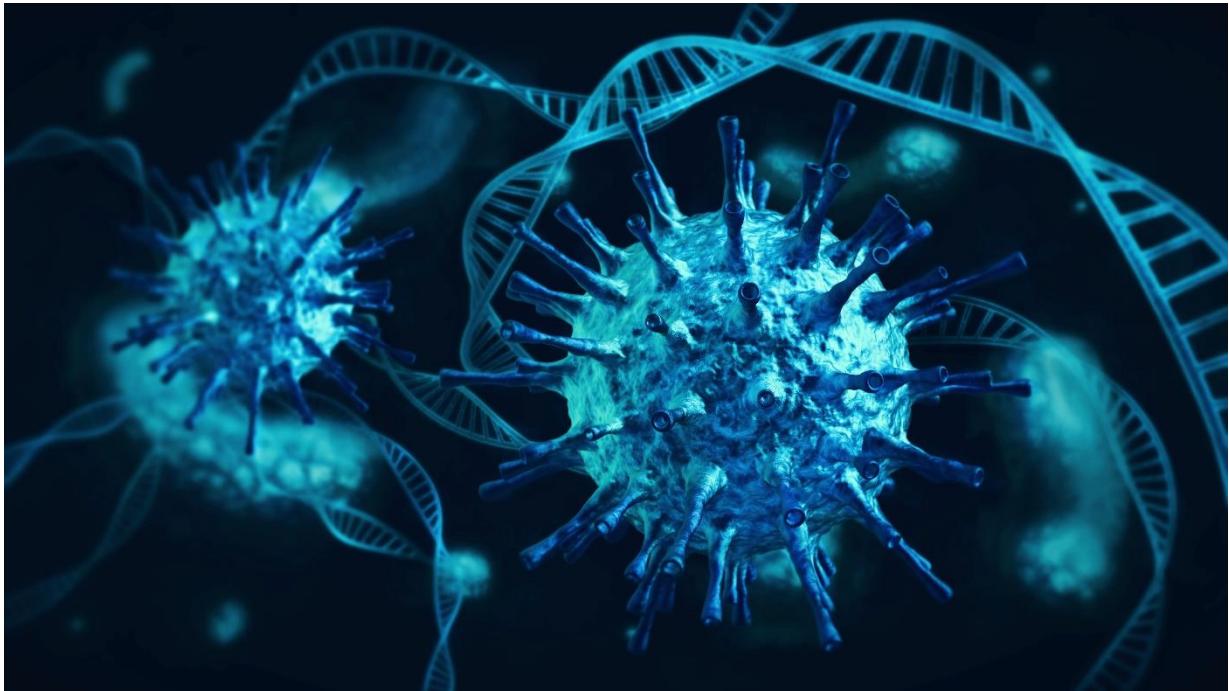


Rapport de consultation



La surveillance et la lutte aux pathogènes et la résistance aux antimicrobiens

Juin 2022



Table des matières

Sommaire exécutif.....	3
Mise en contexte	5
Faits saillants	7
Recommandations.....	11
Remerciements.....	11
Références.....	12
Annexes	13

Sommaire exécutif

Au cours des deux dernières années, la pandémie de COVID-19 a engendré des impacts socio-économiques majeurs à travers le monde. Elle nous a toutefois démontré la force de frappe des chercheurs scientifiques, et plus particulièrement de la génomique,¹ qui a permis d'identifier rapidement le virus à l'origine de la pandémie et de comprendre le mode de propagation du virus, développer des tests rapides, identifier de nouvelles molécules thérapeutiques, développer et commercialiser des vaccins et compiler des quantités énormes de données pour suivre l'évolution de la maladie et l'émergence des variants à l'échelle planétaire. Le risque d'épidémies causées par des pathogènes émergents continuera à être élevé. S'ajoute à cet enjeu celui de la **résistance aux antimicrobiens (RAM)** qui se produit lorsque les bactéries, les virus, les champignons et les parasites changent au fil du temps et ne réagissent plus aux médicaments, ce qui rend les infections plus difficiles à traiter et augmente le risque de propagation de maladie et de décès. La lutte aux pathogènes est un enjeu transsectoriel; en favorisant la collaboration entre les secteurs, **l'approche « une seule santé »** (« One Health » en anglais) permet d'étudier la santé (ou l'infection avec des pathogènes) de tout être vivant à l'interface entre les animaux, les humains et l'environnement.



C'est dans ce contexte que Génome Québec a amorcé, à l'automne 2021, une démarche de consultation afin de sonder l'opinion des experts provinciaux en matière de surveillance et de lutte contre les pathogènes et de résistance aux antimicrobiens. Quatre questions ont été abordées avec des experts de divers horizons disciplinaires :

1. Quels sont les **besoins prioritaires** transsectoriels (santé, agriculture, environnement) des utilisateurs (gouvernement, santé publique, cliniciens, industrie) au Québec?
2. Quelles sont les **solutions omiques** multidisciplinaires à développer?
3. Quelles sont les **opportunités où l'investissement** de Génome Québec pourrait avoir l'impact le plus important soit par la création *de novo*, soit par synergie avec des initiatives existantes, ou en tirant parti d'investissements précédents?
4. Comment assurer l'adoption et la **pérennité des solutions** proposées?

¹ Le terme « génomique » est utilisé au sens large, et inclus toutes les sciences « omiques », dont notamment la métagénomique, la protéomique, la métabolomique, etc.

Riche des échanges générés par sa consultation, Génome Québec constate un consensus autour des recommandations d'experts suivantes :

Recommandation 1

S'assurer que la Stratégie gouvernementale intégrée de préparation aux risques sanitaires² qui sera mise en place par le gouvernement inclura un programme de surveillance génomique multisectoriel et un réseau de surveillance basés sur l'approche « une seule santé ».

Recommandation 2

Par le biais des critères de sélection prévus aux programmes de financement de la recherche, favoriser la transdisciplinarité, la transsectorialité et les partenariats avec la santé publique, la santé humaine et animale, le gouvernement et l'industrie. Le développement de diagnostics rapides, précis et abordables ainsi que la découverte de nouvelles thérapies et d'alternatives aux antimicrobiens pour contrer la RAM devraient faire l'objet d'appel à projets à court terme.

Recommandation 3

Développer ou fédérer une banque de données intégrée (avec des standards établis et les métadonnées associées), cybersécuritaire, de haute qualité et respectant les principes FAIR (facilement trouvables, accessibles, interopérables et réutilisables), au bénéfice des chercheurs, des cliniciens, des décideurs, de la santé publique et de l'industrie. Cette initiative inclura aussi des outils bio-informatiques et statistiques pour en faciliter l'exploitation par les utilisateurs non experts, ainsi qu'une interface avec l'intelligence artificielle pour optimiser l'utilisation des données à des fins de prévention et prédiction, diagnostic et traitement.

