

UNE NOUVELLE ÉTOILE POLAIRE III

LES ARGUMENTS EN FAVEUR D'UN ORGANISME
CANADIEN DE RECHERCHE D'AVANT-GARDE



ROBERT ASSELIN

SEAN SPEER



FORUM DES
POLITIQUES
PUBLIQUES

TABLE DES MATIÈRES



04



INTRODUCTION



10



SECTION I : INNOVATION PROGRESSIVE OU RADICALE



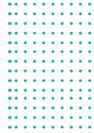
12



SECTION II : APPRENDRE DES MEILLEURS : QU'EST-CE QU'UN ORGANISME DE RECHERCHE D'AVANT-GARDE?



23



SECTION III : POURQUOI AVONS-NOUS BESOIN DE LA CARPA?



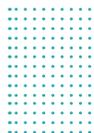
28



SECTION IV : COMMENT POUVONS-NOUS ASSURER LE SUCCÈS DE L'ORGANISME CANADIEN DE RECHERCHE D'AVANT-GARDE (CARPA)?



36



CONCLUSION



37



REMERCIEMENTS





PUBLIC POLICY FORUM FORUM DES POLITIQUES PUBLIQUES

À PROPOS DE NOUS

Le Forum des politiques publiques (FPP) rassemble différents participants au processus d'élaboration des politiques. Il leur offre une tribune pour examiner des questions et apporter de nouveaux points de vue et de nouvelles idées dans le débat sur les politiques. Nous croyons que l'élaboration de bonnes politiques est essentielle à la création d'un Canada meilleur – un pays cohésif, prospère et sûr.

© 2021 Forum des politiques publiques

1400 – 130, rue Albert

Ottawa (ON) Canada K1P 5G4

613.238.7858



www.ppforum.ca/fr



[@ppforumca](https://twitter.com/ppforumca)

MERCI À NOS PARTENAIRES



CEDEC

Johnson & Johnson FAMILY OF COMPANIES IN CANADA



Banque Scotia

AU PROPOS DES AUTEURS



Robert Asselin

Robert Asselin est Premier Vice-Président, Politiques publiques du Conseil canadien des affaires. De 2017-2020, il était Premier Vice-Président, Politiques publiques chez BlackBerry. En 2017, il a été nommé Senior Fellow à la Munk School of Global Affairs and Public Policy de l'Université de Toronto et associé au Forum des politiques publiques. De 2015 à 2017, il a occupé le poste de directeur des politiques et du budget du ministre des Finances du Canada. De 2007 à 2015, M. Asselin a été directeur associé de l'École supérieure d'affaires publiques et internationales de l'Université d'Ottawa. En 2014, il était chercheur invité en politiques publiques au Woodrow Wilson International Center for Scholars à Washington, D.C. M. Asselin a été conseiller politique auprès des premiers ministres Paul Martin et Justin Trudeau.



Sean Speer

Sean Speer est actuellement chercheur en résidence et boursier du premier ministre du Canada au Forum des politiques publiques. Il est également professeur adjoint à la Munk School of Global Affairs and Public Policy de l'Université de Toronto. Il a occupé le poste de conseiller économique principal pour l'ancien premier ministre Stephen Harper.



INTRODUCTION

La prospérité du Canada a trop reposé sur l'immédiateté de dépenses entraînant des déficits budgétaires, l'essor du marché immobilier et la consommation des ménages financée par la dette. Nous devons plutôt réorienter les investissements vers la richesse et le bien-être de l'avenir, particulièrement notre capacité d'inventer et d'innover, de créer des technologies et des entreprises de calibre mondial et, finalement, de conquérir les marchés mondiaux. L'invention et l'adoption de nouveaux produits, services et processus doivent être à la base de l'augmentation de la productivité et de la prospérité à long terme.

L'idée que le processus d'invention et d'innovation est un ingrédient clé de la richesse et de la prospérité nationales n'est ni nouvelle ni inédite. Comme l'a déclaré le président américain Harry S. Truman dans son discours inaugural de 1949 :

« Une production¹ plus grande est la clé de la prospérité et de la paix. Et la clé d'une plus grande production, c'est une mise en œuvre plus large et plus vigoureuse du savoir scientifique et technique moderne². »

Le rendement du Canada en matière d'application de la science et de la technologie modernes – parfois appelée « continuum d'innovation » – exige une plus grande attention aux politiques. La construction



d'une économie moderne qui élève le Canada et les Canadiens et Canadiennes dépendra de la capacité des entreprises nationales à créer de nouveaux produits et services qui sont compétitifs dans l'économie mondiale. L'invention et l'innovation doivent donc être des intrants majeurs dans ce processus à somme positive d'une compétitivité accrue, d'une productivité plus élevée et, en fin de compte, d'une augmentation du niveau de vie³.

Les bénéfices des nouvelles idées et technologies ne se limitent pas à des gains matériels. Ils constituent également les principaux moteurs des solutions aux défis environnementaux, sociaux et de sécurité nationale, allant des changements climatiques à la fracture numérique en passant par la santé publique. Le processus consistant à catalyser les idées et les technologies révolutionnaires, puis à les faire passer du processus d'innovation à leur application sur le marché, peut, par exemple, déboucher sur de nouveaux vaccins pour lutter contre les futures pandémies, sur de nouvelles technologies propres pour verdir l'économie et sur l'application de solutions numériques dans tous les domaines, de l'agriculture aux soins de santé.

En tant que nation animée de l'ambition de compter dans le monde et de rivaliser avec les meilleurs, nous devons faire mieux en matière d'idées et de technologies révolutionnaires – plus d'exemples tels que l'insuline et moins de ruées sur les vaccins mis au point et produits ailleurs. De plus en plus, les retardataires en matière d'idées et de technologies révolutionnaires se contenteront des miettes dans une économie alimentée par l'invention, l'innovation et les biens incorporels.

Pourtant, le Canada ne tire pas le meilleur parti de ces résultats potentiels pour son économie, sa société ou sa position dans le monde. Le rapport 2020 Inclusive Innovation Monitor du Brookfield Institute for Innovation + Entrepreneurship et de l'Innovation Policy Lab souligne, par exemple, que « l'innovation au Canada a été lente par rapport à nos pairs internationaux⁴ ». Un rapport de 2018 de la Brookings Institution a également montré que nos industries de pointe – notamment les secteurs où l'innovation et l'application de la technologie à haute valeur ajoutée sont les moteurs disproportionnés de la prospérité nationale et régionale – accusent un retard important sur celles des États-Unis⁵.



La capacité
d'innovation n'est
plus seulement une
condition préalable
à l'augmentation
du niveau de vie.

Elle constitue
un **avantage
stratégique
fondamental
pour faire face
à divers défis
environnementaux,
sociaux et de
sécurité nationale.**



Il est facile de diagnostiquer le problème. Nous ne réalisons pas assez d'inventions révolutionnaires et ne parvenons pas à faire passer celles que le pays met au point du processus d'innovation à la commercialisation, puis à la mise à l'échelle et, finalement, à l'exportation dans le monde. Le Canada est coincé dans ce qui a été décrit comme un « équilibre de faible innovation⁶ ».

Il est beaucoup plus difficile de remédier à ces lacunes. Elles sont enracinées dans la structure de l'économie, la conception et l'application de nombreux niveaux de programmes et de politiques gouvernementales, et la culture de l'innovation progressive qui tend à imprégner les entreprises, les universités et les gouvernements canadiens. Il est difficile de surmonter cette combinaison de facteurs séculaires et structurels qui influencent la quête de la science, de la technologie et du progrès.

Pourtant, il est de nouveau urgent de s'attaquer au faible rendement du Canada en matière d'innovation. La course mondiale à l'invention et à l'innovation s'accélère dans le Nouveau Monde de l'économie de l'immatériel. Comme nous l'avons souligné dans nos précédents rapports du projet, Une nouvelle étoile polaire, l'essor des actifs incorporels (y compris les données, les logiciels et la propriété intellectuelle), et leur dynamique du « tout au vainqueur », transforme l'origine de la valeur économique et les pays qui façonneront l'avenir⁷. Les gouvernements du monde entier adoptent à leur tour de nouvelles stratégies ambitieuses pour stimuler la science et la technologie en général et poursuivre les idées et technologies révolutionnaires en particulier.

On ne saurait trop insister sur ce point : nous vivons une ère de changement de paradigmes où la combinaison de l'économie de l'immatériel et de la rivalité géopolitique croissante oblige les décideurs. euses politiques à repenser leurs stratégies politiques de base pour soutenir l'invention et l'innovation nationales. La croissance des technologies « à double usage » qui combinent des applications commerciales et des applications de sécurité nationale a contribué à ce que l'universitaire

américain Michael Lind a qualifié de « retour de la géoéconomie⁸ ». La capacité d'innovation n'est plus seulement une condition préalable à l'augmentation du niveau de vie. Elle constitue un avantage stratégique fondamental pour faire face à divers défis environnementaux, sociaux et de sécurité nationale.

Ce changement a amené les gouvernements et les politicien.ne.s de tout le spectre idéologique à ajuster leur réflexion sur l'importance stratégique de la capacité nationale dans les secteurs et les technologies clés, le rôle du gouvernement dans le soutien de l'invention et de l'innovation, et la nécessité de nouvelles institutions publiques privées pour soutenir les progrès dans ces domaines. Comme l'a observé l'expert en politiques d'innovation Robert Atkinson, né au Canada et basé à Washington, dans un rapport publié en juillet 2021, plus de 50 pays ont maintenant établi une forme ou une autre d'organisme technologique national spécialisé⁹.

La lettre que le président des États-Unis Joe Biden a adressée en janvier 2021 à son nouveau conseiller scientifique est un bon exemple de cet engagement renouvelé envers la science et la technologie¹⁰. Dans sa lettre, le président rappelle la directive donnée par l'ancien président Franklin Roosevelt à Vannevar Bush en novembre 1944. Cette célèbre directive a conduit à la mise en place du programme « Endless Frontier », qui a contribué au leadership des États-Unis en matière de science et de technologie au cours des 80 années et plus qui ont suivi¹¹.

Le soutien bipartite croissant à Washington en faveur d'une augmentation des investissements publics dans la science et la technologie en général, et dans la recherche industrielle appliquée en particulier, reflète une compréhension commune de l'impératif économique moderne : les pays qui sont capables de générer, puis de tirer pleinement profit (ce que l'ancien président Truman appelait la « production » et la « mise en œuvre ») de leur capital intellectuel seront ceux qui réussiront dans l'économie du XXI^e siècle.

Les décideurs.euses politiques canadiens doivent donc être plus ambitieux. Notre mauvais rendement en matière d'innovation ne sera pas résolu par la mise en place de programmes ou de politiques ponctuelles en cette nouvelle ère de concurrence mondiale intense¹². Il y a un impératif national de renforcer la capacité globale du pays en matière d'invention et d'innovation. Le Canada doit s'attaquer systématiquement aux faiblesses structurelles du continuum de l'innovation, depuis le financement de la recherche fondamentale jusqu'à l'expansion des entreprises mondiales. Bref, le pays a besoin d'une nouvelle capacité pour catalyser les percées et les commercialiser, puis les mettre à l'échelle et, finalement, les exporter dans le monde entier.

Il faudrait commencer par reconnaître que nos modèles actuels de soutien à la science et à la technologie sont inadéquats. Nous devons améliorer notre approche progressive, qui consiste principalement en une panoplie de politiques et de programmes d'innovation ayant donné des résultats décevants, pour en faire une nouvelle approche à haut risque et à haut rendement. Un tel changement de politique aurait une incidence sur l'ensemble de l'économie, mais peut-être pas autant que sur l'objectif de transition énergétique. La tarification du carbone et les autres politiques de réduction des émissions devraient induire une demande croissante de formes d'énergie nouvelles et différentes. Il est désormais nécessaire de se focaliser davantage sur l'aspect technologique de l'équation de l'innovation pour répondre à cette demande naissante et atteindre l'objectif de carboneutralité d'ici 2050. Le point essentiel est que les gouvernements ont un rôle clé à jouer dans le financement et la facilitation de la recherche appliquée et du développement à l'échelle et dans la commercialisation de la recherche pour une application basée sur le marché.

Dans le cadre de son plan visant à relever les défis du pays en matière d'innovation, le gouvernement fédéral a mis de l'avant un plan visant à créer l'Agence des projets de recherche avancée du Canada (ACCPA) afin de « libérer de

nouvelles idées de recherche audacieuses, de stimuler les percées technologiques, de protéger l'avantage concurrentiel du Canada et d'aider les entreprises canadiennes à croître et à créer des emplois hautement spécialisés »^{13, 14}. Bien que les principaux détails restent pour la plupart inconnus, la plateforme électorale du Parti libéral cite précisément la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) aux États-Unis comme modèle pour le nouvel organisme.

La proposition a déjà suscité des discussions et des débats considérables dans les milieux des politiques d'innovation. Certain.e.s se sont demandé si un nouvel organisme dédié à la recherche d'idées et de technologies révolutionnaires était la bonne réponse aux défis permanents du pays en matière d'innovation. D'autres ont prévenu que le Canada pourrait ne pas disposer des caractéristiques nécessaires – y compris une capacité d'approvisionnement public à grande échelle – pour qu'un organisme de type DARPA puisse réussir ici. L'idée est loin d'être considérée comme une solution miracle pour les politiques d'innovation canadiennes.

Nous comprenons certaines de ces préoccupations. La conception, la gouvernance, les détails opérationnels et programmatiques d'une nouvelle CARPA auront une grande importance. Si le gouvernement ne parvient pas à mettre en place ces éléments de base, il est fort probable que le nouvel organisme ne soit pas à la hauteur en tant que source de nouvelles percées ou en tant que passerelle vers leur application sur le marché. Le risque est, comme l'ont fait remarquer ses détracteurs, que la CARPA devienne essentiellement un autre organisme subventionnaire lié à l'innovation dans la panoplie fédérale déjà existante.

