

# 1 SOMMAIRE ET CONTEXTE

Le présent document donne un aperçu en date du 25 novembre 2021 des études de modélisation effectuées et colligées par le Groupe de modélisation de l'ASPC. Les résumés ci-dessous sont accompagnés d'hyperliens vers la section connexe du rapport dans laquelle trouver tous les détails.

## CONNAISSANCE DE LA SITUATION À L'HEURE ACTUELLE

### À l'échelle nationale

*L'indice de reproduction effectif ( $R_t$ )* pour le Canada en date du 13 novembre 2021, estimé à partir de la date d'apparition de la maladie, était de 0,97. À l'échelle nationale, le  $R_t$  était inférieur à 1 à la mi-septembre, mais a augmenté jusqu'à dépasser 1 à quelques reprises au début de novembre. Ainsi, le 13 novembre, le  $R_t$  était supérieur à 1 au Manitoba, en Ontario et au Québec, mais restait inférieur à 1 en Colombie-Britannique, en Alberta et en Saskatchewan.

*Les prévisions statistiques à court terme* pour le Canada jusqu'au 2 décembre 2021 sont les suivantes :

- 1 794 444 cas cumulatifs (plage de 1 789 189 à 1 799 498); et
- 29 734 décès cumulatifs (plage de 29 628 à 29 834) à cette date.

En moyenne, il est prévu que l'incidence des cas augmente au cours de la prochaine semaine au Canada. On prévoit que l'incidence moyenne des cas devrait augmenter pendant toute la période visée par la projection en Ontario et au Québec, et diminuer en Alberta, en Colombie-Britannique, au Manitoba et en Saskatchewan. Quant à l'incidence des nouveaux décès, elle devrait diminuer au pays.

*Les prévisions de modélisation dynamique à long terme (modèle de la Simon Fraser University)* pour le Canada suggèrent que le pays se dirige vers une résurgence au cours des deux prochains mois avec environ 3 500 cas par jour d'ici la mi-décembre si les taux de contact restent à leur niveau actuel. Une augmentation supplémentaire de 15 % des contacts entraînerait une résurgence plus rapide, alors qu'une réduction de 15 % des contacts permettrait de maîtriser l'épidémie. On prévoit donc une résurgence de l'épidémie au Manitoba, en Ontario et au Québec, alors qu'elle devrait plafonner ou diminuer en Colombie-Britannique, en Alberta et en Saskatchewan.

*Les prévisions de modélisation dynamique à long terme (modèle de l'ASPC et de la McMaster University)* suggèrent qu'à l'échelle nationale, la trajectoire de l'épidémie pointe vers une résurgence avec environ 4 000 cas par jour d'ici la fin de décembre si les taux de contacts restent à leurs niveaux actuels. On prévoit que si ces taux restent à leurs niveaux actuels, il y aura une résurgence au Manitoba, en Ontario et au Québec, alors que l'épidémie devrait plafonner ou diminuer lentement en Colombie-Britannique, en Alberta et en Saskatchewan.

### À l'échelle internationale

Selon la *modélisation des risques d'importation* pour la semaine du 14 au 20 novembre 2021, on estime qu'environ 3 251 personnes atteintes de COVID-19 sont arrivées au Canada, dont 1 353 voyageurs par la voie aérienne, principalement en provenance des États-Unis, de la République dominicaine et du Mexique, alors que 1 898 voyageurs ont utilisé la voie terrestre en provenance des États-Unis. Du 14 au 20 novembre 2021, les

pourcentages estimatifs d'importation de cas par la voie aérienne qui peuvent être associés à des variants préoccupants ou d'intérêt sont les suivants : 64,52 % de B.1.617.2 (variant Delta), 0,56 % de AY.4.2 (variant Delta) et 0,01 % de P.1 (variant Gamma).

*Évaluation des répercussions des interventions* sur l'épidémie de COVID-19 au Canada et dans d'autres pays selon l'indice de sévérité des mesures de contrôle de l'épidémie de l'Université Oxford :

- L'indice de sévérité au Canada est de 67 depuis le 1<sup>er</sup> novembre 2021; le nombre de cas a cependant légèrement augmenté depuis cette date.
- Dans plusieurs pays, le rétablissement des mesures strictes et opportunes a permis de réduire le nombre de cas pendant les vagues précédentes et actuelle, notamment en raison du déploiement des vaccins.
- L'expérience de nombreux pays européens suggère que la réinstauration rapide des mesures de santé publique pourrait encore être nécessaire, puisqu'une combinaison du variant Delta plus transmissible et des populations non vaccinées entraînera une résurgence.

## MODÉLISATION DYNAMIQUE

*La modélisation basée sur les agents (MBA) de l'ASPC* a examiné l'effet combiné possible de la baisse de l'immunité, de l'administration d'une dose de rappel unique à des proportions variables de la population canadienne âgée de 18 ans et plus, et de la vaccination des enfants du groupe des 5 à 11 ans. De nombreux aspects de ce scénario demeurent incertains, notamment la couverture vaccinale globale de la population, la vitesse de vaccination des 5 à 11 ans et le déploiement des doses de rappel, sans oublier la vitesse à laquelle l'immunité baisse et la protection fournie par une dose de rappel unique. Les résultats actuels indiquent qu'une dose de rappel unique administrée à une plus grande proportion de la population combinée à la vaccination du groupe d'âge des 5 à 11 ans pourrait retarder une résurgence pendant une assez longue période. En raison des hypothèses de baisse de l'immunité à long terme, il pourrait aussi être nécessaire d'administrer des doses de rappel supplémentaires.

*Le modèle à compartiments de l'ASPC* a examiné l'incidence potentielle de la levée des mesures de santé publique, la vaccination du groupe des 5 à 11 ans, et l'administration de doses de rappel au groupe des 60 ans et plus en fonction des scénarios de baisse de l'immunité et de levée des mesures de santé publique. Les simulations suggèrent que si les mesures de santé publique étaient complètement levées au début de 2022 sans aucune vaccination supplémentaire, que ce soit sous forme de doses de rappel ou pour le groupe des 5 à 11 ans, pourrait entraîner une résurgence de l'épidémie. Si des doses de rappel sont données au groupe des 60 ans et plus ou que les 5 à 11 ans se font vacciner, les simulations suggèrent que la levée de la plupart des mesures se traduira par une résurgence limitée de l'épidémie pendant une bonne partie de 2022.

## CONTEXTE

Comme la COVID-19 s'est répandue partout dans le monde, la morbidité et la mortalité qui y sont associées ont donné lieu à de vastes recherches internationales visant à orienter les mesures cliniques et les mesures de santé publique fondées sur des données probantes afin d'en atténuer les effets.

Dans la mesure du possible, le Groupe de modélisation de la COVID-19 de l'ASPC prépare la présente publication toutes les deux semaines. Ce rapport vise à partager les résultats qu'a obtenus le Groupe en ce qui concerne les connaissances sur la situation au pays et à l'échelle internationale, les études de modélisation dynamique portant sur l'épidémie de COVID-19, les mesures de santé publique, ainsi que tout rapport spécial pouvant être produit

par le Groupe de modélisation ou nos partenaires externes. Les annexes fournissent la liste des contributeurs, ainsi que des renseignements plus détaillés sur les méthodologies utilisées dans les études.