Recommandation 4

Confier à Génome Québec un rôle de fédérateur pour mettre en place un lieu d'échange, de collaboration et de co-construction comme des ateliers thématiques pour permettre aux experts de différentes disciplines et secteurs de partager leur savoir et briser les silos.

² Le [Plan pour mettre en œuvre les changements nécessaires en santé](#), lancé en mars 2022 par le gouvernement du Québec, mentionne que « le gouvernement mise sur le développement et l'adoption d'une stratégie nationale intégrée de préparation aux risques sanitaires », qui comprendra « la formalisation d'un mécanisme de vigie permettant de procéder à une analyse des risques en continu et de mobiliser les équipes en cas de besoin. »

Mise en contexte

La pandémie de COVID-19 a engendré des impacts socio-économiques majeurs à travers le monde. Après deux ans de pandémie et plus de 15 000 morts au Québec, le gouvernement évalue les coûts à 24,1 milliards de dollars et la facture pourrait s'alourdir avec les prochaines vagues. Pourtant, depuis des décennies, les scientifiques avaient sonné l'alarme en démontrant que de telles zoonoses pouvaient potentiellement émerger et affecter la santé humaine (Morens, et al., 2020). Parmi les facteurs de risque, l'empiétement de la civilisation sur les régions sauvages qui réduit les barrières naturelles et favorise l'émergence de zoonoses, ces pathogènes transmissibles entre les animaux et les humains. Les scientifiques estiment que, chez les humains, plus de six maladies infectieuses connues sur dix sont d'origine animale, et trois maladies infectieuses nouvelles ou émergentes sur quatre proviendraient des animaux (Zoonotic Diseases, 2022).

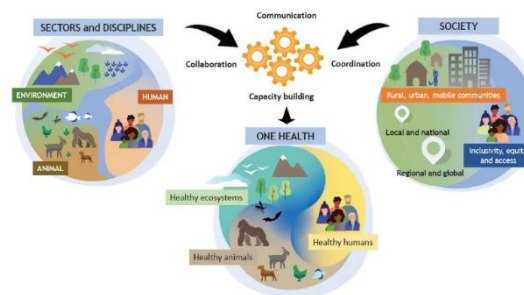
La pandémie nous a toutefois démontré la force de frappe des chercheurs scientifiques et plus particulièrement de la génomique (Saravanan, et al., 2022) qui a permis de comprendre le mode de propagation du virus, développer des tests rapides, identifier de nouvelles molécules thérapeutiques, développer et commercialiser des vaccins et compiler des quantités énormes de données pour suivre l'évolution de la maladie et l'émergence des variants à l'échelle planétaire.

Le risque d'épidémies causées par des **pathogènes émergents** continuera à être élevé. S'ajoute à cet enjeu celui de la **résistance aux antimicrobiens**³ (RAM), qui se produit lorsque les bactéries, les virus, les champignons et les parasites changent au fil du temps et ne réagissent plus aux médicaments, ce qui rend les infections plus difficiles à traiter et augmente le risque de propagation de la maladie, de maladie grave et de décès (Organisation mondiale de la santé, 2020). Au Canada, la RAM de première ligne atteint aujourd'hui 26 % des infections bactériennes et pourrait grandement augmenter au cours des prochaines années (Conseil des académies canadiennes, 2019). Au niveau international, **la RAM est devenue l'une des dix principales menaces pour la santé publique** avec plus de 700 000 morts en 2019 et une projection de 10 millions de morts par année d'ici 2050, pour des coûts atteignant les 10 trillions de dollars américains (Bailey, Kougioumoutzi, & Anholt, 2021) (Antimicrobial Resistance Collaborators, 2022). De plus, en contexte de changement climatique, une augmentation de température d'un degré peut augmenter de dix fois la résistance de certains microorganismes et favoriser la migration de pathogènes des régions plus chaudes aux plus froides.

La lutte aux pathogènes est un enjeu transsectoriel : l'approche « une seule santé »

L'approche « une seule santé » s'applique à la conception et la mise en œuvre de programmes, de politiques, législations et travaux de recherche pour lesquels plusieurs secteurs communiquent et collaborent en vue d'améliorer les résultats en matière de santé de tout être vivant.

En favorisant la collaboration dans tous les secteurs, l'approche « une seule santé » permet d'étudier la transmission des agents pathogènes entre les animaux, les humains et l'environnement ainsi que leurs impacts dans des secteurs tels que la santé humaine, la santé animale, l'agriculture et l'environnement. Cette approche est particulièrement pertinente dans les domaines de la **sécurité sanitaire des aliments**, de la **lutte contre les zoonoses** et de la **RAM**.



Tiré du Groupe d'experts de haut niveau pour l'approche « une seule santé » (OHHLEP) du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) (who.int)

³ Les antimicrobiens – comme les antibiotiques, les antiviraux, les antifongiques et les antiparasitaires – sont des médicaments utilisés pour prévenir et traiter les infections chez les êtres humains, les animaux ou les végétaux (Organisation mondiale de la santé, 2020).

Afin de réduire notre vulnérabilité face aux pathogènes émergents ou endémiques et à la RAM, les experts scientifiques et de la santé publique peuvent mettre en place différentes mesures. Par exemple en avril 2020, en pleine pandémie, Génome Canada et les six centres de génomique régionaux, dont Génome Québec, ont mis sur pied le Réseau canadien de génomique COVID-19 (RCanGéCO). En utilisant le séquençage à grande échelle du SARS-CoV-2 et des hôtes humains, le réseau a permis de suivre l'origine, la propagation et l'évolution du virus, de caractériser le rôle de la génétique humaine dans la maladie à COVID-19 et d'orienter les décisions urgentes que devaient prendre les autorités sanitaires canadiennes pendant la pandémie. De la même façon, **la génomique peut également jouer un rôle central pour comprendre et contrer la RAM**, notamment par la mise au point d'outils diagnostiques et de mesures de prévention, le développement d'une capacité de surveillance et la découverte de nouveaux traitements.

Comme présenté dans le [Plan pour mettre en œuvre les changements nécessaires en santé](#) du gouvernement du Québec, « La pandémie de la COVID-19 ne sera malheureusement pas unique. D'autres épidémies risquent de frapper à nos portes dans le futur. Nous devons apprendre des leçons de la crise actuelle pour être prêts à faire face à la prochaine menace ». C'est dans ce contexte que Génome Québec a amorcé, à l'automne 2021, une démarche de consultation afin de sonder l'opinion des experts provinciaux en matière de **surveillance et de lutte contre les pathogènes et de résistance aux antimicrobiens**.