Nous sommes toutefois plus optimistes quant au fait que la CARPA peut être une nouvelle institution utile à l'écosystème d'innovation global du Canada. Un nouvel organisme dédié aux projets à haut risque et à haut rendement susceptible d'engendrer des percées peut aider à réapprovisionner continuellement la filière de l'innovation au Canada par un nouvel apport d'idées et de technologies

prometteuses. Il peut préférer les « paris risqués » en innovation alors que la plupart des autres organismes et programmes gouvernementaux privilégient les « paris sûrs ». On pourrait donc le considérer comme un organisme gouvernemental qui s'engage singulièrement à poursuivre l'objectif primordial « zéro à un » (innovation radicale) plutôt que « 1 à n » (innovation progressive), comme l'a expliqué Peter Thiel, investisseur polarisé, mais très prospère de la Silicon Valley¹⁵.

Mais, comme l'ont fait remarquer à juste titre divers expert.e.s en politiques d'innovation, il s'agit là d'une condition nécessaire, mais non suffisante pour parvenir à une innovation plus axée sur le marché. La CARPA devra également intégrer dans ses projets et processus une capacité à aider ces idées et technologies à passer du processus d'innovation à la commercialisation sous la forme d'approvisionnement public, d'accès au capital privé et d'autres moyens publics et privés pour aider ces technologies à trouver des client.e.s nationaux et internationaux. Bref, la CARPA doit jouer un rôle de catalyseur des percées et créer des passerelles pour que ces percées atteignent le marché.

L'objectif de ce rapport est d'établir un plan institutionnel et politique pour la future CARPA. Nous nous appuyons sur une combinaison de recherche primaire (y compris une analyse comparative des pays pairs) et sur notre propre expérience en matière de politiques pour mettre en avant les éléments de conception, de gouvernance, de fonctionnement et de programmation qui, selon nous, constituent des éléments de base essentiels pour la CARPA.

La **section 1** aborde les différences entre l'innovation progressive et l'innovation radicale, y compris les facteurs qui peuvent amener le marché à produire moins d'idées et de technologies révolutionnaires que ce dont nous avons besoin et le rôle des politiques publiques pour résoudre cette défaillance du marché.

La **section 2** examine la DARPA et d'autres organismes de recherche d'avant-garde dans le

monde pour discerner les caractéristiques clés qui contribuent à leur efficacité en tant que catalyseurs d'idées et de technologies révolutionnaires et en tant que passerelle vers leur application sur le marché.

La **section 3** analyse l'écosystème d'innovation actuel du Canada et met en contexte la nécessité d'un organisme de type DARPA pour faire avancer les projets à haut risque et à haut rendement et aider les idées et les technologies prometteuses à faire la transition dans tout le continuum de l'innovation.

La **section 4** décrit les principaux éléments de conception, de gouvernance, de fonctionnement et de programmation qui détermineront l'efficacité ultime de la CARPA en tant que nouvelle institution dans l'écosystème d'innovation global du Canada.

Un dernier point : bien que nous reconnaissons que la CARPA ne sera pas une solution miracle – l'un d'entre nous a d'ailleurs écrit qu'« une version

canadienne [de la DARPA] ne résoudra pas à elle seule les problèmes d'innovation du Canada¹⁶ » – nous pensons également qu'un organisme bien conçu et bien structuré peut contribuer positivement à l'écosystème d'innovation du pays en accordant la priorité aux percées plutôt qu'à la progressivité. Comme nous l'a souligné une personne ayant une vaste expérience des politiques publiques canadiennes : « [la CARPA] est le genre de chose qui peut secouer un écosystème d'innovation sclérosée¹⁷ ». Nous en convenons.

Il y a lieu de se réjouir de l'élan croissant en faveur de différents modèles de politiques d'innovation au Canada. Il est en effet temps de secouer l'écosystème d'innovation peu productif du Canada et de réengager le pays dans les objectifs d'innovation, de technologie et de progrès. La CARPA peut être un élément majeur d'un tel programme renouvelé. Les pages suivantes présentent un plan directeur pour la création du premier organisme national du Canada dédié aux percées et aux passerelles.



L'objectif de ce rapport est d'établir un plan institutionnel et politique pour la future CARPA.



SECTION I :

INNOVATION PROGRESSIVE OU RADICALE

La promesse du gouvernement fédéral de créer un nouvel organisme canadien de recherche d'avant-garde (CARPA) axé sur les idées et les technologies révolutionnaires est loin d'être unique. Plusieurs autres pays disposent déjà de tels organismes ou l'ont au moins expérimenté.

L'idée de base est simple : une combinaison de forces du marché et d'autres facteurs d'économie politique tend à pousser les chercheurs universitaires et les entreprises sans but lucratif dans la direction de l'innovation progressive. Ce type d'innovation est très important pour les entreprises et les technologies en place. Il reflète un processus dynamique et continu d'amélioration des idées, produits, processus et technologies existants. L'innovation progressive est une expression fondamentale du dynamisme incessant du capitalisme de marché¹⁸.

Mais cela ne suffit pas pour surmonter les grands défis environnementaux, sociaux et de sécurité nationale. Il est également nécessaire d'avoir recours à l'innovation radicale, qui tend à produire des changements plus importants dans les technologies et les modèles d'entreprise, et implique souvent de nouvelles entreprises qui pénètrent sur un marché ou créent un nouveau marché. Cette forme d'innovation conduit donc généralement à des avantages comparatifs qui peuvent, à leur tour, contribuer à une croissance explosive¹⁹.

Pourtant, en raison de l'aberration et de l'incertitude qui lui est inhérente, le marché et les modèles conventionnels de financement de la recherche risquent de ne pas produire de tels résultats. Un étrange mélange de défaillance du marché d'un côté et de « contrôleurs.euses » universitaires de l'autre fait obstacle à de tels progrès²⁰.

Dans le premier cas, le marché ne produira pas suffisamment d'innovations radicales par lui-même en raison des niveaux de risque élevé et des longs délais du rendement du capital investi potentiel. Dans le second cas, le processus d'examen par les pair.e.s pour le financement de la recherche universitaire tend à privilégier les sujets, les méthodologies et les connaissances dominants au détriment des idées et des technologies révolutionnaires²¹. L'effet net est que nous pouvons nous retrouver avec trop peu d'idées prometteuses dans la filière de l'innovation et trop peu de commercialisation et de mise à l'échelle dans l'économie privée.

Ce sous-investissement dans l'innovation radicale peut non seulement nuire à la productivité globale, mais aussi entraver les progrès dans la résolution des grands problèmes environnementaux, sociaux ou de sécurité. Prenons l'exemple des changements climatiques. L'innovation progressive à elle seule ne permettra pas au Canada d'atteindre son ambitieux objectif de carboneutralité d'ici 2050. Nous aurons besoin de nouvelles percées scientifiques et technologiques si nous voulons atteindre cet objectif d'ici 2050 au Canada.

L'Institut canadien pour des choix climatiques estime que les « paris sûrs », tels que les véhicules électriques, les équipements à haut rendement énergétique et les pompes à chaleur et plinthes électriques, peuvent contribuer à au moins un tiers des réductions d'émissions nécessaires pour atteindre l'objectif de 2050 du Canada. Le reste des progrès devra provenir de technologies qu'il convient d'appeler les « paris risqués » – différentes formes d'innovation radicale – qui ne sont pas encore développés ou qui n'existent peut-être même pas encore²².

Ces idées ou technologies révolutionnaires sont le moteur fondamental du progrès, un raccourci de ce que le technologue Patrick Collison et l'économiste Tyler Cowen ont défini comme étant la « combinaison de progrès économiques, technologiques, scientifiques, culturels et

organisationnels qui ont transformé nos vies et élevé nos niveaux de vie au cours des deux derniers siècles²³ ». Pour reprendre les termes du cofondateur canadien de Moderna, Noubar Afeyan, il s'agit de « bonds » scientifiques et technologiques majeurs plutôt que de simples avancées progressives²⁴. Une économie dynamique et en pleine croissance ne peut pas simplement dépendre d'innovations progressives. Elle a également besoin d'une réserve constante d'idées et de technologies révolutionnaires dans sa filière de l'innovation. Pour passer de zéro à un, selon M. Afeyan, il faut avoir la « permission de faire un bond ».

Pourtant, la plupart des programmes et politiques gouvernementaux ont tendance à privilégier l'innovation progressive. Cela est astucieux, d'une certaine façon. L'innovation progressive est, par définition, plus courante que l'innovation radicale. Elle bénéficie également d'un plus grand soutien politique des entreprises en place et des chercheur.e.s universitaires. Les idées et les technologies qui n'existent pas encore n'ont pas de voix pour les défendre.

Le marché risque donc de sous-investir dans les inventions à haut risque et à fort rendement et de privilégier les progrès sûrs et graduels. Cela peut contribuer à un équilibre sclérosé dans lequel l'offre d'idées et de technologies révolutionnaires commence à tarir dans la filière de l'innovation et finit par entraver le progrès. Robert Atkinson a donc plaidé en faveur d'un cadre politique qui « penche vers l'innovation radicale²⁵ ». Bill Gates a également plaidé en faveur d'un investissement dans la capacité à réaliser des « miracles technologiques²⁶ ».

Le point essentiel est que si nous voulons catalyser plus d'idées et de technologies révolutionnaires, nous ne pouvons compter ni sur les forces du marché ni sur les modèles traditionnels de financement de la recherche publique. Pour y parvenir, il faudra de nouveaux arrangements institutionnels axés sur l'innovation radicale.



SECTION II :

APPRENDRE DES MEILLEURS : QU'EST-CE QU'UN ORGANISME DE RECHERCHE D'AVANT-GARDE?

De nombreux pays ont fini par reconnaître la nécessité d'une telle capacité institutionnelle et ont donc créé de nouveaux organismes gouvernementaux, de nouveaux programmes et de nouvelles politiques explicitement dédiés aux objectifs de catalyseur des idées et des technologies révolutionnaires. Nous avons été témoins d'engagements récents à créer ou à renforcer des organismes gouvernementaux axés sur l'innovation radicale. La législation du gouvernement britannique pour créer un nouvel organisme de recherche et d'invention d'avant-garde (qui a franchi toutes les étapes de la Chambre des communes en juillet 2021), en est un excellent exemple²⁷.

L'organisme en attente au Royaume-Uni et d'autres organismes comparables dans le monde entier tirent

principalement leurs enseignements organisationnels de la Defence Advanced Research Projects Agency (DARPA) aux États-Unis. Au cours de ses plus de 60 ans d'existence, cet organisme est devenu la « norme mondiale » en matière d'organismes gouvernementaux qui se consacrent à des projets à haut risque et à haut rendement²⁸.

La DARPA a depuis donné naissance à des organismes de recherche d'avant-garde similaires en Asie, en Europe et ailleurs. Même le gouvernement des États-Unis a cherché à reproduire le succès de l'organisme dans des domaines autres que l'innovation liée à la défense, notamment la biomédecine (2006 : Biomedical Advanced Research and Development Authority, BARDA); l'énergie (2009 : Advanced Research Projects Agency-



Energy, ARPA-E) ; et, récemment annoncé sous l'administration Biden, la santé (2022 : Advanced Research Projects Agency for Health, ARPA-H).

Ce qu'il faut retenir, c'est que le modèle d'organisme de recherche d'avant-garde est commun à tous les pays pairs et qu'il est de plus en plus répandu avec le passage à une économie de l'immatériel et les rendements élevés des idées et des technologies révolutionnaires.

Il convient de noter que si l'objectif de la DARPA est de catalyser les technologies de défense et de sécurité, la plupart des organismes comparables ne partagent pas son orientation sectorielle particulière. Ils tentent de mettre en œuvre les connaissances en matière de conception, de gouvernance, d'opérations et de programmes de la DARPA dans l'économie dans son ensemble ou dans d'autres secteurs tels que la biomédecine, les changements climatiques, l'énergie et la santé. Cette distinction est importante puisque lorsque nous parlons d'un modèle semblable à celui de la DARPA, nous ne voulons pas dire que le gouvernement canadien devrait créer un organisme de recherche d'avant-garde dont le mandat serait de catalyser des idées et des technologies révolutionnaires dans le secteur de la défense.

La défense ne constitue ni un avantage comparatif pour le Canada ni un problème rassembleur nécessitant des solutions technologiques dans le contexte canadien. Il est essentiel que les décideurs euses politiques canadiens comprennent les facteurs contingents qui ont permis à la DARPA d'obtenir

de bons résultats et qu'ils/elles cherchent à les reproduire, mais en s'orientant vers un ensemble différent de problèmes, y compris, par exemple, le lien énergie-environnement.

LE CERVEAU DU PENTAGONE

La DARPA a été fondée en 1958 sous le nom de Advanced Research Projects Agency en réponse au lancement du Spoutnik par l'Union soviétique. La mission du nouvel organisme, à l'époque et aujourd'hui, est de veiller à ce que l'armée des États-Unis ne soit plus jamais surprise par les technologies nouvelles et émergentes. En se focalisant sur le « quadrant de Pasteur » – une recherche de base inspirée par l'utilisation qui fait progresser la compréhension fondamentale tout en visant des applications pratiques – la DARPA a, au cours de son existence, contribué à catalyser des percées majeures, de l'Internet aux véhicules autonomes en passant par le GPS et les thérapies par ARNm.