Il est important de tenir compte des limites des études de modélisation. Ces études s'appuient sur des estimations qui peuvent provenir de données d'autres pays, ce qui peut entraîner une incertitude inhérente lorsqu'on les extrapole au Canada. Puisque les données canadiennes et mondiales évoluent constamment, il peut donc y avoir un certain décalage avant que les estimations et les résultats associés au modèle puissent refléter la situation indiquée.

---

# TABLE DES MATIÈRES

<b>1</b>	<b>SOMMAIRE ET CONTEXTE</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>2</b>	<b>CONNAISSANCE DE LA SITUATION À L'ÉCHELLE NATIONALE</b>	<b>6</b>
2.1	Taux de reproduction effectif au Canada	5
2.2	Prévisions à court terme pour les cas et décès signalés au Canada à l'aide de la courbe de croissance de Richards	7
2.3	Prévisions à long terme pour les cas déclarés au Canada établies à l'aide de la modélisation dynamique (de la Simon Fraser University)	12
2.4	Prévisions à long terme pour les cas déclarés au Canada établies à l'aide de la modélisation dynamique (ASPC et McMaster University)	15
<b>3</b>	<b>CONNAISSANCE DE LA SITUATION À L'ÉCHELLE INTERNATIONALE</b>	<b>19</b>
3.1	Risque d'importation associé aux voyages par voie aérienne et par voie terrestre	19
3.2	Comparaison des mesures de santé publique au Canada et dans d'autres pays	24
<b>4</b>	<b>MODÉLISATION DYNAMIQUE</b>	<b>40</b>
4.1	Modélisation basée sur les agents : Étude de l'effet combiné de la baisse de l'immunité, de l'administration des doses de rappel et de la vaccination des enfants (de 5 à 11 ans) sur la trajectoire à long terme de l'épidémie de SRAS-CoV-2 au Canada	390
4.2	Modèle SEIR avec compartiments : Étude de l'incidence comparative de la vaccination des 5 à 11 ans et des doses de rappel alors que les mesures de santé publique sont levées et que l'immunité baisse	55
<b>5</b>	<b>ANNEXES</b>	<b>64</b>
5.1	Liste des contributeurs	64
5.2	Documents supplémentaires	65

---

## 2 CONNAISSANCE DE LA SITUATION À L'ÉCHELLE NATIONALE

### 2.1 TAUX DE REPRODUCTION EFFECTIF AU CANADA

#### Points clés

- À l'échelle nationale, même si le  $R_t$  était inférieur à 1 à la mi-septembre, il a continué à augmenter jusqu'à dépasser 1 à quelques reprises au depuis de novembre.
- Le 13 novembre 2021, le  $R_t$  était de 0,97 à l'échelle nationale alors qu'au niveau provincial, il était supérieur à 1 au Manitoba, en Ontario et au Québec, et inférieur à 1 en Colombie-Britannique, en Alberta et en Saskatchewan.

#### Contexte

Le taux de reproduction effectif ( $R_t$ ) représente le nombre moyen de personnes qu'une personne infectée peut infecter, ainsi que le taux auquel une maladie se propage dans une population à un moment précis. Cette mesure fournit donc de l'information sur l'effet de chacune des mesures de santé publique en vigueur.

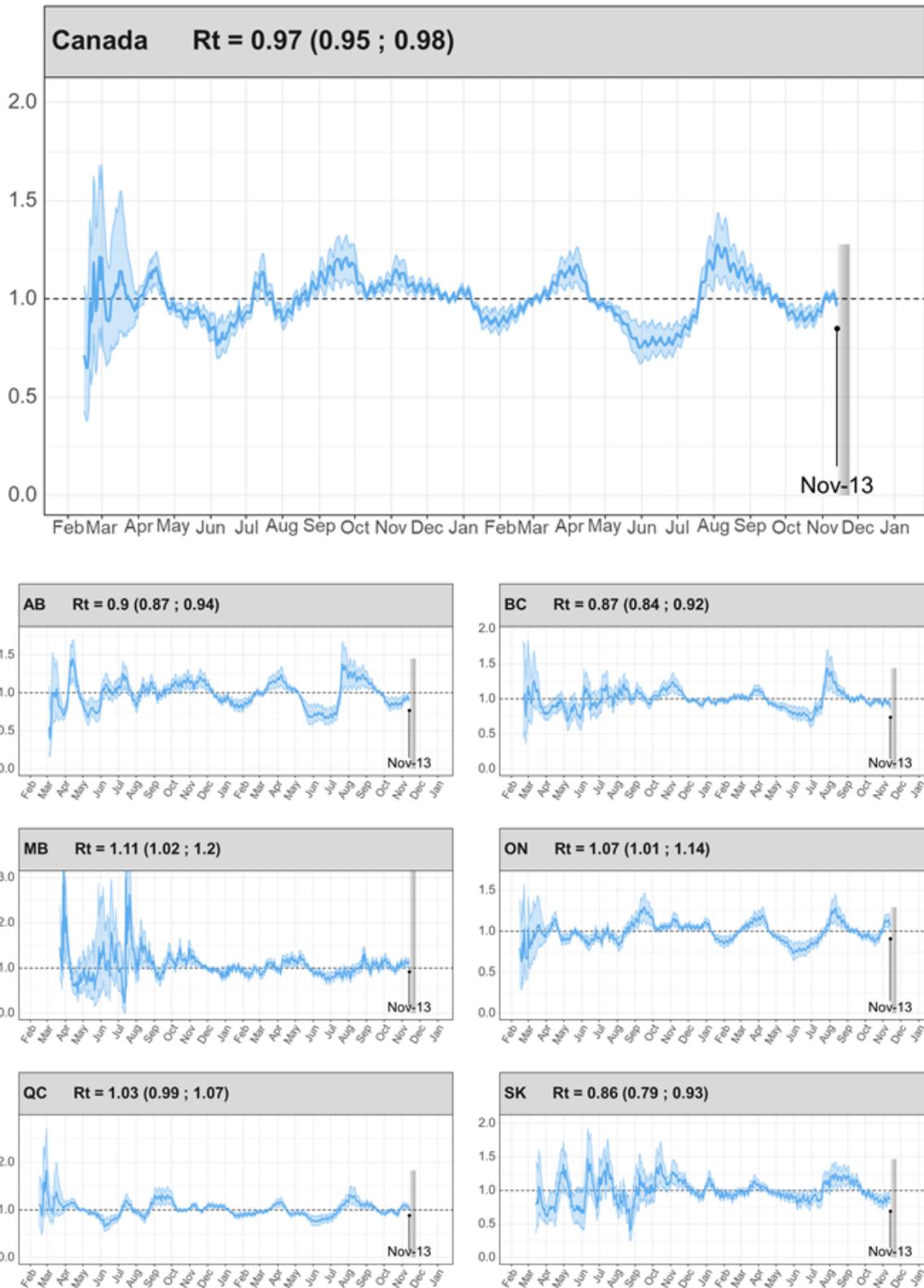
#### Méthodologie

Le taux de reproduction effectif ou  $R_t$  est calculé à l'aide du progiciel R EpiEstim (version 2.2-3). Le nombre quotidien de cas déclarés est utilisé comme indicateur de l'incidence quotidienne. Le nombre de cas déclarés pour une journée donnée continue d'être mis à jour par les provinces et les territoires pendant les jours subséquents. Afin de réduire le bruit — potentiellement trompeur — lié aux données récentes, l'estimation du  $R_t$  est donc basée sur les données datant d'au moins 11 jours.