Le processus de consultation s'est déroulé en deux phases. À l'automne 2021, douze entrevues individuelles ont été menées avec des experts (la liste des participants est présentée à l'annexe 1) pour identifier les principaux enjeux; les résultats sont présentés à l'annexe 2. Puis, une rencontre d'échange a été organisée en mars 2022 avec 30 experts (académiques, privés et gouvernementaux) provenant de différentes disciplines et secteurs (santé humaine, santé animale, santé publique, agriculture, environnement) afin de discuter ensemble des besoins, des solutions communes et de prioriser et bonifier les enjeux identifiés lors des entrevues individuelles (la liste des participants invités est présentée à l'annexe 3).

Quatre questions, élaborées en fonction des informations recueillies lors de la phase 1, ont alors été abordées :

1. Quels sont les **besoins prioritaires** transsectoriels (santé, agriculture, environnement) des utilisateurs (gouvernement, santé publique, cliniciens, industrie) au Québec?
2. Quelles sont les **solutions omiques** multidisciplinaires à développer?
3. Quelles sont les **opportunités où l'investissement** de Génome Québec pourrait avoir l'impact le plus important soit par la création *de novo*, soit par synergie avec des initiatives existantes, ou en tirant parti d'investissements précédents?
4. Comment assurer l'adoption et la **pérennité des solutions** proposées?

Faits saillants

Cette section présente les éléments consensuels et prioritaires identifiés par les participants lors de la rencontre d'échange tenue le 18 mars 2022.

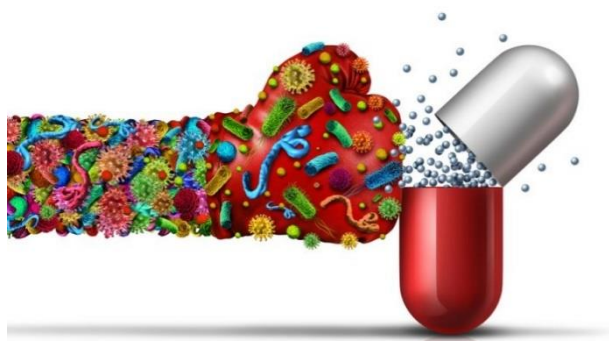
Les enjeux

- Des banques de données existent à quelques endroits, mais l'**accès** est restreint et les banques de différentes disciplines, par exemple santé humaine versus animale, ne communiquent pas entre elles.
- Des données générées par différents outils ou procédures ne sont pas comparables ou partageables.
- La **multidisciplinarité** entraîne des enjeux de **gouvernance**, notamment lors de l'utilisation des banques de données, qui doivent être adressés en amont.
- Faute de rentabilité, l'industrie pharmaceutique s'est retirée de la recherche et du développement de nouveaux antimicrobiens.
- Avec la pandémie, les acteurs du milieu de la santé humaine se sont mobilisés pour mettre en place des outils de surveillance et de suivi de la COVID-19. Aucune politique gouvernementale n'est toutefois en place pour assurer la pérennité des engagements, la surveillance de pathogènes émergents ou la RAM.
- Outre le dépistage par culture microbiologique et par des tests PCR, peu d'**outils de surveillance populationnelle** sont disponibles.
- En recherche, la multidisciplinarité donne lieu à des projets de grande envergure, nécessitant une coordination et un financement accru sur plusieurs années.
- L'échange, la communication et la **collaboration** devraient être améliorés pour permettre aux experts de différentes disciplines et de différents secteurs de partager leur savoir et briser les silos.
- Nécessité de recadrer la réglementation basée présentement sur les méthodes microbiologiques pour les méthodologies moléculaires (omiques).



Surveillance des pathogènes et de la RAM

- Mettre en place un **programme provincial de surveillance multisystème** (humains, animaux, sol, eau) pour les pathogènes et la RAM pour une détection et prédiction rapide de nouvelles menaces sanitaires et l'amélioration des échanges entre les trois secteurs.
- Développer de nouveaux **outils de détection portable**, facile d'utilisation et d'interprétation dans différentes conditions d'utilisation (laboratoire, fermes, chaîne de production alimentaire, cliniques médicales, hôpitaux, etc.).
- Développer ou fédérer **une banque de données intégrée** (avec des standards établis et les métadonnées associées), cybersécuritaire, de haute qualité et respectant les principes FAIR (facilement trouvables, accessibles, interopérables et réutilisables), au bénéfice des chercheurs, des décideurs et de l'industrie. Cette initiative inclura aussi des outils bio-informatiques et statistiques pour en faciliter l'exploitation par les utilisateurs non experts, ainsi qu'une interface avec l'intelligence artificielle pour optimiser l'utilisation des données à des fins de prévention et prédiction, diagnostic et traitement.
- Définir et mettre en place des méthodes, standards et protocoles harmonisés pour assurer la **qualité des données** et faciliter le **partage**.
- Sensibiliser le public et les décideurs sur l'enjeu de la RAM.



Lutte aux pathogènes et à la RAM

- Encourager l'investissement du secteur privé par des partenariats.
- Se préparer pour la prochaine pandémie, avoir des pipelines de médicaments-candidats prêts et la capacité requise pour les déployer.
- Développer de **nouveaux tests diagnostiques** pour toutes les espèces permettant d'orienter précisément la sélection du traitement, ainsi que de nouvelles thérapies pour contrer la RAM.
- Profiter de la grande expertise québécoise en **intelligence artificielle pour accélérer l'innovation** en matière de prévention et prédiction, diagnostic et traitement des pathogènes; développer un portefeuille de produits thérapeutiques prêts à entrer en essai clinique de phase II et III lorsqu'une nouvelle crise sanitaire émergera.
- Développer des alternatives aux antimicrobiens facilement accessibles et applicables.

