



**Mémoire présenté au
ministère des Finances du Québec
dans le cadre
des consultations prébudgétaires**

Février 2021



PRÉAMBULE

L'économie du savoir constitue une immense richesse pour une société moderne, alors que toutes les nouvelles innovations partent d'abord d'une idée, qui prend généralement son essor au cœur des laboratoires des chercheurs québécois. Cette étape du processus est fondamentale. Bien sûr, elle nécessite des investissements massifs et soutenus, mais il y a un prix à l'excellence et à la compétitivité. La recherche, c'est un investissement de société. Le Québec a depuis longtemps choisi de prendre les risques qui s'imposent et de soutenir la recherche. En matière de génomique, le Québec est au rendez-vous depuis 2000, ce qui a permis de bâtir une masse critique d'expertise et d'infrastructures d'envergure internationale.

L'heure est maintenant venue de cueillir les fruits de ces investissements. C'est d'ailleurs grâce à cette vision des gouvernements qu'aujourd'hui, en pleine pandémie, les chercheurs québécois collaborent avec les meilleurs, prennent part à la course aux solutions, alors que nos infrastructures sont à la fine pointe, opérées par des techniciens hautement qualifiés, qui contribuent depuis plusieurs mois à l'effort collectif. Qu'il s'agisse de soutien à la recherche, de biobanques, de séquençage de virus et de nouveaux variants ou autres services scientifiques, Génome Québec contribue largement aux solutions contre la COVID-19. Par ailleurs, l'organisme dispose de toute l'expertise nécessaire pour également agir et apporter des réponses dans d'autres secteurs clés de notre économie comme l'environnement, la foresterie et l'agriculture.

Avec son expertise multisectorielle de plus en plus axée sur les partenariats publics et privés, Génome Québec souhaite contribuer activement au succès des zones d'innovation, un grand projet de société!

L'innovation constitue l'avenir du Québec. Pour réussir ce virage, la vision de notre gouvernement consiste à stimuler l'émergence de zones d'innovation, dont la réussite reposera d'une part, sur l'excellence scientifique, la qualité des infrastructures, leur pouvoir d'attraction d'investissements et d'entreprises étrangères, et d'autre part, sur leur capacité à offrir un environnement fertile et

socialement attrayant. Le tout devra s'effectuer dans une perspective de développement durable et de qualité de vie. Ultimement, le gouvernement mise sur ces zones issues de différentes sphères de notre économie, pour accélérer le maillage entre les entreprises et la recherche académique, et ce, afin de produire des innovations qui bénéficieront à la société.

Le présent mémoire comprend sept recommandations, structurées selon quatre axes, soit génomique environnementale, génomique et santé humaine, génomique microbienne et acceptabilité sociale et génomique. Le tout a été développé selon une vision de création de valeur économique, d'efficacité et de rayonnement national et international. Le soutien financier demandé serait utilisé principalement pour répondre à des enjeux prioritaires du Québec (accès et partage des données, changements climatiques, intégration de l'innovation en santé, etc.), attirer des investissements privés, stimuler l'innovation et accompagner la population dans le virage qui s'amorce.

Génome Québec tient à remercier le gouvernement du Québec de l'intérêt porté à ce mémoire.

MISSION - VISION

NOTRE MISSION

Génome Québec a pour mission de catalyser le développement et l'excellence de la recherche en génomique, son intégration et sa démocratisation. Pilier de la bioéconomie du Québec, l'organisme contribue également au développement social et durable, ainsi qu'au rayonnement du Québec.

NOTRE VISION

Les innovations issues de la génomique amélioreront la prestation des soins de santé, les pratiques agroalimentaires, environnementales et forestières, ainsi que les politiques publiques.



Liste des recommandations

AXE 1 – GÉNOMIQUE ENVIRONNEMENTALE

Soutien financier demandé : 2,8 M\$/an – 8,4 M\$/3 ans

Recommandation 1

Génome Québec recommande au gouvernement du Québec de démarrer le financement pour un programme d'intégration de la génomique en environnement, qui permettra de stimuler le potentiel industriel de la génomique pour accroître la compétitivité de secteurs clés de l'économie et soutenir les engagements climatiques et durables du Québec. La multiplication des applications génomiques dans les domaines de l'environnement, incluant l'agriculture, l'agroalimentaire et la foresterie, génère des bénéfices pour les procédés et produits.

Recommandation 2

Génome Québec recommande au gouvernement du Québec de soutenir la mise en place d'un premier centre de production, de traitement et de valorisation des données génomiques non humaines.

AXE 2 – GÉNOMIQUE ET SANTÉ HUMAINE

Soutien financier demandé : 4,5 M\$/an – 13,5 M\$/3 ans

Recommandation 3

Génome Québec recommande au gouvernement du Québec de poursuivre le financement de son *Programme d'intégration de la génomique - Volet santé humaine*. Axé sur les solutions et conçu pour multiplier le nombre de partenariats public-privé, ce programme vise à favoriser le passage d'une découverte vers une innovation.

Recommandation 4

Génome Québec recommande au gouvernement du Québec de soutenir financièrement le partenariat entre la Digital Hôpital Découverte Plateforme (DHDP) et Génome Québec. Cette collaboration stratégique favorisera l'accélération de l'intégration de la masse critique de données génomiques en oncologie.

Recommandation 5

Génome Québec recommande au gouvernement du Québec de soutenir la création et la mise en œuvre d'un centre de données génomiques dédié à la recherche et à la clinique. Cette vision structurante aura un impact probant sur la mise en valeur des données génomiques, l'harmonisation et l'accès aux données pour les chercheurs et l'industrie, leur qualité et leur valeur économique. Elle permettra d'accélérer le développement d'outils bio-informatiques, de produits commercialisables et améliorera l'efficacité du système de santé. De plus, ces données de qualité pourront alimenter le développement de l'intelligence artificielle et ses résultats.

AXE 3 – GÉNOMIQUE MICROBIENNE

Soutien financier demandé : 2 M\$/an – 6 M\$/3 ans

Recommandation 6

Génome Québec recommande au gouvernement du Québec de soutenir le développement de la recherche en génomique permettant une surveillance accrue et en temps réel des pathogènes. L'utilisation de la génomique dans ce domaine favorisera des prises de décisions rapides et éclairées en matière de prévention, de contrôle et de gestion des éclosions (réinfections, super-propagation, efficacité vaccinale), de détection de nouveaux variants, de corrélation avec la pathogénicité et à plus long terme, de développement de nouveaux traitements et vaccins.

