays ont un B avec une productivité du travail entre 74,99 et 84,30, 12 pays et provinces ont un C avec des valeurs entre 61,76 et 74,46, suivis de 7 pays et provinces avec un D, puis 4 provinces avec un D-. Pendant que les États-Unis sont au 6^e rang avec une productivité du travail de 71,78 \$ US de 2010, le Canada est au 18^e rang avec une productivité de 52,68, l'Ontario est au 20^e rang avec une valeur de 50.40, puis le Québec occupe la 23^e place avec une valeur de 46.53, soit à 92,3 et à 64,8% des productivités du travail ontarienne et américaine, respectivement.

Comme l'explique le Conference Board du Canada (2021), ces

«faibles niveaux de productivité indiquent une faible innovation et représentent un défi pour la prospérité économique future et le bien-être sociétal de la plupart des provinces. [...] Ces proportions ont diminué depuis le bulletin précédent et se sont détériorées depuis des décennies. Cela signifie que la plupart des provinces ne suivent pas le rythme de la concurrence avec les États-Unis et d'autres partenaires et concurrents internationaux en ce qui a trait à l'innovation et d'autres mesures visant à améliorer la productivité.»
[Traduction libre].

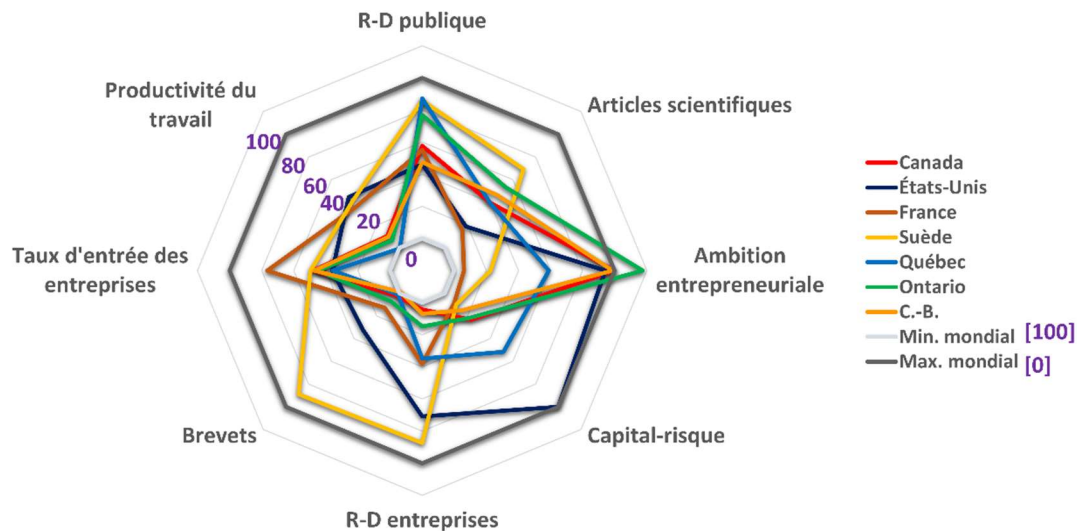
3.4 Performance relative multidimensionnelle du Québec en innovation : comparaison avec une sélection de pays et de provinces

La Figure 5 permet de comparer visuellement la performance du Québec avec celles d'autres provinces (la Colombie-Britannique et l'Ontario), le Canada, les États-Unis et la Suède sur une base multidimensionnelle. De plus, en normalisant la meilleure et la pire performance relative d'un des 16 pays considérés à 100 et 0, respectivement, cette image radar donne un portrait de la performance relative multidimensionnelle du Québec. Cette représentation graphique a aussi l'avantage aussi de ne pas masquer les forces et faiblesses relatives à l'intérieur d'une moyenne non pondérée des 10 indicateurs.

On y constate que le Québec se démarque positivement en termes relatifs au Canada pour l'indicateur de capital de risque, la R-D publique et la R-D en entreprise. Par contre, il fait relativement très mauvaise figure en regard de la productivité du travail et du nombre de brevets, tout en tirant de l'arrière en termes de l'indicateur d'ambition entrepreneuriale.

Les États-Unis surpassent le Québec en termes relatifs pour la productivité du travail, l'ambition entrepreneuriale, les investissements en capital de risque, la R-D des entreprises, et le nombre de brevets. On note cependant que le Québec, l'Ontario et le Canada exhibent des valeurs plus élevées pour les indicateurs associés à la R-D publique et les articles scientifiques. Le taux d'entrée des entreprises est du même ordre aux Québec et aux États-Unis, mais quelque peu supérieur en Ontario et en Colombie-Britannique.

Figure 5
Performance relative en innovation
Québec versus une sélection de pays et de provinces



Source: Graphique construit en se référant aux données du Conference Board (2021), Statistique Canada. (Voir Annexe A).

Notons que les indicateurs pour la Suède sont plus beaucoup plus élevés que ceux des États-Unis au chapitre de la R-D publique, du nombre de brevets, de la R-D des entreprises, il est plus élevé pour le taux d'entrée des entreprises et assez proche pour la productivité horaire du travail. En revanche, ils sont plutôt loin derrière pour le capital de risque et l'ambition entrepreneuriale.

Enfin, la France se distingue favorablement aux autres en termes de taux d'entrée des entreprises, elle investit moins que le Québec en R-D publique, quoiqu'environ autant que le Canada et un peu plus qu'en Colombie-Britannique et aux États-Unis, mais elle fait moins bien que tous les autres considérés dans la comparaison du groupe inclus à la Figure 5 pour les autres indicateurs.

4. La complémentarité de la recherche publique et de la recherche privée : un filon à enrichir

Comme discuté à la section 3, alors que plusieurs indicateurs associés à l'innovation sont relativement peu reluisants en comparaison aux autres provinces et surtout avec d'autres pays, le pourcentage du PIB consacré à la R-D est un des indicateurs les plus positifs, en positionnant le Québec au 5e rang du groupe formé des 10 provinces canadiennes et de 16 pays.¹⁸ Il est donc pertinent de s'interroger si et comment la R-D publique peut constituer un levier pouvant enclencher un effet d'entraînement sur d'autres facteurs menant à un accroissement de l'innovation et du taux de croissance économique.

4.1 L'actionnement de la R-D publique comme levier : leçons de l'expérience française

Bergeaud *et al.* (2022) ont récemment développé une nouvelle mesure de proximité scientifique entre les groupes de recherche publics et les secteurs industriels français dans le cadre du programme français

¹⁸ Il serait vraisemblablement pertinent et utile d'analyser en plus de détails les formes de déploiement de la R-D publique et les comparer avec les meilleures pratiques ailleurs, mais ceci est au-delà du présent document.

LabEx, ou *Laboratoires d'Excellence*, et ont utilisé le financement du programme pour estimer l'impact causal de la recherche publique sur les résultats du secteur privé entre 2005 et 2018, avant et après l'instauration du programme.

En 2009, dans la foulée de la Crise économique et financière mondiale, une commission présidée par les deux anciens Premiers ministres Alain Juppé et Michel Rocard avait eu pour mandat de formuler des propositions pour réduire le retard d'innovation français. Ce rapport amena le Président Nicolas Sarkozy à lancer en 2010 la première édition du *Programme d'investissements d'avenir* (PIA1), qui a été suivi de trois autres éditions par des gouvernements successifs, soit les PIA2 en 2014, PIA3 en 2017 et PIA4 en 2021, toujours en cours. La mise en œuvre du programme *LabEx* est un des éléments clés du PIA, sous la supervision de l'*Agence Nationale de la Recherche*.

En vertu du programme *LabEx*, une allocation de 1,5 milliard d'euros a permis de financer 170 regroupements académiques dans divers domaines scientifiques, chacune autour d'une thématique commune, potentiellement liée à de nombreux secteurs industriels. L'évaluation des propositions soumises est faite par un jury international lors de concours. Les critères d'évaluation sont basés sur le potentiel du projet de recherche en termes d'innovation et d'impact, la qualité des équipes et des installations, la pertinence des objectifs du projet de recherche, l'implication dans la formation académique, l'organisation et la gestion, la stratégie institutionnelle (universités et instituts de recherche), l'adéquation du projet / des moyens et la capacité à générer des ressources. L'approche est qualifiée d'administrativement souple et basée sur le leadership scientifique.

Déjà, l'analyse d'impact de Carayol *et al.* (2022a) rapporte les impacts directs du programme *LabEx*^{19, 20}:

- un renforcement de la mobilité thématique des personnels vers le sujet du projet et sur la structuration locale de la recherche;
- une hausse de 30% des collaborations de recherche avec les membres d'une même *LabEx*;
- une augmentation du nombre de brevets obtenus par les membres des *LabEx*, surtout dans les domaines de la biologie (+76%) et de la chimie (+84%);
- une hausse du nombre d'emplois en R-D de 3 à 10% dans les régions des projets et de 5 à 20% dans les entreprises innovantes de ces régions.

L'analyse économétrique rigoureuse²¹ de Bergeaud *et al.* (2022) fait ressortir l'importance de la collaboration entre les secteurs public et privé dans le contexte de la recherche et de l'innovation. Les auteurs trouvent empiriquement que, suite à l'instauration du programme *LabEx*, la proximité

¹⁹ Voir <https://www.gouvernement.fr/les-evaluations-du-pia-par-thematique>.

²⁰ Carayol *et al.* (2022a) ont procédé à une évaluation ex post de l'ensemble des Programmes d'Excellence, qui comprenaient non seulement *LabEx*, mais également *IDEX / ISITES* et *IDEFI*. Conjointement, ils ont estimé que « les Programmes d'Excellence ont bénéficié de près de 397 millions d'euros de subventions et de près de 11 milliards de dotations non consommables. Les dotations non consommables ont généré un rendement financier qui a profité aux établissements sélectionnés, pour un total de 2,9 milliards d'euros décaissés fin 2021. Ces programmes ont également engendré des cofinancements à hauteur de 2,5 milliards d'euros » (Carayol *et al.*, 2022b).

²¹ Les chercheurs utilisent des méthodes robustes visant à garantir, autant que possible, que les variations observées dans les retombées sont causées par la proximité scientifique entre les groupes de recherche publics et les entreprises privées. Ils écartent les inquiétudes concernant le caractère aléatoire de l'exposition des industries au programme et l'endogénéité potentielle du choc de financement.

scientifique entre la recherche publique et les entreprises privées a un impact positif sur les dépenses et les résultats de R-D des entreprises :

- Les entreprises dans les régions et les secteurs fortement exposés au programme augmentent significativement leurs effectifs en R&D après le début du programme, avec une augmentation de plus de 20 % des dépenses salariales pour les travailleurs en R-D dans les entreprises les plus exposées.
- Des impacts significatifs ont également été constatés sur les sorties du processus de R-D, notamment sur la création de nouvelles installations et la production de nouveaux brevets dans les secteurs les plus exposés.

Les chercheurs ont également exploré les mécanismes sous-jacents de ces retombées positives et ont mis en évidence l'importance des contrats entre les entreprises et les groupes de recherche publics. Ils identifient trois canaux principaux des retombées de la recherche publique aux entreprises privées :

- la collaboration directe et des contrats formels entre les chercheurs des groupes de recherche et les entreprises (p. ex., les contrats spécifiques – dont la sous-traitance de la recherche par les entreprises— des partenariats de recherche public-privé, la cotutelle de doctorat et des accords de licence de brevets académiques);
- la mobilité des chercheurs du secteur public vers le secteur privé ou la création de start-ups;
- les contacts informels entre les chercheurs des secteurs public et privé lors d'événements organisés par le *LabEx*.

Ces trois canaux ont joué un rôle dans les retombées positives, mais le « canal contractuel » a joué un rôle central, dans 75% des cas.

L'étude met en évidence l'importance des interactions entre la recherche publique et le secteur privé, et suggère que le financement de la recherche publique peut être un instrument politique puissant pour stimuler la R-D du secteur privé par un ciblage adéquat des entreprises à forte intensité de recherche, qui sont les mieux capables de tirer parti des résultats de la R-D publique.

4.2 Le contexte québécois du maillage privé, public et universités en innovation

Le maillage entre le secteur privé, le secteur public et les universités en matière de recherche est un élément essentiel pour la valorisation de la recherche universitaire en vue de sa commercialisation. Cette collaboration intersectorielle crée un écosystème favorable à la transformation des découvertes scientifiques en produits et services concrets. Les universités (sans oublier les Centres collégiaux de transfert technologique et les centres d'innovation industriels) génèrent, en tant que foyers de recherche, une précieuse réserve de connaissances et d'innovations, tandis que le secteur privé apporte l'expertise commerciale, les ressources financières et l'infrastructure nécessaires au développement et à la commercialisation de ces technologies. Le secteur public peut faciliter cette collaboration en offrant des incitations financières, des infrastructures de recherche de pointe et un cadre réglementaire propice à la propriété intellectuelle. L'objectif ultime de ce maillage est de favoriser le transfert de technologies et de connaissances des universités vers le secteur privé, contribuant ainsi à stimuler l'innovation, à créer des emplois et à renforcer la compétitivité économique.