Une nouvelle étude menée par des chercheur.e.s du Peterson Institute for International Economics, basé à Washington, a évalué le modèle DARPA dans le cadre d'un examen global des expériences de politiques industrielles menées aux États-Unis au cours des 50 dernières années. L'analyse montre que la DARPA a effectivement apporté une « contribution spectaculaire » au développement de nouvelles technologies qui ont produit des retombées économiques massives au cours de cette période. Parmi les divers programmes et organismes évalués, le modèle de recherche industrielle appliquée de la DARPA est considéré comme le seul « succès exceptionnel²⁹ ».

Ce point mérite d'être souligné : le succès de la DARPA ne tient pas seulement aux « gadgets » ou à l'« innovation de stade un » – c'est-à-dire à la génération et à la mobilisation d'idées au stade précoce – mais plutôt au fait qu'elle considère que son rôle est double : (1) catalyser les percées et (2) les aider à franchir les étapes du processus d'innovation³⁰. C'est un modèle réussi de recherche industrielle appliquée, précisément parce qu'il soutient les « paris risqués » technologiques à chaque étape du continuum de l'innovation. Bref, il s'agit d'apporter une expression commerciale et pratique à l'innovation radicale.

Le point principal ici est qu'un organisme de type DARPA peut, en théorie et en pratique, contribuer positivement à l'écosystème d'innovation d'un pays. La clé, bien entendu, est de s'assurer que les décideur.euses politiques réfléchissent soigneusement aux facteurs contingents qui sont des conditions préalables nécessaires pour qu'un tel organisme puisse catalyser les percées et les faire passer à la commercialisation, à la mise à l'échelle et, finalement, aux marchés mondiaux.

Les décideur.euses politiques canadiens peuvent apprendre beaucoup des organismes et initiatives existants ailleurs dans le monde. En particulier, notre recherche montre que certaines caractéristiques de conception clé sont inhérentes au modèle de la DARPA et à d'autres organismes comparables.

1

Ils sont par nature des organismes de résolution de problèmes.

Les organismes de recherche d'avant-garde ne financent pas des projets disparates ou aléatoires : le soutien à une recherche scientifique fondamentale intéressante n'est pas une fin en soi. Ils orientent fondamentalement leurs opérations et la sélection des projets autour d'un ensemble de défis ou de problèmes bien définis. Bien que l'accent soit mis sur les projets à haut risque et à haut rendement (comme nous le verrons plus loin), il s'agit fondamentalement de recherche appliquée.

L'idée ici est que de nombreux problèmes contemporains dépendent de solutions technologiques. L'objectif de la DARPA est de catalyser le développement et l'essai de ces technologies de résolution de problèmes, puis de relier les points entre l'invention et l'innovation à une échelle pouvant à la fois relever le défi sous-jacent et permettre une commercialisation basée sur le marché pour des ventes nationales et mondiales.

Les solutions « moonshot » (= mission lunaire, terme désignant un défi ou un problème qui nécessite comme solution une innovation radicale) peuvent donc apporter une plus grande intentionnalité à la politique gouvernementale en organisant les stratégies scientifiques et technologiques et d'innovation autour d'un ensemble d'impératifs primordiaux tels que la réalisation d'émissions nettes nulles ou la découverte de remèdes pour des maladies débilantes. Le mode de fonctionnement de la DARPA est, en résumé, une stratégie orientée vers les résultats qui vise à catalyser et à commercialiser des idées et des technologies révolutionnaires axées sur la résolution d'un défi ou d'un problème précis.

L'organisme s'appuie sur le capital et le savoir-faire du secteur privé ainsi que sur les chercheur.e.s



universitaires pour concevoir des technologies à fortes externalités. Toute technologie révolutionnaire issue des programmes de la DARPA n'aura pas seulement un potentiel de rendement commercial important, mais contribuera également à résoudre un défi ou un problème plus large. Il serait erroné de considérer la DARPA comme une forme d'« aide sociale aux entreprises ». Les entreprises du secteur privé qui participent aux programmes de la DARPA ont tendance à investir des sommes importantes. Elles ont des intérêts en jeu en raison des bénéfices potentiels et le soutien de la DARPA aide à atténuer certains des risques inhérents. Il y a aussi l'effet de signal des ingénieurs.e.s de la DARPA qui examinent et approuvent le projet d'une entreprise³¹. Il s'agit d'une situation gagnant-gagnant dans laquelle le gouvernement peut tirer parti des capitaux et de l'expertise du secteur privé pour mener à bien des projets susceptibles d'avoir des conséquences majeures en matière de défense et de sécurité nationales.

Cette notion de recherche d'une innovation radicale au nom de la résolution d'un défi ou d'un problème particulier n'est pas nouvelle. Elle est aussi ancienne que le projet Manhattan ou le programme Apollo et aussi récente que l'opération Warp Speed du gouvernement des États-Unis dans le cadre de la recherche d'un vaccin contre la COVID-19³². En tant que principe d'organisation des politiques d'innovation, elle a fait l'objet d'un regain d'intérêt des milieux politiques et de la politique publique ces dernières années. Divers pays faisant face à leur propre combinaison de défis environnementaux, sociaux et de sécurité nationale ont commencé à expérimenter différents modèles de politiques d'innovation afin de mieux soutenir les percées scientifiques et technologiques susceptibles de relever ces défis et, ce faisant, de créer de nouveaux avantages comparatifs dans l'économie de l'immatériel. Le Canada peut apprendre de ces exemples.

En termes simples, la quête de l'innovation radicale ne pourra réussir au Canada sans les éléments suivants : (1) un rôle proactif du gouvernement fédéral dans la définition de l'orientation de haut niveau des priorités d'innovation, et (2) la pleine participation de partenaires volontaires du secteur privé et du milieu universitaire. La DARPA, par exemple, identifie un ensemble de défis ou de problèmes de grande envergure et mobilise ensuite différentes entreprises et chercheur.e.s pour développer un portefeuille de solutions technologiques. Une personne experte en politiques d'innovation a décrit ce modèle de collaboration public-privé comme « génération de problèmes de haut en bas et génération de solutions de bas en haut ».

Identifier les bons défis ou problèmes à prioriser est donc crucial pour réussir. Ils ne doivent être ni trop grands ni trop petits. Ils doivent être suffisamment ambitieux pour inciter les entreprises et les chercheur.e.s à mener des recherches de pointe, mais ne doivent pas comporter d'objectifs ou de délais manifestement irréalistes.

Les défis ou problèmes doivent également être audacieux, inspirants et, en règle générale, d'une grande pertinence sociétale. Comme l'a fait remarquer l'économiste Mariana Mazzucato, « le défi ou le problème doit être clair dans son intention de développer des solutions ambitieuses qui amélioreront directement la vie quotidienne des personnes, et il doit faire appel à l'imagination³³ ».

Ils doivent également être enclins aux solutions technologiques. Il s'agit là d'une caractéristique fondamentale. De nombreux défis et problèmes de la société moderne – comme la pauvreté ou le racisme – requièrent une attention politique bien plus grande, mais ne se prêtent pas à l'innovation et à la technologie. Ces enjeux ne seraient donc pas du ressort d'un organisme de type DARPA.

L'essentiel, cependant, est que ces défis ou problèmes nécessitent des idées ou des technologies révolutionnaires. Il ne s'agit pas d'innovation

marginale. Le mandat de la DARPA est de soutenir des projets à haut risque et à haut rendement. Bref, il s'agit fondamentalement d'une affaire de percée. L'organisme s'est même engagé à financer des projets que l'on pourrait qualifier de « farfelus » afin de pousser l'innovation au-delà de la progressivité³⁴. Seuls 5 à 10 % des programmes de la DARPA aboutissent finalement à des résultats positifs, ce qui reflète sa préférence pour le risque dans la quête de l'innovation radicale.

Nous en discuterons plus loin dans le rapport, mais il est bon de l'aborder également ici. Le taux de réussite de la DARPA (ce qui signifie bien entendu que la plupart de ses projets échouent) peut surprendre certains lecteurs.ices qui pourraient instinctivement penser qu'il s'agit d'une mise en cause de sa sélection de projets. L'objectif, cependant, n'est pas de soutenir des projets qui sont proches de la mise sur le marché. Il s'agit de donner la priorité aux projets dont le potentiel de transformation est incertain, mais qui ont un potentiel de transformation. L'appel à propositions standard de la DARPA stipule même que : « Sont particulièrement exclues les recherches qui aboutissent à des améliorations progressives de l'état actuel des pratiques³⁵ ».

Bien que cela puisse sembler paradoxal, cette volonté institutionnelle d'échouer est la clé du succès de la DARPA. Tout effort visant à reproduire la DARPA doit rester aussi discipliné sur les projets à haut risque et à haut rendement. Cela ne veut pas dire que l'innovation progressive ne mérite pas de soutien public. Mais il existe déjà plusieurs sources de financement pour de tels projets. Les projets qui n'atteignent pas un seuil similaire à celui de la DARPA peuvent en effet être financés par ces autres ministères, organismes et programmes. Un organisme de type DARPA doit être discipliné et ne soutenir que les idées et les technologies révolutionnaires. Bref, il doit se focaliser sur la quête de l'innovation radicale.

La CARPA ne remplacerait donc pas la panoplie existante de ministères, d'organismes et de

programmes axés sur l'innovation au Canada. Il s'agirait d'un complément au reste du système. Elle comblerait une lacune importante pour les projets trop audacieux et risqués dont les avantages et les coûts ne sont pas toujours clairs et les échéances incertaines. Une CARPA aurait pour mission de développer des idées et des technologies révolutionnaires au nom des grands défis et problèmes.

Une des conséquences de ce rôle complémentaire, mais distinct pour la CARPA est que l'expérience de la DARPA et d'autres organismes semblables montre qu'elle devrait être un organisme autonome. En la plaçant au sein du Conseil national de recherches du Canada (CNRC) ou de Technologies du développement durable Canada (TDDC), ou même d'Innovation, Sciences et Développement économiques Canada, on ne reconnaîtrait pas son rôle unique dans l'écosystème global de l'innovation.

Les forces du CNRC sont trop éloignées de la recherche appliquée et TDDC fonctionne à une échelle trop petite pour atteindre le sentiment d'urgence et d'audace que reflète l'idée de la CARPA. Le nouvel organisme devra certainement travailler en étroite collaboration avec ces autres programmes et organismes, y compris en tant que partenaires possibles sur des projets individuels ainsi qu'en tant que sources potentielles de gestionnaires de programmes. Toutefois, comme nous le verrons plus loin, les faits montrent qu'il est impératif que la CARPA soit un organisme indépendant doté d'une forte autonomie.

2 Ils disposent d'une structure de gouvernance légère, agile et indépendante.

Les organismes de type DARPA ont tendance à s'éloigner des structures de gouvernance conventionnelles en termes de relation avec la branche politique du gouvernement ou la

bureaucratie permanente, ainsi que d'interaction globale avec le public. Si les gouvernements peuvent jouer un rôle important dans la définition de l'orientation générale des politiques d'innovation, ces organismes doivent disposer de l'autonomie nécessaire – y compris en matière d'audit, de ressources humaines et d'opérations quotidiennes – pour remplir leur rôle particulier dans l'écosystème de l'innovation. Les organismes de recherche d'avant-garde les plus performants au monde sont dispensés de la plupart des processus bureaucratiques et politiques.

La DARPA fonctionne avec le minimum de supervision. Elle dispose d'une flexibilité considérable dans son recrutement ainsi que dans la sélection des projets. Le modèle est effectivement conçu pour minimiser le rôle de la politique et maximiser la portée des projets à haut risque et à haut rendement. Elle ne tient pas compte, par exemple, de la répartition régionale de son financement ou, comme nous l'avons vu plus haut, ne craint pas l'échec des projets. Comme l'a dit John Launchbury, ancien dirigeant de la DARPA : « Si aucun de nos programmes n'échoue, cela signifie que nous n'allons pas suffisamment loin³⁶ ».

Cette autonomie se manifeste également dans les pratiques en matière d'embauche de la DARPA. L'organisme s'appuie sur une équipe d'environ 100 à 120 gestionnaires de programmes nommés pour trois à cinq ans afin de créer et de gérer des programmes visant à relever des défis ou à résoudre des problèmes de haut niveau. La loi d'habilitation de l'organisme lui permet de contourner les règles et procédures normales de recrutement du gouvernement pour sélectionner ces personnes nommées pour une durée limitée. Cette flexibilité permet à la DARPA d'attirer des personnes ambitieuses et dynamiques pour une durée déterminée, sans les formalités et la bureaucratie habituelles. Les gestionnaires de programme sont généralement issus du monde universitaire, des entreprises et des laboratoires de recherche gouvernementaux³⁷.

L'autonomie de la DARPA se reflète également dans sa tolérance au risque, qui est un élément fondamental de sa capacité à poursuivre une innovation radicale. Comme l'a déclaré le technologue Benjamin Reinhardt : « l'opacité est importante pour le succès aberrant de la DARPA³⁸ ». Elle permet à l'organisme d'éviter les facteurs d'économie politique typiques qui tendent vers une prise de décision politisée, notamment une préférence pour les entreprises et les chercheur.e.s universitaires déjà en place, et finalement une orientation vers les paris sûrs.

Bien que la DARPA se soumette à des rapports publics annuels et respecte les règles comptables du secteur public, ses opérations quotidiennes, y compris la sélection des projets, sont fortement autonomes et libres de toute interférence bureaucratique et politique. Les gestionnaires de programmes disposent d'une autorité extraordinaire pour établir des programmes et financer des projets sans l'approbation du Congrès ou de l'exécutif. Ils/elles peuvent également annuler des projets et modifier le financement sans avoir besoin de l'approbation d'une autorité supérieure.