AXE 4 – ACCEPTABILITÉ SOCIALE ET GÉNOMIQUE

Soutien financier demandé : 0,5 M\$/an – 1,5 M\$/3 ans

Recommandation 7

Génome Québec recommande au gouvernement du Québec d'encourager et de soutenir financièrement des initiatives mobilisatrices, conçues dans une perspective d'acceptabilité sociale. Ces dernières devront avoir pour objectif d'élever le niveau de connaissance et de rassurer la population relativement à la génomique et aux enjeux afférents.

Demande financière totale : 9,8 M\$/an – 29,4 M\$/3 ans



INTRODUCTION

Pour relancer l'économie du Québec, le gouvernement a choisi de miser sur l'innovation, qu'il considère comme le carburant des sociétés modernes. Pour se démarquer en matière d'économie et élever le niveau de prospérité et de qualité de vie du Québec, il faut donc relever le défi de l'innovation. L'agenda consiste notamment à mettre en place diverses zones d'innovation structurées autour de thématiques spécifiques comme la santé humaine, l'intelligence artificielle, l'agriculture, les technologies vertes, etc. Toutes les options sont ouvertes et ce seront les projets les plus porteurs, sur le plan d'écosystème économique et social d'envergure internationale, qui verront le jour.

La recherche doit être un des piliers majeurs de ces zones, alors que les expertises diversifiées de plusieurs des chercheurs que nous finançons sont très compétitives et reconnues mondialement. Développée dans un cadre favorable à l'entrepreneuriat, la recherche a le potentiel de générer beaucoup de valeur économique. Plusieurs filières déjà établies à l'international le démontrent (Silicon Valley et Broad Institute aux États-Unis, Cambridge au Royaume-Uni, etc.). Le Québec a les atouts nécessaires pour en faire autant.

C'est maintenant un fait, la génomique est un véhicule de création de valeur économique. D'ailleurs, selon un rapport produit par le McKinsey Global Institute, au cours des prochaines années, douze technologies de rupture, dont la génomique et l'intelligence artificielle, transformeront de façon significative la vie des gens, le monde des affaires et l'économie globale. L'impact économique pour les applications génomiques évaluées (traitements de maladies, agriculture, production de substances de grande valeur) sera de 0,7 à 1,6 billion de dollars américains en 2025 (trillion en anglais).

Le Québec est reconnu comme un chef de file mondial à plusieurs égards, notamment en thérapie cellulaire, pharmacogénomique, oncologie, infectiologie, agriculture de précision, phytoremédiation, foresterie, santé animale et pour de nombreuses autres niches très porteuses de solutions innovantes et durables.

En continuant de stimuler les collaborations entre les chercheurs académiques et les entreprises privées, on pourrait voir le nombre de solutions innovantes se multiplier au cours des prochaines années, menant à la création de *start-up*, PME et autres initiatives à fort potentiel d'impact économique.

La génomique, un actif rentable pour la plupart des zones d'innovation

Génome Québec gère actuellement un portefeuille de 95 projets de recherche actifs, d'une valeur de 400 millions de dollars. À cela s'ajoutent deux centres technologiques, qui fournissent aux chercheurs académiques et à l'industrie près de 15 millions de dollars de services annuellement.

Au cours des dix dernières années, la contribution des partenaires autres que le ministère de l'Économie et de l'Innovation et Génome Canada n'a cessé de progresser pour atteindre 52 % du portefeuille de Génome Québec. Cette évolution illustre clairement à quel point les applications issues de la génomique répondent de plus en plus aux besoins d'utilisateurs industriels, à la recherche de solutions innovantes pour améliorer leur productivité et leur compétitivité.

Considérant la variété des expertises issues de la génomique et le niveau extrêmement compétitif des chercheurs québécois, Génome Québec a fait le choix de favoriser une approche transversale plutôt que de proposer une zone d'innovation spécifique en génomique. Ainsi, l'organisme souhaite soutenir les zones d'innovation pour lesquelles la génomique pourrait s'avérer une importante valeur ajoutée et convenir de partenariats ciblés, permettant ainsi à cette technologie de pointe de contribuer activement à l'atteinte des objectifs de la zone, mais également à l'épanouissement économique du Québec et à son rayonnement international. Rappelons que la génomique est bien ancrée dans le présent, mais concrètement, elle incarne l'avenir, une révolution dans les façons de faire. Le Québec a tous les outils en main pour bénéficier de la masse critique en place.



AXE 1 - GÉNOMIQUE ENVIRONNEMENTALE

Recommandation 1

Génome Québec recommande au gouvernement du Québec de démarrer le financement pour un programme d'intégration de la génomique en environnement, qui permettra de stimuler le potentiel industriel de la génomique pour accroître la compétitivité de secteurs clés de l'économie, et soutenir les engagements climatiques et durables du Québec. La multiplication des applications génomiques dans les secteurs de l'environnement, incluant l'agriculture, l'agroalimentaire et la foresterie, génère des bénéfices pour les procédés et produits.

Soutien financier demandé

Programme d'intégration de la génomique en environnement

	Par an	3 ans
Gouvernement du Québec	1,5 M\$	4,5 M\$
Partenaires	1,5 M\$	4,5 M\$
Total	3,0 M\$	9,0 M\$

Lutte contre les changements climatiques et pour l'agriculture durable : leviers de développement économique et de rayonnement international

Le Québec s'est engagé à réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 37,5 % d'ici 2030 par rapport à leur niveau de 1990. Pour ce faire, le gouvernement s'appuiera notamment sur le développement durable et sur l'émergence de filières économiques d'avenir et créatrices d'emplois de qualité.

La génomique peut certainement contribuer à l'atteinte des objectifs gouvernementaux. Qu'il s'agisse de réduire l'empreinte carbone du secteur agricole, de favoriser des pratiques forestières durables, de conserver la biodiversité et les services rendus par les écosystèmes, ou encore de développer des variétés mieux adaptées à la culture en serre, la génomique est un outil de pointe puissant qui apporte des solutions innovantes à des problématiques bien réelles dans des secteurs comme l'environnement, l'agriculture, l'agroalimentaire et la foresterie.

Mettre à profit l'expérience de Génome Québec

Actuellement, 47,2 % des projets financés par Génome Québec portent sur des questions liées à des enjeux environnementaux (alimentation animale, diminution des engrais azotés, stratégie de reboisement durable, valorisation de la biomasse forestière, impacts des changements climatiques sur la biodiversité, algues bleu-vert, diffusion des pesticides, etc.), alors que 50 % des mille clients de notre Centre d'expertise et de services Génome Québec (plateforme de séquençage) proviennent de la filière hors santé humaine.