#### Résultats

Le  $R_t$  à l'échelle nationale, basé sur les données associées à l'apparition des symptômes, était supérieur à 1 de la fin d'août 2020 au début de janvier 2021, ce qui indiquait que l'épidémie progressait. De la mi-janvier au début de mars, il était le plus souvent inférieur à 1, ce qui indiquait une atténuation de l'épidémie à l'échelle nationale. Puis, entre mars et avril 2021, on a pu voir une tendance à la hausse du  $R_t$ , tant à l'échelle nationale que dans la plupart des provinces. Le  $R_t$  a donc commencé à diminuer à la mi-avril à l'échelle nationale, avant de recommencer à augmenter à la fin du mois de juin pour rester à un niveau supérieur à 1 en juillet et au début d'août. On a ensuite pu voir une tendance à la baisse à compter de la mi-août 2021. Même si le  $R_t$  était inférieur à 1 depuis la mi-septembre, il a cependant augmenté, allant même jusqu'à dépasser 1 à quelques reprises au début de novembre. Ainsi, le 13 novembre, le  $R_t$  était de 0,97 à l'échelle nationale alors qu'au niveau provincial, il était supérieur à 1 au Manitoba, en Ontario et au Québec, et inférieur à 1 en Colombie-Britannique, en Alberta et en Saskatchewan.

Figure 1. Estimations du  $R_t$  (avec intervalles de confiance de 95 %) pour l'ensemble du Canada et pour chacune des provinces, de la mi-février 2020 au 13 novembre 2021.



---

## 2.2 PRÉVISIONS À COURT TERME POUR LES CAS ET DÉCÈS SIGNALÉS AU CANADA À L'AIDE DE LA COURBE DE CROISSANCE DE RICHARDS

### Points clés

- Le nombre de cas déclarés devrait se situer entre 1 789 189 et 1 799 498 (moyenne de 1 799 498) d'ici le 2 décembre 2021.
- Le nombre de décès déclarés devrait, quant à lui, se situer entre 29 629 et 29 834 (moyenne de 29 734) d'ici cette date.

### Contexte

Des approches de modélisation phénoménologique sont utilisées pour prévoir le nombre de cas à venir à court terme au Canada. La croissance future de la pandémie au Canada est entièrement fondée sur le nombre historique de cas déclarés (disponible sur <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/maladies/2019-nouveau-coronavirus.html>), et les modèles ne tiennent pas explicitement compte des mécanismes de transmission de la COVID-19, ce qui inclut les comportements humains et la réponse à la pandémie (distanciation sociale, fermetures et ouvertures des établissements, vaccination, etc.), et l'introduction récente des nouveaux variants associés au SRAS-CoV-2 au pays. Ils ne tiennent pas non plus compte des délais et des arriérés dans les tests, des changements apportés au nombre de tests effectués quotidiennement, des changements dans l'admissibilité aux tests, etc., mais ils peuvent néanmoins fournir des estimations quant à la trajectoire des cas déclarés et être examinés rétroactivement pour déterminer tout changement apparent dans la trajectoire.

### Méthodologie

La courbe de croissance de Richards (voir l'annexe et <https://doi.org/10.1016/j.epidem.2021.100457> pour plus de détails à cet égard) a été adaptée aux données canadiennes sur les cas et les décès déclarés jusqu'au 14 septembre 2021 inclusivement. Des projections pour les cas et les décès ont été créées pour l'ensemble du Canada, mais les projections pour les cas n'ont été générées que pour les provinces ayant déclaré suffisamment de cas au cours des dernières semaines. La zone grisée dans chacun des graphiques ci-dessous indique les données déclarées avant la date de création de la projection.

Les projections créées pour le dernier rapport de modélisation (à l'aide des données disponibles jusqu'au 5 octobre 2021) figurent à côté des données sur les cas et les décès déclarés depuis cette date pour pouvoir effectuer un examen rétroactif du rendement du modèle. Les valeurs du coefficient de détermination ( $R^2$ ) donnent une indication quant à l'adaptation du modèle aux cas et aux décès déclarés au Canada pendant toute la semaine depuis la date visée par la projection.

## Résultats

En moyenne, il est prévu que l'incidence des cas augmente au cours de la prochaine semaine au Canada (figure 1). On prévoit que l'incidence moyenne des cas devrait augmenter pendant toute la période visée par la projection en Ontario et au Québec, et diminuer en Alberta, en Colombie-Britannique, au Manitoba et en Saskatchewan (figure 2). Quant à l'incidence des nouveaux décès, elle devrait diminuer au Canada (figure 3).

Figure 1. Prévisions à court terme pour les cas déclarés au Canada.

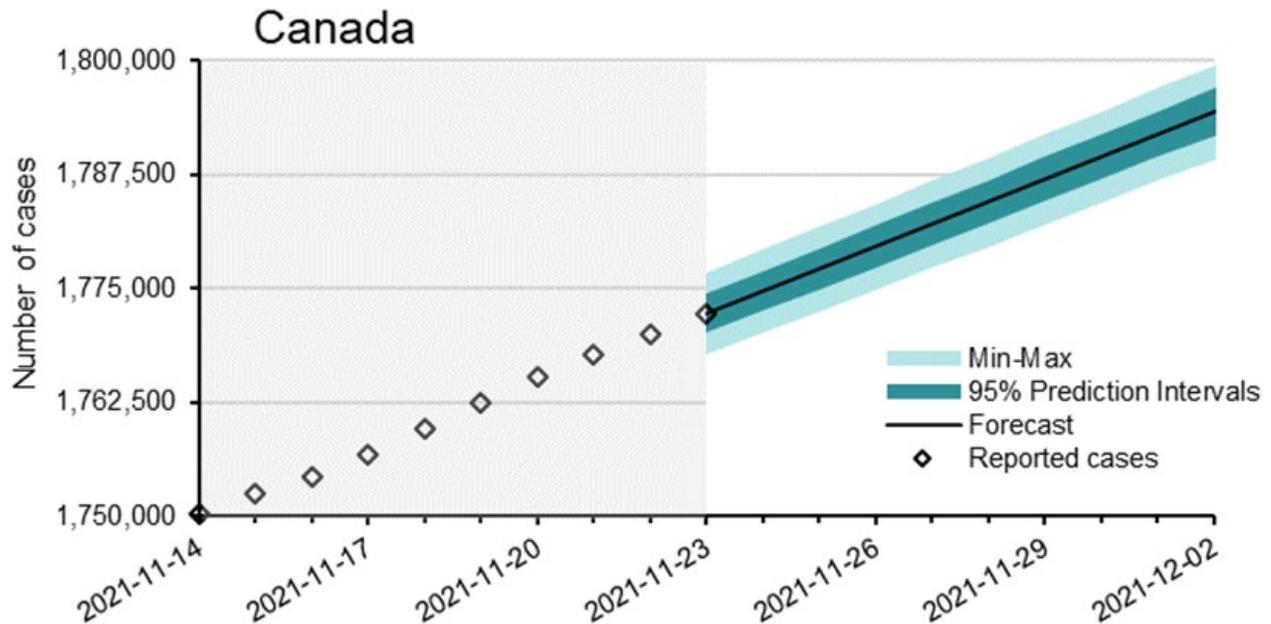


Figure 2. Prévisions à court terme pour les cas déclarés dans les provinces ayant fourni des données suffisantes.