Le rôle des gestionnaires de programmes est en effet un élément clé du modèle de la DARPA. Les niveaux de financement de l'organisme (qui ont été en moyenne de 3,2 à 3,5 milliards de dollars au cours des dernières années) s'élèvent à environ 30 millions de dollars par an par gestionnaire de programme, chacun.e d'entre eux/elles dirigeant un programme d'environ trois ans avec un programme de recherche qui lui est propre³⁹. Les gestionnaires de projets conçoivent les programmes en identifiant un défi ou un problème dans le cadre de la mission globale de la défense nationale. Ils/elles définissent ensuite un « espace blanc technologique », un domaine dans lequel peu de recherche est actuellement menée, mais qui, si elle était effectuée, pourrait permettre des progrès significatifs dans la résolution du défi ou du problème⁴⁰.

Ce processus de fixation des priorités est à la fois très décentralisé et orienté vers l'innovation

radicale. La structure ascendante responsabilise les gestionnaires de programmes et privilégie intentionnellement les idées et technologies révolutionnaires plutôt que l'innovation progressive. Elle prévient le risque de la pensée de groupe, les préjugés liés à la position dominante ou les pressions exercées par les parties prenantes. La nature transitoire de la main-d'œuvre de la DARPA protège également contre un parti pris institutionnel en faveur de certains problèmes ou technologies⁴¹. La combinaison de ces différents facteurs a conduit d'anciens employé.e.s de la DARPA à décrire l'organisme comme le modèle « forces spéciales⁴² » en matière d'innovation.

Un des moyens de maintenir ce fonctionnement allégé et discipliné est que la DARPA ne mène pas de recherche en interne. Elle fournit des fonds à des organisations externes, y compris des entreprises et des chercheur.e.s universitaires, pour développer et tester des technologies révolutionnaires qui viennent résoudre des défis ou des problèmes pratiques. Ce modèle d'externalisation permet à la DARPA de faire appel à des expert.e.s et à des équipements dans tous les États-Unis, en fonction des projets. Il minimise les coûts fixes de l'organisme et sa dépendance à l'égard d'un ensemble particulier de partenaires. L'analyse du Congressional Research Service montre qu'environ deux tiers de ses fonds de recherche sont destinés à des partenaires du secteur privé⁴³.

Comme nous l'avons vu précédemment, le modèle CARPA devrait se situer en dehors des ministères et des organismes fédéraux et disposer de la souplesse nécessaire pour embaucher, passer des contrats et sélectionner des projets avec un minimum de surveillance politique ou des agences centrales. L'idée est d'établir un petit, mais puissant organisme ayant pour mandat de faire les choses différemment, notamment en créant une culture interne de prise de risque et d'excellence en recherche. Cela nécessite une structure légère, agile et indépendante.



Il convient de souligner qu'il n'y a aucune contradiction entre un organisme puissant et un organisme allégé. La DARPA ne compte qu'environ 220 employé.e.s, dont plus ou moins la moitié est composée de gestionnaires de programmes à durée déterminée. Son budget s'élève à environ 3,5 milliards de dollars par an, ce qui représente moins d'un pour cent du total des dépenses publiques et privées de la R et D aux États-Unis⁴⁴.

L'idée d'une CARPA ne consiste donc pas à construire une nouvelle et vaste bureaucratie permanente. Il s'agit plutôt de créer une plateforme institutionnelle pour catalyser les technologies de pointe et ensuite les relier aux prochaines étapes du processus d'innovation, y compris d'autres programmes ou organismes gouvernementaux ou des sources de capital basées sur le marché.

La CARPA ne nécessitera pas un personnel nombreux. Un objectif initial pourrait être de nommer 10 ou 20 gestionnaires de programmes de haute qualité et d'augmenter progressivement ce nombre au fil du temps. Nous sommes convaincus que nos entreprises, nos universités et nos laboratoires publics regorgent de talents pour occuper ces postes.

3

Ils suivent une approche de portefeuille pour gérer le risque et ont une grande tolérance à l'échec.

Les programmes de la DARPA s'intéressent à ce que l'on appelle les solutions « moonshot » de manière neutre sur le plan technologique. Les programmes individuels impliquent nécessairement plusieurs projets avec différents entreprises et chercheur.e.s pour développer et tester différentes solutions technologiques pour un défi ou un problème précis. À un moment donné, la DARPA peut avoir jusqu'à 2 000 subventions, contrats et ententes avec différentes entreprises, chercheur.e.s universitaires et laboratoires gouvernementaux. Invariablement, la plupart de ces projets échoueront. Mais ceux qui réussissent peuvent conduire à de véritables percées. Une des responsabilités des gestionnaires de programmes est de développer un portefeuille de projets à travers ce continuum de risques.

Un des rôles clés de la DARPA est donc d'éliminer les risques liés au développement précoce d'idées et de technologies qui ne seraient pas soutenues par des sources de capital basées sur le marché ou des programmes conventionnels de subvention de la recherche. La DARPA vise à combler un créneau entre l'échec du marché, d'une part, et la tendance au « rôle de contrôleur » des fonds de recherche universitaires, d'autre part.

La tranche exploratoire initiale d'un programme DARPA est d'environ 1,5 million de dollars américains. La plupart de ces fonds sont consacrés à des « projets d'amorçage » destinés à des chercheurs universitaires ou à des entreprises pour approfondir un concept prometteur, mais encore peu développé. Les projets d'amorçage sont des projets de trois à neuf mois conçus pour « faire passer les concepts de l'incrédulité au "simple doute"⁴⁵ ». Les projets qui s'avèrent prometteurs peuvent recevoir un financement supplémentaire pour le développement et les tests avant de passer du domaine de la DARPA à d'autres programmes gouvernementaux ou à des sources de financement basées sur le marché.

Tout au long de ce processus, les gestionnaires de programmes collaborent avec les bénéficiaires des fonds pour mesurer les projets individuels par rapport à un ensemble de jalons et de paramètres afin de déterminer si le risque vaut toujours le rendement potentiel. Les projets sont ainsi poursuivis avec plus (ou moins) de financement, arrêtés ou réorientés. Le réajustement constant du portefeuille de programmes permet que les ressources soient toujours allouées de la manière la plus stratégique possible⁴⁶.

Un des rôles clés de la DARPA est donc d'éliminer les risques liés au développement précoce d'idées

et de technologies qui ne seraient pas soutenues par des sources de capital basées sur le marché ou des programmes conventionnels de subvention de la recherche. La DARPA vise à combler un créneau entre l'échec du marché, d'une part, et la tendance au « rôle de contrôleur » des fonds de recherche universitaires, d'autre part.

Ce point mérite d'être souligné : le type de projet à haut risque et à haut rendement pouvant produire une innovation radicale ne trouvera nécessairement pas un soutien parmi les entreprises et les chercheurs universitaires en place. Ceux/celles dont les intérêts sont alignés sur des idées, produits, processus et technologies existants peuvent en effet résister aux idées nouvelles et différentes. Le risque, bien entendu, est que cela vienne entraver la recherche et le développement d'idées et de technologies révolutionnaires.

La DARPA est restée disciplinée en accordant la priorité à ces projets à haut risque et à haut rendement qui pourraient ne pas trouver de soutien ailleurs. Ce mandat implique nécessairement un fort taux d'échec. Comme nous l'avons mentionné précédemment, le taux de réussite de la DARPA se situerait entre 5 et 10 %, bien qu'il soit difficile de le déterminer pleinement, car, comme nous l'avons vu plus haut, les gestionnaires de programmes

disposent d'une grande autonomie pour ajuster et réaffecter les fonds dans un programme. Le faible taux de réussite de l'organisme n'est pas signe d'échec. C'est une preuve de son engagement envers l'innovation radicale.

4 Ils aident les idées et les technologies prometteuses à passer du stade du développement initial à celui de la préparation du marché et de la mise en œuvre.

La DARPA et les organismes semblables peuvent être considérés comme la « première vague » de financement d'une nouvelle technologie. D'autres programmes gouvernementaux (y compris les leviers du côté de la demande tels que l'approvisionnement public) ou le capital-risque et d'autres formes d'investissement privé constituent la « deuxième vague ». Pour la petite fraction des projets de la DARPA qui sont finalement couronnés de succès, l'organisme a un rôle à jouer en les aidant à passer de la phase de développement initial à ces prochaines étapes de financement.

L'idée est que les gestionnaires de programmes sont chargés d'aider les entreprises ou les chercheur.e.s à trouver les sources de financement qui leur permettront de faire avancer leurs idées et leurs technologies le long du continuum de l'innovation jusqu'à la commercialisation, la mise à l'échelle et les marchés mondiaux. L'objectif est de minimiser la perte d'idées prometteuses dans ce que l'on appelle la « vallée de la mort » entre le développement de l'idée et sa transition vers une application commerciale. La DARPA est donc conçue pour agir comme une passerelle à travers le continuum de l'innovation.



Cette vision de la mission de la DARPA, qui s'étend de l'invention à l'innovation, est une force fondamentale que le gouvernement canadien doit chercher à reproduire avec la CARPA. Le nouvel organisme doit également considérer que son rôle couvre l'ensemble du continuum de l'innovation, de l'idée au marché, en mobilisant et en facilitant les connexions entre les leviers politiques de l'offre et de la demande qui sont généralement cloisonnés. Il s'agit d'une rupture par rapport aux politiques d'innovation habituelles qui ont eu tendance à distribuer des fonds publics aux entreprises ou aux chercheurs.e.s universitaires sans accorder suffisamment d'attention à la commercialisation ou à la mise à l'échelle.

La panoplie d'outils politiques permettant ce soutien de bout en bout est vaste et peut varier en fonction de la proximité d'une technologie par rapport à son application sur le marché. Mais il s'agira manifestement d'une combinaison de leviers plus traditionnels, tels que des programmes de financement de la R et D et des partenariats de recherche pour aider les idées et les technologies à se développer, et de leviers du côté de la demande, tels que l'approvisionnement public, la fixation de normes industrielles, le soutien à la formation, les incitatifs fiscaux, les mesures réglementaires et les prêts à faible coût pour faciliter l'adoption et la diffusion.

L'effet cumulatif de ces interventions politiques est souvent de co-crée des marchés pour des idées et des technologies qui n'existent pas actuellement. Par l'entremise de toutes ces mesures politiques, la CARPA doit s'efforcer de recoudre ce qui est généralement un paysage politique fragmenté.

La DARPA s'est généralement distinguée pour avoir aidé des idées et des technologies prometteuses à passer au stade de la commercialisation. L'important budget de recherche et d'approvisionnement du département de la Défense des États-Unis (190 milliards de dollars américains par an) est largement considéré comme un facteur

contingent majeur⁴⁷. Mais même avec cet avantage unique, l'organisme peut encore avoir des problèmes avec la transition des projets vers une application basée sur le marché. Un rapport de 2014 du comité des services armés du Sénat a par exemple noté que :

...le comité est préoccupé par le fait que **certains projets technologiques peuvent être menés à bien, mais ne parviennent pas à passer à des programmes d'acquisition officiels ou à une utilisation opérationnelle directe**. Cela peut être attribuable à des obstacles administratifs, financiers, culturels et/ou programmatiques qui rendent difficile le passage des programmes scientifiques et technologiques aux programmes d'acquisition, ainsi qu'aux utilisateurs.rices prévus de la technologie⁴⁸.

Ce qu'il faut retenir, c'est que même l'organisme de recherche d'avant-garde le plus performant au monde peut avoir des difficultés à faire passer les idées et les technologies révolutionnaires des premiers stades de développement aux applications commerciales. Au moment où les décideurs.euses politiques canadiens élaborent le plan opérationnel de la CARPA, il sera donc crucial que le mandat, la structure et les relations du nouvel organisme avec les autres ministères, organismes et programmes gouvernementaux favorisent la transition des inventions prometteuses à travers le processus d'innovation. La notion d'« utilisateur.rice final » est fondamentale pour le succès de la DARPA. Elle doit donc aussi faire partie de la CARPA si l'on veut surmonter le problème persistant de commercialisation qui a miné l'écosystème d'innovation du Canada.



SECTION III :

POURQUOI AVONS-NOUS BESOIN DE LA CARPA?

L'écosystème d'innovation du Canada possède divers atouts, notamment un réseau d'universités de grande qualité, des taux élevés de réussite scolaire, un système d'immigration performant et des avantages sectoriels dans les domaines de l'agriculture et de l'agroalimentaire ainsi que de l'énergie et des technologies propres.

Mais notre écosystème d'innovation présente également des faiblesses structurelles. Une façon d'envisager ces faiblesses est de considérer l'objectif fondamental d'un écosystème d'innovation : développer un flux constant d'inventions prometteuses et disposer ensuite de la bonne combinaison de talents, de capacités techniques et de capitaux pour permettre à un certain nombre d'entre elles d'atteindre finalement une application commerciale.

Le processus d'innovation devrait, à juste titre, être considéré comme un continuum allant de la

génération et de la mobilisation d'idées aux premiers stades jusqu'à la commercialisation, l'adoption et la diffusion à grande échelle. Comme nous l'avons souligné dans des rapports précédents, les décideurs politiques canadiens doivent adopter une approche de continuum pour évaluer et réformer l'ensemble de l'écosystème d'innovation⁴⁹.

En pratique, cela signifie qu'il faut évaluer le fonctionnement d'un écosystème à chaque étape du continuum de l'innovation. Il doit, d'une part, générer un nombre considérable d'inventions prometteuses dans les universités, les laboratoires publics et le secteur privé. Il doit ensuite, d'autre part, disposer d'un ensemble d'acteurs, d'institutions et de politiques publiques et privés susceptibles d'aider ces inventions à traverser la vallée de la mort pour atteindre leur application sur le marché.