Encourager les maillages public-privé et multiplier le nombre de solutions innovantes disponibles

L'amélioration de la performance de l'économie québécoise passe notamment par un rapprochement entre l'industrie et la recherche académique. Dans cette perspective, Génome Québec a mis en place des initiatives visant à favoriser les maillages public-privé. Ces dernières ont permis d'investir au Québec plus de 87 millions de dollars (dont plus de 60 % ont été octroyés dans des secteurs hors santé) en projets de recherche appliquée, menés en partenariat public-privé, auxquels participent une importante variété d'acteurs industriels, dont Agropur, Olymel et les Producteurs de grains du Québec.

Plusieurs de ces projets sont également réalisés en partenariat avec des utilisateurs publics, soit des ministères provinciaux et fédéraux, lesquels intègrent de plus en plus des outils issus de la génomique dans leurs pratiques. Ces maillages public-privé témoignent de la maturité de la technologie et de la volonté des utilisateurs d'en accélérer l'adoption.

En doublant ses efforts de maillages, Génome Québec pourrait contribuer de façon importante au développement de zones d'innovation, à proximité des grandes institutions de recherche québécoises, notamment en stimulant la prolifération d'innovations brevetables. À ce jour, il est possible de démontrer qu'en profitant de l'offre de financement de Génome Québec, couplée aux incitatifs fiscaux découlant des crédits pour la R-D, les entreprises qui investissent en recherche au Québec bénéficient d'un soutien parmi les plus profitables en Amérique du Nord.

En effet, en participant à des projets d'intégration de la génomique financés par Génome Québec (*Programme de partenariats pour les applications de la génomique*), les entreprises peuvent multiplier jusqu'à dix fois leur mise de fonds dans la recherche, c'est pourquoi on parle de l'un des programmes les plus intéressants en Amérique du Nord. L'échelle de financement disponible varie entre 300 000 et 6 millions de dollars par projet, avec un effet de levier significatif, qui vise à financer l'étape de validation nécessaire pour un transfert de la recherche vers le partenaire utilisateur.

Un partenariat fructueux pour revaloriser le lactose grâce à la génomique

La gestion des résidus représente un enjeu de tous les instants dans ce monde industrialisé où la surconsommation est omniprésente. Pour pouvoir transmettre en héritage à la génération qui nous suivra une planète plus saine, il importe de trouver rapidement des solutions à cette problématique qui touche de plein fouet toutes les industries. Tous les résidus génèrent leurs propres défis et ceux de l'industrie agroalimentaire ne font pas exception.

Le lactose, un sous-produit de la transformation des produits laitiers, a tellement peu de valeur économique sur le marché qu'il est souvent considéré comme un résidu par l'industrie. C'est là, encore une fois, que la génomique fait partie de la solution.

Tous les autres produits issus du lait, que ce soit la crème, le lait écrémé, le fromage, le beurre ou le concentré de protéines, sont vendus sur des marchés rentables. En revanche, le sous-produit du lactose, appelé perméat d'ultrafiltration (UF), est un produit de faible valeur et, dans de nombreux cas, les flux de lactose sont éliminés dans des lagunes ou même épandus sur le sol.

Grâce à un financement de 1,9 million de dollars octroyé par Génome Québec, une équipe de chercheurs de l'Université Concordia collabore étroitement avec Agropur, une coopérative chef de file de l'industrie laitière nord-américaine, afin de convertir complètement le procédé de production du lactose pour en faire un sous-produit à valeur ajoutée.

Ce projet des plus innovateurs entre des chercheurs et l'industrie utilise la génomique pour mettre au point une technologie, qui modifie un sous-produit laitier intermédiaire de faible valeur en un produit de grande valeur. Cela permettra notamment de réduire l'incidence environnementale du procédé d'élimination du lactose. L'utilisation de la génomique permettra de produire de la levure, en développant un procédé qui génère de l'acide fumarique par la fermentation du lactose.

Grâce à la génomique, l'industrie agroalimentaire pourra revaloriser un résidu de l'un de ses procédés de fabrication, mais les avantages seront encore plus grands pour l'environnement et ce sont les générations futures qui en bénéficieront. Avec son réseau de plus de 3 000 producteurs laitiers au Canada, Agropur sera très bien positionnée pour mettre de l'avant la technologie, qui résulte de cette collaboration tout à fait fructueuse entre chercheurs et industrie.

Stimuler les investissements privés et partager les risques : un effet de levier en faveur de l'attraction d'investissements, du savoir-faire et de la compétitivité

Pour accroître la compétitivité des PME québécoises et attirer de nouveaux investissements au Québec, nous avons mis en place une mesure tremplin visant à bâtir de nouveaux ponts entre les chercheurs et le secteur privé. Elle prendra la forme d'un programme proposant des financements variant entre 50 000 et 200 000 dollars.

Cette enveloppe cofinancera des partenariats entre des chercheurs académiques et des utilisateurs, pouvant implanter ou commercialiser les résultats des recherches. Ces fonds seront exclusivement dédiés à l'établissement de preuves de concept, servant de levier à l'obtention de financement subséquent.

Cette approche s'inscrit dans notre volonté de soutenir des compétences clés, qui contribueront à propulser le secteur de la génomique, de renforcer le dialogue avec l'industrie et de proposer des solutions collaboratives en lien avec les enjeux prioritaires du Québec. Pour les entreprises privées, le bénéfice se concrétisera par l'amélioration des procédés, une réduction des coûts ou le développement de nouveaux produits ou services, le tout dans une perspective de développement durable.

Recommandation 2

Génome Québec recommande au gouvernement du Québec de soutenir la mise en place d'un premier centre de production, de traitement et de valorisation des données génomiques non humaines.

Soutien financier demandé		
<i>Centre de données génomiques non humaines</i>		
	Par an	3 ans
Gouvernement du Québec	1,3 M\$	3,9 M\$
Total	1,3 M\$	3,9 M\$

GenoVal-IA : créer de la valeur en misant sur la synergie entre l'intelligence artificielle et les données génomiques non humaines

Dans la perspective où le gouvernement du Québec souhaite effectuer un virage numérique pour des secteurs comme l'agriculture, la foresterie ou l'environnement, Génome Québec propose de mettre en place un premier centre de production, de traitement et de valorisation des données génomiques non humaines, orchestré dans un contexte de gestion rigoureuse des données, selon les principes FAIR (facilement trouvables, accessibles, interopérables et réutilisables). Une telle ressource serait complémentaire et viendrait bonifier les services offerts par le Centre d'expertise et de services Génome Québec.

La réalité des métadonnées hors santé est très différente, qu'il s'agisse de géolocalisation, de senseurs divers, de données climatiques, etc. Le secteur fait présentement face à plusieurs défis, dont la fragmentation en silos, le manque d'outils et d'expertise pour l'analyse et l'interprétation, ainsi que le manque de standardisation dans la collecte et de capacité computationnelle de haut niveau.