Aux États-Unis, ce modèle de maillage est particulièrement efficace. Les universités américaines, leaders mondiaux en recherche, s'associent au secteur privé, soutenues par des politiques telles que le Bayh-Dole Act de 1980, qui simplifie la propriété intellectuelle, pour encourager la commercialisation des résultats de recherche. Cela se traduit par un grand nombre de brevets, la création d'entreprises issues de licences universitaires et des produits commerciaux issus de la recherche publique. Les États-Unis maintiennent ainsi leur position de leader en innovation technologique.

Au Québec, les sociétés de valorisation universitaires (SVU) ont joué un rôle essentiel depuis leur création en 2001. Bien que leur démarrage ait été accompagné de défis, elles ont contribué à stimuler l'innovation en créant des entreprises et en favorisant la culture de l'innovation chez les chercheurs et les étudiants. Les BLEUs (bureaux de liaison entreprises-universités) et les SVU travaillaient en tandem, avec des rôles complémentaires, pour favoriser la valorisation des résultats de la recherche universitaire. Cependant, les SVU avaient des limites. Elles ajoutaient une couche administrative supplémentaire, pouvant ralentir le processus de valorisation et de transfert technologique. Elles étaient incitées à prioriser des revenus à court terme au détriment de recherches plus fondamentales ou requérant davantage de temps, ce qui pourrait être préjudiciable à l'innovation et à leurs retombées à long terme. L'absence de membres possédant une expérience industrielle suffisante pouvait limiter leur capacité à comprendre et à répondre aux besoins de l'industrie. Enfin, les barrières à la collaboration, voire parfois une valorisation insuffisante de la recherche universitaire, pouvaient également jouer.

Afin de répondre à ces limites, le gouvernement du Québec a annoncé la création d'*Axelys*, une nouvelle société de valorisation de la recherche publique en remplacement des trois sociétés de valorisation universitaire (*Aligo Innovation*, *SOVAR* et *Univalor*) qui ont cessé leurs activités en 2021. Cette initiative vise à accélérer le transfert technologique de la recherche vers l'industrie et à faciliter l'accès des entreprises à un large éventail de technologies. *Axelys* offre des services-conseils et un accompagnement en développement et en commercialisation de l'innovation à plus de cent établissements de recherche publique à travers le Québec, y compris les universités, les centres hospitaliers, les centres de recherche publique et les centres collégiaux de transfert de technologie. Le financement d'*Axelys* a considérablement augmenté par rapport aux anciennes sociétés. Cette initiative s'inscrit dans le cadre de l'effort du gouvernement québécois, [par exemple](#), pour rapprocher la recherche publique et le secteur privé, en réduisant le délai de 17 ans pour amener une découverte médicale à un médicament, permettant ainsi une mise à disposition plus rapide des innovations au public. L'objectif ultime de ce modèle est de stimuler les transferts technologiques, de faciliter la création d'entreprises dérivées de la recherche publique et d'attirer davantage d'investisseurs pour soutenir des innovations à fort potentiel de croissance, tout en favorisant un rapprochement accru entre le milieu de l'enseignement et de la recherche et celui des affaires.

Axelys se démarque comme un acteur incontournable dans la valorisation des inventions et créations issues des établissements de recherche publics. En proposant une offre de services agile et flexible, *Axelys* sensibilise d'abord les chercheurs aux avenues de valorisation possibles pour leurs inventions, en mettant l'accent sur l'intelligence de marché. Par la suite, l'entité se charge du repérage des inventions à fort potentiel de transfert. Grâce à un processus rigoureux et à un comité externe spécialisé, *Axelys* évalue, sélectionne et accompagne ces inventions vers leur maturation. Chaque innovation bénéficie d'un plan de développement, d'une stratégie de protection de la propriété intellectuelle, et d'une recherche de financement et de partenaires stratégiques. L'entité va au-delà en démarchant des entreprises pour un transfert par licence et offre un accompagnement spécialisé pour la maturation entrepreneuriale des startups scientifiques.

Ainsi, *Axelys* est une belle avancée dans le financement et l'accompagnement des innovateurs dans des domaines fondamentaux de l'industrie et l'innovation sociétale. *Axelys* est déjà engagé dans un rôle important dans la valorisation, l'évaluation, la protection et le transfert des innovations, mais il est essentiel de davantage développer cette fonction. Sans remettre en cause ce qui se fait, et qui est somme tout encore récent, les leçons de l'expérience de certains programmes en France et aux États-Unis nous apparaissent instructifs pour envisager parallèlement des avenues qui complèteront les outils existants. À cet égard, pour que le Québec fasse un bon en avant significatif en innovation, il faut accorder une attention particulière à la valorisation des innovations. À cet effet, des moyens pour sélectionner et soutenir de grands projets mobilisateurs de recherche sur des thématiques prioritaires, constitués de plusieurs volets, qui s'intègrent sur une chaîne intégrée d'innovation.

4.3 La pertinence de renforcer l'écosystème québécois d'innovation et la mise en place de chaînes intégrées thématiques d'innovation de l'idée à la commercialisation

Franco (2023) souligne que le Canada souffre d'un « paradoxe de l'innovation » alors qu'en dépit de la part des dépenses publiques en R-D et de la part non négligeable de sa population avec une éducation au niveau postsecondaire, il a du « mal à transformer ces avantages en succès commercial et en croissance économique fondée sur l'innovation ». (Traduction libre). À l'évidence, le Québec est également confronté à la même entrave.²² D'ailleurs, les activités de valorisation de la recherche universitaire sont généralement reconnues comme étant passablement inférieures par rapport à la moyenne canadienne et la part des chercheurs universitaires québécois déclarant des inventions.

Le tableau 1 tiré d'Aksoy (2020) illustre bien le retard important du Québec et du Canada par rapport aux États-Unis pour la commercialisation de l'innovation universitaire. De 1996 à 2010, les universités américaines affichent une croissance du nombre moyen de brevets par université pendant que le Québec et le Canada font plutôt du surplace. Malgré une hausse marquée du nombre moyen de brevets universitaires entre 2011 et 2015, l'écart avec les États-Unis continue de se creuser. Du côté du

	Québec			Canada			États-Unis		
Brevets	N	μ	σ	N	μ	σ	N	μ	σ
1996-2000	17	5,17	(6,43)	77	6,92	(7,88)	672	19,34	(29,02)
2000-2005	28	8,03	(10,94)	129	5,82	(7,62)	749	20,67	(33,27)
2006-2010	26	5,73	(6,16)	141	4,05	(4,92)	753	21,13	(32,82)
2011-2015	22	11,04	(8,86)	135	6,84	(7,81)	768	33,75	(50,47)
Licences									
1996-2000	19	13,94	(10,76)	80	14,31	(10,44)	668	22,26	(33,90)
2000-2005	28	17,32	(16,32)	130	15,95	(22,03)	753	24,52	(37,13)
2006-2010	26	25,11	(28,62)	150	17,30	(28,29)	756	29,00	(36,33)
2011-2015	19	17,73	(10,71)	111	15,18	(24,41)	617	36,76	(46,10)
Jeunes pousses									
1996-2000	19	3,57	(3,07)	80	3,31	(3,28)	666	2,04	(3,27)
2000-2005	28	2,14	(2,17)	129	1,80	(2,50)	736	2,58	(3,50)
2006-2010	25	0,68	(0,90)	147	1,30	(2,28)	749	3,57	(5,58)
2011-2015	21	1,28	(1,52)	134	2,37	(4,06)	762	4,97	(7,21)
Revenus									
(millions de dollars canadiens)									
1996-2000	19	1,01	(1,99)	80	1,30	(1,67)	675	5,71	(18,88)
2000-2005	28	3,39	(5,45)	130	1,98	(3,71)	750	8,45	(31,85)
2006-2010	26	3,41	(5,34)	145	1,76	(3,26)	757	14,94	(58,88)
2011-2015	22	2,79	(2,87)	134	2,12	(4,01)	779	15,72	(41,52)

Tableau 2– Comparaison des différents indicateurs de commercialisation des universités québécoises, canadiennes et états-uniennes (nombre moyen par université pour chacune des périodes).

N : Nombre d'observations durant la période; μ : nombre moyen par université pour la période de référence; σ : écart-type. La conversion des dollars américains en dollars canadiens a été faite en utilisant la parité de pouvoir d'achat donnée par le fonds monétaire international. Source : Données extraites du questionnaire annuel de l'Association of University Technology Managers.

Source : Aksoy (2020)

²² Rappelons que le Québec est au 5^e rang des 10 provinces et 16 pays considérés par le Conference Board pour la R-D publique. Par ailleurs, en 2022, 79,5% des 25-34 ans au Québec détenaient un diplôme postsecondaire, comparativement à 74,4% du même groupe dans le reste du Canada. (Indicateurs de progrès du Québec, de l'Institut de la statistique du Québec).

nombre moyen de licences, de jeunes pousses ou des revenus moyens par université, la situation québécoise et canadienne n'est pas plus reluisante.

De plus, Gallini et Hollis (2019) révèlent que depuis 1998, le déficit s'est creusé entre le nombre de brevets inventés à l'étranger attribués à des entreprises canadiennes moins le nombre de brevets inventés au Canada attribués à des entreprises étrangères. En effet, alors que 18% des brevets avec au moins un inventeur canadien étaient cédés à des entités étrangères en 1998, cette proportion est passée à 45% en 2017.²³ Malheureusement, une compilation ou collecte systématique de chiffres analogues n'existe pas pour le Québec. Plausiblement, la situation du Québec n'est pas plus enviable que celle de l'ensemble du Canada. D'ailleurs, dans le même sens, en utilisant des données colligées par *Crunchbase*, Duhaime (2023) calcule qu'il y a eu 47 opérations de fusions et d'acquisitions de jeunes pousses étrangères par des entreprises du Québec, tandis que 58 entreprises émergentes québécoises ont été fusionnées avec ou acquises par des entreprises étrangères de 2013 à 2022. Pour le Canada, 341 entreprises émergentes sont passées dans le giron d'entreprises canadiennes comparativement à 303 entreprises émergentes canadiennes ont été fusionnées ou acquises par des entreprises étrangères.

La tournée régionale de la Stratégie québécoise de la recherche et de l'innovation a d'ailleurs fait ressortir des préoccupations marquées quant à « l'attraction et la rétention des talents; la pénurie de main-d'œuvre spécialisée; le besoin de collaborations et de maillages entre tous les acteurs de l'écosystème québécois de la R-I; les difficultés du parcours de soutien à l'innovation des entreprises; les obstacles au financement à l'étape de la commercialisation; le transfert de la recherche et de l'innovation vers les milieux preneurs. » (Ministère de l'Économie et de l'Innovation, 2021). On y mentionnait notamment l'existence d'obstacles dont :

- « des programmes de soutien à l'innovation souvent mal adaptés aux besoins des entreprises (programmes à court terme, absence d'un volet infrastructures, etc.)
- la méconnaissance mutuelle qui prévaut encore aujourd'hui entre le milieu de la recherche et les entreprises
- le difficile transfert de la recherche vers les milieux preneurs en raison de plusieurs facteurs (traduction technologique, inadéquation entre l'offre de formation et les besoins, visions divergentes quant à la propriété intellectuelle, etc.)
- le faible financement à l'étape de précommercialisation, qui nuit à la création de valeur issue de la R-I au Québec
- le manque de collaborations et de maillages entre les jeunes pousses ou les PME et les grandes entreprises ».

On suggérait aussi qu'une piste de solution devrait chercher à « connecter les grandes entreprises et les jeunes pousses grâce à des projets qui créent des ponts (vitrines technologiques, collaborations, programmes primo-adoptants, etc.) ».

²³ Gallini et Hollis (2019) rapportent également que le nombre de brevets émanant d'inventeurs canadiens et restés avec l'inventeur original a chuté de 32% à 13% sur la même période. En principe, ceci peut tenir en partie à des situations associées (1) à une hausse d'activités d'innovation par les filiales étrangères au Canada ayant cédé leurs brevets à des sociétés mères étrangères) ou (2) à une augmentation de la participation de résidents canadiens à des équipes de recherche internationales contrôlées par des entreprises étrangères. L'étendue de ces situations n'a pas été évaluée, mais notre conjecture est qu'elles ne suffisent vraisemblablement pas à expliquer ni en entier et, vraisemblablement, ni la majeure partie du déficit constaté.

La SQRI² développe 5 axes d'intervention stratégiques et 12 actions clés qui semblent bien indiquées pour atteindre, sinon se rapprocher, de plusieurs objectifs qui y sont formulés. Les cinq axes d'intervention stratégiques visent à exceller en recherche, science et technologie, à créer un environnement propice à l'innovation, à soutenir les investissements et la commercialisation en entreprise, à développer talents et culture scientifique, et à parier sur des secteurs d'avenir et des projets structurants. Parmi les douze actions clés, on note l'appui aux initiatives des Fonds de recherche du Québec, la valorisation des résultats de recherche, l'adaptation des incitatifs à la R-D, le développement des compétences clés en R-I, et la résolution de défis sociétaux par des solutions innovantes.