Solutions omiques multidisciplinaires

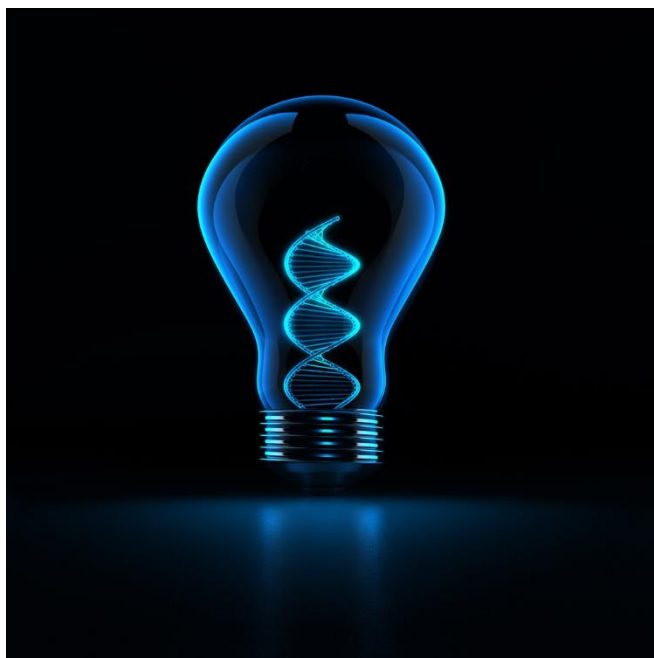
- **Renforcer les liens entre le secteur de la recherche et les utilisateurs finaux publics et privés**, ce qui permettra notamment aux chercheurs de connaître la performance des technologies et produits à l'essai ou en commercialisation et, au besoin, ajuster leurs travaux.
- Favoriser le développement d'outils diagnostiques pour les pathogènes émergents et la RAM qui sont rapides, faciles d'utilisation, abordables, sensibles, spécifiques, précis et applicables à plusieurs espèces et environnements.
- Utiliser l'intelligence artificielle pour définir de nouveaux paradigmes **d'interprétation des données génomiques** aux interfaces transdisciplinaires pour la modélisation, la prédiction et la découverte de diagnostics et thérapies.
- **Intégrer la génomique aux politiques gouvernementales** de surveillance et de lutte aux pathogènes et évaluer de nouvelles approches en santé publique comme le suivi des pathogènes à travers les eaux usées.
- Utiliser les outils omiques pour suivre et étudier la transmission de la RAM et des pathogènes entre les secteurs et faire le lien entre les analyses sur le terrain et le risque pour la santé.

Opportunités d'investissement

- La génomique étant une technologie transversale, il serait opportun de favoriser la multidisciplinarité au sein des projets financés en misant sur l'approche « une seule santé ».
- Investir dans la **science ouverte** (données, outils, publications, etc.) en assurant une accessibilité et une interopérationalisation des données.
- Investir dans des projets (au moyen de programmes de financement ouverts) dont les thèmes et les priorités sont déterminés par les chercheurs.
- Financer la découverte de nouveaux antimicrobiens pour contrer la RAM, y compris la recherche plus fondamentale pour acquérir les connaissances requises qui inciteront le secteur privé à entamer la prochaine étape de développement. Le financement de cette étape critique n'est pas suffisamment couvert.
- Développer de nouveaux **indicateurs omiques pour une surveillance moléculaire** et épidémiologique de pathogènes plus efficace.
- Soutenir la mise en place d'une **base de données multisectorielle**.
- Fédérer des ressources existantes.
- Utiliser la force du réseau pour identifier les lacunes dans les connaissances qui doivent être comblées, par exemple, en organisant des ateliers.
- Favoriser les **partenariats** entre la recherche, l'industrie et les organisations publiques provinciales et fédérales (IRSC, ASPC, MSSS, MAPAQ, etc.) et s'assurer d'une synergie entre les acteurs de l'écosystème.

Pérennité des solutions

- Rendre accessibles les données le plus rapidement possible et de façon sécuritaire; simplifier l'interprétation des données omiques pour les utilisateurs en misant sur des outils bio-informatiques et statistiques simples à utiliser et abordables.
- Offrir des **outils de diagnostic facile et rapide** permettant l'adoption par les utilisateurs et d'assurer la pérennité comme moyen de détection des pathogènes.
- Mettre en place un lieu d'échange et de collaboration pour permettre aux experts de différentes disciplines et secteurs de partager leur savoir et briser les silos.
- Favoriser des mesures structurantes qui assurent une synergie entre la recherche, les utilisateurs et l'industrie dans tous les secteurs.
- Mobiliser les intervenants – chercheurs scientifiques, ministères, industries – en amont (« early engagement ») et **développer des collaborations** pour assurer la mise en œuvre, la commercialisation et le partage des connaissances.
- Encourager la formation de la relève scientifique.
- Développer des programmes d'**éducation** et de sensibilisation favorisant l'**engagement de la population** et l'acceptabilité sociale.
- Utiliser l'expertise GEL3S⁴ pour mobiliser les intervenants, favoriser la transdisciplinarité et définir des enjeux pertinents pour la conception de projets et de concours, par exemple en examinant le fardeau de morbidité ou en évaluant le coût et le bénéfice de changement de pratiques ou nouvelles interventions.



⁴ La génomique et ses aspects éthiques, environnementaux, économiques, légaux et sociaux

Recommandations

Grâce aux initiatives mises en place pour lutter contre la COVID-19, le Québec a renforcé ses capacités génomiques et ressort mieux outillé pour faire face aux menaces actuelles, émergentes et futures en matière de santé des humains, animaux et de l'environnement (incluant les plantes), y compris celles liées à la RAM.

Riche des échanges générés par sa consultation, Génome Québec constate un consensus autour des recommandations d'experts suivantes :

Recommandation 1

S'assurer que la Stratégie gouvernementale intégrée de préparation aux risques sanitaires⁵ qui sera mise en place par le gouvernement inclura un programme de surveillance génomique multisectoriel et un réseau de surveillance basés sur l'approche « une seule santé ».

Recommandation 2

Par le biais des critères de sélection prévus aux programmes de financement de la recherche, favoriser la transdisciplinarité, la transsectorialité et les partenariats avec la santé publique, la santé humaine et animale, le gouvernement et l'industrie. Le développement de diagnostics rapides, précis et abordables ainsi que la découverte de nouvelles thérapies et d'alternatives aux antimicrobiens pour contrer la RAM devraient faire l'objet d'appel à projets à court terme.

Recommandation 3

Développer ou fédérer une banque de données intégrée (avec des standards établis et les métadonnées associées), cybersécuritaire, de haute qualité et respectant les principes FAIR (facilement trouvables, accessibles, interopérables et réutilisables), au bénéfice des chercheurs, des cliniciens, des décideurs, de la santé publique et de l'industrie. Cette initiative inclura aussi des outils bio-informatiques et statistiques pour en faciliter l'exploitation par les utilisateurs non experts, ainsi qu'une interface avec l'intelligence artificielle pour optimiser l'utilisation des données à des fins de prévention et prédiction, diagnostic et traitement.

Recommandation 4

Confier à Génome Québec un rôle de fédérateur pour mettre en place un lieu d'échange, de collaboration et de co-construction comme des ateliers thématiques pour permettre aux experts de différentes disciplines et secteurs de partager leur savoir et briser les silos.