En raison de ces nombreuses lacunes, les données génomiques sont sous-utilisées, alors qu'il y aurait de nombreux avantages, tant pour l'industrie que pour l'orientation des politiques publiques, à exploiter ces données en mettant à contribution des outils d'intelligence artificielle.

C'est dans cette optique que l'Université Laval propose la création de GenoVal-IA, un centre de valorisation des données génomiques non humaines issu d'un partenariat avec Génome Québec. Il s'agit d'un projet couvrant l'ensemble du cycle de vie des données génomiques non humaines, depuis leur génération jusqu'à leur analyse, archivage, valorisation et publication, selon les besoins.

Les services du centre GenoVal-IA seront destinés à la recherche académique du Québec d'abord, puis du Canada et de l'international, ainsi qu'aux nombreux partenaires publics et privés potentiels (p. ex. plusieurs ministères fédéraux et provinciaux tels que Pêches et Océans Canada, Ressources naturelles Canada, le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec, le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Hydro-Québec, des partenaires privés comme Olymel ou Lactanet, et plusieurs firmes de consultants).



AXE 2 - GÉNOMIQUE ET SANTÉ HUMAINE

Recommandation 3

Génome Québec recommande au gouvernement du Québec de poursuivre le financement de son Programme d'intégration de la génomique - Volet santé humaine. Axé sur les solutions et conçu pour multiplier le nombre de partenariats public-privé, ce programme vise à favoriser le passage d'une découverte vers une innovation.

Soutien financier demandé

Programme d'intégration de la génomique – Volet santé humaine

	Par an	3 ans
Gouvernement du Québec	2,0 M\$	6,0 M\$
Partenaires	2,0 M\$	6,0 M\$
Total	4,0 M\$	12,0 M\$

Médecine de précision : de la science au développement économique

Avec le vieillissement de la population et la prévalence des maladies chroniques, les coûts de soins de santé ne cessent de croître, atteignant 43 % du budget global de l'État en 2020-2021. Pour répondre efficacement à cette problématique et freiner l'expansion des coûts, le Québec doit accélérer dès maintenant l'intégration de l'innovation dans le système de santé. Selon un énoncé de positionnement publié en mai 2020 par le Forum Économique Mondial, les avantages de la médecine de précision en termes d'efficacité et d'amélioration des soins de santé sont de plus en plus évidents.

Les innovations cliniques, scientifiques et industrielles permettront d'offrir aux patients les meilleurs soins. Toutefois, le succès d'un tel virage passe d'une part par l'adéquation entre les besoins du système de santé et la recherche de pointe, et d'autre part, par l'attraction d'investissements privés. Cependant, pour que les entreprises innovent, elles doivent s'appuyer sur la recherche et les découvertes issues des laboratoires, mais malheureusement, trop de bonnes idées demeurent sur les tablettes. Une situation qui s'explique en grande partie par le déficit de dialogue entre les secteurs académique et privé.

Accroître la compétitivité des PME québécoises en santé et attirer de nouveaux investissements au Québec

Récemment, Génome Québec a mis en place une mesure tremplin visant à bâtir de nouveaux ponts entre les chercheurs et le secteur privé issu du domaine de la santé. Elle se présente sous la forme d'un programme proposant des financements variant entre 50 000 et 200 000 dollars. Cette enveloppe cofinancera des partenariats entre des chercheurs académiques et des utilisateurs pouvant implanter ou commercialiser les résultats des recherches. Ces fonds seront exclusivement dédiés à l'établissement de preuves de concept, servant de levier à l'obtention de financement subséquent. Un premier appel à projets en santé humaine a été lancé récemment et déjà, nous avons la certitude que l'enveloppe de 1,8 million de dollars disponible ne suffira pas à satisfaire les demandes.

Cette approche s'inscrit dans notre volonté de soutenir des compétences clés et d'accompagner les équipes, afin qu'elles soient mieux préparées et plus compétitives dans les programmes de plus grande envergure. L'idée consiste à démocratiser l'accessibilité à des financements à grande échelle et ainsi assurer une relève compétitive en matière d'expertise scientifique. Ultimement, nous espérons voir de plus en plus de découvertes se transformer en innovations et ainsi bénéficier au plus grand nombre possible d'individus.

Le *Programme pour l'intégration de la génomique - Volet santé humaine* de Génome Québec permet à une entreprise d'établir un partenariat avec un chercheur dans le but d'amener une technologie à maturation et d'ainsi s'outiller adéquatement pour accéder à des financements à plus grande échelle. Considérant que dans le secteur de la santé, plusieurs entreprises (PME, *start-up*) ont de la difficulté à accéder à des fonds d'amorçage, ce qui freine leur capacité à développer des preuves de concept, un tel programme constitue une alternative des plus intéressantes.

Médecine de précision : un terrain extrêmement fertile pour l'innovation

Le Québec fait figure de leader en matière de médecine de précision et cela n'est pas totalement étranger à la contribution de Génome Québec, dont les octrois spécifiques à cette filière atteignent près de 150 millions de dollars pour les dix dernières années. Pour s'assurer de tirer profit de tous ces investissements, il est essentiel de mettre des mécanismes en place pour s'assurer que les découvertes sortent des laboratoires, génèrent de la valeur économique et s'intègrent à notre système de santé. Pour illustrer l'impact qu'un investissement à grande échelle de Génome Québec peut avoir, prenons l'exemple suivant :

Centre d'excellence en thérapie cellulaire de l'Hôpital Maisonneuve-Rosemont

Grâce au soutien de Génome Québec et Génome Canada de 13,5 millions de dollars, dont 4,7 millions proviennent du gouvernement du Québec, l'équipe multidisciplinaire des docteurs Claude Perreault et Denis-Claude Roy travaille activement à améliorer les chances de survie des patients atteints de cancers hématologiques et résistants à la chimiothérapie. Depuis six ans, l'équipe travaille au développement d'une technologie de greffe novatrice nommée *Guided Lymphocyte Immunopeptide Derived Expansion* (GLIDE), une approche de médecine de précision, qui vise à fabriquer des cellules activées spécifiquement pour s'attaquer aux cellules cancérogènes. Les avancées de la génomique ont permis au groupe de recherche d'identifier cent cibles anticancer sur lesquelles concentrer les traitements. Ces cellules activées s'attaquent spécifiquement aux tumeurs, évitent les cellules saines et favorisent l'acceptation du greffon.

Une étude de phase 1 réalisée auprès de patients détenant un très mauvais pronostic, et chez qui la méthode traditionnelle de chimiothérapie avait échoué, a été complétée et a permis de conclure aux résultats suivants :

- Amélioration cliniquement significative
- Très faible taux de rejet des greffons
- Très faible problème de toxicité lors de l'administration du traitement GLIDE.