Toutefois, il nous apparaît possiblement manquer certains outils qui pourraient contribuer significativement à faciliter et à accélérer la progression que le Québec doit accomplir.

Il faut donc trouver un moyen à la fois d'augmenter le nombre de brevets provenant d'innovations québécoises et de rendre l'économie québécoise plus à même de favoriser à ce que les entreprises québécoises puissent bénéficier de la valeur des innovations générées et commercialiser par elles.

Compte tenu du délai et du chemin à parcourir dans la valorisation de l'innovation, il nous apparaît judicieux de doter le Québec de deux outils qui pourront accentuer une synergie et une mobilisation concertée qui peut permettre d'intégrer divers maillons de la preuve de concepts jusqu'à la commercialisation. De plus, nous croyons que ces deux outils ouvrent la possibilité que des innovations majeures ou radicales puissent enrichir ou se greffer au sein d'un ARPA ou d'un Grand Projet Mobilisateur Consortial. Enfin, nous croyons que leur élaboration peut être faite en tirant le meilleur parti des leçons et des implications pour les politiques économiques en faveur de l'innovation, dont celles discutées précédemment.

En nous basant sur les avancées les plus récentes documentées et analysées dans la littérature théorique et empirique, et le constat des défis que le Québec (comme le Canada) doit relever pour combler l'écart de productivité et de richesse observé, nous analysons et mettons de l'avant deux propositions visant le renforcement de l'écosystème québécois de l'innovation. Ces deux propositions complémentaires concourent à mettre en place des chaînes intégrées d'innovation de l'idée à la commercialisation. Elles contribueront également à signaler l'attractivité du Québec pour la R-D. La coopération au sein de chaînes d'innovation intégrée dans les deux formules proposées encouragera des synergies antiprotectionnistes et la diffusion des connaissances, tout en mettant en évidence les bénéfices d'une fiscalité québécoise, même améliorée.²⁴ Ces synergies pourront prendre en compte et bénéficier de la formation d'étudiants et de main-d'œuvre engagés dans l'innovation.

²⁴ La revue des travaux empiriques existants suggère des pistes qu'il vaudrait la peine de considérer pour réévaluer les mesures fiscales pro-innovation en vigueur.

4.4 Le modèle ARPA comme source d'inspiration

4.4.1- Le modèle ARPA

Pour s'aligner davantage sur le modèle ARPA (*Advanced Research Projects Agency*), *Axelys* pourrait envisager d'élargir sa portée pour intégrer une approche plus orientée vers l'innovation de rupture et la gestion interactive des projets, tout en adoptant une vision à long terme et une volonté de financer des initiatives audacieuses et à haut risque. En effet, L'approche ARPA vise des avancées technologiques disruptives, pas seulement des améliorations incrémentales. Il s'agit de recherches audacieuses avec un potentiel de changement de paradigme. Le modèle ARPA est disposé à financer des projets à haut risque, qui pourraient échouer, mais qui ont un potentiel de rendement élevé. Les agences de type ARPA bénéficient généralement d'une grande flexibilité en termes de financement, de prise de décision et de gestion des projets.

Pour stimuler l'aboutissement d'innovations à la frontière, *Aghion et al.* (2020) soulignent l'à-propos du modèle ARPA²⁵ dans le cas de projets pour lesquels (i) la technologie se situe entre les stades de la recherche fondamentale à celui de l'implémentation et de la commercialisation, (ii) un objectif précis peut être spécifié et motiver l'organisation de la recherche, et (iii) des enjeux de coordination des acteurs et des moyens compliquent «le financement et l'expérimentation de la technologie à plus grande échelle ».²⁶

À l'origine, le projet DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*) avait été développé dans le cadre de projets militaires aux États-Unis et avait donné naissance à des réalisations notables telles que le projet Apollo, ARPANET (qui a jeté les bases d'Internet), le GPS, Siri et bien d'autres. (Voir aussi *Azoulay et al.*, 2019). Plus récemment, sous l'impulsion du président Biden, les États-Unis ont lancé le 15 mars 2022 le projet ARPA-H (<https://www.nih.gov/arpa-h>) visant à développer la recherche biomédicale. En 2021, le projet ARPA-I (<https://www.transportation.gov/arpa-i>) a été mis sur pied pour favoriser le développement de solutions scientifiques et technologiques qui surmonte les défis à long terme et les innovations en matière d'infrastructures de transport. On peut également citer le projet ARPA-E (<https://arpa-e.energy.gov>), créé en 2005, qui se concentre sur le développement de sources d'énergie à fort potentiel. Ces initiatives témoignent de l'engagement continu des États-Unis envers l'innovation et la recherche de pointe dans des domaines cruciaux pour la société et l'économie.

Par exemple, le projet ARPA-E a financé une grande variété de projets, allant des batteries avancées à la capture du carbone, en passant par les énergies renouvelables. Plusieurs projets financés par l'ARPA-E ont abouti à des produits commercialisables, et certaines des start-ups soutenues ont été acquises par de grandes entreprises ou sont entrées en bourse (1366 Technologies, entreprise axée sur la fabrication de wafers de silicium pour les cellules solaires à un coût inférieur, *Envia Systems*, entreprise spécialisée

²⁵ Notons qu'en faisant référence au modèle ARPA, la littérature économique récente en innovation, dont *Aghion et al.* (2020) et *Akcigit* (2022), emploie le vocable de politique industrielle. Cette appellation peut rappeler des idées de planification quinquennale plutôt centralisée qu'on a connu après la Seconde Guerre mondiale dans certains pays ou les idées mise de l'avant par *Lester C. Thurow* dans les années 1980. Ce n'est pas de ce type de politique industrielle dont il est question avec le modèle ARPA.

²⁶ Les phases successives d'évolution des technologies suivent une courbe en S. Dans la phase de naissance, les efforts de développement et les rendements sont faibles. Dans la phase intermédiaire de décollage, la technologie progresse plus rapidement et les rendements de l'effort de développement sont plus grands. Dans la phase de maturité, les améliorations de la technologie sont moins rapides.

dans les technologies de batteries à haute densité énergétique, *Smart Wires*, entreprise qui développe des technologies pour améliorer la capacité et le contrôle des réseaux électriques, *Echogen Power Systems*, entreprise qui travaille sur une technologie de conversion d'énergie thermique en électricité). La liste complète des projets est ici : <https://arpa-e.energy.gov/technologies/projects>.

Les caractéristiques du modèle ARPA sont les suivantes :

- **Innovation technologique** : ARPA est connue pour sa capacité à promouvoir et à financer des projets de recherche audacieux et novateurs. Elle encourage les avancées technologiques dans des domaines tels que l'informatique, les sciences de l'ingénieur, l'intelligence artificielle, la robotique, les communications et bien d'autres.
- **Collaboration multidisciplinaire** : L'approche de ARPA favorise la collaboration entre différentes disciplines scientifiques et techniques. Elle rassemble des experts de divers domaines pour résoudre des problèmes complexes et stimuler des avancées majeures.
- **Impact sociétal** : Les projets soutenus par ARPA ont souvent un impact significatif sur la société. Des technologies et des innovations développées par l'agence ont été utilisées dans divers domaines, notamment la médecine, les télécommunications, l'aérospatiale et la sécurité nationale.
- **Transfert technologique** : ARPA encourage également le transfert de technologies vers le secteur commercial. Les avancées réalisées dans le cadre de projets de recherche financés par l'agence peuvent être exploitées par des entreprises privées, ce qui stimule l'innovation et favorise le développement économique.
- **Agilité et rapidité** : ARPA est reconnue pour son approche agile et sa capacité à réaliser des projets à grande échelle dans des délais relativement courts. L'agence encourage la prise de risques calculés et soutient des initiatives à fort potentiel de rupture technologique.
- **Risque et radicalité** : Pour qu'une telle agence soit utile, elle doit accepter un taux d'échec très élevé. Seulement, 5 à 10 % des projets sont généralement une réussite : c'est le signe d'une véritable prise de risque et d'une recherche conduisant à des innovations radicales et non incrémentales.

La mise en place d'un ARPA québécois pourrait se révéler un projet audacieux et puissant avec un fort impact sur le développement de technologies de pointe jusqu'à la commercialisation et le positionnement concurrentiel des entreprises québécoises. Cela pourrait contribuer à réduire à long terme l'écart de productivité avec les États-Unis, tout en stimulant la croissance de l'industrie québécoise dans des domaines nouveaux et encore inexplorés. Nous croyons que ce modèle peut être adopté et adapté à la réalité québécoise.

Dans un contexte mondial en constante évolution, la recherche et le développement de technologies avancées jouent un rôle crucial dans la compétitivité et la croissance d'une région. Ce projet vise à explorer la mise en place d'un modèle ARPA au Québec, en vue de stimuler l'innovation, de catalyser la recherche et de favoriser le progrès technologique.

La France a mis en place un modèle similaire à l'ARPA appelé "Agence de l'Innovation de Défense" (AID), également connue sous le nom "Defence Innovation Agency" en anglais. Cette agence a été créée pour stimuler l'innovation dans le domaine de la défense et de la sécurité. L'Agence de l'Innovation de

Défense a été lancée en 2018 dans le but de favoriser la recherche et le développement de technologies de pointe pour renforcer les capacités de défense de la France. Son modèle s'inspire en partie de l'ARPA américaine, en mettant l'accent sur la rapidité, la flexibilité et l'audace dans le développement de solutions innovantes. L'Agence de l'Innovation de Défense travaille en étroite collaboration avec des acteurs du secteur privé, des universités et des centres de recherche pour développer de nouvelles technologies et concepts qui pourraient avoir un impact significatif sur la sécurité nationale. Elle soutient des projets de recherche risqués, mais potentiellement révolutionnaires, ce qui en fait un modèle semblable à celui des ARPA. Cependant, il est important de noter que l'AID se concentre principalement sur les domaines de la défense et de la sécurité, tandis que les ARPA d'autres pays, comme l'ARPA-E aux États-Unis, peuvent se concentrer sur une gamme plus large de domaines technologiques.

Dans le domaine du financement de la recherche, un modèle actif de traduction, inspiré du « Modèle ARPA », est essentiel pour transformer les résultats scientifiques en prototypes ou technologies tangibles. Ce modèle consiste non seulement à éliminer les obstacles liés à la propriété intellectuelle, mais aussi à prendre une approche proactive dans la gestion post-attribution, similaire à celle de la DARPA, où l'accent est mis sur l'impact commercial des innovations. Cependant, la DARPA bénéficie de la singularité de son rôle, étant à la fois bailleur de fonds et acheteur des inventions. De son côté, le programme "tech-to-market" (T2M) de l'ARPA-E illustre cette approche active, bien qu'il soit encore en phase expérimentale. Avant de bénéficier de financements, les participants doivent élaborer un plan T2M, axé sur des stratégies de commercialisation qui incluent la formation et une compréhension approfondie des besoins du marché. Dans cette dynamique d'innovation, une autre considération cruciale est la facilitation de l'accès aux matériaux et à la connaissance. Par exemple, en sciences de la vie, progresser sur des recherches précédentes nécessite souvent l'accès à des échantillons biologiques, tels que des lignées cellulaires ou des cultures de tissus. Ainsi, pour les agences de financement, il est avantageux d'investir dans la création d'institutions permettant cet accès. Ces investissements, du point de vue du bailleur de fonds, ont le potentiel d'amplifier considérablement le retour sur investissement en matière de R&D, renforçant ainsi l'impact positif de leurs contributions sur l'ensemble du domaine scientifique. (Azoulay et Li, 2021)

4.4.2- Quelques exemples de secteurs qui pourraient bénéficier du modèle ARPA

Le Québec a développé des avantages et une position reconnus dans un certain nombre de domaines, en particulier, dans le secteur de l'intelligence artificielle et dans les énergies renouvelables. Sur cette base, nous illustrons nos propositions en utilisant deux thématiques qui pourraient être l'objet de la formule ARPA : en intelligence artificielle et la technologie des données et en énergies renouvelables et la transition énergétique. Ces secteurs ont un potentiel énorme pour générer des retombées économiques, des emplois de haute technologie et des avancées significatives dans le domaine de la recherche et de l'innovation. Un modèle ARPA axé sur ces domaines pourrait jouer un rôle essentiel pour catalyser la croissance et l'excellence technologique au Québec.

a. Intelligence artificielle et technologie des données

L'industrie de l'intelligence artificielle (IA) et de la technologie des données est en pleine croissance au Québec. Des centres de recherche de renommée mondiale et des startups innovantes travaillent sur des applications d'IA dans divers domaines tels que la santé, la finance, la mobilité et l'industrie

manufacturière. Un modèle ARPA axé sur l'IA pourrait accélérer la recherche fondamentale dans ce domaine, explorer de nouvelles techniques d'apprentissage automatique, promouvoir l'éthique et la transparence dans l'IA, et aider à transformer les résultats de la recherche en produits et services tangibles. Cela contribuerait à maintenir le Québec à la pointe de l'innovation en IA et à renforcer sa compétitivité mondiale.