⁵ Le [Plan pour mettre en œuvre les changements nécessaires en santé](#), lancé en mars 2022 par le gouvernement du Québec, mentionne que « le gouvernement mise sur le développement et l'adoption d'une stratégie nationale intégrée de préparation aux risques sanitaires », qui comprendra « la formalisation d'un mécanisme de vigie permettant de procéder à une analyse des risques en continu et de mobiliser les équipes en cas de besoin. »

Remerciements

Génome Québec souhaite remercier tous les experts qui ont grandement contribué au succès de cette consultation avec une mention spéciale aux quatre experts, Roger Lévesque, Dao Nguyen, Hélène Carabin et Jesse Shapiro, qui ont accepté d'être rapporteurs lors de la séance et de réviser et commenter ce rapport.

Génome Québec souhaite aussi remercier Diana Iglesias, Laetitia Sabatier, Caroline Telekawa, Annina Spilker et les autres membres de l'équipe qui ont participé à la préparation et la mise en œuvre de cette consultation et Alexandra Roy pour le travail de synthèse et de rédaction du rapport.

Références

- Antimicrobial Resistance Collaborators. (2022). Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis. *Lancet*, 399(10325), pp. 629–655.
- Bailey, D., Kougioumoutzi, E., & Anholt, M. (2021). *UK– Canada One Health Workshop on Antimicrobial Resistance in Agriculture and the Environment*.
- Conseil des académies canadiennes. (2019). *Quand les antibiotiques échouent*. Ottawa (ON): Comité d'experts sur les incidences socioéconomiques potentielles de la résistance aux antimicrobiens au Canada, Conseil des académies canadiennes.
- Morens, D., Breman, J., Calisher, C., Doherty, P., Hahn, B., Keusch, G., . . . Taubenberger, J. (2020). The Origin of COVID-19 and Why It Matters. *Am J Trop Med Hyg*, 103(3), pp. 955-959.
- Organisation mondiale de la santé. (2020). *Résistance aux antimicrobiens*. <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>.
- Saravanan, K. A., Panigrahi, M., Kumar, H., Rajawat, D., Nayak, S., Bhushan, B., & Dutt, T. (2022). Role of genomics in combating COVID-19 pandemic. *Gene*, 823, 146387.
- Zoonotic Diseases*. (2022, 03 30). Consulté le 03 30, 2022, sur Centers for Disease Control and Prevention: <https://www.cdc.gov/onehealth/basics/zoonotic-diseases.html>

Annexes

Annexe 1. Liste des participants – Entrevues individuelles avec des experts (phase 1)

Nom	Titre / Expertise	Organisation
Cécile Aenishaenslin	Vétérinaire, épidémiologiste, Une seule santé	Faculté de médecine vétérinaire, Université de Montréal
Janice Bailey	Directrice scientifique	Fonds de recherche du Québec - Nature et technologie (FRQNT)
Yann Joly	Professeur, Centre de génomique et politique; Droit de la santé et bioéthique	Université McGill
Paul L'Archevêque	Dirigeant de l'innovation	Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec
Sandrine Moreira	Génomique, Bio-informatique	Laboratoire de santé publique du Québec - Institut national de santé publique du Québec
Dao Nguyen	Directrice du <i>McGill Antimicrobial Resistance Centre</i> ; Génomique microbienne et microbiologie	Université McGill
Marc Ouellette	Directeur du Centre de recherche en infectiologie	Université Laval
Caroline Quach-Thanh	Pédiatre, microbiologiste-infectiologue; Professeure titulaire au département de Microbiologie, infectiologie et immunologie	CHU Sainte-Justine; Université de Montréal
Michel Roger	Directeur médical Microbiologiste - infectiologue	Laboratoire de santé publique du Québec - Institut national de santé publique du Québec
Karine Thivierge	Spécialiste clinique en biologie médicale	Laboratoire de santé publique du Québec - Institut national de santé publique du Québec
Paul Thomassin	Professeur en sciences des ressources naturelles; Économie agricole et environnementale	Faculté des sciences de l'agriculture et de l'environnement, Université McGill
Louis Valiquette	Directeur du département de microbiologie et infectiologie	Faculté de médecine et des sciences de la santé, Université de Sherbrooke

Annexe 2. Méthodologie

À l'automne 2021, douze entrevues individuelles ont été menées avec des experts pour identifier les principaux enjeux (phase 1). Puis, une rencontre d'échange virtuelle a été organisée le 18 mars 2022 (phase 2) avec 30 experts (académiques, privés et gouvernementaux) provenant de différentes disciplines et secteurs (santé humaine, agriculture, environnement) afin de discuter ensemble des besoins, des solutions communes et de prioriser et bonifier les enjeux identifiés lors des entrevues individuelles. Quatre questions, élaborées en fonction des informations recueillies lors des entrevues de l'automne 2021, ont alors été envoyées aux experts en préparation à la consultation.

Lors de la séance de consultation virtuelle, les participants ont été distribués dans quatre salles. La distribution assurait la présence des différentes expertises dans chaque salle. Une modératrice de Génome Québec a animé la séance dans chaque salle en utilisant la plateforme interactive *Padlet* et un membre de Génome Québec a capturé la discussion dans des notes. Les experts ont été invités à ajouter à la plateforme leurs réponses aux quatre questions. Par la suite, une discussion a eu lieu dans le but de résumer les messages clés à faire ressortir pour chaque question. Un des experts a été désigné rapporteur responsable de transmettre les constats de la salle lors de la session plénière qui a eu lieu avec tous les experts à la fin de la consultation. La liste des réponses individuelles recueillies auprès des experts dans les salles est disponible dans l'annexe 5. Le rapport a été élaboré basé sur les discussions et constats de la consultation de groupe tenu en mars 2022 (phase 2).

Annexe 3. Enjeux identifiés lors des entrevues individuelles

Prévention	Surveillance	Diagnostic	Traitement	Plateformes de données	Intelligence artificielle	Intersectoriel
Découverte et caractérisation de nouveaux pathogènes	Utilisation d'un échantillon représentatif pour détection de pathogènes (eaux usées)	Développement de tests sur le lieu de soins	Traitement sans antibiotiques	Gouvernance	Prédiction	Surutilisation des antibiotiques en agriculture
Distribution géographique de pathogènes	Nouvelles technologies/ besoins de standards, validation, interopérabilité (ADNe)	Labos de référence	Nouvelles molécules ou agents thérapeutiques	Durabilité	Surveillance épidémiologique	Infrastructure pour les données et bande passante
Réservoirs	Mécanismes de transmission, facteurs d'émergence	Utilisation d'organismes difficiles à cultiver	Implication des grandes pharmas dans la R et D avec le milieu académique et les PME	Partage	Modélisation	Talent et expertise : collecte, traitement et analyse d'échantillons
	De la ferme à l'assiette			Principes FAIR	Utilisation clinique de la métagénomique	Travail multidisciplinaire et création de collaborations entre les secteurs
				Diaphonie génomique-bio-informatique	Intelligence artificielle et découverte d'agents thérapeutiques	Protocoles, standards et assurance qualité
				Banque de données centralisée		
				Automatiser l'analyse et les rapports		