L'Institut universitaire d'hémo-oncologie et de thérapie cellulaire de l'Hôpital Maisonneuve-Rosemont débutera, en janvier 2021, une deuxième étude de phase 1 utilisant GLIDE. Cette fois pour la prévention de la rechute.

L'approche GLIDE répond aux besoins de la moitié des cas diagnostiqués de cancer du sang, qui ne réagissent pas bien à la méthode traditionnelle de chimiothérapie et de greffe de cellules souches. Une fois le stade de commercialisation atteint, cette thérapie deviendra rapidement la norme. Sur la base du nombre de greffes à haut risque, aux États-Unis et au Canada, on estime le potentiel de marché à 1,2 milliard de dollars pour le traitement GLIDE.

L'expertise de pointe développée par cette équipe est unique et reconnue mondialement, faisant de Montréal un pôle d'excellence en matière d'hémo-oncologie et de thérapie cellulaire. Le financement octroyé par Génome Québec en 2012 leur a permis d'établir les jalons de leur démarche scientifique, faisant d'eux des précurseurs, mais surtout LA référence dans leur domaine. Les résultats issus de ce financement permettent aujourd'hui d'alimenter leurs démarches de développement d'affaires et d'attirer des investissements privés, mais plus important encore, de sauver des vies.

Cette expertise est telle qu'on parle maintenant de construire un centre de production commerciale en thérapie cellulaire et génique dans l'est de Montréal, advenant que la Zone d'innovation en santé de l'est de Montréal voie le jour.

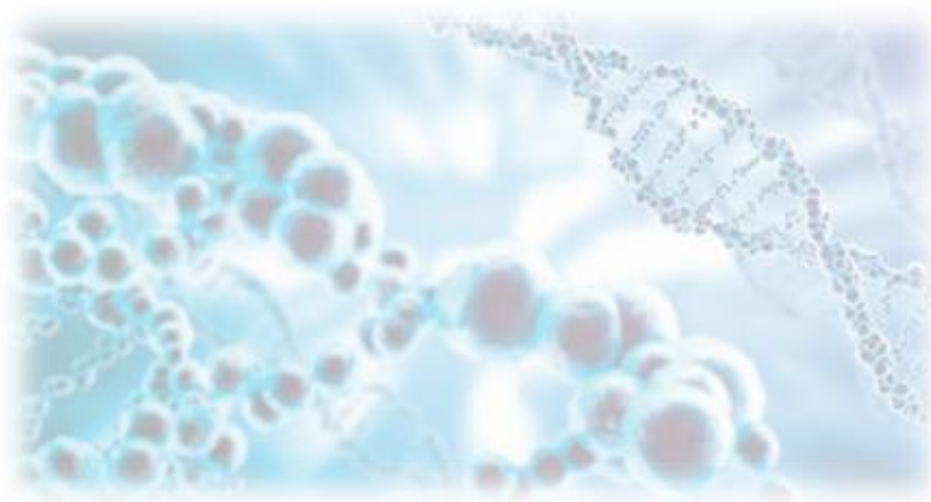
Créer de la valeur économique, même en santé : proposition de Génome Québec

Comme mentionné précédemment, les deux programmes de financement offerts par Génome Québec, soit le *Programme d'intégration de la génomique - Volet santé humaine* et le *Programme de partenariats pour les applications de la génomique*, font leurs preuves et génèrent des effets de levier significatifs. Ces programmes ont la particularité de cibler des projets menés en collaboration avec l'industrie et doivent être axés sur l'application de solutions, ce qui va tout à fait dans le sens de la vision établie par le gouvernement en matière de zones d'innovation.

À titre d'exemple, le projet de Zone d'innovation en santé de l'est de Montréal propose une vision qui s'intègre parfaitement avec la mission de Génome Québec. Des synergies fort porteuses pourraient en émerger, tant du point de vue scientifique qu'en matière de développement économique, entrepreneurial et social.

Génome Québec croit fermement au potentiel d'attraction que constitue la filière des thérapies cellulaires et géniques et salue le choix stratégique des promoteurs de cette zone d'en faire l'élément central de la proposition. L'expertise en place à Montréal dans ce domaine compte parmi les meilleures au monde, mais cela constitue malheureusement un secret trop bien gardé, alors que le pouvoir d'attraction d'investissements et de talents, ainsi que de rayonnement international qu'elle détient est énorme. Il en est d'ailleurs de même pour la pharmacogénomique, l'autre secteur prioritaire identifié pour la Zone d'innovation en santé de l'est de Montréal.

Les programmes de financement offerts par Génome Québec pourraient certainement contribuer à stimuler les investissements privés nécessaires au succès de cette zone. Ils pourraient également impacter le pouvoir d'attraction de talents et accélérer les processus de développement technologiques. Bref, Génome Québec peut jouer un rôle clé pour stimuler l'investissement privé, même en santé. Les programmes et mécanismes existent déjà et ils ont fait leurs preuves, il suffit de pérenniser certaines enveloppes spécifiquement consacrées à des initiatives autonomes, alignées sur des besoins précis, identifiés par des utilisateurs.



Recommandation 4

Génome Québec recommande au gouvernement du Québec de soutenir financièrement le partenariat entre la Digital Hôpital Découverte Plateforme (DHDP) et Génome Québec. Cette collaboration stratégique favorisera l'accélération de l'intégration de la masse critique de données génomiques en oncologie.

Soutien financier demandé		
<i>Programme pour l'accélération de l'intégration des données génomiques en oncologie</i>		
	Par an	3 ans
Gouvernement du Québec	1,3 M\$	3,9 M\$
Partenaires	2,6 M\$	7,8 M\$
Total	3,9 M\$	11,7 M\$

Accélérer le développement de la médecine de précision grâce aux mégadonnées et à l'intelligence artificielle

L'Institut de recherche Terry Fox et Imagia ont uni leurs forces dans la création de la DHDP, une plateforme de découverte en santé humaine utilisant l'intelligence artificielle. Cette dernière est soutenue par le Fonds stratégique pour l'innovation du gouvernement fédéral auquel s'ajoutent de nombreux partenaires, dont Génome Québec.

Imagia a développé EVIDENS, une plateforme déjà déployée dans de nombreux centres hospitaliers, qui intègre, indexe et analyse les données réelles tels les résultats d'exams de laboratoire, les rapports médicaux et l'imagerie, pour concevoir des études cliniques fondées sur des données probantes. La confidentialité des données des patients est assurée grâce à l'apprentissage fédéré. En effet, seuls les modèles d'intelligence artificielle entraînés sont partagés, alors que les données ne quittent jamais les établissements hospitaliers.