Le Québec a une longue tradition de recherche en sciences informatiques et en mathématiques, ce qui a contribué à poser les bases de l'IA et de la technologie des données dans la région. Cependant, c'est au cours des dernières années que le secteur a connu une croissance exponentielle, alimentée par des investissements, des collaborations académiques et industrielles, ainsi que par l'émergence de talents locaux. Selon Investissement Québec, plus de 500 millions de dollars ont été investis en fonds publics et près de 1,4 milliard de dollars en capital risque au Québec dans ce domaine. La métropole québécoise, Montréal, est devenue un pôle d'excellence en IA et en apprentissage automatique.

Plusieurs universités sont reconnues mondialement pour leurs contributions à la recherche en IA. Des instituts de recherche, des laboratoires et des centres de formation en IA se sont établis dans la région, attirant des chercheurs et des experts du monde entier. Le Québec a réussi à créer des synergies entre les universités et l'industrie en matière d'IA. Des collaborations étroites entre les chercheurs universitaires et les entreprises technologiques ont permis de transformer les idées novatrices en produits et services commercialement viables.

Cela a également favorisé la formation d'une main-d'œuvre hautement qualifiée dans le domaine de l'IA. L'IA et la technologie des données sont appliquées dans une variété de secteurs au Québec, notamment la santé (diagnostic médical, découverte de médicaments), la finance (analyse de données financières, prévisions), les transports (véhicules autonomes), l'industrie manufacturière (optimisation des processus), la linguistique (traitement du langage naturel), et bien d'autres. Le gouvernement du Québec a déjà reconnu l'importance stratégique de l'IA et de la technologie des données et a investi massivement dans le secteur. Des programmes de financement, des subventions et des incitations fiscales ont été mis en place pour encourager la croissance des startups, la recherche collaborative et l'innovation. L'essor de l'IA et de la technologie des données a eu un impact significatif sur l'économie québécoise. Des entreprises émergentes (startups) ont été créées, attirant des investissements nationaux et internationaux. De grandes entreprises technologiques ont également établi des centres de recherche et de développement en IA à Montréal, ce qui a renforcé la réputation de la région en tant que plaque tournante mondiale de l'IA.

Malgré son succès, le secteur de l'IA au Québec fait face à des défis tels que la concurrence internationale pour attirer les talents, les questions éthiques et réglementaires liées à l'IA, ainsi que le besoin de transformer la recherche en produits commerciaux. Cependant, ces défis sont également des opportunités pour stimuler l'innovation et la croissance continue du secteur.

b. Énergies renouvelables et transition énergétique :

Le Québec possède une abondance de ressources naturelles, notamment l'hydroélectricité, qui en font un endroit propice au développement de sources d'énergie renouvelable. Un modèle ARPA axé sur l'énergie pourrait encourager la recherche et le développement de nouvelles technologies pour améliorer l'efficacité de la production d'énergie renouvelable, le stockage d'énergie à grande échelle, la gestion intelligente des réseaux électriques et la réduction des émissions de carbone. Cela pourrait non

seulement contribuer à la transition énergétique du Québec, mais aussi servir d'exemple pour d'autres régions qui cherchent à atteindre des objectifs similaires en matière de durabilité.

Le Québec a adopté des objectifs ambitieux en matière de transition énergétique. L'objectif de la province est de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de devenir carboneutre d'ici 2050. Cela implique une transition vers des sources d'énergie propres et la mise en œuvre de mesures d'efficacité énergétique. Malgré les avantages des énergies renouvelables, le secteur doit relever des défis tels que l'intermittence des sources d'énergie (éolien et solaire), les coûts initiaux élevés de certaines technologies et les questions liées à l'infrastructure et à la régulation.

Quelques avantages du modèle ARPA sur le secteur de l'énergie :

- Un modèle ARPA pourrait fournir des financements significatifs pour des projets de recherche ambitieux et novateurs dans le domaine des énergies renouvelables et de la transition énergétique. Cela permettrait de soutenir des projets à haut risque et à haut rendement, qui pourraient conduire à des avancées technologiques majeures.
- L'ARPA pourrait soutenir à la fois la recherche fondamentale pour mieux comprendre les mécanismes des sources d'énergie renouvelable et la recherche appliquée pour développer des technologies spécifiques et des solutions pratiques.
- Un modèle ARPA encouragerait la collaboration entre des chercheurs issus de différentes disciplines, tels que l'ingénierie, la physique, la chimie, les sciences environnementales et l'économie. Cela pourrait permettre des approches holistiques pour résoudre les défis complexes liés à la transition énergétique.
- L'ARPA pourrait mettre l'accent sur le développement de nouvelles technologies et méthodes pour améliorer l'efficacité des énergies renouvelables, le stockage d'énergie, la gestion intelligente des réseaux électriques et d'autres aspects clés de la transition énergétique.
- Un modèle ARPA se caractérise par sa rapidité et sa flexibilité. Cela permettrait de répondre rapidement aux besoins changeants du secteur de l'énergie, en ajustant les projets et les financements en fonction des développements technologiques et des priorités énergétiques.
- L'ARPA pourrait faciliter la collaboration entre les acteurs de la R-D publique, les universités et le secteur privé. Les entreprises technologiques pourraient être incitées à participer en apportant leur expertise, leurs ressources et leur expérience dans la commercialisation des technologies.
- L'ARPA pourrait cibler des défis techniques spécifiques, tels que le stockage à grande échelle de l'énergie renouvelable, l'intégration fluide des sources intermittentes dans le réseau électrique et l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments.
- Un modèle ARPA pourrait aider à accélérer le passage de la recherche en laboratoire à la mise en œuvre pratique sur le terrain. Cela faciliterait la transformation des idées et des prototypes en technologies commercialisables.

4.5. Pour l'émergence de grands projets mobilisateurs consortiaux d'innovation

4.5.1- Quelques exemples et enseignements d'expériences diverses

Nonobstant le modèle ARPA et sans y être pour autant en contradiction de principes ou de façons de faire, plusieurs exemples porteurs d'un modèle distinct ont eu cours dans différents pays au cours des quinze ou vingt dernières années. Bien que plusieurs se rapportaient à la santé, ce n'est ni nécessairement le cas ni une exigence. Ces exemples attestent qu'un engagement stable envers un continuum de recherche et d'innovation mobilisant des acteurs privés et publics à tous les stades est possible. Cet engagement concret peut recevoir un soutien populaire et même être financé par des emprunts auprès du public et des investisseurs institutionnels *via* le marché obligataire. Ce sont des exemples qui ont donné des résultats établis.

Un premier exemple, sur lequel nous revenons en détail à la prochaine sous-section, est celui *du California Institute for Regenerative Medicine (CIRM)* qui visait initialement à consacrer 3 milliards de dollars américains sur 10 ans pour la recherche sur les cellules souches, dans la foulée de la « *Proposition 71: the California Stem Cell Research and Cures Initiative* » approuvée par référendum d'initiative populaire en 2004. En 2020, la « *Proposition 14* » a reçu également un vote positif autorisant 5,5 milliards de dollars américains sur 30 ans pour la recherche sur les cellules souches ainsi que d'autres enjeux de santé relatifs à des maladies du cerveau. (Voir Subbaraman, 2020).

Un second exemple est celui du *Cancer Prevention & Research Institute of Texas (CPRIT)* qui a investi près de 3 milliards de dollars américains au cours des 11 dernières années pour soutenir la recherche et l'innovation sur le cancer dans une optique de continuum de la découverte à la livraison dans les universités, les entreprises et les organisations visant « le développement de produits et les projets de prévention très prometteurs sur le plan scientifique répondent à des besoins critiques et font progresser l'écosystème des sciences de la vie de l'État » (traduction libre ; CPRIT, 2021). Le CPRIT avait lui aussi été lancé après l'approbation en 2007 lors d'un référendum d'initiative populaire. En 2019, un second référendum a approuvé un nouvel investissement de 3 milliards de dollars américains pour un autre 10 ans.

Au Royaume-Uni, la *Wellcome Trust Foundation* est une grande fondation caritative et l'un des plus grands bailleurs de fonds mondiaux de la recherche médicale en appui à l'innovation avec un accent pour résoudre des problèmes de santé urgents et répandus auxquels tout le monde est confronté. Elle favorise la recherche collaborative notamment axée sur la découverte (p. ex., l'exploration des processus fondamentaux sous-tendant la biologie, le développement de nouvelles méthodologies, la recherche clinique, les contextes sociaux, etc.) et la recherche de solutions aux défis de la santé mentale, du climat et de la santé, et des maladies infectieuses. En 2006, elle fut la première fondation caritative en Europe à lancer une émission d'obligations de 30 ans cotées Aaa / AAA pour lever 539 millions de livres en fonds en faveur d'investissements sur le long terme en innovation. (Commission européenne, 2006). D'autres émissions de Sterling Bonds ont eu lieu en 2009, 2014 et 2018, ainsi qu'en euros en 2015. En 2021, une émission de 750 millions de livres d'obligations de 50 ans a été faite. (Wellcome Foundation, 2021).

En France, le *Programme d'investissements d'avenir (PIA)*, toujours en cours, fut initié en 2010 pour financer des investissements innovants et prometteurs et permettre à la France d'augmenter son potentiel de croissance et d'emplois en intervenant sur tout le cycle de vie de l'innovation et faire le lien entre la recherche publique et les entreprises sur l'ensemble du territoire dans des secteurs stratégiques

prometteurs (p. ex., la transition écologique; la compétitivité des entreprises via le développement des PME et entreprises de tailles intermédiaires innovantes et la consolidation des filières stratégiques d'avenir; l'enseignement supérieur et la recherche; la souveraineté industrielle ou l'économie numérique; la santé et les biotechnologies). Le cofinancement par des partenaires privés ou publics est la plupart du temps à la base de l'investissement de l'État dans un projet d'innovation. Ce programme est associé à des dotations totalisant 57 milliards d'euros pour des investissements en innovation par des gouvernements successifs depuis 2010, soit 35 milliards d'euros pour le PIA1, 12 milliards d'euros pour le PIA2, 10 milliards d'euros pour le PIA3 et 20 milliards d'euros pour le PI 4. Cette dernière phase a été remplacée par *France 2030* qui en a fait passer la dotation à 54 milliards d'euros en y ajoutant de nouveaux crédits avec les objectifs de consacrer 50% des fonds à la décarbonation de l'économie et 50% à des acteurs émergents porteurs d'innovation.

Dans l'esprit de la proposition originale de la Commission Rocard et Juppé (2009), le PIA se veut un engagement explicite dans une démarche transversale d'investissement, basée sur le double principe d'effet de levier et de partage des risques, selon une logique thématique qui reflète la priorité donnée à l'innovation et à la transformation. Les fonds doivent être affectés à des organismes gestionnaires et gérés de manière étanche par rapport au reste du budget. Bien qu'une faible partie des sommes investies puisse être directement versée sous forme de subventions, la majeure partie est faite en prêts ou en placements dont seuls les intérêts sont consommables. Enfin, bien que Rocard et Juppé (2009) avaient envisagé qu'un emprunt direct puisse être fait auprès des ménages, cette idée ne fut pas retenue. Enfin, il y a lieu de souligner que des jurys majoritairement internationaux ont la responsabilité d'évaluer les projets déposés.

4.5.2- L'expérience du California Institute for Regenerative Medicine (CIRM)

Wei et Rose (2019) du Schaeffer Center for Health Policy and Economics at the University of Southern California ont évalué l'impact économique découlant des financements appuyés par le CIRM entre 2004 et 2018. Ils ont estimé que ceux-ci ont généré les retombées suivantes :

- 10,7 milliards de dollars américains de production brute additionnelle (mesurée par les nouveaux revenus de vente)
- 641,3 millions de dollars de recettes fiscales supplémentaires pour les gouvernements de l'État et les gouvernements locaux
- 726,6 millions de dollars de recettes fiscales fédérales supplémentaires
- 56 549 emplois équivalents temps plein (ETP) supplémentaires, dont la moitié offrent des salaires nettement supérieurs à la moyenne de l'État.