Le cadre stratégique de l'innovation au Canada présente des lacunes dans ces deux domaines. Bien

Le cadre stratégique de l'innovation au Canada présente des lacunes dans ces deux domaines. Bien que nous soyons relativement performants au début du continuum de l'innovation – dans la recherche fondamentale et au stade du démarrage – nous nous fions encore trop à l'innovation progressive ou aux paris sûrs.

que nous soyons relativement performants au début du continuum de l'innovation – dans la recherche fondamentale et au stade du démarrage – nous nous fions encore trop à l'innovation progressive ou aux paris sûrs. L'influence des grandes entreprises et des chercheur.e.s de premiers plans déjà en place peut faire pencher le système d'innovation global dans cette direction. Il en résulte que divers organismes et programmes gouvernementaux sous-investissent dans les inventions à haut risque et à haut rendement.

Il faut que cela change, car, comme nous l'avons dit plus haut, l'innovation progressive est inadéquate pour faire face à l'ampleur des défis modernes tels que les changements climatiques et ne suffira pas à produire l'explosion de la nouvelle croissance et de la productivité nécessaires pour stimuler des niveaux de vie relativement stagnants.

Le gouvernement doit donc renforcer sa stratégie scientifique et technologique actuelle pour développer une plus grande capacité à poursuivre des innovations radicales ou des paris risqués technologiques. Une filière de telles idées et technologies révolutionnaires est un ingrédient crucial pour générer une propriété intellectuelle de valeur dans le pays. La science et la technologie constituent la frontière moderne de la compétitivité et le Canada doit se doter d'une capacité à mieux rivaliser dans le domaine des nouvelles idées et technologies.

Ce qui rend le modèle de la DARPA si convaincant, c'est qu'il ne s'arrête pas à la première étape de l'innovation. Il reconnaît qu'un flux d'inventions prometteuses est une partie nécessaire, mais insuffisante d'un écosystème d'innovation global. Le flux doit s'accompagner d'efforts accrus pour renforcer les politiques gouvernementales tout au long du continuum de l'innovation, pour faire en sorte que les percées majeures ne restent pas bloquées au premier stade.

Cela exige une plus grande coordination entre les leviers politiques fédéraux – y compris les

dépenses en R et D, la politique réglementaire et l'approvisionnement public – ainsi qu'un engagement accru entre les différents ordres de gouvernement, le secteur privé et les universités et collèges. Il est essentiel de mieux soutenir les idées et les technologies révolutionnaires dans ce continuum pour stimuler le rendement du Canada en matière d'innovation et de productivité.

Il y a beaucoup de travail à faire à ces derniers stades du processus d'innovation. Le Canada a longtemps affiché des résultats décevants en ce qui concerne l'expansion des petites et moyennes entreprises (PME), la croissance des entreprises mondiales dans les secteurs non protégés et réglementés, et le financement des derniers stades ou du capital patient. Une des conséquences est que de nombreuses entreprises prometteuses quittent le pays, en particulier dans des secteurs clés comme la haute technologie et l'innovation médicale. Une autre conséquence est que nos résultats globaux en matière d'innovation sont marginaux par rapport aux normes internationales⁵⁰.

Dans l'ensemble, les dépenses en R et D du Canada en proportion du produit intérieur brut (PIB) sont en baisse et inférieures à la moyenne par rapport aux autres pays de l'OCDE⁵¹. Mais le niveau d'investissement n'est qu'une partie du problème. Le plus grand défi est le lien faible entre la R et D financée par l'État et l'industrie, qui a contribué à la faiblesse du transfert technologique et de la commercialisation pour les entreprises canadiennes. Une façon d'envisager ce défi est de dire que la vallée de la mort du Canada a généralement été plus large et plus dangereuse pour les idées prometteuses.

Il existe au Canada une fausse conception selon laquelle le financement de la recherche fondamentale en termes disparates ou aléatoires, sans grande considération pour les intérêts économiques et stratégiques globaux ou même les résultats, produira l'innovation en soi. À cela s'ajoutent des programmes de recherche industrielle qui accordent des subventions et des prêts remboursables aux entreprises en place et financent le fonctionnement

d'« incubateurs » comme base d'une stratégie de commercialisation. L'effet net est que les dépenses des entreprises en R et D (BERD) représentent moins d'un pour cent du PIB, soit à peine la moitié de la moyenne de l'OCDE et deux ou trois fois moins qu'en Israël et aux États-Unis⁵². Ce n'est pas un indicateur sain de l'innovation, surtout dans une économie mondiale de plus en plus compétitive.

Le Canada doit faire face à trois réalités indéniables en ce moment paradigmatique où les gouvernements adoptent de nouvelles et ambitieuses stratégies scientifiques et technologiques en général et établissent des organismes de recherche d'avant-garde en particulier.

Tout d'abord, les entreprises rationnelles n'investiront pas dans les technologies révolutionnaires, aussi grand que puisse être le rendement, si elles impliquent des niveaux de risque élevés et des délais de R et D longs et incertains. Une étude de 2013 a par exemple estimé que l'innovation radicale ne représentait que 10 % du portefeuille d'innovation de l'entreprise moyenne aux États-Unis⁵³. Le gouvernement doit donc jouer un rôle plus actif.

Internet, le GPS, l'écran tactile et Siri sont le résultat de l'interaction entre les secteurs public et privé pour résoudre un problème – qu'il s'agisse de faire communiquer les satellites dans le cas d'Internet ou de mieux orienter les missiles dans le cas des systèmes GPS. Les vaccins à ARNm auraient-ils été développés sans le financement de démarrage du BARDA et de la DARPA? Le cadre actuel des conseils subventionnaires de la recherche offre-t-il des incitatifs suffisants pour financer des idées et des technologies révolutionnaires? La réponse à ces deux questions est sans aucun doute non. La CARPA doit être en grande partie une recherche « axée sur l'utilisation », c'est-à-dire une recherche visant à résoudre un problème pratique à l'aide de technologies révolutionnaires en comblant l'échec du marché et la lacune de l'écosystème d'innovation du Canada en matière de recherche industrielle appliquée.

Deuxièmement, les entreprises ne maximiseront pas l'innovation si elles travaillent de manière isolée. Elles doivent collaborer étroitement avec les fournisseurs, les clients, les universités et les instituts de recherche pour parvenir à la coordination nécessaire au développement et à la commercialisation de technologies révolutionnaires. De telles interactions demandent du temps, de l'engagement et des ressources. Dans l'écosystème actuel, il n'existe pratiquement pas de mécanismes ou d'institutions au Canada qui remplissent bien cette fonction. Les supergrappes ont l'ambition de jouer ce rôle dans certaines régions et certains secteurs, mais il est encore trop tôt pour savoir si elles y parviendront. Il y a un besoin constant de coordination ciblée entre plusieurs parties. La CARPA peut jouer ce rôle.

Troisièmement, l'une des principales raisons pour lesquelles le Canada éprouve des difficultés en matière de dépenses de R et D et d'investissement des entreprises est que son ratio de grandes

entreprises par rapport aux PME est beaucoup trop faible. En proportion de toutes les entreprises commerciales, il y a au moins trois fois plus de grandes entreprises aux États-Unis qu'au Canada. Pour améliorer le rendement des BERD, il sera primordial de développer les entreprises canadiennes. Cela peut se faire grâce à de meilleurs leviers du côté de la demande, comme l'utilisation de l'approvisionnement public pour créer une demande du marché et faire croître les PME. Les institutions publiques privées telles que la DARPA et la NASA auraient eu beaucoup moins de succès si le gouvernement des États-Unis n'avait pas utilisé l'approvisionnement public pour soutenir leurs technologies prometteuses et leurs industries de pointe. Boeing et Lockheed Martin ne sont pas devenues les multinationales qu'elles sont aujourd'hui par hasard : elles sont des exemples vivants du modèle d'innovation de la DARPA associé à l'approvisionnement public à grande échelle.



Le Canada doit faire face à trois réalités indéniables en ce moment paradigmatique où les gouvernements adoptent de nouvelles et ambitieuses stratégies scientifiques et technologiques en général et établissent des organismes de recherche d'avant-garde en particulier.

Dans les rapports précédents du projet Une Nouvelle Étoile Polaire, nous avons souligné la nécessité de penser à l'innovation dans un cadre de continuum – allant de la recherche fondamentale à la mise à l'échelle des entreprises mondiales – qui constitue le fondement d'une stratégie industrielle pour le Canada. Mieux soutenir l'innovation et le développement technologique au pays, non seulement à l'étape de l'invention, mais aussi à celles de la commercialisation et de l'adoption, est une raison essentielle pour créer un nouvel organisme de recherche d'avant-garde au Canada.

Ces changements ne seront pas faciles à réaliser face à divers obstacles, notamment une éventuelle résistance des entreprises et des chercheur.e.s universitaires en place. Le modèle actuel de laissez-faire, qui sous-traite essentiellement les décisions de financement scientifique au processus d'examen par les pair.e.s et le soutien aux entreprises à des programmes indirects, peut produire des résultats sous-optimaux pour le pays, mais trouvera toujours un soutien parmi les bénéficiaires qui peuvent par conséquent résister au changement.

Mais il est essentiel de mieux soutenir les percées scientifiques et technologiques dans ce continuum pour le bien-être économique et social des Canadiens et Canadiennes et les intérêts nationaux à long terme du pays. Nous devons procéder dès maintenant à des réformes en matière de politiques et à des réformes institutionnelles pour catalyser ces percées et remplir un flux d'idées et de technologies prometteuses. C'est en fin de compte de cette façon que la productivité sera stimulée et que le niveau de vie des Canadiens et Canadiennes sera amélioré à long terme.

Il faudra pour cela un sens renouvelé de l'ambition, du dynamisme et du progrès. La section suivante décrit comment donner une expression institutionnelle à cette urgence et à cette audace sous la forme des principales caractéristiques de conception, de gouvernance, de fonctionnement et de programmation d'un nouvel organisme de recherche d'avant-garde.



COMMENT POUVONS-NOUS ASSURER LE SUCCÈS DE L'ORGANISME CANADIEN DE RECHERCHE D'AVANT-GARDE (CARPA)?

En s'inspirant des leçons tirées de la DARPA et d'autres organismes de recherche d'avant-garde dans le monde, on peut définir un ensemble de caractéristiques de conception, de gouvernance, de fonctionnement et de programmation qui devraient être au cœur de la création de la CARPA. Le fait de ne pas intégrer ces leçons pourrait être fatal pour le nouvel organisme. Évidemment, le risque est qu'il ne devienne qu'un autre organisme subventionnaire en matière d'innovation au sein de la panoplie fédérale préexistante.

Le gouvernement doit faire preuve d'une grande précision dans sa façon de mettre sur pied le nouvel organisme. Il doit s'attacher principalement à catalyser des idées et des technologies révolutionnaires, puis à les relier à l'ensemble du continuum de l'innovation. La mission centrale de la CARPA consiste en des percées et des ponts.

Mandat de résolution de problèmes :

La mission de la CARPA devrait être vouée à la recherche axée sur l'utilisation, avec un financement orienté vers la poursuite de solutions technologiques à un ensemble délimité de défis ou de problèmes. Il s'agit d'un élément différenciateur fondamental par rapport au financement public actuel en matière de R et D, qui tend à être distribué selon des critères régionaux, sectoriels ou universitaires, sans cadre ni objectif précis.

La mission de la CARPA devrait être vouée à la recherche axée sur l'utilisation, avec un financement orienté vers la poursuite de solutions technologiques à un ensemble délimité de défis ou de problèmes. Il s'agit d'un élément différenciateur fondamental par rapport au financement public actuel en matière de R et D, qui tend à être distribué selon des critères régionaux, sectoriels ou universitaires, sans cadre ni objectif précis.

Le thème général de ces défis et problèmes devrait être défini par le gouvernement en fonction de ses priorités. Par exemple, il serait justifié que la CARPA s'efforce, en tant que premier défi global, de contribuer à catalyser les technologies précoces qui sont nécessaires pour atteindre l'objectif de zéro émission nette du gouvernement d'ici 2050, lequel est prévu par la loi.

Non seulement la cible de zéro émission nette nécessite-t-elle une innovation radicale, mais il s'agit également d'un secteur et d'une gamme de technologies où le Canada bénéficie d'avantages comparatifs préexistants. Il existe également un soutien multipartite et intergouvernemental aux investissements publics dans les technologies liées au climat. Un programme de la CARPA visant la mise en œuvre de technologies à zéro émission nette pourrait donc s'appuyer sur des programmes fédéraux et provinciaux, tels que l'initiative Accélérateur net zéro récemment annoncée par Ottawa et le Fonds d'innovation technologique et de réduction des émissions de l'Alberta, pour soutenir les technologies prometteuses à un stade avancé d'innovation.

Cependant, en ce qui concerne l'orientation et la conception de programmes individuels de la CARPA (qui tendent à être des sous-ensembles de défis ou de problèmes plus vastes), ces choix devraient être faits par les gestionnaires de programmes, sans interférence bureaucratique et politique. C'est une leçon claire tirée du modèle DARPA. Il est crucial de donner aux gestionnaires de programmes le pouvoir de développer des programmes et de sélectionner des projets pour maintenir le cap sur l'innovation radicale.