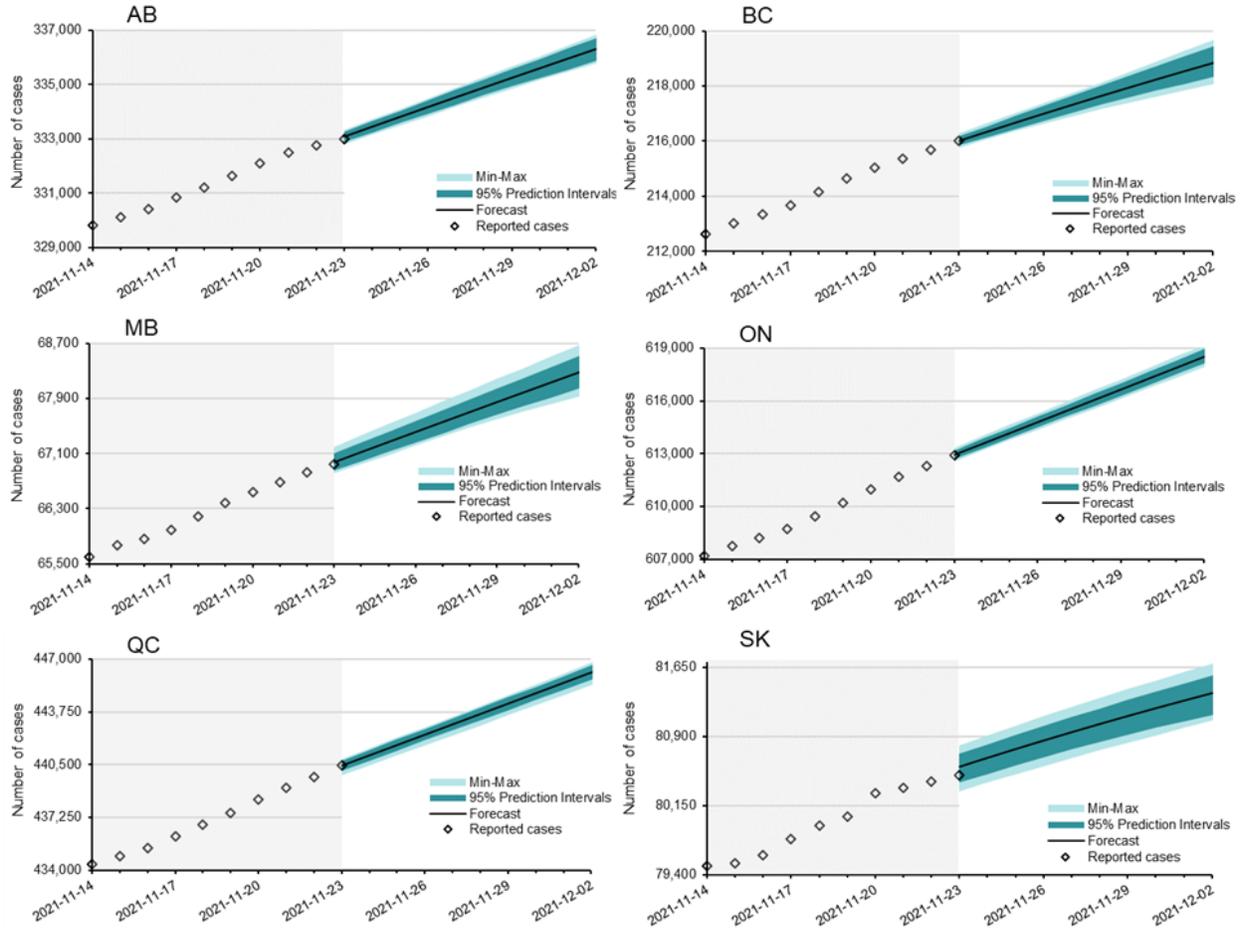
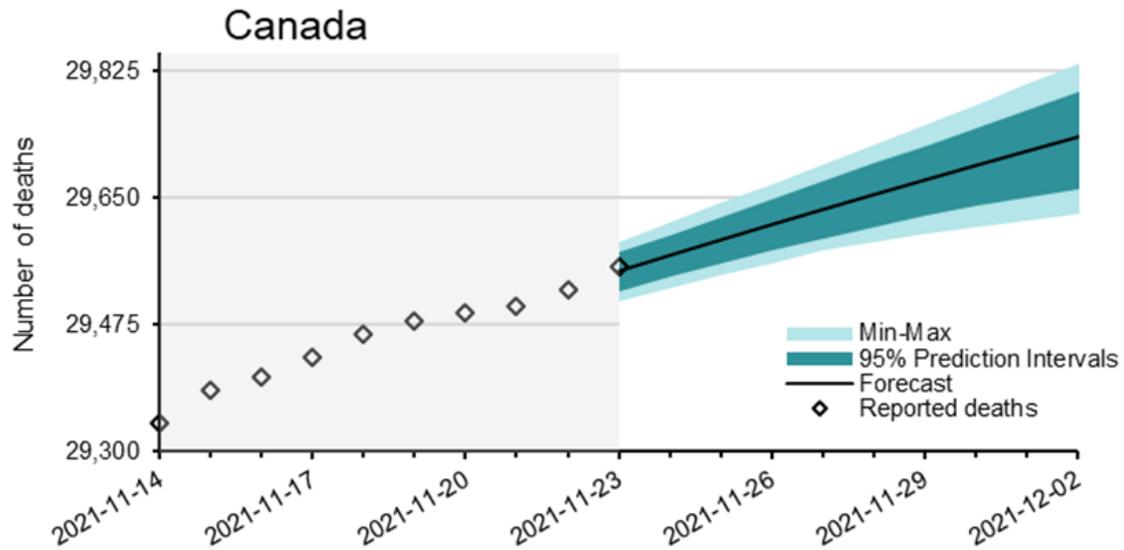
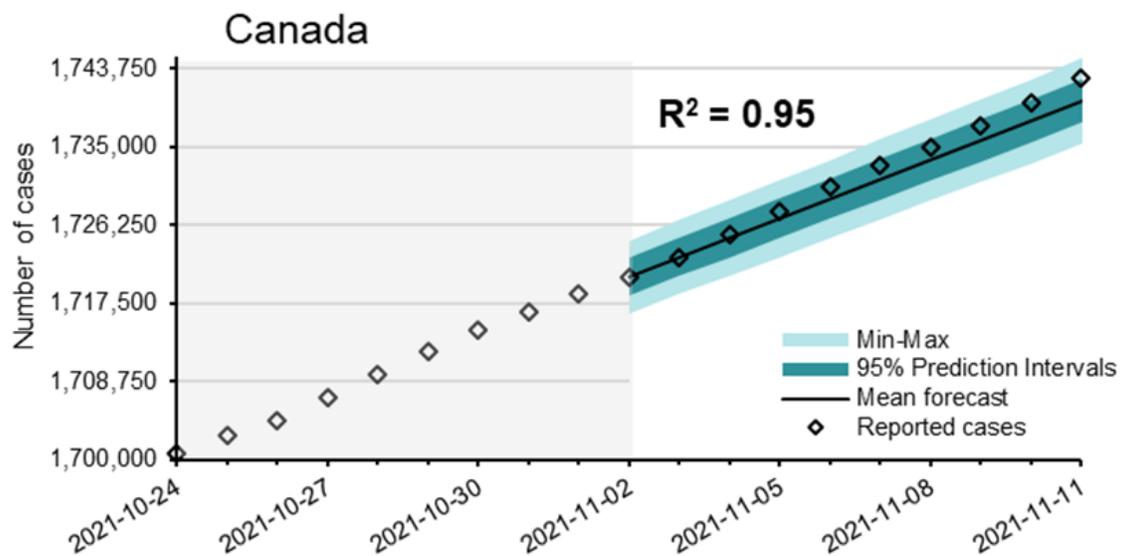


Figure 3. Prévisions à court terme pour les décès déclarés au Canada.