De plus, Tysinger et al. (2019) du Schaeffer Center ont utilisé un modèle de microsimulations – le *Future Elderly Model* (FEM) adapté pour la Californie— pour évaluer les impacts sanitaires et économiques chez les Californiens âgés de 50 ans et plus à la suite d'innovations médicales permettant de lutter contre le cancer, le diabète, les accidents vasculaires cérébraux et la dégénérescence maculaire sèche liée à l'âge et d'en réduire les incidences. Ils fournissent ainsi un estimé de l'ordre de grandeur de la réduction des coûts des soins de santé, représentant facilement plusieurs centaines de milliards de dollars américains sur une trentaine d'années (en fonction de scénarios envisageables de réduction l'incidence de ces

maladies. De plus, ils ont estimé au fil du temps les gains découlant d'une réduction du fardeau sociétal de ces maladies spécifiques en utilisant aux QALY ou années de vie pondérée par la qualité.²⁷

4.5.3- Les grands projets mobilisateurs consortiaux (GPMC)

a. Les objectifs poursuivis

Les interventions dans une stratégie québécoise pour l'innovation se doivent d'être aussi elles-mêmes innovantes. La considération de l'expérience ailleurs dans le monde nous amène à proposer un mode de sélection et de financement conjoint de projets de recherche appliquée par des consortiums de recherche avec des visées cherchant à apporter des solutions à des problèmes concrets. Sans négliger l'importance de la recherche fondamentale qui bénéficie de programme déjà en place, l'objet de cette proposition concerne la recherche appliquée et le développement expérimental.

Les versements par le gouvernement et les autres partenaires seraient faits par étapes et seraient liés à la progression des phases des projets. L'expérience californienne, à laquelle s'ajoutent d'autres exemples, s'est avérée particulièrement concluante et peut servir d'inspiration à un mécanisme pour le gouvernement du Québec. La formule proposée s'adresserait particulièrement à des projets pluridisciplinaires et intersectoriels, mobilisant plusieurs partenaires tels des universités, des établissements de R-D et des entreprises (petites ou grandes, en émergence ou établies) en lien avec la vision et le leadership de l'industrie et des autres utilisateurs potentiels. On viserait ainsi des innovations possiblement de grande envergure et pouvant couvrir plusieurs éléments dans une perspective intégrée de la preuve de concepts à la commercialisation et la valorisation des innovations. Cette proposition tient compte du fait que la disponibilité et la stabilité du financement sur un horizon ferme sont des éléments essentiels pour stimuler avec succès l'attraction, la mobilisation et la rétention des chercheurs au Québec et sa valorisation.

b. Principes et caractéristiques d'un programme GPMC

La proposition est d'établir un financement dédié par le gouvernement du Québec pour les projets mobilisateurs d'envergure liés à des thématiques spécifiques. Le fonds GPMC serait, par exemple, de 1 milliard \$ en ciblant 4 ou 5 secteurs industriels spécifiques, à hauteur de 200 millions \$ à 250 millions \$ par secteur, en suivant une formule de cofinancement 1:1, soit la moitié par le fonds GPMC du Québec, et la moitié par appariement à avec fonds de sources externes.

Les sources de cofinancement, externes au gouvernement du Québec, pourraient émaner du gouvernement fédéral, d'entreprises de capital de risque, d'OBNL, de fondations privées, d'entreprises privées québécoises, canadiennes ou internationales. Par ailleurs, Lerner (2021) évoque « [qu']en exigeant que des fonds de contrepartie soient collectés auprès du secteur privé, les dangers de décisions mal informées et d'ingérence politique peuvent être considérablement réduits». Ainsi, l'exigence d'une proportion minimale de partenaires non gouvernementaux pourrait aussi être envisageable.

Deux à trois projets à grande échelle pourraient être financés par thématique ou secteur d'activités –il faut prendre garde à éviter les risques de saupoudrer et ainsi diluer les impacts potentiels du programme.

²⁷ Le QALY est un indicateur économique utilisé en médecine permettant d'évaluer simultanément l'espérance de vie et la qualité de vie d'une personne avec une approximation de la valeur d'une année en bonne santé pour un individu.

Les projets seraient sélectionnés dans une compétition ouverte par une revue de pairs à l'international (hors Canada) à la suite d'appels d'offres auxquels auraient répondu uniquement des consortiums de recherche pour régler au Québec de grands problèmes.

Une évaluation à l'international permet de faire rayonner la R-D et l'innovation québécoise, de se mesurer et de se positionner face aux meilleurs. Par ailleurs, elle a l'avantage d'atténuer les effets d'une réalité trop souvent observée. En effet, le nombre de joueurs au Québec étant forcément restreint, cela peut inciter à une rivalité démesurée et stérile pour capturer des fonds existants soit en cherchant à exclure *de facto* des concurrents, soit en favorisant une forme de rotation entre certains d'entre eux pour bénéficier des montants et programmes. Ceci n'est pas sans rappeler l'effet schumpétérien décrit dans la littérature économique à savoir que les entreprises en tête ont une incitation à limiter l'émergence d'autres concurrents et à vouloir s'approprier une part importante des aides gouvernementales. (Voir Akcigit, 2023, Akcigit *et al.* Baslandze, 2023, ainsi qu'Aghion et Howitt, 2023).

Les projets devraient être soumis par des regroupements de chercheurs/entrepreneurs (résidents québécois) provenant des universités, entreprises, OBNL, sociétés de capital de risque, anges financiers, laboratoires gouvernementaux, etc., ayant pour but de présenter une proposition définissant une thématique de recherche stratégique répondant aux besoins des utilisateurs, avec des éléments de solution commercialisables entre 3 et 7 ans, et incluant les avantages socio-économiques et l'impact sur l'innovation sociale et organisationnelle. La participation de chercheurs et d'entreprises de l'extérieur du Québec au sein du consortium ne serait pas exclue, mais la majeure partie des activités et une part substantielle des retombées doivent manifestement être imparties pour le Québec.

Les dépenses admissibles (85% pour la recherche, 15% pour les équipements) pour les projets sélectionnés pourraient être financées jusqu'à 50% par le gouvernement du Québec et à au moins 50% par d'autres partenaires (gouvernement fédéral, entreprises, OBNL, entreprises de capital de risque). Les infrastructures immobilières ne seraient pas admissibles pour le financement.

Les facteurs temps et stabilité du financement ne veulent pas dire l'absence d'évaluation et de suivi. Les versements déboursés seraient effectués en tandem avec les autres partenaires notamment sur la base de la réalisation à un degré raisonnable de certains objectifs clés rencontrés à des étapes (« *milestones* » ou jalons) préalablement convenues, sous peine de se voir retirer la suite du financement pour les volets concernés.²⁸ Dans la même veine de ce que soulignait Lerner (2021) avec le capital de risque, l'échelonnement du financement par étape est utile pour distinguer les investissements qui progressent raisonnablement de ceux qui sont en voie d'échouer.

Des obligations gouvernementales dédiées à ces grands projets pourraient faire l'objet d'appels de financement dédié auprès des Québécois (comme l'a fait notamment la Californie). Par exemple, ça pourrait être des obligations servant à financer la recherche sur le cancer des enfants.

²⁸ Il pourrait être instructif de considérer les travaux récents de Liu *et al.* (2023) qui ont proposé un mécanisme incitatif de subventions gouvernementales pour augmenter la probabilité de réussite de la R-D en technologies industrielles génériques en présence de plusieurs parties prenantes à mobiliser, pour rehausser le degré d'efforts conjoints et de coopération, en tenant compte du degré de similitude desdites technologies et du degré de difficulté de la commercialisation ultérieure. Pour ce faire, les auteurs font appel aux développements de la théorie de la décision des systèmes gris, des négociations de groupe et de la théorie des jeux. Étant donné l'importance de la collaboration entre divers acteurs (entreprises, institutions de recherche, universités, organismes financiers, etc.) dans le cadre de la R-D, Il présentent un mécanisme d'incitation basé sur une négociation de type "super-conflit" qui tient compte des risques et des préférences en matière de prise de décision des parties prenantes.

Afin de rechercher un retour sur l'investissement consenti par les Québécois, des contributions contingentes sans intérêt seraient remboursables au gouvernement du Québec jusqu'à concurrence du double de sa contribution si le projet atteint l'étape de la commercialisation, sur une période de 7 ans suivant le dernier déboursé gouvernemental. Par exemple, cela pourrait découler du développement et de la commercialisation d'une nouvelle thérapie contre le cancer ou d'une nouvelle technologie verte ou en aérospatiale.

Finalement, la gouvernance de ce programme ne demanderait pas la création d'une nouvelle structure gouvernementale ou paragouvernementale, car elle pourrait être intégrée au sein d'*Axelys*, par exemple.

5. Mesurer et évaluer l'impact des éléments de politiques économiques pour l'innovation

Il faut saluer d'emblée dans la SQRI² l'idée de vouloir développer un Baromètre de l'innovation et l'annonce de vouloir suivre l'évolution d'indicateurs de l'innovation.

L'appendice B présente une recension sommaire de diverses méthodologies existantes à la base de tableaux de bord de l'innovation.

Nul doute que des trous existent dans les données existantes et qu'il y a lieu de procéder aussi à un renforcement dans la cueillette systématique et la compilation de certaines données et informations. Par exemple, afin de brosser une vue d'ensemble des retombées de la valorisation de l'innovation, il faudrait rassembler des données plus détaillées et complètes sur la valorisation de la recherche publique dans les établissements québécois de recherche (universités, collèges, centres collégiaux de transfert de technologies et centres d'innovation industriels).

Nous recommandons que l'Institut de la statistique du Québec puisse se voir confier le mandat de collecte, d'accessibilité et de diffusion des données.

Par ailleurs, le besoin existe de pousser plus loin l'identification de liens de causalité entre les indicateurs et d'évaluer les impacts réels des mesures et des programmes mis en place. On ne saurait trop insister sur l'importance de recueillir systématiquement des données systématiques sur l'avancement et les retombées des programmes de recherche afin d'identifier les domaines où le Québec développe et maintient un avantage comparatif. En plus des indicateurs d'activités, il faut colliger des données sur l'impact (p. ex., les innovations qui ont réellement été commercialisées, le niveau d'investissement et le niveau de revenus générés).

Benedetti-Frasil et Sanchez-Martinez (2022) soulignent également l'importance de quantifier l'impact économique des politiques d'innovation :

« La mesure de l'impact de l'innovation est une question complexe aggravée par le décalage souvent relativement long entre les initiatives stratégiques et les impacts réels observés. Outre les approches fondées sur des indicateurs, telles que le tableau de bord européen de l'innovation, on a également manifesté un intérêt croissant pour la réalisation d'évaluations macroéconomiques des incidences sur le PIB, les importations, les exportations, l'emploi aux niveaux européen, national et régional (Conseil européen, 2010).» (Traduction libre).

Nous recommandons que des études d'impact soient entreprises et effectuées comme celles faites en France (<https://www.gouvernement.fr/les-evaluations-du-pia-et-de-france-2030-par-action>) et aux États-Unis (p. ex., Wei et Rose, 2019; Tysinger et al. 2019). À cette fin, nous pourrions nous inspirer de travaux récents utilisant des modèles graphiques probabilistes (p.ex., Carota *et al.*, 2015) et des méthodes d'apprentissage automatique ou « *machine learning* » (p. ex., Guerzoni *et al.*, 2021), des techniques d'estimation de spécifications dynamiques pour évaluer l'impact causal de la mise en place d'une politique (p. ex., Carayol *et al.*, 2022a, b, ainsi que Bergeaud *et al.*, 2022).

6. Conclusion

Le futur passe par l'innovation. Elle est une pierre d'assise de la création de richesse durable et de l'augmentation de la qualité et du niveau de vie des citoyens.

Par l'importance de son engagement et sa vision pour l'avenir, le Québec doit démontrer qu'il est un terreau fertile pour la recherche et l'innovation et sa valorisation en prenant les moyens pour se démarquer. Dans l'optique de positionner le Québec sur le chemin d'une plus grande prospérité, un message fort et positif doit être envoyé à savoir que l'innovation est une pièce maîtresse dans la mesure où sa valorisation requiert des initiatives d'envergure en faveur de la connaissance et le développement technologique qui mèneront à la commercialisation de découvertes québécoises afin de créer de la richesse et d'améliorer notre productivité. On ne saurait trop insister sur l'occasion et l'importance d'établir une image de marque du Québec à cet égard. Il est possible et il faut attirer l'attention sur l'innovation au Québec, ici et à l'international.

Le Québec ne peut pas être bon dans tout, mais il peut se mesurer aux meilleurs. Le Québec doit se mobiliser autour des meilleurs projets d'innovation, lesquels doivent émerger de l'interaction d'unités multidisciplinaires visant à résoudre des défis technologiques avec des solutions pratiques et des retombées dans des secteurs clés. La disponibilité et la stabilité du financement sur un horizon ferme sont des éléments essentiels pour stimuler avec succès l'attraction, la mobilisation et la rétention des chercheurs au Québec. Il faut pouvoir et savoir miser sur un haut niveau d'excellence, une attitude et une capacité qui peuvent compter sur la collaboration et des synergies et permettre à des filières stratégiques d'émerger et se déployer.

Les nombreux travaux théoriques et empiriques de la littérature depuis le texte fondateur d'Aghion et Howitt (1992) ont montré hors de tout doute l'importance de regarder les données, de documenter ce qu'on cherche à comprendre et de tester les implications des modèles et des formules. Cette littérature et diverses expériences dans le monde ont des implications pratiques. La valorisation et la commercialisation demandent du temps pour se rendre au marché, surtout lorsque l'ampleur d'une innovation est plus grande. Du point de vue de la politique publique pro-innovation, le degré de réussite de mesures mises de l'avant requiert de la stabilité et une bonne compréhension de toutes les incitations qu'elles génèrent.