Annexe 4. Liste des participants invités – Séance d'échange avec des experts (phase 2)

Nom	Titre / Expertise	Organisation
Sadjia Bekal	Microbiologiste	Institut national de santé publique du Québec
Yoshua Bengio	Intelligence artificielle	Mila, Université de Montréal
France Brunelle	Omique agroalimentaire	Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
Hélène Carabin	Épidémiologiste, vétérinaire, Une seule santé	Université de Montréal
Alex Carignan	Épidémiologiste	Université de Sherbrooke
Cristina Cismasu	Spécialiste des données	Gordon Foundation
Caroline Côté	Agronome, Risques biologiques des pratiques agricoles	Institut de recherche et de développement en agroenvironnement
Marc-André D'Aoust	Vice-président exécutif innovation, développement et affaires médicales	Medicago
Pierre-Marie David	Sociologue et pharmacien	Université de Montréal
Arnaud Droit	Génomique computationnelle	Centre de recherche du CHU de Québec - Université Laval
Ève Dubé	Anthropologue médicale	Université Laval
Yvon Fréchette	Conseiller en innovation	Ministère de l'Économie et de l'Innovation du Québec
Dominic Frigon	Biotechnologie environnementale	Université McGill
Richard Gold	Propriété intellectuelle dans le domaine des sciences de la vie	Université McGill
Patricia Hudson	Directrice scientifique	Institut national de santé publique du Québec
Caroline Huot	Santé environnementale - Eau	Institut national de santé publique du Québec
Barry Husk	Recherche environnementale et politique publique	BlueLeaf Inc.
Alejandra Irace-Cima	Médecine sociale et préventive	Institut national de santé publique du Québec; Université de Montréal
Yann Joly	Professeur, Centre de génomique et politique; Droit de la santé et bioéthique	Université McGill
Roger Lévesque	Biologie des systèmes	Institut de biologie intégrative et des systèmes (IBIS), Université Laval
Joseph Mancini	Vice-président en sciences biologiques	adMare BioInnovations
Jean-François Masson	Chimie et analyse clinique	Université de Montréal
Philippe Morency-Potvin	Microbiologiste et infectiologue	Université de Montréal
Dao Nguyen	Directrice du <i>McGill Antimicrobial Resistance Centre</i> ; Génomique microbienne et microbiologie	Université McGill
François Sanschagrín	Conseiller en biologie médicale	Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec
Jesse Shapiro	Épidémiologie et génomique	Université McGill
Christiane Thibault	Directrice scientifique	Institut national de santé publique du Québec
Paul Thomassin	Professeur en sciences des ressources naturelles; Économie agricole et environnementale	Université McGill
Mike Tyers	Biologie des systèmes et biologie synthétique	Institut de recherche en immunologie et en cancérologie, Université de Montréal
Daniel Verreault	Microbiologiste	Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec
Manuela Villion	Microbiologiste	Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec
Antony Vincent	Génomique microbienne et microbiologie	Université Laval

Annexe 5. Réponses individuelles recueillies auprès des experts dans les salles (phase 2)

Salle	Besoins	Solutions omiques	Opportunités d'investissement	Pérennité des solutions
1	<p>Programmes de surveillance multisystèmes (humains, animaux (faune, domestiques), environnement (eau, sol)) pour les pathogènes et l'AMR</p> <p>Capacité de suivre des marqueurs (de plus en plus complexe) dans plusieurs réservoirs</p> <p>« environnementaux » avec une grande précision génomique</p> <p>Identification des souches de Legionella dans les TRE et faire le lien avec les isolats cliniques</p> <p>Paradigmes considérant les différentes unités de quantification, la résolution des systèmes, et les approches expérimentales des disciplines impliquées</p> <p>To have medicines on hand for humans and animals, ready to go into Phase II/III trials, when the next pandemic/crisis arise, need for new treatments (i.e., antibiotics, phage, probiotics). That is, not to wait for a crisis to act</p> <p>Nouveaux paradigmes d'interprétation des données aux interfaces transdisciplinaires</p> <p>Approche pour mieux comprendre et modéliser l'apparition de résistance ou de zoonose</p>	<p>Improve computational drug discovery by testing out predictions in the lab. This is being promoted by the CACHE project, led by the Structural Genomics Consortium</p> <p>Amélioration de détecteur avec une limite de détection plus basse, donnant plus d'information génomique et à plus bas coût pour augmenter la capacité de surveillance</p> <p>Modèles de connexion entre les réservoirs environnementaux pour mieux comprendre la dissémination de différents agents</p> <p>Lien avec le potentiel infectieux</p> <p>Outils diagnostics multisystèmes</p> <p>Études épidémiologiques en lien avec les analyses en génomique; lien entre les analyses et le risque pour la santé</p> <p>Développement d'outils diagnostiques pour pathogènes et AMR qui sont rapides, faciles d'utilisation, abordables, sensibles, spécifiques, précis et applicables à plusieurs espèces et environnements</p>	<p>To invest in open science -- open data, publications, tools, materials, and no patents -- public-private partnerships to develop diagnostics, drugs and other interventions</p> <p>Programmes de suivi à long terme</p> <p>Démontrer la plus-value de la transdisciplinarité</p> <p>Mise à jour moléculaire de la réglementation</p> <p>Suivi de la biodiversité pour la santé des lacs et des cours d'eau</p> <p>Le plus difficile pour l'approche « une seule santé » est son opérationnalisation et la démonstration de sa plus-value. Les projets « une seule santé » coûtent très chers et sont rarement soutenus, ce qui fait que la preuve d'une plus-value se fait rare</p> <p>Programmes de suivi moléculaires et épidémiologiques pour permettre de développer de nouveaux indicateurs omiques, et de recadrer au niveau moléculaire la réglementation basée présentement sur les méthodes par cultures microbiologiques</p>	<p>Both pandemic and AMR suffer from market failures given the uncertainty of timing and target. This means firms underinvest in proactive development. To solve this problem, we need partnerships that draw on multiple forms of incentive - not patents - to collaborate before. It is less expensive to invest now than when a crisis hits.</p> <p>Outil d'interprétation des données</p> <p>Briser les silos et éduquer</p> <p>Approche incluant les différents intervenants, utilisateurs... même si les protocoles expérimentaux sont un peu déficients. Des projets d'exploration commune</p> <p>Develop new, open-science compatible, commercialization strategies to ensure access and affordability</p>
2	<p>Identifier les « responders/non responders » à un traitement</p> <p>Établir un facteur de risque / prédictif à l'infection ou à la rémission à partir de données moléculaires</p> <p>Génomique intégrative des 3 secteurs avec des bases de données complémentaires</p> <p>Intégration de données via l'intelligence artificielle</p> <p>Favoriser l'intégration des projets et éviter les silos</p> <p>Collection de données environnementales, humaines, animales qui soient coordonnées et plus systématiques pour permettre la surveillance et la détection rapide des nouvelles menaces</p> <p>Early engagement of all the Québec population to familiarize</p>	<p>Envisager la possibilité d'analyse de la résistance antibiotique dans des échantillons environnementaux non cliniques (santé animale et humaine)</p> <p>Développer des indicateurs (IA) utiles à la prise en charge clinique</p> <p>Technologies portables / rapides simples d'utilisation pour fournir des données probantes aux algorithmes de prédiction</p> <p>Capacité d'identifier un traitement optimal pour un patient - i.e., test de susceptibilité rapide à partir d'un prélèvement</p> <p>IA pour modéliser et prédire les propriétés de nouveaux médicaments antimicrobiens</p>	<p>Envisager une association avec des programmes existants, comme COVID dans les eaux usées, en ciblant certains milieux, par exemple hébergement de longue durée</p> <p>Financer des laboratoires / infrastructures pour maintenir l'expertise développée lors de la pandémie pour répondre à de nouveaux défis utilisant les compétences développées lors de la réponse pandémique</p> <p>Il y a un manque de laboratoire de référence pérenne et maintenir une capacité de test à long terme au Québec</p> <p>Changement climatique et prédiction de AMR- ID de nouveaux pathogènes</p>	<p>Financement pérenne des structures qui assurent une synergie recherche / utilisateurs / industrie (agroalimentaire et pharmaceutique)</p> <p>Assurer une pérennité de l'expertise développée lors de la pandémie pour éviter la perte de compétence au Québec</p> <p>Projets complémentaires, intégrés et appuyés par bases de données partagées et IA</p> <p>Appui de Génome Québec et différents ministères pour intégration des technologies omiques et eco-omiques</p> <p>Transfert technologique à assurer vers les utilisateurs</p>