La DHDP intégrera EVIDENS, qui combinée au réseau du marathon de l'espoir de l'Institut de recherche Terry Fox, permettra d'exploiter au niveau pancanadien le plein potentiel des données massives en oncologie.

Afin d'améliorer les soins et traitements futurs pour les patients atteints du cancer, les données génomiques sont essentielles. Génome Québec désire contribuer à la plateforme afin que la composante génomique, élément clé de la médecine de précision, soit intégrée à cette initiative. Cela prendrait la forme d'un partenariat structurant, qui vise à renforcer le leadership du Québec en matière de génomique et d'intelligence artificielle. Idéalement, l'organisme souhaiterait lancer un premier appel à projets en 2021.

Recommandation 5

Génome Québec recommande au gouvernement du Québec de soutenir la création et la mise en œuvre d'un centre de données génomiques dédié à la recherche et à la clinique. Cette vision structurante aura un impact probant sur la mise en valeur des données génomiques, l'harmonisation et l'accès aux données pour les chercheurs et l'industrie, leur qualité et leur valeur économique. Elle permettra d'accélérer le développement d'outils bio-informatiques, de produits commercialisables et d'améliorer l'efficacité du système de santé. De plus, ces données de qualité pourront alimenter le développement de l'intelligence artificielle et ses résultats.

Soutien financier demandé

Centre québécois de données génomiques dédié à la recherche et à la clinique

	Par an	3 ans
Gouvernement du Québec	1,2 M\$	3,6 M\$
Total	1,2 M\$	3,6 M\$

Génome Québec prévoit que cette plateforme sera complètement financée d'ici cinq ans.

Centre québécois de données génomiques dédié à la recherche et à la clinique

La génomique est la technologie générant des données massives de très grande qualité, parmi les plus importantes du secteur de la santé humaine. Dans les faits, c'est la combinaison de la diminution des coûts de séquençage et des progrès technologiques continus qui est au cœur du développement de la médecine de précision. D'ici peu, ce mouvement, qui accélère le virage vers une médecine de plus en plus performante, se traduira par le séquençage systématique du génome d'un nombre grandissant de Québécois, dans la perspective de dépister et de prévenir des maladies ou d'orienter les traitements. Il s'agit d'une tendance fortement répandue à travers le monde.

Les centres de recherche et les entreprises de diagnostic moléculaire disposent d'un volume croissant de données personnalisées, et ils occupent une position unique pour pouvoir en extraire de la valeur. Le marché mondial de la médecine de précision a connu une croissance rapide depuis la mise en œuvre de la *Precision Medicine Initiative* annoncée par Barack Obama dans son discours sur l'état de l'Union de 2015. Des études ont estimé que le marché mondial a généré des recettes de 44 milliards de dollars en 2016. On prévoit également que ces recettes tripleront d'ici 2026, pour atteindre les 140 milliards de dollars américains.¹

¹ McKinsey Global Institute Report

Le développement de la génomique génère toutefois son lot de défis, dont la gestion des données de séquençage. Que ferons-nous de toutes ces données, comment les interpréter, les analyser et les organiser? Heureusement, outre sa masse critique d'expertise en génomique, le Québec détient aussi des atouts de taille et occupe une position unique grâce à son pôle d'excellence en intelligence artificielle. C'est la convergence de ces deux univers qui permettra d'extraire de toutes ces données des informations utiles, qui permettront d'accélérer le développement de produits commercialisables et d'améliorer l'efficacité du système de santé. L'arrimage de ces deux technologies de rupture constitue sans contredit un puissant levier de développement économique, compétitif à l'échelle mondiale. L'enjeu consiste à s'organiser.

Actuellement, il existe plusieurs banques de données au Québec, mais elles ne sont pas harmonisées ni accessibles facilement. La solution passe par la mise en place d'un centre de données génomiques, qui prendra la forme d'une infrastructure infonuagique de recherche collaborative. Sa mission consistera à faciliter la recherche génomique en promulguant l'harmonisation et le partage de données produites par la communauté de recherche œuvrant en santé humaine (incluant des données cliniques).

Génome Québec souhaite créer un réseau harmonisé de banques de données génomiques accessibles à la recherche. On y conservera notamment les données des 43 000 participants de la cohorte populationnelle CARTaGENE, ainsi que les données des 45 000 participants de la Biobanque Genizon. Par sa proximité avec le laboratoire du Centre intégré de génomique clinique pédiatrique CHU Sainte-Justine et opéré par le ministère de la Santé et des Services sociaux, le Centre québécois de données génomiques entend également rendre accessibles les données cliniques produites par le Centre québécois de génomique clinique.

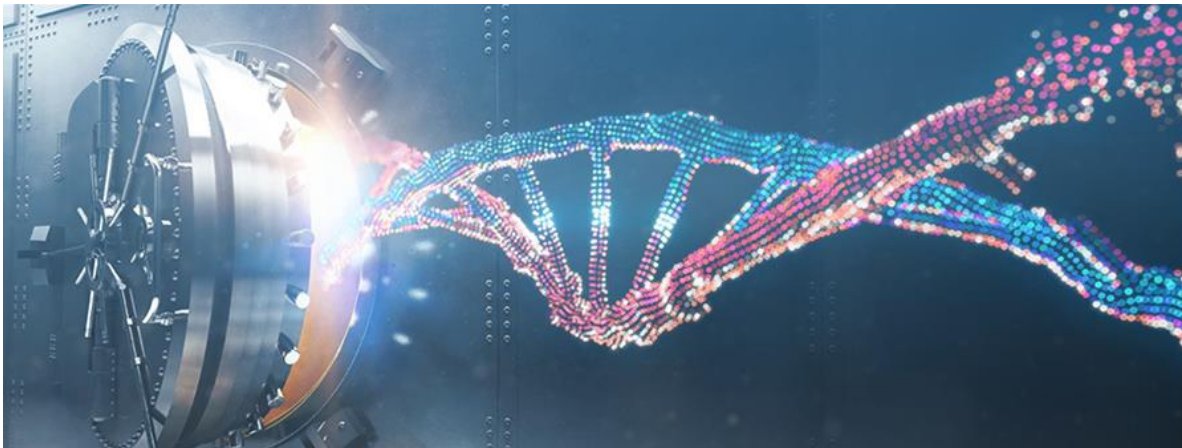
Pour réaliser son mandat, le Centre québécois de données génomiques devra développer une série d'outils d'harmonisation et de standardisation de format, afin de permettre l'interopérabilité et le partage multiplateformes.