Le taux de croissance tendancielle du PIB réel et du PIB réel par habitant, tout comme la productivité observée du Québec, sont trop faibles, ce qui sous-tend l'écart défavorable de richesse par rapport à nos partenaires économiques et beaucoup d'autres pays. Cela se traduit en pertes économiques substantielles qui se traduisent par une renonciation à plusieurs dizaines de milliards de dollars qui pourraient être investis, pour emprunter les mots de Francq (2023), « dans des domaines critiques tels que l'innovation, les soins de santé, le capital humain ou la croissance de l'économie verte ».

Notre analyse et notre réflexion sont inspirées par les travaux économiques les plus récents et les échanges sur plusieurs éléments abordés dans les plénières et les tables rondes tenues lors de *La conférence sur Les fondements et les incidences économiques de l'innovation* à l'UQAM en mai 2023. Elles nous ont conduits à formuler des propositions qui s'inscrivent en adéquation avec la volonté expresse du ministre des Finances et du gouvernement d'augmenter le revenu et la capacité économique du Québec, ainsi que les objectifs et les moyens attestés dans la SQRI² en dotant le Québec de nouveaux outils qui s'attaquent à des lacunes qui minent la performance du Québec en matière d'innovation.

Nos propositions sont de deux ordres et se résument comme suit.

– ***Mesures pour stimuler la R-D privée, augmenter ses retombées et valoriser les innovations***

- Accorder une attention particulière à la valorisation des innovations pour que des projets d'envergures soient poursuivis dans des thématiques prioritaires, constitués de plusieurs volets, qui s'intègrent dans une chaîne intégrée d'innovation et qui visent à tirer parti de la complémentarité entre la R-D publique et la R-D privée en s'inspirant et en adaptant des approches expérimentées ailleurs avec succès.
- Mettre sur pied un programme ARPA québécois pour catalyser la croissance et l'excellence technologique au Québec :
 - Cette formule s'est avérée performante pour stimuler l'aboutissement d'innovations à la frontière étant donné sa grande flexibilité en termes de financement, de prise de décision et de gestion des projets lorsque : (i) la technologie se situe entre les stades de de la recherche fondamentale à celui de l'implémentation et de la commercialisation, (ii) un objectif précis peut être spécifié et motiver l'organisation de la recherche, et (iii) des enjeux de coordination des acteurs et des moyens sont plus complexes pour le financement et l'expérimentation à plus grande échelle.
 - La portée d'*Axelys* pourrait être élargie afin d'intégrer une approche plus orientée vers l'innovation de rupture et à potentiel de rendement élevé et la gestion interactive des projets, en adoptant une vision à long terme et une volonté de financer des initiatives audacieuses et à haut risque.
 - Le gouvernement soutiendrait conjointement la recherche fondamentale pour mieux comprendre les mécanismes pertinents sous-jacents et la recherche appliquée pour développer des technologies spécifiques et des solutions pratiques dans un ou deux domaines d'innovation.
 - Étant donné les avantages et la position reconnue du Québec dans ces domaines, les thématiques pourraient être associées, par exemple à l'intelligence artificielle et la technologie des données ou les énergies renouvelables et la transition énergétique.
 - Sans faire abstraction d'améliorations incrémentales, l'approche ARPA viserait également à faire des avancées technologiques disruptives, à accélérer le passage de la recherche en laboratoire à la mise en œuvre pratique sur le terrain et à faciliter la transformation des idées et des prototypes en technologies commercialisables.

- La collaboration entre les acteurs de la R-D publique, les universités et le secteur privé serait incitée sur ces thématiques et des entreprises technologiques seraient mobilisées afin d'apporter leur expertise, leurs ressources et leur expérience dans la commercialisation des technologies.
- Mettre sur pied un programme de Grands projets mobilisateurs concertés (GPMC) :
 - Le gouvernement du Québec établirait un fonds de 1 milliard de dollars dédié pour des projets mobilisateurs d'envergure liés à des thématiques spécifiques dans 4 ou 5 secteurs.
 - Pour lever les sommes constituant le fonds, le gouvernement devrait envisager d'émettre des obligations gouvernementales dédiées à l'innovation, notamment auprès des Québécois
 - Le Fonds financerait jusqu'à 50% d'un GPMC avec un cofinancement externe au gouvernement du Québec pour le 50% restant qui pourrait provenir du gouvernement fédéral, d'entreprises de capital de risque, d'OBNL, de fondations privées et d'entreprises privées québécoises, canadiennes ou internationales.
 - Le programme serait géré par une structure paragouvernementale existante (par exemple, *Axelys*).
 - Les projets seraient sélectionnés dans une compétition ouverte par une revue de pairs à l'international (hors Canada) à la suite d'appels d'offres définissant une thématique de recherche stratégique répondant à des besoins avec l'objectif de régler au Québec de grands problèmes
 - Les soumissions seraient proposées par des consortiums d'innovation et pourraient définir plusieurs volets ou sous-projets s'inscrivant et intégrés dans le GPMC.
 - Les consortiums regrouperaient des chercheurs/entrepreneurs (résidents québécois) provenant des universités, entreprises, OBNL, sociétés de capital de risque, anges financiers, laboratoires gouvernementaux, etc.
 - Une soumission proposée devrait contenir des éléments de solution commercialisables entre 3 et 7 ans, et inclure les avantages socio-économiques et l'impact sur l'innovation sociale et organisationnelle.
 - Après le début des activités d'un GPMC, les versements déboursés seraient effectués en tandem avec les autres partenaires, notamment sur la base de la réalisation à un degré raisonnable de certains objectifs clés rencontrés à des étapes préalablement convenues.
 - Afin de rechercher un retour sur l'investissement consenti par les Québécois, des contributions contingentes sans intérêt seraient remboursables au gouvernement du Québec jusqu'à concurrence du double de sa contribution si le projet atteint l'étape de la commercialisation, sur une période de 7 ans suivant le dernier déboursé gouvernemental.

– ***Enjeux d'évaluation et de suivi des politiques d'innovation***

- En ce qui a trait à la confection et à l'utilisation d'indicateurs de l'innovation,
 - mandater l'Institut statistique du Québec de colliger, organiser et rendre accessible une vaste banque de données et d'indicateurs sur l'innovation, notamment quant aux différentes dimensions touchant les activités et les résultats de valorisation et de commercialisation de l'innovation;
 - s'inspirer et évaluer les meilleures pratiques méthodologiques pour que la banque de données sur l'innovation fournisse des informations historiques et mises à jour sur une base régulière aux niveaux agrégé et désagrégé, en collaboration avec des chercheurs universitaires;
 - encourager les chercheurs à approfondir et à établir les liens de causalité et le contenu informationnel pouvant être tirés du suivi des différents indicateurs de capacité, d'activités et de résultats de l'innovation;
- En ce qui a trait aux différentes mesures gouvernementales pro-innovation :
 - développer la pratique d'études d'impact indépendantes des différentes mesures gouvernementales pro-innovation (financières et non-financières);
 - réévaluer les mesures fiscales en vigueur affectant l'innovation en actualisant et étendant les études empiriques avec les données québécoises;
 - sur la base des meilleures connaissances dans la littérature et des impacts qui seront documentés par des études empiriques pour le Québec, revoir lesdites mesures fiscales, s'il y a lieu.

Bibliographie

- Acemoglu, Daron, Philippe Aghion, Lint Barrage et David Hémous (2023). «Climate Change, Directed Innovation, and Energy Transition: The Long-Run Consequences of The Shale Gas Revolution», NBER working paper no 31657, September.
- Akcigit, Ufuk (2021). «Innovation, Public Policy and Growth: What the Data Say », dans Akcigit, U., Cristiana Benedetti Fasil, Giammario Impullitti, Omar Licandro et Miguel Sanchez-Martinez, eds. (2021), pp. 9-22.
- Akcigit, Ufuk (2023). « Creative Destruction and Economic Growth », chapitre 2, dans Akcigit, Ufuk et John Van Reenen (2023a), pp. 21-39.
- Akcigit, Ufuk et Sina T. Ates. 2021. «Ten Facts on Declining Business Dynamism and Lessons from Endogenous Growth Theory », *American Economic Journal: Macroeconomics*, 13 (1), pp. 257-98.
- Akcigit, Ufuk et Nathan Goldschlag (2023). «Where Have All The "Creative Talents" Gone? Employment Dynamics of US Inventors », NBER working paper no 31085, mars.
- Akcigit, Ufuk et William R. Kerr (2018). « Growth through Heterogeneous Innovations », *Journal of Political Economy*, vol 126(4), pp. 1374-1443.
- Akcigit, Ufuk et Stefanie Stancheva (2021). «Taxation and Innovation », dans Goolsbee et Jones (2021), pp. 189-212.
- Akcigit, Ufuk et John Van Reenen (2023a). *The Economics of Creative Destruction: New Research on Themes from Aghion and Howitt*, Harvard University Press, 784 pages.
- Akcigit, Ufuk et John Van Reenen (2023b). «Introduction», dans Akcigit, Ufuk et John Van Reenen (2023a), pp. 1-14.
- Akcigit, Ufuk, Sina T. Ates et Giammario Impullitti (2018). « Innovation and trade policy in a globalizing world », NBER working paper no 25543, avril.
- Akcigit, Ufuk, Salome Baslandze et Francesca Lotti (2023). « Connecting to Power: Political Connections, Innovation, and Firm Dynamics», *Econometrica*, 91, pp. 529-564.
<https://doi.org/10.3982/ECTA18338>
- Akcigit, Ufuk, Cristiana Benedetti Fasil, Giammario Impullitti, Omar Licandro et Miguel Sanchez-Martinez (2022), *Macroeconomic Modelling of R&D and Innovation Policies*, Palgrave Macmillan Cham, Open Access, 212 pages. Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-71457-4>.
- Aghion, Philippe (2016). *Repenser la croissance économique*, Leçons inaugurales du Collège de France, Collège de France/Fayard, 72 pages.
- Aghion, Philippe et Peter Howitt (1992). « A Model of Growth Through Creative Destruction », *Econometrica*, 60, no. 2, pp. 323-351.
- Aghion, Philippe et Peter Howitt (2014). « What Do We Learn From Schumpeterian Growth Theory ?», dans P. Aghion et S. Durlauf (Eds.), *Handbook of Economic Growth*, Amsterdam : North Holland, Volume 2B, pp. 515-563.
- Aghion, Philippe et Peter Howitt (2023). « The Promise of the Creative Destruction Paradigm», conclusion, dans Akcigit, Ufuk et John Van Reenen (2023a), pp. 736-751.

- Aghion, Philippe, Gilbert Cette et Élie Cohen (2014). *Changer de modèle*, Odile Jacob Éditeur, 180 pages.
- Aghion, Philippe, Céline Antonin et Simon Bunel (2020). *Le pouvoir de la destruction créatrice*, Odile Jacob Éditeur, 435 pages.
- Agrawal, Ajay, Carlos Rosell, and Timothy Simcoe (2020). «Tax Credits and Small Firm R&D Spending », *American Economic Journal: Economic Policy*, 12 (2): 1-21. <https://doi.org/10.1257/pol.20140467>
- Aksoy, Arman Yalvac (2020), «Les transferts technologiques de l'université vers l'industrie», *Magazine de l'Acfas*, 11 mars.
<https://www.acfas.ca/publications/magazine/2020/03/transferts-technologiques-universite-industrie>
- Asselin, Robert et Sean Speer (2021). *New North Star III: The Case for A Canada Advanced Research Projects Agency*, Public policy Forum, décembre.
- Azoulay, Pierre et Danielle Li (2021). «Scientific Grant Funding », dans Goolsbee et Jones (2021), pp. 117-150.
- Azoulay, Pierre, Erica Fuchs, Anna P. Goldstein et Michael Kearney (2019). Funding Breakthrough Research: Promises and Challenges of the “ARPA Model”, National Bureau of Economic Research, *Innovation Policy and the Economy*, 19, pp. 69-96.
- ARPA-E eXCHANGE (2023). U.S. Department of Energy Announces \$100 Million to Support Commercialization of Clean Energy Technologies. Press Release, 8 juin.
- Badia, Lynn, Josette M., Plaut, Joseph C. von Fischer, John Volckens, et Jeff Muhs (2021). Envisioning ARPA-C: A Transdisciplinary Institution for Radical Climate Research and Intervention. *Earth's Future*, 9, e2021EF002115. <https://doi.org/10.1029/2021EF002115>
- Baghana, Ruffin S.A. (2013). *Impacts of Government Incentives to R&D, Innovation and Productivity: A Microeconomic Analysis of the Québec Case*, UNU Merit, Universitaire Pers Maastricht, 293 pages.
<https://doi.org/10.26481/dis.20130517rb>
- Benedetti Fasil, Cristiana et Miguel Sanchez-Martinez (2021). « Introduction », dans Akcigit, U., Cristiana Benedetti Fasil, Giammario Impullitti, Omar Licandro et Miguel Sanchez-Martinez, eds. (2021), pp. 1-5.
- Benedetti Fasil, Cristiana, Giammario Impullitti, Miguel Sanchez-Martinez (2021). « Other Innovation Policies and Alternative Modelling Approaches », dans Akcigit, U., Cristiana Benedetti Fasil, Giammario Impullitti, Omar Licandro et Miguel Sanchez-Martinez, eds. (2021), pp. 1-5.
- Bergeaud, Antonin, Arthur Guillouzouic, Émeric Henry et Clément Malgouyres (2022), « From Public Labs to Private Firms: Magnitude and Channels of R&D Spillovers », Centre for Economic Performance Discussion Paper No. 1882. London School of Economics and Political Science, octobre.
<https://cep.lse.ac.uk/pubs/download/dp1882.pdf>
- Bloom, Nicholas, John Van Reenen et Heidi Williams (2019). « A Toolkit of Policies to Promote Innovation », *Journal of Economic Perspectives*, 33(3), pp. 163-184.
- Blundell, Richard, Xavier Jaravel et Otto Toivanen (2023). « Inequality and Creative Destruction », chapitre 7, dans Akcigit, Ufuk et John Van Reenen (2023a), pp. 175-220.
- Collins, Francis S., Tara A. Schwetz, Lawrence A. Tabak, et Eric S. Lander (2021). ARPA-H: Accelerating Biomedical Breakthroughs, *Science*, 373(6551), pp. 165-167.