Salle	Besoins	Solutions omiques	Opportunités d'investissement	Pérennité des solutions
	<p>them to genomic innovation and facilitate adoption (ex. RNA vaccines).</p> <p>Anticipatory ethics to identify any potential risks before proceeding and to demonstrate to the population that scientists have given due considerations to address safety concerns before proceeding.</p> <p>Utilisation optimale des données (entre autres en santé) santé couplées aux données omiques</p> <p>Possibilité de mise en place d'une plateforme commune entre tous les secteurs?</p> <p>Développement d'une filière efficace et rapide (tirant parti de l'IA et du high-throughput screening) pour le développement de nouveaux antibiotiques</p> <p>Cycle de vie (mise en commun, accès FAIR, développement des outils et gestion) des données – pérennité - modèle fédéré</p> <p>Projet en soi de définir des standards?</p> <p>Développement des nouvelles molécules (impact environnemental?)</p> <p>Nouveaux outils diagnostiques - détection</p> <p>Trou de connaissance et nouvelles technologies de diagnostic. Accompagné pour ces changements</p> <p>Volet éducation (adaptation, early engagement, participation des utilisateurs, intégration par les ministères)</p>	<p>potentiels (p.ex. peptides antimicrobiens)</p> <p>IA pour explorer un espace de candidats thérapeutiques (p.ex. séquences biologiques, peptides antimicrobiens, petites molécules) en interaction avec un banc d'essai expérimental (in-vitro) à haut volume</p> <p>Protocoles de collections, de partage et d'utilisation permise préétablie. Comité d'accès pour les données sensibles</p> <p>Intelligence artificielle et prédiction AMR</p> <p>Technologie intégrée de la détection et identification de pathogènes plus que le PCR</p> <p>Poursuite développement outils pour ADNe</p> <p>Comité multidisciplinaire pour discuter des recherches et avancer avec la population. Les gens veulent entendre les scientifiques! pas juste les experts en communication et éthiciens</p>	<p>Vu le faible attrait commercial actuel du développement de nouveaux antibiotiques, il est essentiel que les gouvernements investissent à la fois dans la recherche et le développement de nouveaux antibiotiques. Ce besoin peut être en contradiction avec le modèle actuel de financement avec 50 % gouvernement – 50 % entreprise, et demande donc une décision gouvernementale.</p> <p>Un investissement important gouvernemental pourrait avoir un impact positif important sur le développement de l'écosystème industriel en découverte de médicaments au Qc : d'une part, les entreprises pourraient utiliser la technologie plus transversale (comme l'IA) sur d'autres cibles que la RAM et, d'autre part, le marché (à resculpter au niveau international) pour les antimicrobiens pourra éventuellement rendre leur développement rentable, donnant aux compagnies québécoises financées aujourd'hui une longueur d'avance</p> <p>Réseau de surveillance - observatoire - centre de recherche vision provinciale</p> <p>Retenir expertise</p>	<p>Guides d'interprétation à développer</p> <p>Importance de la standardisation des processus; développement de système qualité</p> <p>Impliquer le milieu preneur dans le montage et la réalisation des projets</p> <p>Une vision et des financements orientés vers le moyen / long terme. Je sais ce n'est pas facile!</p> <p>Centre de recherche</p>