Les objectifs du Centre québécois de données génomiques consistent à :

- créer une plateforme bio-informatique sécurisée pour l'hébergement de données cliniques produites au Québec;
 - harmoniser ces données cliniques avec des données de recherche;
 - encourager le dépôt de données de recherche;
 - procurer à la communauté de chercheurs un accès sécuritaire à ces données;
 - augmenter la compétitivité du Québec en génomique.
-

Une fois en activité, le Centre québécois de données génomiques permettra d'augmenter la compétitivité des chercheurs québécois, d'accroître l'investissement du secteur privé, d'attirer de nouveaux talents et ultimement, d'améliorer la qualité des soins aux patients.

Au cours de la dernière année, Génome Québec a investi 1,25 million de dollars afin de jeter les bases du Centre québécois de données génomiques. Il financera également à hauteur de 4,2 millions de dollars le séquençage et le génotypage des échantillons CARTaGENE. L'objectif est d'une part, de valoriser cette biobanque populationnelle unique, et d'autre part, d'alimenter le centre en données génomiques de qualité. Ce financement de Génome Québec a bénéficié d'un effet de levier important. Spécifiquement, le Centre québécois de données génomiques s'est vu octroyer un financement fédéral de la Fondation canadienne pour l'innovation de 7,5 millions de dollars en 2020, ce qui illustre concrètement le niveau de compétitivité de l'expertise en place.



AXE 3 - GÉNOMIQUE MICROBIENNE

Recommandation 6

Génome Québec recommande au gouvernement du Québec de soutenir le développement de la recherche génomique permettant une surveillance accrue et en temps réel des pathogènes. L'utilisation de la génomique dans ce domaine favorisera des prises de décisions rapides et éclairées en matière de prévention, de contrôle et gestion des éclosions (réinfections, super-propagation), de détection de nouveaux variants, de corrélation avec la pathogénicité et à plus long terme, de développement de nouveaux traitements et vaccins.

Soutien financier demandé

Programme de renforcement des capacités pour la surveillance des pathogènes

	Par an	3 ans
Gouvernement du Québec	2,0 M\$	6,0 M\$
Partenaires	2,0 M\$	6,0 M\$
Total	4,0 M\$	12,0 M\$

S'outiller pour anticiper et affronter d'autres crises majeures de santé publique

La santé des êtres humains est étroitement liée à la santé des animaux ainsi qu'à l'environnement dans lequel nous évoluons. Au cours des dernières années, de nombreux facteurs ont modifié les interactions entre les personnes, les animaux, les plantes et notre environnement.

Les populations humaines sont en croissance et s'étendent dans de nouvelles zones géographiques, alors que la proximité des individus avec les animaux ne cesse de s'intensifier, qu'il s'agisse d'animaux sauvages, de bétail ou d'animaux de compagnie. De plus, l'impact des changements climatiques se fait de plus en plus sentir notamment au niveau du climat, de l'utilisation des terres (déforestation, pratiques agricoles intensives, etc.) et de la qualité de l'air et des eaux. Enfin, le mouvement des individus, des animaux et des produits divers est en constante augmentation, en raison du commerce international et des nombreux voyages à l'étranger. En conséquence, les maladies de tous types peuvent se propager rapidement au-delà des frontières, voire sur l'ensemble de la planète. D'autres épidémies, voire pandémies, sont donc à prévoir au cours des prochaines années. De là la pertinence de mettre en place des mécanismes de surveillance des pathogènes, avec l'objectif ultime de bien s'outiller en matière de salubrité alimentaire, de résistance antimicrobienne ou de maladies transmissibles de l'animal à l'humain.

Statistiques importantes

Selon le Conseil des académies canadiennes, en 2018, environ 26 % des infections étaient résistantes aux médicaments généralement utilisés pour les traiter. D'ici 2050, le taux de résistance passera à 40 %. De plus, toujours d'ici 2050, les coûts cumulatifs liés à la résistance aux antimicrobiens pour le Canada seront de :

- 396 000 vies
- 120 milliards de dollars en frais hospitaliers
- 388 milliards de dollars de produit intérieur brut

L'Organisation mondiale de la Santé a identifié en 2019 la résistance aux antimicrobiens comme une des dix plus grandes menaces en santé publique auxquelles l'humanité fait face. Contrairement aux nouvelles pandémies virales, qui font les manchettes de tous les médias de façon ponctuelle, celle-ci ne concerne pas un seul agent pathogène (pouvant causer une maladie), mais plutôt une multitude de virus, parasites, champignons, et surtout des bactéries.

En comparaison avec d'autres maladies virales comme la COVID-19, la résistance aux antibiotiques et aux antimicrobiens peut bel et bien être qualifiée de pandémie. À long terme, ses impacts économiques et en santé publique risquent d'être pires que la crise sanitaire actuelle. Cependant, les défis que nous traversons nous ont appris qu'une coopération mondiale est possible. Si la société et l'ensemble de la communauté scientifique travaillent de pair, comme ils l'ont fait avec la COVID-19, nous pouvons espérer enrayer cette autre pandémie, ou du moins en limiter l'impact.²

La génomique pour la surveillance des pathogènes

Considérant sa capacité de répondre à diverses problématiques de santé publique, la génomique devient de plus en plus incontournable et devrait faire partie intégrante des outils mis à la disposition des autorités de santé publique du Québec. Il s'agit d'une technologie puissante, suffisamment mature pour apporter des solutions en temps de crise, comme ce fut le cas lors de crises sanitaires telles que E. coli, salmonellose et listériose, ou actuellement, dans le contexte du SRAS-CoV-2, alors que la génomique est omniprésente au sein du processus de compréhension du virus, des variants, des réactions antigéniques, etc. Selon les autorités, c'est certainement au niveau de l'épidémiologie moléculaire, la traçabilité, le génotypage, le diagnostic de résistance aux bactéries et la métagénomique que la génomique aura le plus d'impact dans les prochaines années.

² *The Conversation*, 6 janvier 2021

Les nouvelles technologies de séquençage permettent d'obtenir rapidement, à un coût abordable, des séquences génomiques pour des applications telles que le développement de PCR diagnostiques ou de tests sérologiques, la détection de facteurs de virulence et de gènes de résistance aux antibiotiques et l'épidémiologie de bactéries pathogènes. Ainsi, la génomique bactérienne est utile aux microbiologistes, aux infectiologues et aux spécialistes en hygiène sanitaire. Bref, elle deviendra probablement d'ici peu une analyse diagnostique spécialisée à laquelle de plus en plus d'experts auront recours pour obtenir des réponses rapides.

Outre l'expertise déjà en place, il y a énormément de potentiel de recherche et d'applications concrètes dans le domaine de la surveillance des pathogènes. Certains partenariats de recherche ont déjà produit des solutions à fort potentiel de commercialisation. Structurer une masse critique dans ce secteur permettrait au Québec de s'outiller à la fine pointe technologique, en vue d'anticiper des crises sanitaires de très grande envergure.