Cancer Prevention & Research Institute of Texas (2021). *2021 Annual Report*, accessible en version Web : <https://2021annualreport.cpr.it.texas.gov/>.

Carayol, Nicolas (coord.) et Consortium des universités de Bordeaux et de Bourgogne, de SciencesPo et du cabinet Erdyn (2022a). *Analyse d'Impact Ex Post des Programmes d'Excellence (IdEx, LabEx, I-SITE, IDEFI)*, Étude commandée par le Secrétariat Général Pour l'Investissement (SGPI) et l'Agence Nationale de la Recherche (ANR), février, 512 pages.

Carayol, Nicolas (coord.) et Consortium des universités de Bordeaux et de Bourgogne, de SciencesPo et du cabinet Erdyn (2022b). *Synthèse ex-post des programmes d'excellence*, Secrétariat Général Pour l'Investissement (SGPI) et l'Agence Nationale de la Recherche (ANR), juillet, 6 pages.

Carota, Cinzia, Alessandra Durio et Marco Guerzoni (2015). « An Application of Graphical Models to the Innobarometer Survey: A Map of Firms' Innovative Behaviour », *Statistica Applicata - Italian Journal of Applied Statistics*, Vol. 25 (1), pp. 61-79.

Comité d'experts sur l'état de la science et de la technologie et de la recherche-développement industrielle au Canada (2018). *Rivaliser dans une économie mondiale axée sur l'innovation : L'état de la R-D au Canada*, Conseil des académies canadiennes, 215 pages.

Commission européenne (2006). « Wellcome Trust va lever des fonds en émettant des obligations », *Cordis : Résultats de la recherche de l'UE Actualités*, communiqué de presse, 4 juillet.

Conference Board of Canada (2021). *Innovation Report Card 2021*, 28 juin 2021.

<https://www.conferenceboard.ca/in-fact/innovation-report-card-2021/>

Dechezleprêtre, Antoine et David Hémous (2023). « Directed Technical Change and Environmental Economics », chapitre 16, dans Akcigit, Ufuk et John Van Reenen (2023a), pp. 435-472.

Deleidi, Matteo et Marianna Mazzucato (2021). « Directed Innovation Policies and the Supermultiplier: An Empirical Assessment of Mission-Oriented Policies in the US Economy », *Research Policy*, 50(2).

<https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.104151> .

Dugan, Regina E. et Kaigham J. Gabriel (2013). « “Special Forces” Innovation: How DARPA Attacks Problems », *Harvard Business Review*, octobre.

Duhaime, Éric N. (2023) « L'économie numérique et les enjeux du transfert technologique au Québec », Rapport de recherche, Institut de recherche en économie contemporaine, septembre.

Franco, Alain (2023). « How to Overcome Canada's Innovation Paradox », *TheFutureEconomy.ca*, septembre. <https://thefutureeconomy.ca/op-eds/innovation-paradox-alain-franco-conference-board-canada/>

Goolsbee, Austan et Benjamin F. Jones (2021). *Innovation and Public Policy*. Chicago: University of Chicago Press, 248 pages.

Gallini, Nancy et Aidan Hollis (2019). *To Sell or to Scale Up: Canada's Patent Strategy in a Knowledge Economy*, IRPP Study 72, Montreal: Institute for Research on Public Policy, 52 pages.

<https://irpp.org/research-studies/to-sell-or-scale-up-canadas-patent-strategy-in-a-knowledge-economy/>

Guerzoni, Marco, Consuelo R. Nava et Massimiliano Nuccio (2021). « Start-ups survival through a crisis. Combining machine learning with econometrics to measure innovation », *Economics of Innovation and New Technology*, 30:5, pp. 468-493. <https://doi.org/10.1080/10438599.2020.1769810>

Hall, Bronwyn H. (2021). « Tax Policy for Innovation », dans Goolsbee et Jones (2021), pp. 151-188.

Hampshire, Robert C. et Chris Atkinson (2023). *Advanced Research Projects Agency – Infrastructure (ARPA-I)*, U.S. Department of Transportation, Diapositives de présentations, 30 mars.

kh @) h# ou U

<https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/2023-05/ARPA-I%20Discussion%20PCAST%20Meeting%20%2803-30-2023%29.pdf>

Jones, Benjamin F. et Lawrence H. Summers (2021). « A Calculation of the Social Returns to Innovation », dans Goolsbee et Jones (2021), pp. 13-59.

Lerner, Josh (2021). « Government Incentives for Entrepreneurship », dans Goolsbee et Jones (2021), pp. 213-235.

Lessard, Christine (2021). *Indicateurs de la science, de la technologie et de l'innovation au Québec. Édition 2021*. La recherche et développement, [En ligne], Québec, Institut de la statistique du Québec, 40 pages. <https://statistique.quebec.ca/fr/fichier/indicateurs-science-technologie-innovation-quebec-2021-recherche-developpement.pdf>

Liu, Yong, Jian Li, Li-Fang Wang et Jon-Hong Yi (2023) « A Government-Subsidies Incentive Mechanism for Research and Development of Industrial Generic Technologies », *IEEE Transactions on Engineering Management*, 70(6), pp. 2305-2319.

Massachusetts Technology Collaborative (2021). *The Annual Index of the Massachusetts Innovation Economy 2021 Edition*, Innovation Institute at the MassTech Collaborative, 40 pages.

Ministère de l'Économie et de l'Innovation (2021). *Tournée régionale de la stratégie québécoise de la recherche et de l'innovation 2022 : Comptes rendus des rencontres*, Gouvernement du Québec, juillet, 17 pages.

https://www.economie.gouv.qc.ca/fileadmin/contenu/documents_soutien/strategies/recherche_innovation/SQRI/rapport_tournee_regionale_SQRI2022.pdf

Ministère de l'Économie et de l'Innovation (2022). *Inventer développer commercialiser SQRI² : Stratégie québécoise de recherche et d'investissement en innovation 2022-2027*, Gouvernement du Québec, mai, 84 pages. https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/economie/publications-adm/politique/PO_SQRI2_2022-2027_MEI.pdf

OCDE (2015). *Manuel de Frascati 2015 : Lignes directrices pour le recueil et la communication des données sur la recherche et le développement expérimental*, 7^e édition, Éditions de l'OCDE, Paris, 448 pages. <https://www.oecd.org/fr/innovation/manuel-de-frascati-2015-9789264257252-fr.htm>

OCDE (2021). "R&D Tax Incentives: Canada, 2021", Directorate for Science, Technology and Innovation, December 2021. www.oecd.org/sti/rd-tax-statscanada.pdf

OCDE (2022). *OECD Compendium of Information on R&D Tax Incentives 2021*. <http://oe.cd/rntax>

OCDE (2023). *Science, technologie et innovation: Tableau de bord de l'OCDE - STI*. Scoreboard de l'OCDE <https://www.oecd.org/fr/sti/tableau-de-bord.htm>

OCDE/Eurostat (2019). *Manuel d'Oslo 2018 : Lignes directrices pour le recueil, la communication et l'utilisation des données sur l'innovation*, 4^{ème} édition, Mesurer les activités scientifiques, technologiques et d'innovation, Éditions OCDE, Paris, <https://doi.org/10.1787/c76f1c7b-fr>.

Rocard, Michel et Alain Juppé (2009). *Investir pour l'avenir : priorités stratégiques d'investissement et emprunt national*, La Documentation française, novembre, 128 pages.

Schumpeter, Joseph-Alois (1912). *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung*, avec préface datée de 1911, Leipzig, Duncker & Humblot, 548 pages. [Paru en anglais, en 1934, sous le titre *The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle*, Harvard Economic Studies 46, traduction par Redvers Opie, 255 pages. Paru en français, en 1935, sous le titre *Théorie de l'évolution économique : Recherche sur le profit, le crédit, l'intérêt et le cycle de la*

conjoncture, traduction de Jean-Jacques Anstett, avec une introduction de François Perroux, 372 pages.]

Schumpeter, Joseph-Alois (1942). *Capitalism, Socialism and Democracy*, Harper & Brothers, 431 pages.

Sonmez, Zafer (2020). *Preparing Canada's Economies for Automation*, Ottawa, The Conference Board of Canada, 28 pages.

Slaper, Timothy, Tamara van der Does, Portia Egan, Grace Ortuzar et Rachel Strange (2016). *Driving Regional Innovation The Innovation Index 2.0*, Indiana Business Research Center, Kelley School of Business, Indiana University, 134 pages. <https://www.statsamerica.org/ii2/reports/Driving-Regional-Innovation.pdf>

Stancheva, Stefanie (2023). «The Effect of Taxation on Innovation: Theory and Empirical Evidence », dans Akcigit, Ufuk et John Van Reenen (2023a), pp. 653-679.

Stern, Nicholas (2023). «Harnessing Creative Destruction to the Tackling of Climate Change: Purpose, Pace, Policy », dans Akcigit, Ufuk et John Van Reenen (2023a), pp. 365-397.

Subbaraman, Nidhi (2020). « California's vote to revive controversial stem-cell institute sparks debate », *Nature*, vol. 587, no. 7835, 26 novembre, p. 535.

Teichgraeber, Andreas et John Van Reenen (2022), «A policy toolkit to increase research and innovation in the European Union», Centre for Economic Performance Discussion Paper No. 1832. London School of Economics and Political Science, février.

<http://eprints.lse.ac.uk/117801/1/dp1832.pdf>

Tysinger, Bryan, Karen Mulligan, Henu Zhao, Alwyn Cassil et Dana Goldman (2019). « Future Health Dividends for California: Valuing Medical Innovations to Fight Cancer, Diabetes, Stroke, and Dry Age-Related Macular Degeneration », The Leonard D. Schaefer Center for Health Policy and Economics at the University of Southern California, Final report, février, 18 pages.

https://healthpolicy.usc.edu/wp-content/uploads/2019/11/CIRM_REPORT_v2.pdf

Wei, Dan et Adam Rose (2019). *Economic Impacts of the California Institute for Regenerative Medicine (CIRM)*, Economic Impact Report conducted by the The Leonard D. Schaefer Center for Health Policy and Economics at the University of Southern California, Final report, octobre, 84 pages.

https://www.cirm.ca.gov/sites/default/files/CIRM_Economic%20Impact%20Report_10_3_19.pdf

Wellcome Foundation (2021). « Wellcome issues £750m 50-year Bond at 1.5% », Press release, 8 juillet.