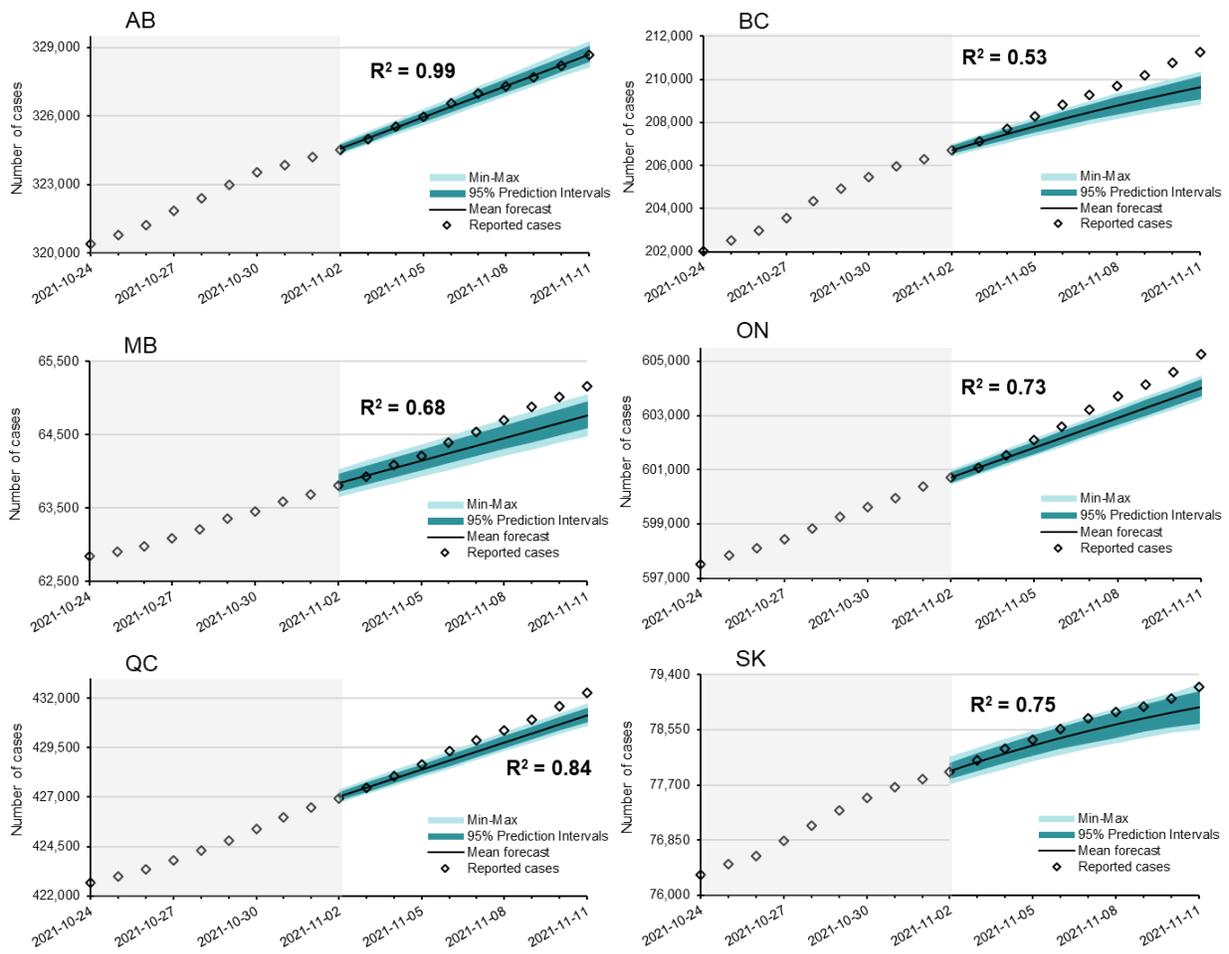


La moyenne de la projection établie à l'aide de la courbe de croissance de Richards pour le Canada incluse dans le dernier rapport de modélisation surestimait de 0,15 % le nombre de cas déclarés au 11 novembre 2021 (1 672 cas). Le nombre de cas déclarés au 11 novembre 2021 était supérieur à la fourchette des valeurs projetées pour la plupart des provinces, ce qui correspond au pire des scénarios.

Figure 4. Rendement des prévisions de cas à court terme au Canada figurant dans le dernier rapport de modélisation.

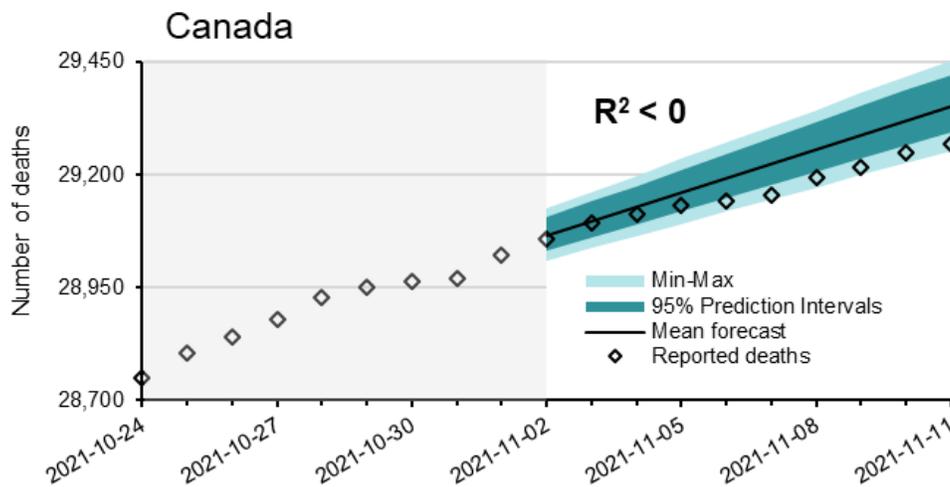


**Figure 5. Rendement des prévisions de cas à court terme pour les provinces figurant dans le dernier rapport de modélisation.**



La projection moyenne générée pour le dernier rapport de modélisation sous-estimait de 0,29 % (71 décès) le nombre de décès déclarés au 11 novembre 2021 au Canada.