Salle	Besoins	Solutions omiques	Opportunités d'investissement	Pérennité des solutions
3	<p>Surveillance and prediction in three sectors and communication between sectors</p> <p>Novel therapeutics and incentives for private sector (partnerships) and speed of development</p> <p>Increase awareness of the public and the decision makers on the importance of AMR</p> <p>Pandemic preparedness (incl. readiness of pipelines and capacity)</p> <p>Pooling already funded initiatives in terms of results - Networking existing initiatives - Funding</p> <p>What is the extent of AMR gene spread across sectors?</p> <p>Random population surveillance of respiratory pathogens</p> <p>Trans-sectorial is not happening that much between health - agriculture and environment at the public health level, silos should be deconstructed</p> <p>Capture/monitor key pathogens in environment - from wastewater, ag, to recreational waters; improve water quality management tools</p> <p>Academic-industry collaboration in basic and applied research areas, including one health strategy</p> <p>Movement of AMR from agriculture through the supply chain to the retail sector and to human health. Surveillance of AMR movement - salmonella, campy, etc. One of the priorities is the economic impact of changes in management, regulation, etc.</p> <p>Comprehensive surveillance in Québec including human, animal, food, and environmental partners, shared with academic researchers to guide their research and development based on public health needs</p> <p>We see AMR in the environment, but still don't know the extent of spread into hospitals. This is at the core of One Health.</p>	<p>Multidisciplinarity itself is very useful</p> <p>AI, SynBio, Chem Biology, GE3LS, nanotech, biosensors</p> <p>Methods to detect AMR genes at low frequency & link with genomes</p> <p>(Cheaper) multi-pathogen oligo panels</p> <p>Metagenomics</p> <p>Solutions span detection of known and novel pathogens (bacterial, fungal, viral), fundamental biology of pathogens, innovative omics driven strategies for development of new diagnostics and therapeutics including AI-driven and synthetic biology approaches...</p> <p>Surveillance is needed and most importantly reporting. There needs to be a connection between exposure and burden of disease. Use of omics to verify the movement of AMR through the system. Need to invest in GE3LS research. In particular, the benefits and costs of changes in management and interventions.</p> <p>Standardized genomic tools and securized platforms</p> <p>qPCR or amplicon panels to track ~400 known AMR genes</p> <p>Hi-C DNA cross-linking to link AMR genes with bacterial species</p>	<p>Investigator-initiated open funding calls</p> <p>AMR not sufficiently funded by CIHR - need of investment in basic science/knowledge</p> <p>Workshops before funding call</p> <p>Network of networks</p> <p>Capacity to tackle both slow and fast-acting threats</p> <p>Gap analysis</p> <p>Investment in knowledge-to-practice or implementation science (in line with point 4)</p> <p>Centralize/standardize data</p> <p>Opportunities lie at the interface of multiple disciplines, e.g., AI, synthetic biology, functional genomics; also, draw together across fields to break biomedical vs animal health silos, etc.</p> <p>Investment in integrated models of health and economics/policy</p> <p>Seek partnership with foundations such as Bill and Melinda Gates Foundation. Canada has partnered with BMGF on other large projects.</p>	<p>Key: Putting GE3LS research (incl. burden of disease, management) and user input at beginning to define projects/calls</p> <p>Rapid and secure data sharing</p> <p>Radical requirement for early data sharing</p> <p>Collaboration with federal agencies: PHAC, Stats Can, CoVaRR-Net etc.</p> <p>GE3LS researchers are involved early on; in the research</p> <p>Solutions are designed in partnership with end-users</p> <p>Carefully assess barriers to research, which may often be at the level of industry competence and academic depth; ensure programs have chance for long-term funding support; assess commercial incentives and develop mechanisms to offset business model liabilities</p> <p>Need for more research funding. Working with end-users to assist in the policy/economic analysis of AMR. The development of impact assessment models, agent-based models, and macroeconomic impact models.</p>

Salle	Besoins	Solutions omiques	Opportunités d'investissement	Pérennité des solutions
4	<p>Outils de surveillance rapide et efficace des gènes de résistance aux antibiotiques (incluant les éléments d'ADN mobiles)</p> <p>Développement d'alternatives aux antibiotiques facilement accessibles et applicables</p> <p>Caractérisation génétique et du profil d'antibiorésistance des pathogènes émergents des sources d'eau potable, des eaux usées, des eaux traitées et de l'eau distribuée</p> <p>Caractérisation génétique et profil d'antibiorésistance des pathogènes alimentaires causant des éclosions chez l'humain et le lien avec les pathogènes environnementaux dans le secteur agroalimentaire</p> <p>Accessible point of care diagnostics that can improve AMU</p> <p>Identifier champs de toxicité / pollution pharmaceutique</p> <p>Genomic Screening for new pathogens - a priority should be to incorporate various institutions rapidly when faced with pandemic screening</p> <p>Leçons de la pandémie : quels sont les outils de surveillance qui nous ont manqués?</p> <p>Métagénomique des eaux usées et utilité pour la surveillance épidémiologique</p> <p>Liens entre les facteurs environnementaux et les facteurs génétiques dans la genèse des maladies d'un point de vue populationnel</p> <p>Support intersectoral interdisciplinary networks, teams, services</p> <p>Reconnaître tensions entre besoins du productivisme et besoins de santé publique</p> <p>Utilisation efficace des données générées par les fonds publics</p> <p>Coûts de séquençage, démocratisation du séquençage pour favoriser la surveillance</p> <p>Outils d'analyses bio-informatiques utiles</p>	<p>Plateforme nationale de surveillance et outils d'analyses de gestion des données génomiques pour favoriser une meilleure surveillance</p> <p>Genomic sequencing and proteomics should provide the quickest data in identification and also potential avenues for therapeutic intervention</p> <p>Initiatives pour améliorer la surveillance des différents environnements (IA ?)</p> <p>Caractérisation métagénomique de divers environnements (réseaux microbiens)</p> <p>Programme de caractérisation et de partage en <i>open data model</i> des résultats avec solutions d'interprétation intégrées</p> <p>Précautions vis-à-vis des solutions omiques</p> <p>Technologies émergentes, cost/effective</p> <p>Suivi biosécurité, compléments aux antimicrobiens</p>	<p>Émergence pathologies en lien avec modes de production</p> <p>Programme favorisant un partenariat avec des industriels de différentes tailles et différents secteurs et différents outils sous-financés et selon importance</p> <p>Partenariat avec Calcul Canada?</p> <p>Démarche « une seule santé » et liens entre les différents secteurs environnement-animal-humain</p> <p>Investments in next generations and robotic screening across multiple institutions to have capabilities to ramp up sequencing efforts and use of AI to quickly access international databases</p> <p>Les secteurs où l'adoption des opportunités par le gouvernement</p> <p>Build on existing or emerging "clusters" of expertise (academic, governmental, industry) in Québec</p> <p>Opportunities to partner with Genome Canada for pan-Canadian efforts</p> <p>Financement d'outils bio-informatiques</p> <p>Financement de projets modestes</p> <p>PHAC, MAPAQ, CFI, NSERC</p> <p>Utilisation de l'IA dans l'analyse des données RAM</p>	<p>Recherches multidisciplinaires et participatives</p> <p>Adequate Québec specific cost/economic and risk assessment</p> <p>Development of user-friendly, updated and accessible interface for data access</p> <p>Favoriser les demandes avec des partenaires industriels</p> <p>Best practice is to collaborate across the Québec universities to see who can provide needed capabilities; also, to establish AI platforms internationally</p> <p>Prévoir des outils de communication destinés aux décideurs gouvernementaux</p> <p>Mobilisation de tous les secteurs impliqués en amont (personnes clés influentes dans leur domaine)</p> <p>Mettre à disposition des données générées, les rendre disponibles afin de pouvoir les réutiliser par d'autres chercheurs</p> <p>Not profitable for inc. vs. investment</p> <p>Business development groups within companies. They are responsible to developing collaborations.</p> <p>Développement de collaborations avec de petites biotechs et l'académique - Étape un peu plus en amont</p> <p>Problématique des "incentives"</p> <p>Repenser un business model pour supporter des solutions en RAM</p> <p>Canadian antimicrobial coalition</p>