<https://wellcome.org/press-release/wellcome-issues-ps750m-50-year-bond-15>

World Intellectual Property Organization (2022). *Global Innovation Index 2022: What is the future of innovation-driven growth?*, 15^e édition, Genève: WIPO. <https://doi.org/10.34667/tind.46596>

Appendices

A – Descriptif des variables utilisées par le Conference Board du Canada pour construire leurs indicateurs

Indicateurs de la capacité à innover	
R-D publique	Dépenses en R-D du secteur public (incluant des organismes gouvernementaux et d'enseignement supérieur) en % du PIB [2018 pour la plupart des pays ; 2019 pour les provinces et pour l'Australie et le Canada; 2017 pour les autres provinces] Sources : OCDE, Principaux indicateurs de la science et de la technologie ; Statistique Canada, tableaux 27-10-0273-01, 36-10-0222-01.
Articles scientifiques	Nombre d'articles scientifiques publiés en sciences naturelles et génie dans des revues arbitrées par des pairs par tranche d'un million d'habitants [2018] Sources: The National Center for Science and Engineering Statistics (NCSES); OECD: Main Science and Technology Indicators; Science Matrix; Statistique Canada, tableau Table: 17-10-0005-01.
Vulnérabilité à l'automatisation	Indicateur de la vulnérabilité professionnelle et de la résilience de la main-d'œuvre : basé sur une moyenne équilibrée d'indices reflétant la part de la population active dans les professions à haut risque et à faible mobilité (HRLM); le coût économique moyen de la transition professionnelle; la part de la population active dans des professions avec des débouchés limités; la part de la population active âgée de 55 ans et plus; et la part de la population active possédant un diplôme d'études secondaires ou moins. [2020] Source: Sonmez, Zafer. Preparing Canada's Economies for Automation. Ottawa: The Conference Board of Canada, 2020.
Activités d'innovation	
Ambition entrepreneuriale	% de la population âgée de 18 à 64 ans qui déclare être engagé dans une activité entrepreneuriale en phase de démarrage ou propriétaires exploitants d'une nouvelle entreprise – c'est une mesure autodéclarée de l'enthousiasme des répondants relativement à l'entrepreneuriat [2019 pour la plupart des pays; 2016 pour la Belgique, le Danemark et la Finlande; 2017 pour l'Australie; 2018 pour l'Autriche, la France, la Colombie-Britannique, l'Ontario et le Québec; 2019 pour les autres provinces] Sources: The World Bank, Global Entrepreneurship Monitor Adult Population Survey, Global Entrepreneurship Monitor, Canada Report 2016, Canada Report 2017, and Canada Report 2018–19.
Capital de risque	Investissement de capital de risque (aux phases de démarrage et aux étapes ultérieures) en % du PIB – Caveat : la mesure peut différer d'un pays à l'autre [Moyenne sur la période 2018-2019 pour les pays et moyenne sur la période 2017-2019 pour les provinces] Sources : OCDE, Science, technologie et innovation: Tableau de bord de l'OCDE ; OCDE, Principaux indicateurs de la science et de la technologie; Hockeystick; Canadian Venture Capital and Private Equity Association; Statistique Canada, tableaux 36-10-0222-01.
R-D entreprises	Dépenses en R-D réalisées par les entreprises en % du PIB [2018 pour la plupart des pays; 2017 pour l'Autriche, la Suisse et les provinces ; 2019 pour l'Autriche et le Canada] Sources : OCDE, Principaux indicateurs de la science et de la technologie ; Statistique Canada, , tableaux 27-10-0273-01 et 36-10-0222-01.
Brevets	Nombre de brevets déposés en vertu du Traité de coopération en matière de brevets (ou PCT, pour Patent Cooperation Treaty) par million d'habitants. [2017.] Sources : OCDE, Principaux indicateurs de la science et de la technologie; Office de la propriété intellectuelle du Canada; Statistique Canada, tableau 17-10-0005-01.
Taux d'entrées d'entreprises	Taux d'entrée des entreprises, mesurée par le nombre de nouvelles entreprises exprimé en % du nombre d'entreprises actives [2018 pour les provinces uniquement] Source: Statistique Canada, tableau 33-10-0087-01.
Productivité du travail	PIB par heure travaillée en \$ américains en parités de pouvoir d'achat et aux prix de 2010 [2019] Sources: OECD Compendium of Productivity Indicators; Statistique Canada, tableaux 36-10-0489-01 et 36-10-0480-01.

À l'aide des variables décrites ci-dessus, le Conference Board du Canada adopte la méthodologie suivante.

Le Conference Board du Canada a établi une liste, incluant le Canada, formée de 16 pays dits comparables. Ces derniers ont été sélectionnés sur la base des pays caractérisés par la Banque mondiale comme étant à revenus élevés, mais, qui plus est, ont une population de plus de 1 million d'habitants, occupant une superficie supérieure à 10 000 km². Finalement, pour faire partie de la liste, ils doivent afficher avec une moyenne sur 5 ans de PIB réel par habitant supérieure à la moyenne du groupe des pays satisfaisant les critères précédents. Ainsi, sujet à la disponibilité des données, les pays de comparaison sont

Australie ;	Autriche ;	Belgique ;	Canada ;
Danemark ;	Finlande ;	France ;	Allemagne ;
Irlande ;	Japon ;	Pays-Bas ;	Norvège ;
Suède ;	Suisse ;	Royaume-Uni ;	États-Unis.

Afin d'exprimer les données de chaque indicateur en une unité commune, la normalisation type suivante est employée, soit

$$\text{Indicateur normalisé} = \frac{(\text{Valeur de la variable} - \text{Valeur minimale})}{(\text{Valeur maximale} - \text{Valeur minimale})} \times 100$$

Ainsi, pour un pays dont une variable affiche la valeur maximale parmi tous les pays, l'indicateur normalisé correspondant est 100. Pour celui avec une valeur minimale parmi tous les pays, l'indicateur normalisé est 0.

Puis, afin de traduire un indicateur normalisé en lettre, quatre quartiles sont établis à partir de la valeur de . Selon que la valeur de son indicateur normalisé se retrouve dans le 1er, 2e, 3e ou 4e quartile, la lettre A, B, C ou D est respectivement attribuée au pays ou à la province. Une note A+ (D-) est accordée à une province qui fait mieux que le pays comparable le mieux (moins bien) classé.

B – Méthodologies variées à la base de tableaux de bord de l'innovation

Plusieurs sources de données plus ou moins agrégées permettent de broser un portrait sommaire de caractéristiques associées à une économie dite propice à l'innovation. L'OCDE, la Commission européenne et le Conference Board recueillent ou regroupent différentes variables permettant certaines comparaisons entre pays ou régions et une certaine évolution historique de l'innovation. L'OCDE produit un tableau de bord de l'innovation. La Commission européenne suit aussi un Tableau de bord européen de l'innovation, un Innobaromètre et un Moniteur régional de l'innovation.

Le tableau ci-dessous présente sommairement quelques approches méthodologiques alternatives : l'approche de type Conference Board, celle de l'Indice Global de l'Innovation, le Bloomberg Innovation Index, l'approche 2009 du U.S. Economic Development Administration et son successeur Stats America Innovation Mapping (*Slaper et al.*, 2016), l'Innobaromètre de la Commission européenne, l'Indice du Massachusetts Innovation Economy (Massachusetts Technology Collaborative, 2021) et, finalement, la version 2016 du Tableau synoptique du Tableau de bord du système d'innovation québécois du MESI.

TABLEAU B.1 Quelques options d’approches méthodologiques

Approche	Types de mesures ou indices	Types de variables	Autres détails et sources de données
Approche de type Conference Board	Indice composite sommaire à partir de variables assemblées à partir de données secondaires toutes publiques	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Indicateurs de la capacité à innover ▪ Activités d’innovation ▪ Résultats de l’innovation 	OCDE, Statistique Canada
Indice Global de l’Innovation (GLOBAL INNOVATION INDEX)	132 pays, 81 indicateurs de 3 catégories (édition 2022)	▪ quantitatifs / objectifs / « hard data » (65 indicateurs)	organisations publiques officielles et grandes organisations privées reconnues;
		▪ indicateurs composites / données indicelles (13 indicateurs)	organisations spécialisées et institutions universitaires
		▪ données plus subjectives de type qualitatif ou tirées d’enquêtes statistiques (soft data) (3 indicateurs)	le World Economic Forum’s Executive Opinion Survey (EOS), dont les questions visent à capter des perceptions subjectives sur des sujets spécifiques.
	<ul style="list-style-type: none"> • Sous-indice associé aux intrants à l’innovation sur la base de mesures relatives : aux institutions; au capital humain et à la recherche; aux infrastructures; à la sophistication des marchés; à la sophistication du secteur des affaires • Sous-indice associé aux extrants à l’innovation sur la base de mesures relatives : aux connaissances et à la technologie; à la créativité 		
The Bloomberg Innovation Index:	Six mesures équipondérées avec des scores combinés pour fournir une note globale pour chaque pays de zéro à 100 : variables typiques : assez proche du Conference Board		Bloomberg, International Monetary Fund, World Bank, OCDE, World Intellectual Property Organization, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization Other sources: Samsung, Swiss Federal Statistical Office and Unified Patents

Approche	Types de mesures ou indices	Types de variables		Autres détails et sources de données
<p>The Innovation Index 2.0 du Stats America Innovation Mapping (2016) (successeur de l'approche du U.S. Economic Development Administration de 2009)</p>	Tableau de bord, menant à la construction d'un indice de portefeuille de l'innovation'	intrants à l'innovation	Indice de capital humain et de création de la connaissance : pour évaluer dans quelle mesure dans la population et la main-d'œuvre d'une région sont en mesure de participer à des activités innovantes	
			Indice de dynamisme des entreprises : pour mesurer la compétitivité d'une région en enquêtant sur l'entrée et la sortie des entreprises et mesurer l'étendue de « destruction créatrice ».	
			Indice de profil des entreprises : pour mesurer les conditions d'affaires et les ressources disponibles localement aux entrepreneurs et aux entreprises	
	Tableau de bord, menant à la construction d'un indice de portefeuille de l'innovation (suite)	extrants à l'innovation	Indice de l'emploi et de la productivité : pour décrire la croissance économique, l'attrait régional ou les résultats directs des activités d'innovation	
			Indice de bien-être économique : pour évaluer le niveau de vie et d'autres résultats économiques	
Indice de capital social (en option et préliminaire) : pour évaluer de manière impressionniste les retombées régionales des réseaux de collaboration qui sous-tendent la capacité d'une collectivité à relever ses défis				
<p>Innobaromètre de la Commission européenne</p>	<p><i>Résultat de sondage annuel auprès de du public et d'entreprises européennes sur les activités et les attitudes manifestées par rapport à l'innovation.</i></p> <p>Son objectif est de recueillir et de fournir « une source unique d'information directe sur l'innovation pour les décideurs politiques ». (Notre traduction. Union Européenne, 2016, Flash Eurobarometer 433 : Innobarometer 2016 – EU business innovation trends.)</p>	<p>13 questions types</p> <p>28 pays membres de l'UE + la Suisse + les États-Unis</p> <p>= 30 échantillons de 500 observations dans chacun des pays, avec des quotas appliqués pour la taille des entreprises et des secteurs par pays</p>	<p>Une enquête statistique menée par sondage téléphonique avec questions lues de vive voix avec le consortium TNS Political & Social</p>	

Approche	Types de mesures ou indices	Types de variables	Autres détails et sources de données
Indice de l'économie de du Massachusetts	Publié annuellement depuis 1997 ; différentes statistiques et une discussion générale pour 25 indicateurs (et plusieurs sous-indicateurs)	Industry Cluster Employment and Wages; Occupations and Wages; Household Income; Exports; Research and Development; Academic Article Output; Patents; Technology Patents; Technology Licensing; Small Business Innovation Research (SBIR) and Technology Transfer (STTR) Awards; Business Formation; Initial Public Offerings and Mergers and Acquisitions; Federal Funding for Academic and Health R&D; Venture Capital; Educational Attainment; Public Investment Education; Science, Technology, Engineering, and Math (STEM) Career Choices and Degrees; Talent Flow and Attraction; Housing Affordability; Infrastructure	Diverses agences de statistiques officielles : BLS, BEA, National Science Foundation; US Census Bureau; NBER Patent Citation Data File; Association of University Technology Managers; US Dept of Commerce, etc.
Tableau synoptique du Tableau de bord du système d'innovation québécois du ministère de l'Économie, Science et Innovation (MESI) de 2016	Indicateurs généraux de performance de l'activité économique	4 variables : PIB réel en niveau 2014 et en taux de croissance sur 5 ans de 2009 à 2014; taux de croissance de la population sur 5 ans entre 2010 et 2015, taux d'emploi 2015	Grande disparité et variabilité dans la nature des variables et leur disponibilité. Lesdits indicateurs sont parfois pointus et parfois diffus. Ils ne font pas l'objet de pondération ou de relations toujours étroites avec l'innovation. Comparaisons fréquentes avec l'Ontario et les États-Unis, et parfois avec d'autres régions et pays, mais de manière hétérogène.
	Investissements et ressources financières	8 mesures de dépenses en R-D en % du PIB et d'investissements en 2013 + 1 mesure des investissements en capital de risque en % du PIB pour 2010.	
	Ressources humaines et investissements dans les talents	15 mesures de personnel de recherches, de diplomation, dépenses en éducation, résultats du PISA : parfois 2008, 2009, 2012 ou 2013.	
	Rendement au chapitre de la recherche et de l'innovation	9 mesures (2012, 2014 ou 2015, selon) Sources : diverses, souvent Enquête de Stat Can de 2012 sur l'innovation et les stratégies d'entreprises	
	Environnement de l'innovation de l'entreprise	9 mesures (2012, 2014, 2015 ou 2016, selon) Sources : diverses, souvent Enquête de Stat Can de 2012 sur l'innovation et les stratégies d'entreprises	