**Figure 6. Rendement des prévisions de décès à court terme pour le Canada figurant dans le dernier rapport de modélisation.**



---

## 2.3 PRÉVISIONS À LONG TERME POUR LES CAS DÉCLARÉS AU CANADA ÉTABLIES À L'AIDE DE LA MODÉLISATION DYNAMIQUE (DE LA SIMON FRASER UNIVERSITY)

### Points clés

- Les prévisions à long terme donnent à penser que la trajectoire de l'épidémie au Canada pointe vers une résurgence au cours des deux prochains mois, avec environ 3 500 cas par jour d'ici la mi-décembre si les taux de contact demeurent à leur niveau actuel.
- On prévoit donc une résurgence de l'épidémie au Manitoba, en Ontario et au Québec, alors qu'elle devrait plafonner ou diminuer en Colombie-Britannique, en Alberta et en Saskatchewan si les taux de contacts demeurent aux niveaux actuels.

### Contexte

Un modèle dynamique est utilisé pour générer des prévisions pour les cas qui seront déclarés au cours des deux prochains mois. Ces prévisions sont fondées sur les estimations actuelles et ne prévoient pas de changements à venir (p. ex., ouverture d'écoles, élargissement des tests). Cette analyse est fournie par des chercheurs de la Simon Fraser University.

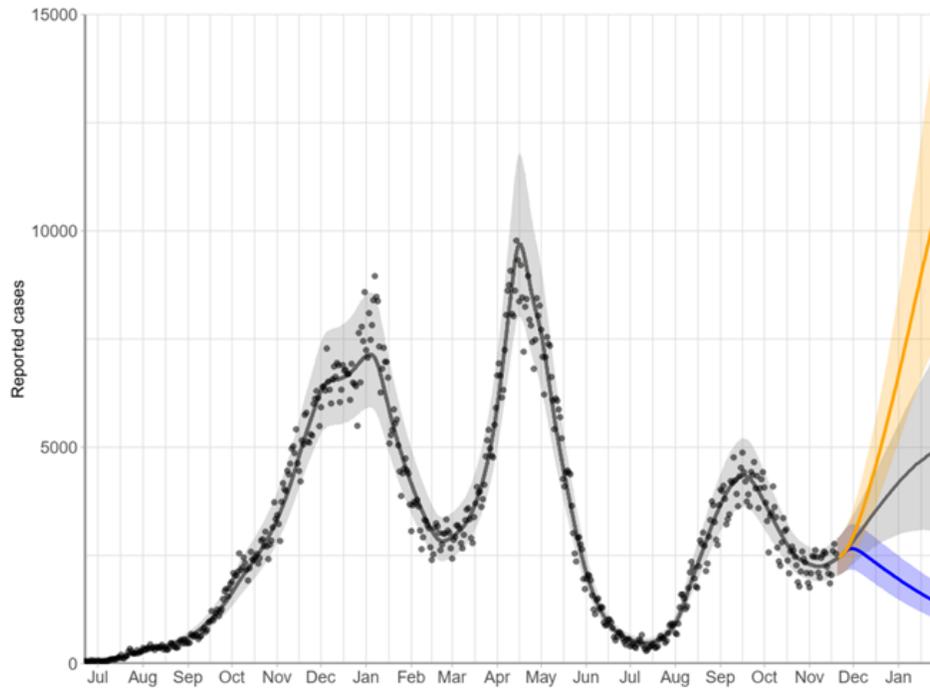
### Méthodologie

L'approche de modélisation et de prévision à long terme utilise un modèle dynamique de type SEIR avec des paramètres propres à la province qui correspondent aux méthodes bayésiennes. Ces paramètres incluent la mesure dans laquelle la mise en œuvre et la levée des fermetures restrictives ont une incidence sur les taux de contacts, tout en tenant compte d'autres mesures de santé publique (détection et isolement des cas, recherche des contacts et mise en quarantaine). Vous trouverez des détails sur les méthodes de base à l'adresse suivante : <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.17.20070086v1>. Le modèle a récemment été modifié pour inclure la propagation des variants préoccupants plus transmissibles, y compris le variant Delta (B.1.617.2) (<https://www.sfu.ca/magpie/blog/variant-simple-proactive.html>), ainsi que pour tenir compte du déploiement des vaccins.

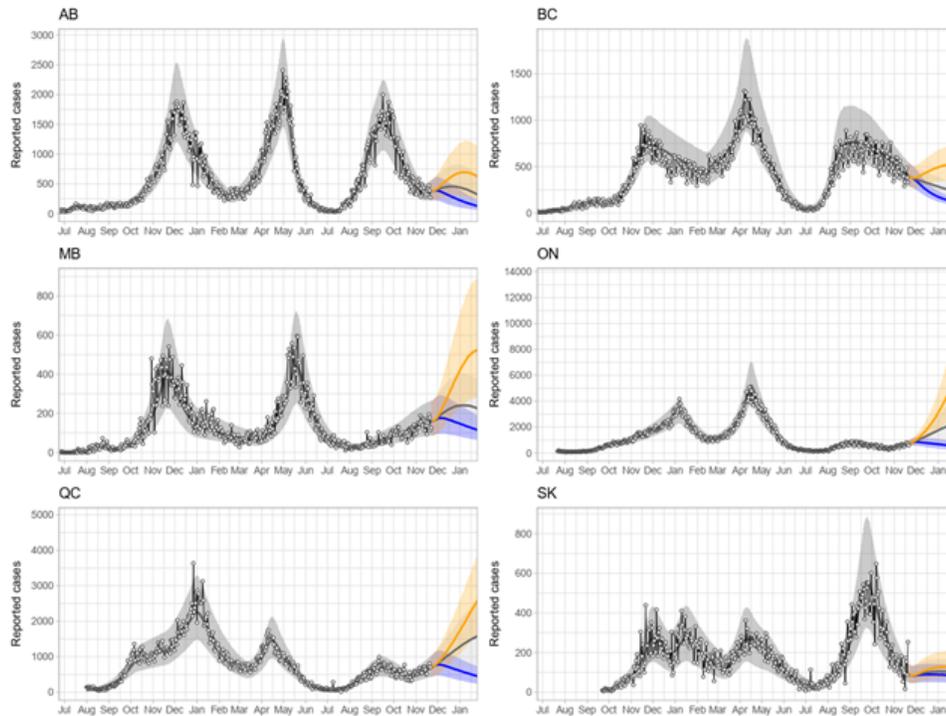
### Résultats

La prévision par modélisation dynamique à long terme pour le Canada donne à penser que la trajectoire de l'épidémie pointe vers une résurgence au cours des deux prochains mois, avec environ 3 500 cas par jour d'ici le début de décembre si les taux de contact demeurent à leur niveau actuel. Une augmentation supplémentaire de 15 % des contacts entraînerait une résurgence plus rapide, alors qu'une réduction de 15 % de ces contacts permettrait de maîtriser l'épidémie. On prévoit donc une résurgence de l'épidémie au Manitoba, en Ontario et au Québec, alors qu'elle devrait plafonner ou diminuer en Colombie-Britannique, en Alberta et en Saskatchewan si les taux de contacts demeurent aux niveaux actuels. Une réduction de 15 % des contacts devrait permettre de maîtriser l'épidémie dans toutes les provinces.