Innovation radicale :

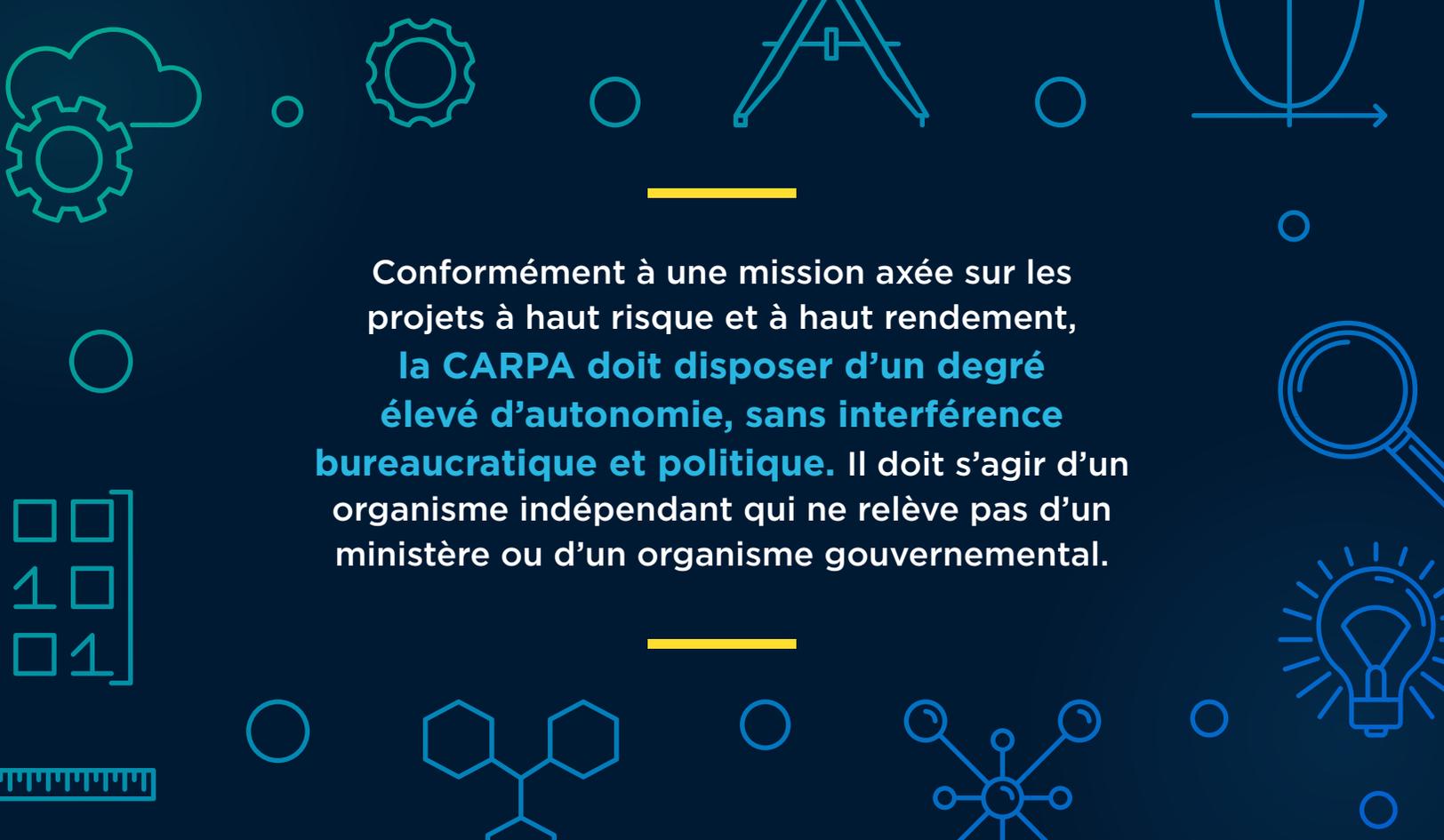
Le gouvernement fédéral chapeaute des douzaines de programmes et d'organismes qui appuient l'innovation progressive au niveau des entreprises ou des chercheurs universitaires. Ces projets peuvent être utiles et productifs, mais ils sont insusceptibles de

générer des idées ou des technologies révolutionnaires qui aident à relever les défis environnementaux, sociaux et de sécurité et qui contribuent à une croissance et une productivité fulgurantes.

La CARPA doit faire preuve de discipline quant à la priorisation de projets à haut risque et à haut rendement qui ont le potentiel de générer des idées et des technologies révolutionnaires. Cependant, comme nous l'avons déjà souligné, la poursuite d'une innovation radicale s'accompagne d'une probabilité d'échec plus élevée que dans le cas des programmes de financement public conventionnels.

Divers facteurs, y compris la politique, pourraient faire en sorte que la CARPA affaiblisse son engagement à l'égard des projets à haut risque et à haut rendement. Si elle compromet ce principe fondateur, elle deviendra essentiellement un organisme subventionnaire en matière d'innovation comme tant d'autres. Afin d'atténuer ce risque, la CARPA devrait utiliser une série de questions élaborées par l'ancien directeur de la DARPA, George H. Heilmeier, soit le « catéchisme de Heilmeier »⁵⁴. Ces questions peuvent aider les gestionnaires de programmes à examiner et à évaluer les programmes de recherche proposés ainsi que leurs projets.

- **Que voulez-vous accomplir? Formulez vos objectifs sans aucun jargon.**
- **Comment s'y prend-on aujourd'hui et quelles sont les limites de la pratique actuelle?**
- **Qu'est-ce que votre approche a de nouveau et pourquoi pensez-vous qu'elle portera fruit?**
- **Qui s'en soucie? Si vous réussissez, quelle différence cela fera-t-il?**
- **Quels sont les risques?**



Conformément à une mission axée sur les projets à haut risque et à haut rendement, **la CARPA doit disposer d'un degré élevé d'autonomie, sans interférence bureaucratique et politique.** Il doit s'agir d'un organisme indépendant qui ne relève pas d'un ministère ou d'un organisme gouvernemental.

- **Combien cela coûtera-t-il?**
- **Combien de temps cela va-t-il prendre?**
- **En quoi consistent les «?examens?» intermédiaires et finaux visant à déterminer le niveau de succès?**

Degré élevé d'autonomie :

Conformément à une mission axée sur les projets à haut risque et à haut rendement, la CARPA doit disposer d'un degré élevé d'autonomie, sans interférence bureaucratique et politique. Il doit s'agir d'un organisme indépendant qui ne relève pas d'un ministère ou d'un organisme gouvernemental. Son degré d'autonomie opérationnelle doit être semblable à celui de la Banque du Canada ou de l'Office d'investissement du régime de pensions

du Canada. Il ne doit absolument pas s'inspirer de la structure de gouvernance de la Banque de l'infrastructure du Canada.

Comme il en a été question ailleurs, le modèle organisationnel de la DARPA, qui fait appel à des gestionnaires de programmes de calibre international issus de l'industrie, du milieu universitaire ou d'autres secteurs pour des nominations à durée limitée, offre un mélange unique d'expertise, de réseaux importants et de grandes idées qui est à la base du succès de l'organisme. Les gestionnaires de programmes élaborent et gèrent leurs programmes, sélectionnent les projets, s'engagent activement auprès des promoteurs.rices de projets, appliquent des paramètres et des jalons réfléchis, surveillent les progrès et font des ajustements. Ils/elles jouissent d'une autonomie extraordinaire pour mener à bien ce travail dans le cadre de leurs programmes respectifs.

En pratique, il sera nécessaire d'exempter la CARPA des processus conventionnels du secteur public en matière de recrutement, de pouvoirs financiers et

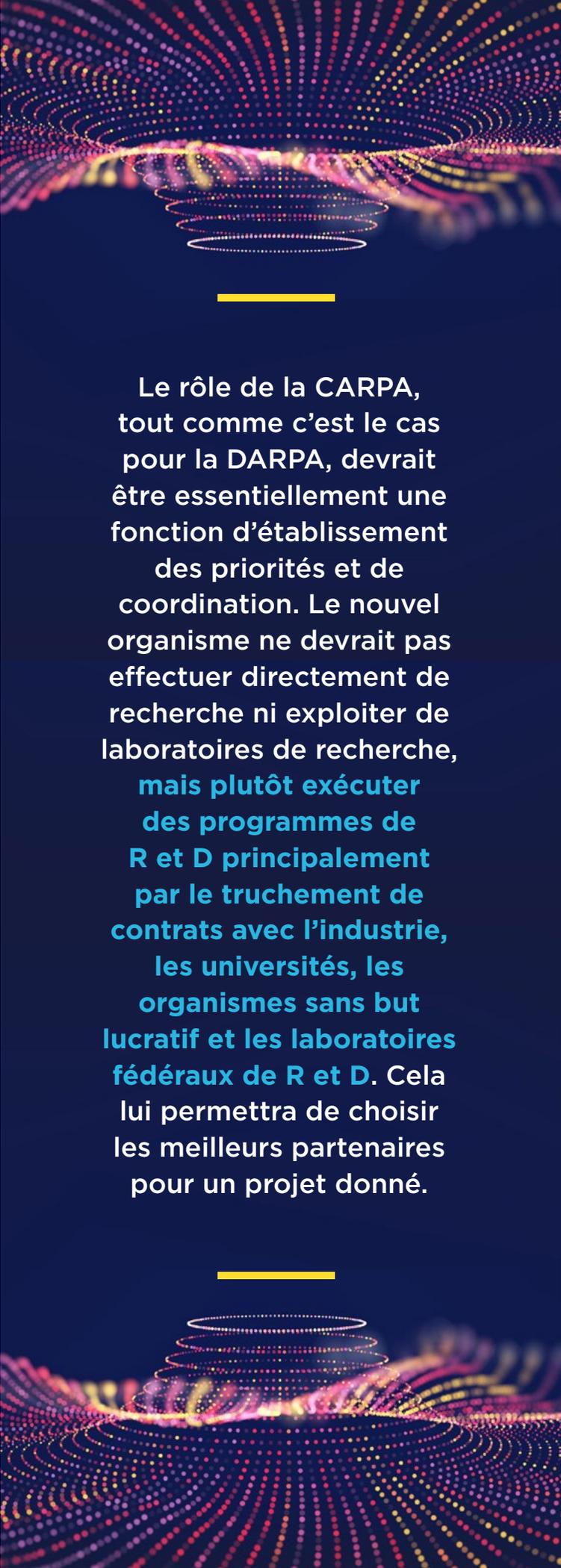
de rapports publics. Cette autonomie opérationnelle ne peut être compromise. Il s'agit d'un élément clé du succès de la DARPA qui devra être intégré au mode opératoire de la CARPA pour que le nouvel organisme puisse surmonter les pressions bureaucratiques et politiques.

Organisme allégé :

La CARPA doit imiter la DARPA sur le plan de son agilité, de son dynamisme et de sa capacité de demeurer un organisme horizontal et non bureaucratique. Cela renforce une culture qui valorise une volonté incessante d'innovation radicale et, de ce fait, une audace dans la prise de risques. Malgré son énorme succès, rappelons que la DARPA est en fait un petit organisme qui compte 220 fonctionnaires répartis dans six bureaux techniques, dont près de 100 gestionnaires de programmes. Son budget est d'environ 3,5 milliards de dollars par année, ce qui représente moins d'un pour cent du total des dépenses annuelles publiques et privées en R et D aux États-Unis⁵⁵.

Le rôle de la CARPA, tout comme c'est le cas pour la DARPA, devrait être essentiellement une fonction d'établissement des priorités et de coordination. Le nouvel organisme ne devrait pas effectuer directement de recherche ni exploiter de laboratoires de recherche, mais plutôt exécuter des programmes de R et D principalement par le truchement de contrats avec l'industrie, les universités, les organismes sans but lucratif et les laboratoires fédéraux de R et D. Cela lui permettra de choisir les meilleurs partenaires pour un projet donné.

Le succès de la DARPA repose sur son équipe de gestionnaires de projets, qui sont embauchés pour une durée limitée et proviennent de l'industrie et du milieu universitaire. Ils/elles fournissent une combinaison d'expertise et de riches réseaux d'expert.e.s de calibre international reconnus comme étant performants, qui sont issus de l'industrie, du gouvernement, des laboratoires de recherche et des universités, pour mener à bien les activités de recherche et de développement.



Le rôle de la CARPA, tout comme c'est le cas pour la DARPA, devrait être essentiellement une fonction d'établissement des priorités et de coordination. Le nouvel organisme ne devrait pas effectuer directement de recherche ni exploiter de laboratoires de recherche, mais plutôt exécuter des programmes de R et D principalement par le truchement de contrats avec l'industrie, les universités, les organismes sans but lucratif et les laboratoires fédéraux de R et D. Cela lui permettra de choisir les meilleurs partenaires pour un projet donné.

En outre, les gestionnaires de programmes sont chargés de la budgétisation, des contrats, des questions techniques et d'exécution, ainsi que des relations avec les client.e.s.

Dans le cas de la CARPA, une des grandes questions qui se posent est de savoir s'il y a un nombre suffisant de gestionnaires de programmes potentiels dans les rangs de l'industrie et des universités au Canada. Il ne serait pas justifié que le nouvel organisme vise à recruter 100 gestionnaires de programmes à court ou même à moyen terme. L'objectif devrait être de privilégier la qualité plutôt que la quantité, même si cela signifie moins de programmes dans un avenir prévisible. Les chaires de recherche du Canada pourraient constituer un bassin potentiel, mais il faut faire attention au risque de « contrôle de l'accès »⁵⁶. En règle générale, nous sommes toutefois convaincus qu'il y a suffisamment de talent dans nos entreprises, nos universités et nos laboratoires gouvernementaux pour pourvoir ces postes.

Culture d'excellence :

Le nouvel organisme doit être dirigé par une personne respectée, probablement un.e scientifique, ayant une solide expérience du secteur privé et peut-être une expérience en tant qu'employé.e ou collaborateur.rice du gouvernement et du milieu universitaire. Une de ses principales qualités serait sa capacité d'établir des partenariats entre différents secteurs ainsi que de recruter et de dynamiser une équipe d'expert.e.s phénoménale. L'équipe devrait ensuite bénéficier de l'autonomie et de l'indépendance nécessaires pour réaliser sa vision. Seule l'excellence scientifique permettra aux meilleurs chercheur.e.s et dirigeant.e.s de l'industrie de travailler ensemble, pour une durée limitée, afin de résoudre les défis et les problèmes.