AXE 4 – ACCEPTABILITÉ SOCIALE ET GÉNOMIQUE

Recommandation 7

Génome Québec recommande au gouvernement du Québec d'encourager et de soutenir financièrement des initiatives mobilisatrices, conçues dans une perspective d'acceptabilité sociale. Ces dernières devront avoir pour objectif d'élever le niveau de connaissance et de rassurer la population relativement à la génomique et aux enjeux afférents.

Soutien financier demandé

Éducation publique et acceptabilité sociale

	Par an	3 ans
Gouvernement du Québec	0,5 M\$	1,5 M\$
Partenaires	0,5 M\$	1,5 M\$
Total	1,0 M\$	3,0 M\$

L'intégration de l'innovation passe par la confiance du public

Depuis le début de la pandémie de COVID-19, tous les yeux du monde sont tournés vers la science. La recherche n'a jamais disposé d'autant d'espace médiatique, avec les avantages et les désavantages que cela comporte. À peu près tout le monde a une opinion sur la question, mais celle-ci est basée sur quoi et alimentée par quelles sources d'information? Nous sommes à l'ère des complotistes, des cyberactivistes, des gens qui vivent dans un monde où rien n'est vrai, mais où tout est possible. De l'autre côté du miroir, nous avons la majorité, souvent trop silencieuse, qui fait confiance aux experts. Il y a énormément d'informations qui circulent et les gens sont d'une certaine façon, livrés à eux-mêmes pour départager le vrai du faux. De là la nécessité de développer des ressources fiables, objectives et accessibles.

Le Québec veut miser sur l'innovation pour dynamiser son économie, une vision ambitieuse, mais tout à fait adaptée à notre société moderne. Toutefois, le succès de ce passage vers une société innovante, preneuse de ses propres innovations, passe inévitablement par la confiance de la population. Il s'agit d'une composante essentielle trop souvent considérée en second plan, alors qu'elle devrait faire partie intégrante de la chaîne d'innovation.

La génomique est là pour de bon : la population a besoin d'accompagnement

Qui dit génomique, dit médecine de précision, intelligence artificielle, agriculture de précision, sélection de précision, accès et partage des données de santé, consentements, etc. Quand nous parlons de génomique, nous faisons référence à la transformation des façons de faire et conséquemment, à la résistance aux changements.

À ce jour, nous devons admettre que le niveau de compréhension et de réceptivité aux répercussions sociales et économiques de la génomique demeure très mitigé. Nous voyons sans surprise que les nombreux avantages que peuvent entrevoir les chercheurs pour la santé, la nutrition, l'environnement et l'économie suscitent beaucoup d'enthousiasme en terrain conquis. Toutefois, la réalité nécessite de composer quotidiennement avec des publics peu informés, souvent sceptiques et réticents face aux nouvelles technologies. Nous voilà donc en présence d'un défi d'envergure sur lequel se jouera en grande partie le virage vers une société innovante : la confiance de la population.

La vision du gouvernement en matière d'innovation doit impérativement tenir compte du défi énorme que constitue la confiance des publics. À plusieurs égards, les gens ont besoin d'être outillés adéquatement pour comprendre ce qu'il adviendra de leurs données de santé, et jusqu'où peut aller l'intelligence artificielle. Est-ce qu'un vaccin à ARN peut vraiment modifier la génétique d'un individu? Est-ce que faire une meilleure sélection des plantes ou des arbres c'est de la modification génétique? Bref, il y a du pain sur la planche, mais la bonne nouvelle c'est qu'il existe au Québec des organisations qui disposent des connaissances, de l'expertise et dont l'éducation et la formation sont inscrites dans leur mission. Pourquoi ne pas confier à ces organisations des mandats spécifiques, visant à soutenir le gouvernement dans son virage?

Il est clair qu'en matière d'enjeux relatifs à la génomique, Génome Québec a déjà développé plusieurs outils et initiatives permettant de jeter les bases d'une opération plus large d'éducation publique. Les ressources sont en place et l'organisme peut certainement jouer un rôle important dans le cadre d'une stratégie globale d'éducation de la population, comme le fait l'Angleterre avec Genomics England et Health Education England.



CONCLUSION

Les frais de fonctionnement de Génome Québec sont déjà sécurisés pour les deux prochaines années, et nous tenons à remercier le gouvernement du Québec pour sa confiance à cet égard. L'organisme a le vent dans les voiles, alors que les applications de la génomique ne cessent de se multiplier. Ce mémoire vise à permettre à Génome Québec de franchir une étape additionnelle, lui permettant notamment de demeurer un acteur incontournable en matière de santé innovante, mais aussi de jouer un rôle stratégique significatif au sein des futures zones d'innovation et de contribuer activement à la relance économique du Québec, ainsi qu'à son rayonnement international.

À hauteur de 9,8 millions de dollars par année, le financement demandé permettra de stimuler les maillages public-privé, d'apporter des solutions technologiques à la fine pointe à des problématiques prioritaires pour le Québec, de tirer le maximum des données massives et de l'intelligence artificielle, d'accélérer le processus d'innovation et d'optimiser les méthodes de prévention, de contrôle et de gestion des éclosions, voire d'éventuelles nouvelles pandémies. Et finalement, d'accompagner la population dans l'immense dédale des informations scientifiques qui circulent, alors qu'il est très difficile de démêler le vrai du faux. Si l'innovation doit devenir le pilier de la relance économique du Québec, l'adhésion du public et sa confiance seront fondamentales à la réussite de ce grand projet.

Génome Québec est un organisme qui a fait ses preuves, qui génère des effets de levier significatifs sur les dollars publics et qui est pleinement opérationnel, tant du point de vue recherche qu'en matière de services technologiques comme le séquençage, le biobanquage ou la bio-informatique. L'exemple de nos diverses contributions dans la lutte au SRAS-CoV-2 parle de lui-même, mais nous pourrions citer de nombreuses autres retombées dans des secteurs comme l'environnement, la foresterie, l'agriculture ou l'agroalimentaire.

Structuré selon quatre axes soit, génomique environnementale, génomique et santé humaine, génomique microbienne ainsi qu'acceptabilité sociale et génomique, ce mémoire est très orienté sur les besoins et les priorités du Québec, en mode solutions.

Nous demandons au gouvernement du Québec de prendre en considération nos recommandations et de renouveler sa confiance envers Génome Québec pour les trois prochaines années pour un total de 29,4 millions de dollars. Un financement sur plus d'un an permettrait d'orchestrer une vision à plus long terme, et surtout, de planifier dans une perspective de continuité.

Nous vous remercions de votre confiance.