**Figure 1. Incidence prévue pour les deux prochains mois (ligne grise) au Canada.** La ligne grise indique le nombre de cas prévus avec les taux de contacts actuels ou récents. La ligne bleue indique le nombre de cas prévus si les taux de contacts sont réduits de 15 % alors que la ligne orange indique le même nombre, si les taux de contacts augmentent de 15 % (avec d'autres plans d'ouverture). Les zones ombrées indiquent des intervalles de crédibilité de 90 %.



**Figure 2. Incidence prévue pour les deux prochains mois (ligne grise) dans les grandes provinces.** La ligne grise indique le nombre de cas prévus avec les taux de contacts actuels ou récents. La ligne bleue indique le nombre de cas prévus si les taux de contacts sont réduits de 15 % alors que la ligne orange indique le même nombre, si les taux de contacts augmentent de 15 % (avec d'autres plans d'ouverture). Les zones ombrées indiquent des intervalles de crédibilité de 90 %.



## 2.4 PRÉVISIONS À LONG TERME POUR LES CAS DÉCLARÉS AU CANADA ÉTABLIES À L'AIDE DE LA MODÉLISATION DYNAMIQUE (ASPC ET MCMASTER UNIVERSITY)

### Points clés

- Les prévisions à long terme suggèrent une trajectoire avec résurgence de l'épidémie au Canada avec environ 4 000 cas par jour d'ici la fin de décembre.
- En Colombie-Britannique, en Alberta et en Saskatchewan, l'épidémie devrait diminuer lentement ou plafonner si aucune autre mesure de santé publique n'est levée.
- Au Manitoba, en Ontario et au Québec, on prévoit une augmentation de l'épidémie.

### Contexte

Un modèle dynamique qui tient compte de la propagation des variants préoccupants (VP) et des deux doses du vaccin est utilisé pour générer des prévisions fondées sur les scénarios pour le nombre de cas déclarés au cours des 30 prochains jours. On a vu, partout au pays, l'arrivée d'une quatrième vague. Cette vague est principalement alimentée par le variant Delta, qui est plus transmissible et plus virulent que les variants antérieurs qui circulaient au Canada, et est devenu le variant dominant dans toutes les provinces. La réouverture a entraîné une augmentation des contacts et des déplacements interprovinciaux, ce qui a permis au variant Delta de se propager. En réponse à cet état de fait, les mesures de santé publique ont été renforcées et des exigences relatives à la présentation d'une preuve vaccinale ont été introduites, ce qui a entraîné, jusqu'à tout récemment, une réduction ou un plafonnement de l'incidence dans la plupart des provinces.

### Méthodologie

Le modèle ASPC-McMaster est utilisé pour prévoir les rapports sur les infections en fonction des scénarios futurs qui tiennent compte de l'effet des mesures de santé publique, de la croissance du variant Delta et de l'effort de vaccination continu sur la transmission du SRAS-CoV-2. Le tableau A-1 (dans l'annexe) indique les dates clés de réouverture et les mesures récentes incluses dans le modèle pour les principales provinces. Le modèle et l'analyse tiennent compte de trois scénarios pour chacune des provinces :

1. *Statu quo*, le niveau de transmission demeure le même, sans changement.
2. Une diminution de 15 % du niveau de transmission à compter du 22 novembre 2021.
3. Une augmentation de 15 % du niveau de transmission à compter du 22 novembre 2021.

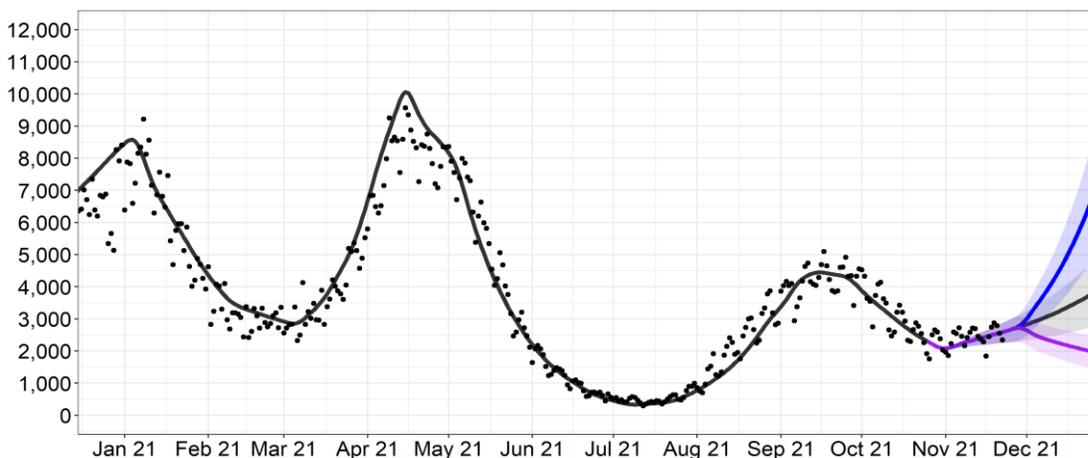
En plus de ces scénarios, on a également tenu compte d'une plus forte transmission en raison de la prévalence accrue du variant Delta qui est plus transmissible que le variant Alpha. Le modèle comprend une vaccination à deux doses qui suit les taux d'administration quotidiens observés pour les première et deuxième doses dans chaque province. On présumait que l'efficacité du vaccin contre la transmission était de 60 % et de 90 % après les première et deuxième doses respectivement par rapport au variant Alpha. Des données récentes indiquent cependant que cette efficacité a diminué face au variant Delta pour atteindre 30 % après la première dose et 80 % après la deuxième dose. À des fins de prévisions, on suppose que la vaccination se poursuivra donc selon une

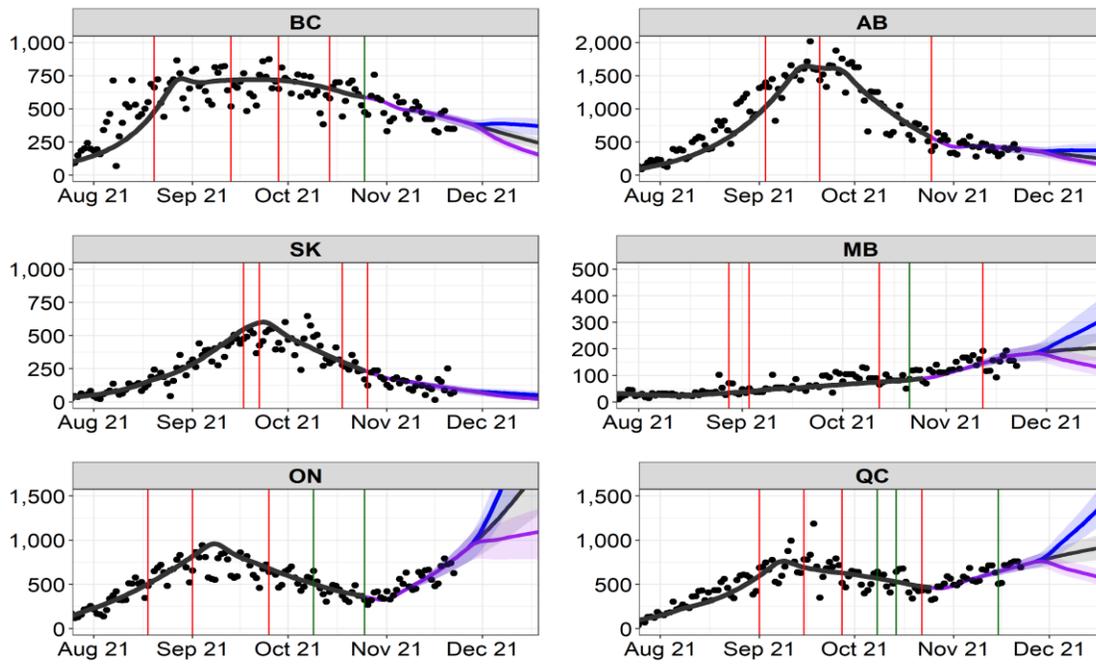
fonction de saturation qui ressemble à la réticence à se faire vacciner (avec un seuil limite de 92 % pour la première dose et de 90 % pour la deuxième dose dans la population admissible, ce qui inclut toutes les personnes âgées de cinq ans et plus). La baisse de l'immunité et les doses de rappel ne sont pas incluses dans le présent modèle.