Cela sera particulièrement important lorsque la CARPA en sera à ses débuts. Le simple fait de nommer un.e fonctionnaire de carrière enverrait un mauvais signal quant à ses ambitions. Le gouvernement devrait même être prêt à chercher à l'extérieur du pays la bonne personne pour mettre sur pied l'organisme et créer une culture d'excellence.

Par ailleurs, une telle culture doit inclure la tolérance d'un taux d'échec élevé. Le coût de la poursuite de l'innovation radicale est que tous les programmes ou projets ne seront pas couronnés de succès – en fait, la grande majorité ne générera pas d'idées ou de technologies révolutionnaires. Il est toutefois possible d'apprendre de ces échecs dans le cadre d'un processus continu de découverte appliquée.

Neutralité technologique :

Comme il en a été question précédemment, la CARPA devrait adopter l'approche par portefeuille de la DARPA, en partie pour se prémunir contre l'échec et en partie pour catalyser autant de solutions technologiques différentes que possible à un défi ou à un problème. Puisque les gestionnaires de programmes ne sauront pas au départ quelles technologies, le cas échéant, peuvent résoudre un défi ou un problème particulier, il y a lieu de fournir un financement d'amorçage relativement à toute technologie qui a une chance, même minime, de faire la différence.

La plupart de ces projets échoueront. Certains réussiront. Cependant, même ceux qui échoueront pourront au bout du compte avoir des applications futures. Le point essentiel est qu'un mandat de résolution de problèmes exige de mettre à l'essai différentes idées plutôt que de réduire les options en fonction des entreprises ou des principaux chercheur.e.s universitaires en place. La CARPA devrait être disposée à accorder des fonds d'amorçage pour des projets dits « farfelus ».

Un des avantages du modèle de portefeuille est qu'il atténue les préjugés en faveur des entreprises ou des principaux chercheur.e.s en place. Il permet de proposer des solutions potentielles au défi ou au problème sous-jacent dans le cadre de différents types de projets. La priorité de la CARPA doit être de catalyser les idées et les technologies révolutionnaires, mais elle ne doit aucunement se préoccuper de la source de ces percées.

Concrétisation des idées prometteuses :

La CARPA doit chercher à reproduire le soutien dit « de bout en bout » de la DARPA, depuis la génération d'idées à un stade précoce jusqu'à la commercialisation. En pratique, la CARPA doit se concentrer à la fois sur la catalyse d'idées et de technologies révolutionnaires et sur leur transition à travers tout le continuum de l'innovation. Pour ce faire, il faudra établir des relations solides avec les sources de capitaux privés, y compris le secteur du capital de risque du pays, ainsi qu'avec les moyens plus conventionnels de financement privé et le secteur privé en général.

À notre avis, il existe une capacité d'absorption suffisante au sein du secteur privé canadien pour les technologies prometteuses que la CARPA aiderait à développer. L'augmentation de la taxe sur le carbone

devrait créer une demande supplémentaire au fil du temps. Le succès passé du Bureau de recherche et de technologie des sables bitumineux de l'Alberta (BRTSBA), qui a utilisé des partenariats public-privé pour catalyser et commercialiser des technologies visant à développer les ressources pétrolières et gazières de la province, prouve que ce modèle peut effectivement intéresser des partenaires dans le secteur privé au Canada⁵⁷. Sara Hastings-Simon, professeure à l'Université de Calgary, a fait valoir que le Canada a besoin d'un BRTSBA moderne avec un « objectif perturbateur » lui permettant de s'associer à l'industrie afin de développer les technologies énergétiques de la prochaine génération⁵⁸.

En plus d'établir des ponts avec les partenaires du secteur privé, la CARPA devra travailler au sein même du gouvernement fédéral. Ses gestionnaires de programmes devront être en mesure de travailler avec les organismes de réglementation et les sources de financement public afin d'aider

La CARPA devrait être disposée à accorder des fonds d'amorçage pour des projets dits « farfelus ». La priorité de la CARPA doit être de catalyser les idées et les technologies révolutionnaires, mais elle ne doit aucunement se préoccuper de la source de ces percées.



les technologies pour lesquelles la CARPA fournit un financement d'amorçage à passer à l'étape suivante du processus d'innovation. Cela nécessitera un message clair de la part du premier ministre et du gouvernement selon lequel les projets financés par la CARPA doivent être examinés en priorité dans le cadre d'autres programmes. Il faudra peut-être que cela fasse partie intégrante d'un nouveau programme de soutien aux entreprises.

Marchés publics :

Les marchés publics sont un domaine dans lequel le gouvernement peut soutenir directement les technologies prometteuses. Les entreprises et les chercheurs universitaires doivent avoir l'impression qu'il y aura un marché pour leurs innovations, et les marchés publics peuvent contribuer à créer une demande du marché pour les nouvelles technologies.

Pour que le modèle DARPA fonctionne au Canada, les gouvernements fédéraux et provinciaux doivent être disposés à utiliser leurs pouvoirs d'approvisionnement pour soutenir les technologies prometteuses. Par exemple, la DARPA a prévu diverses exclusions – comme des concours d'attribution de prix – en faveur des entreprises américaines. Il faut aussi tenir compte de l'énorme budget d'approvisionnement du département de la Défense.

Nous reconnaissons que les divers ordres de gouvernement au Canada n'ont pas la même capacité d'approvisionnement que le département de la Défense des États-Unis. Cependant, si l'on tient compte de la loi fédérale prévoyant la cible de zéro émission nette et de l'essor des plans de financement du secteur privé pour les technologies propres, il pourrait bien y avoir un bassin de capital suffisant pour aider à faire passer les projets financés par la CARPA aux étapes suivantes du continuum

de l'innovation. Comme nous l'avons déjà mentionné, la taxe sur le carbone créera également une demande de la part du gouvernement et du secteur privé pour des technologies et des sources d'énergie à faibles émissions.

Dans la sous-section suivante, nous examinons comment le gouvernement pourrait sélectionner certains problèmes pour guider le travail de la CARPA. Une des considérations est de se demander où et si les gouvernements ont une capacité d'approvisionnement suffisante (p. ex. l'énergie, les soins de santé et les infrastructures) et où ils pourraient avoir une échelle suffisante pour être en mesure d'aider à créer une demande du marché pour les technologies prometteuses.

À cette fin, les gouvernements fédéraux et provinciaux devront consacrer une partie de leurs budgets d'approvisionnement pour aider les technologies prometteuses à faire la transition vers leur application sur le marché. Certaines mesures ont été prises dans ce sens, notamment le programme Solutions innovatrices Canada, qui vise à acquérir des technologies prometteuses auprès des PME. Bien que ces développements soient prometteurs, il devrait y avoir un plus grand engagement à utiliser les marchés publics comme outil de politiques d'innovation, comme nous l'avons écrit précédemment⁵⁹.

En pratique, cela signifie qu'il faut conférer des pouvoirs d'approvisionnement étendus et flexibles plutôt que les processus inflexibles du Conseil du Trésor. Tout comme le fait de soumettre la CARPA aux exigences du Conseil du Trésor en matière d'administration et de rapports minerait l'efficacité de l'organisme, le fait d'exiger que les projets les plus prometteurs suivent ses processus d'approvisionnement lents et dysfonctionnels ne pourrait conduire qu'à l'échec.

Priorités claires :

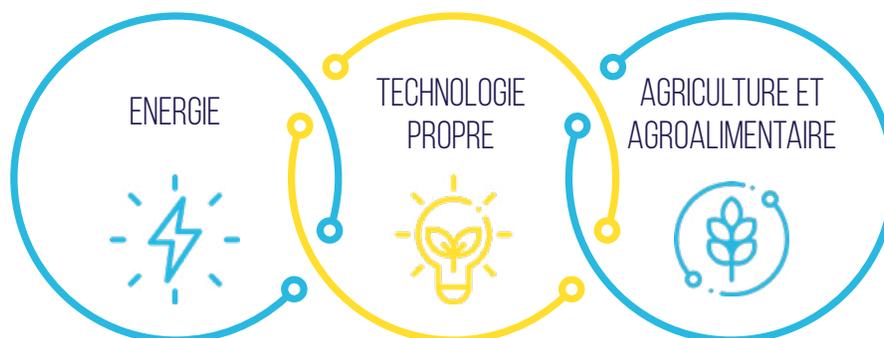
Pour que la CARPA soit efficace, surtout à ses débuts, elle doit être très ciblée et avoir des priorités sectorielles limitées. Aux États-Unis, le modèle de la Advanced Research Projects Agency a été appliqué à divers secteurs : l'innovation militaire et de défense, l'innovation biomédicale, l'innovation énergétique et, plus récemment avec l'annonce de l'ARPA-H, l'innovation en matière de santé. C'est un signe que le gouvernement américain pense que la DARPA peut être reproduite dans d'autres secteurs disposant d'une capacité d'approvisionnement moindre et de ressources réduites.

Deux importants conseils consultatifs parrainés par le gouvernement, le Conseil consultatif en matière de croissance (présidé par Dominic Barton) et le Conseil sur la stratégie industrielle (présidé par Monique Leroux) ont tous deux présenté de solides arguments au cours des dernières années en faveur d'un pari politique important sur les secteurs à

croissance rapide où le Canada possède un avantage comparatif : l'énergie et les technologies propres ainsi que l'agriculture et l'agroalimentaire. Ces deux secteurs ont non seulement une capacité d'absorption considérable dans le secteur privé pour le type de recherche avancée que la CARPA pourrait mener, mais les percées technologiques dans ces secteurs seront essentielles pour lutter contre les changements climatiques et renforcer la présence du Canada sur les marchés mondiaux. L'infrastructure est également un secteur au Canada qui dispose d'une expertise technique importante (matériaux avancés, par exemple) et d'une capacité d'absorption dans le secteur privé.

En fin de compte, la CARPA ne devrait pas commencer ses activités en tant qu'organisme technologique à vocation générale. Elle devrait plutôt favoriser un nombre limité de défis et de priorités – comme l'objectif de zéro émission nette – qui reposent sur un ensemble d'avantages comparatifs préexistants pour le pays.

Pour que la CARPA soit efficace, surtout à ses débuts, elle doit être très ciblée et avoir des priorités sectorielles limitées. Aux États-Unis, le modèle de la Advanced Research Projects Agency a été appliqué à divers secteurs :



En particulier, l'objectif du nouvel organisme devrait être de soutenir les projets à haut risque et à haut rendement – les technologies précaires – et de laisser les paris sûrs aux autres ministères, organismes et programmes fédéraux. La CARPA doit se consacrer à l'innovation radicale.

CONCLUSION

La richesse et la prospérité collectives des Canadiens et Canadiennes dépendent des nouvelles idées et des nouvelles technologies. En fin de compte, c'est ainsi que nous augmenterons la productivité et le niveau de vie à long terme. C'est notre voie vers le progrès.

Cependant, le problème tient au fait que les résultats du pays en matière d'invention et d'innovation – particulièrement l'innovation radicale – sont décevants depuis des années. Une combinaison des défaillances du marché et du contrôle exercé par les acteurs.rices du milieu universitaire empêche un approvisionnement régulier d'idées et de technologies révolutionnaires dans le pipeline de l'innovation en vue de la commercialisation, de la mise à l'échelle et, finalement, de l'intégration des marchés mondiaux.

L'engagement du gouvernement fédéral à créer la CARPA est une étape importante dans le but de relever les défis de longue date que constituent les percées insuffisantes et la commercialisation limitée. La CARPA représente un type différent d'organisme d'innovation qui doit être discipliné quant à sa mission de catalyser l'innovation radicale plutôt que l'innovation progressive.

En particulier, l'objectif du nouvel organisme devrait être de soutenir les projets à haut risque et à haut rendement – les technologies précaires – et de laisser les paris sûrs aux autres ministères, organismes et programmes fédéraux. La CARPA doit se consacrer à l'innovation radicale.

Le présent rapport énonce les caractéristiques en matière de conception, de gouvernance, de fonctionnement et de programmation dont les décideurs.euses politiques fédérales devront tenir compte en établissant le nouvel organisme. Notre analyse et nos recommandations visent à aider le gouvernement à institutionnaliser une capacité à haut risque et à haut rendement dans l'écosystème d'innovation du Canada. Toutefois, fait tout aussi important, nous avons également mis de l'avant la façon dont la CARPA peut contribuer à relier les idées et les technologies révolutionnaires qu'elle catalyse à l'ensemble du continuum de l'innovation.

En bout de piste, la CARPA sera jugée en fonction des deux objectifs distincts, mais connexes suivants : les percées et les ponts. Le présent rapport propose un plan directeur pour réaliser des progrès sur ces deux fronts.

REMERCIEMENTS



Le FPP tient à remercier le **Brookfield Institute for Innovation + Entrepreneurship** pour sa collaboration dans le cadre du projet **Moonshot du Canada**. Nous sommes reconnaissants pour les discussions de fond avec **Sarah Doyle**, l'ancienne directrice des politiques et de la recherche de Brookfield, ainsi que le Dr **Thomas Goldsmith**, responsable de la recherche, et les anciens responsables de la recherche **Creig Lamb** et **Preet Mondair**.

Nous sommes particulièrement reconnaissants du soutien continu de nos partenaires, le **Conseil canadien des affaires (BCC)**, la **Corporation de développement économique communautaire et d'employabilité (CEDEC)**, **Johnson & Johnson**, **MDA** et la **Banque Scotia**.

Le FPP aimerait également remercier le Conseil consultatif d'experts de Moonshot du Canada pour ses précieux aperçus des politiques d'innovation axées sur le Moonshot : **Ilse Treurnicht**, **Bill Tam**, **Armughan Ahmad**, **Michel Bergeron**, **Clément Bourgogne**, **Judy Fairburn**, **Carol Anne Hilton**, **Pari Johnston**, **Zayna Khayat**, **Adam Legge**, **Kendra MacDonald**, **Derrick Rossi**, **Nadia Theodore** et **Sara Wolfe**.

RÉFÉRENCES



- 1 Le sens actuel du mot « **productivité** » est entré dans les usages au cours des années 1950. Voir **Phillip Cross**, « We need leaders to focus on economic growth », Financial Post, 27 août 2021. https://financialpost.com/opinion/philip-cross-we-need-leaders-to-focus-on-economic-growth?utm_medium=Social&utm_source=Twitter#Echobox=1630070405.
- 2 Discours inaugural du président des États-Unis, **Harry S. Truman**, 20 janvier 1949. https://avalon.law.yale.edu/20th_century/truman.asp.
- 3 **Sean Speer et Robert Asselin**, « Want to combat populism? Innovation and positive-sum politics are key », The Hub, 10 décembre 2021. <https://thehub.ca/2021-12-10/want-to-combat-populism-innovation-and-positive-sum-politics-are-key/>.
- 4 **Dan Munro**, An Inclusive Innovation Monitor for Canada Discussion Paper, Brookfield Institute for Innovation + Entrepreneurship and Innovation Policy Lab (Munk School), mars 2020. <https://brookfieldinstitute.ca/wp-content/uploads/An-Inclusive-Innovation-Monitor-for-Canada-ONLINE.pdf>.
- 5 **Mark Muro, Joseph Parilla**, et **Gregory M. Spencer**, Canada's Advanced Industries, Brookings Institution and Martin Prosperity Institute, 2018. https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2018/06/Canadas-Advanced-Industries_18-06-05_FINAL2.pdf.
- 6 **Peter Nicholson**, « Canada's low-innovation equilibrium: Why it has been sustained and how it will be disrupted », Analyse de politiques, vol. 42, numéro S1, novembre 2016. <https://www.utpjournals.press/doi/full/10.3138/cpp.2015-019>.
- 7 **Robert Asselin, Sean Speer**, et **Royce Mendes**, Une nouvelle étoile polaire II : Une stratégie industrielle axée sur les défis pour le Canada, Forum des politiques publiques, avril 2020. <https://ppforum.ca/wp-content/uploads/2020/04/UneNouvelle%C3%89toilePolaireII-FPP-AVRIL2020-FR.pdf>.
- 8 **Michael Lind**, « The return of geoeconomics », The National Interest, 13 octobre 2019. <https://nationalinterest.org/feature/return-geoeconomics-87826>.
- 9 **Robert Atkinson**, « Why the United States needs a national advanced industry and technology agency », ITIF, 17 juin 2021. <https://itif.org/publications/2021/06/17/why-united-states-needs-national-advanced-industry-and-technology-agency>.
- 10 White House, **A letter to Dr. Eric S. Lander**, the President's science advisor and nominee as the Director of the Office of Science and Technology Policy, 20 janvier 2021. <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/01/20/a-letter-to-dr-eric-s-lander-the-presidents-science-advisor-and-nominee-as-director-of-the-office-of-science-and-technology-policy/>.
- 11 National Science Foundation, **A letter to Vannevar Bush**, the Director of the Office of Scientific Research and Development, 17 novembre 1944. https://www.nsf.gov/about/history/nsf50/vbush1945_roosevelt_letter.jsp.
- 12 Voir résultats du **2020 Global Innovation Index**. <https://www.globalinnovationindex.org/analysis-indicator>.
- 13 **Minister of Innovation, Science and Industry Mandate Letter**. December 16, 2021. <https://pm.gc.ca/en/mandate-letters/2021/12/16/minister-innovation-science-and-industry-mandate-letter>
- 14 Comme preuve supplémentaire du grand intérêt pour une CARPA, les partis libéral et conservateur ont tous deux promis la création d'une CARPA dans leur plateforme électorale de 2021.
- 15 **Peter Thiel** (avec **Blake Masters**), Zero to One: Notes on Start-ups, or how to Build the Future, (New York: Crown Book, 2014).
- 16 **Robert Asselin**, « Canada needs a R&D powerhouse modelled on the successes of DARPA », C.D. Howe Institute, 22 mars 2021. <https://www.cdhowe.org/intelligence-memos/robert-asselin-%E2%80%93-canada-needs-rd-powerhouse-modelled-successes-darpa>.

RÉFÉRENCES

17 Entretien avec l'auteur, 3 septembre 2021.

18 Innovation et stratégies d'entreprise : pourquoi le Canada n'est pas à la hauteur, Comité d'experts sur l'innovation dans les entreprises, Conseil des académies canadiennes, 2009. <https://www.rapports-cac.ca/wp-content/uploads/2018/10/Innovation-et-strat%C3%A9gies-dentreprise-pourquoi-le-Canada-nest-pas-%C3%A0-la-hauteur.pdf>.

19 Auteur inconnu, Breakthrough Innovation and Growth, PWC, septembre 2013. <https://www.pwc.lu/en/advisory/docs/pwc-breakthrough-innovation-and-growth.pdf>.

20 **Sean Speer**, « The decades long resistance to mRNA vaccines shows the need for reform », The Hub, 6 juillet 2021. <https://thehub.ca/2021-07-06/sean-speer-against-peer-reviewers/>.

21 **Marcia Malory**, « Peer review could reject breakthrough manuscripts, study shows », Phys.org, 23 décembre 2014. <https://phys.org/news/2014-12-peer-breakthrough-manuscripts.html>.

22 **Jason Dion** et al., Vers un Canada carboneutre : S'inscrire dans la transition globale, Institut canadien pour des choix climatiques, février 2021. https://climatechoices.ca/wp-content/uploads/2021/02/Vers-un-Canada-carboneutre_FINAL.pdf.

23 **Patrick Collison** et **Tyler Cowen**, « We need a new science of progress », The Atlantic, 30 juillet 2019. <https://www.theatlantic.com/science/archive/2019/07/we-need-new-science-progress/594946/>.

24 Conversations with Tyler: Noubar Afeyan on the Permission to Leap, 13 janvier 2021. <https://conversationswithtyler.com/episodes/noubar-afeyan/>.

25 Forthcoming Hub Dialogue with **Robert Atkinson**, The Hub, date inconnue.

26 **Mark P. Mills**, « Making technological miracles: The case for curiosity-driven science – and a new way to think about R&D », The New Atlantis, printemps 2017. <https://www.thenewatlantis.com/publications/making-technological-miracles>.

27 Gouvernement du Royaume-Uni, Advanced Research and Invention Agency (ARIA): Policy Statement, 19 mars 2021. <https://www.gov.uk/government/publications/advanced-research-and-invention-agency-aria-statement-of-policy-intent/advanced-research-and-invention-agency-aria-policy-statement>.

28 **Carolyn Fu**, Lars Frolund et Fiona Murray, Enabling Mission Impact: Funding Strategies for High-Risk High-Reward Innovation, Policy Working Paper, MIT Innovation Initiative, février 2021. <https://innovation.mit.edu/assets/Enabling-Mission-Impact-FINAL.pdf>.

29 **Gary Clyde Hufbauer** et **Euijin Jung**, Scoring 50 Years of US Industrial Policy, 1970–2020, Peterson Institute for International Economics, novembre 2021. <https://www.piie.com/sites/default/files/documents/piieb21-5.pdf>.

30 **Alissa Mariello**, « The five stages of successful innovation », MIT Sloan Management Review, 1er avril 2007. <https://sloanreview.mit.edu/article/the-five-stages-of-successful-innovation/>.

31 Prochain dialogue du Hub Dialogue avec **Robert Atkinson**, The Hub, date inconnue.

32 Personnel de The Hub, « Journalist **Brendan Borrell** spotlights the unsung heroes behind the COVID-19 vaccines », The Hub, 17 novembre 2021. <https://thehub.ca/2021-11-17/journalist-brendan-borrell-spotlights-unsung-heroes-behind-the-coivd-19-vaccines/>.

33 **Mariana Mazzucato**, Mission Economy: A Moonshot Guide to Changing Capitalism, 2020, p. 121.

RÉFÉRENCES



- 34 **Ben Reinhardt**, « Why does DARPA work? » Benjaminreinhardt.com, juin 2020. <https://benjaminreinhardt.com/wddw>.
- 35 DARPA, Creating Technology Breakthroughs and New Capabilities for National Security, 2019. <https://www.darpa.mil/attachments/DARPA2015.pdf>.
- 36 « Innovation at DARPA », DARPA, juillet 2016, p. 6. https://www.darpa.mil/attachments/DARPA_Innovation_2016.pdf
- 37 **Robert Asselin**, « Canada needs a R&D powerhouse modelled on the successes of DARPA », C.D. Howe Institute, 22 mars 2021. <https://www.cdhowe.org/intelligence-memos/robert-asselin-%E2%80%93-canada-needs-rd-powerhouse-modelled-successes-darpa>.
- 38 **Ben Reinhardt**, « Why does DARPA work? » Benjaminreinhardt.com, juin 2020. <https://benjaminreinhardt.com/wddw>.
- 39 **Gary Clyde Hufbauer** et **Euijin Jung**, Scoring 50 Years of US Industrial Policy, 1970–2020, Peterson Institute for International Economics, novembre 2021. <https://www.piie.com/sites/default/files/documents/piieb21-5.pdf>.
- 40 **Carolyn Fu**, **Lars Frolund** et **Fiona Murray**, Enabling Mission Impact: Funding Strategies for High-Risk High-Reward Innovation, Policy Working Paper, MIT Innovation Initiative, février 2021.
- 41 **Ben Reinhardt**, « Why does DARPA work? » Benjaminreinhardt.com, juin 2020. <https://benjaminreinhardt.com/wddw>.
- 42 **Regina E. Dugan** et **Kaigham J. Gabriel**, « “Special forces” innovation: How DARPA attacks problems », Harvard Business Review, octobre 2013. <https://hbr.org/2013/10/special-forces-innovation-how-darpa-attacks-problems>.
- 43 Congressional Research Service, Defense Advanced Research Projects Agency: Overview and Issues for Congress, 19 août 2021. <https://sgp.fas.org/crs/natsec/R45088.pdf>.
- 44 « DARPA “lookalikes” must ground their dreams in reality », Nature, 11 mars 2020. <https://www.nature.com/articles/d41586-020-00690-5>.
- 45 **Ben Reinhardt**, « Why does DARPA work? » Benjaminreinhardt.com, juin 2020. <https://benjaminreinhardt.com/wddw>.
- 46 **Carolyn Fu**, **Lars Frolund** et **Fiona Murray**, Enabling Mission Impact: Funding Strategies for High-Risk High-Reward Innovation, Policy Working Paper, MIT Innovation Initiative, février 2021. <https://innovation.mit.edu/assets/Enabling-Mission-Impact-FINAL.pdf>.
- 47 « DARPA “lookalikes” must ground their dreams in reality », Nature, 11 mars 2020. <https://www.nature.com/articles/d41586-020-00690-5>.
- 48 Cité au Congressional Research Service, Defense Advanced Research Projects Agency: Overview and Issues for Congress, 19 août 2021. <https://sgp.fas.org/crs/natsec/R45088.pdf>.
- 49 **Robert Asselin** et **Sean Speer**, Une nouvelle étoile polaire : La compétitivité canadienne à l’ère de l’économie immatérielle, Forum des politiques publiques, avril 2019. <https://ppforum.ca/wp-content/uploads/2019/04/UneNouvelle%C3%89toilePolaire-FPP-Avril2019-FR.pdf>.
- 50 Voir résultats du 2020 Global Innovation Index. <https://www.globalinnovationindex.org/analysis-indicator>.
- 51 Voir données de l’OCDE sur les dépenses intérieures brutes en R et D. <https://data.oecd.org/rd/gross-domestic-spending-on-r-d.htm>.

RÉFÉRENCES

52 OCDE, tableau 24 – Business expenditure on R&D (BERD) as a percentage of GDP, in Main Science and Technology Indicators, volume 19, numéro 2, publication OCDE, 2020. <https://doi.org/10.1787/83b74c19-en/>.

53 **David Küpper**, **Markus Lorenz**, **Andreas Maurer**, et **Kim Wagner**, « Managing the “unmanageable”: Radical innovation », Boston Consulting Group, 25 septembre 2013. <https://www.bcg.com/publications/2013/innovation-lean-manufacturing-managing-unmanageable-radical-innovation>.

54 The Heilmeier Catechism, DARPA, date inconnue. <https://www.darpa.mil/work-with-us/heilmeier-catechism>.

55 DARPA ‘lookalikes’ must ground their dreams in reality” Nature, 11 mars 2020. <https://www.nature.com/articles/d41586-020-00690-5>.

56 **Kyle Siler**, **Kirby Lee** et **Lisa Bero**, Measuring the effectiveness of scientific gatekeeping, Délibérations de la National Academy of Sciences of the United States of America, janvier 2015. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4299220/>.

57 **Sean Speer**, **Kim Henderson** et **Katherine Feenan**, Efficacité climatique : Ce qu’il faut au Canada pour prospérer dans le commerce carboneutre, Forum des politiques publiques, octobre 2021, <https://ppforum.ca/wp-content/uploads/2021/11/Efficacit%C3%89Climatique-PPF-Oct2021-FR1.pdf>.

58 **Sarah Hastings-Simon**, Industrial Policy in Alberta: Lessons from AOSTRA and the Oil Sands, School of Public Policy de l’Université de Calgary, novembre 2019. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3480703.

59 **Robert Asselin** et **Sean Speer**, Une nouvelle étoile polaire : La compétitivité canadienne à l’ère de l’économie immatérielle, Forum des politiques publiques, avril 2019. <https://ca.rbcwealthmanagement.com/documents/1478023/1478039/New+North+Star-EN.pdf/47c3d0cf-95ce-4b1a-9ae0-04f8a2817c7d>.



**FORUM DES
POLITIQUES
PUBLIQUES**