## Résultats

Les prévisions à long terme (figure 1) suggèrent que l'épidémie au Canada continuera d'augmenter malgré le déploiement actuel de la vaccination et les récentes mesures de santé publique, avec environ 4 000 cas déclarés par jour (avec un grand intervalle dans les projections) d'ici la fin de décembre. Si les mesures de santé publique et le comportement de la population réduisent la transmission efficace de 15 %, le nombre de cas déclarés pourrait atteindre 2 000 cas par jour d'ici la fin de décembre. Si, à l'inverse, les mesures de santé publique font augmenter la transmission efficace de 15 %, on prévoit une résurgence à taux variable dans la plupart des provinces.

**Figure 1. Prévisions fondées sur les scénarios pour le nombre de cas déclarés au cours des 30 prochains jours au Canada et dans les grandes provinces.** Les zones ombrées indiquent des intervalles prédictifs de 95 %. Pour chacune des provinces, les lignes verticales vertes indiquent la levée des mesures de santé publique alors que les lignes verticales rouges correspondent plutôt à l'introduction des mesures de santé publique. Les trajectoires en noir, en bleu et en pourpre montrent respectivement les prévisions établies s'il n'y a aucun changement dans la transmission efficace, s'il y a une augmentation de 15 % et une diminution de 15 % de cette transmission.





## 3 CONNAISSANCE DE LA SITUATION À L'ÉCHELLE INTERNATIONALE

### 3.1 RISQUE D'IMPORTATION ASSOCIÉ AUX VOYAGES PAR VOIE AÉRIENNE ET PAR VOIE TERRESTRE

#### Points clés

- Les États-Unis d'Amérique (É.-U.) représentent le risque d'importation le plus élevé par voie aérienne, alors que le risque le plus élevé par la voie terrestre est associé au Michigan et à New York.
- Du 14 au 20 novembre 2021, les pourcentages estimatifs d'importation de cas par la voie aérienne qui peuvent être associés à des variants préoccupants (VP) ou d'intérêt (VI) sont les suivants : 64,52 % de B.1.617.2 (variant Delta), 0,56 % de AY.4.2 (variant Delta) et 0,01 % de P.1 (variant Gamma). Les autres variants préoccupants ou variants d'intérêt représentent chacun moins de 0,01 % des cas importés.
- Les quatre principaux aéroports par ordre de risque d'importation le plus élevé sont Toronto Pearson, Montréal-Trudeau International, Vancouver International et Calgary International.

#### Contexte

Le modèle de risque d'importation estime le nombre hebdomadaire moyen de voyageurs qui sont infectés par la COVID-19 à leur arrivée au Canada. Les estimations du modèle tiennent compte du volume de voyageurs (par voie aérienne et par voie terrestre), des taux d'incidence hebdomadaires par pays et par État américain, de la dynamique de l'infection temporelle, de la couverture vaccinale par pays et des mesures à la frontière (tests de dépistage effectués dans les 72 heures précédant l'arrivée pour les voyageurs qui font des déplacements non essentiels). Le rôle de la quarantaine au Canada à l'arrivée pour déterminer et confiner les voyageurs infectés n'est pas inclus dans la portée de ce travail.

#### Méthodologie

Le modèle de risque d'importation calcule le risque quotidien d'importation de la COVID-19 et les variations spatiales du risque pour les points d'entrée aériens et terrestres. L'estimation varie selon les probabilités d'exposition à la COVID-19 compte tenu du temps passé depuis le début de la pandémie dans le pays de résidence, ou l'État américain, pour les voyageurs étrangers (FT). En ce qui concerne les citoyens canadiens (CND), l'estimation tient compte de l'exposition dans le pays ou l'État américain visité, avant le retour au Canada, ainsi que des déplacements aériens et par voie terrestre. Elle inclut également les déplacements aériens et par voie terrestre.

Le modèle tient compte des tests PCR effectués dans les 72 heures avant l'arrivée pour les voyageurs non essentiels. ArriveCAN et ContactTrace fournissent des données hebdomadaires sur la proportion de voyageurs

(CND et FT) qui sont exemptés des tests avant l'arrivée en provenance de chacun des pays ou pour chaque point d'entrée, et ce, tant par voie aérienne que par voie terrestre. Pour les voyageurs non exemptés, le modèle tient également compte de la proportion de voyageurs qui sont pleinement ou partiellement vaccinés et de ceux qui ne le sont pas, selon les données fournies par ArriveCAN et ContactTrace. Puisque des données analogues ne sont pas disponibles pour les voyageurs exemptés (puisque'ils ne sont pas tenus de fournir une preuve de vaccination), le modèle suppose que la proportion de voyageurs exemptés qui sont vaccinés est égale à la couverture vaccinale dans le pays d'origine (voir l'annexe pour plus de détails sur les méthodes utilisées).

Les estimations du risque d'importation sont stratifiées selon les variants préoccupants (VP) et les variants d'intérêt (VI) déclarés par les Centers for Disease Control and Prevention des États-Unis. On suppose que la proportion de variants déclarés dans la base de données GISAID pour le lieu d'embarquement pendant une période de quatre semaines (ce qui comprend la semaine modélisée et les trois semaines précédentes) est la même proportion que celle que l'on voit chez les voyageurs infectés qui arrivent au Canada en provenance de ces pays ou de ces États américains (voir l'annexe pour plus de détails à cet égard). La production de ce rapport est limitée aux pays ayant au moins 20 échantillons séquencés (tableau A-2 de l'annexe). Les résultats déclarés montrent le nombre de passagers infectés stratifiés par VP ou VI lorsque ces données sont disponibles. La mention « other » est utilisée pour les passagers sans VP ou VI alors qu'« unknown » est indiqué si le nombre d'échantillons séquencés pour le pays est inférieur à 20 et n'inclut aucun résultat séquentiel.

Une méthode semi-bayésienne, adaptée de [1], a été utilisée pour calculer un facteur de correction variable dans le temps en ce qui concerne le nombre de cas par pays. La méthode décrite dans l'annexe utilise le nombre déclaré de tests de dépistage de COVID-19 et les variations dans le temps de la taille de la population vulnérable en raison de l'augmentation du nombre cumulatif de cas et des taux de vaccination pour estimer le nombre réel de cas dans chacun des pays.

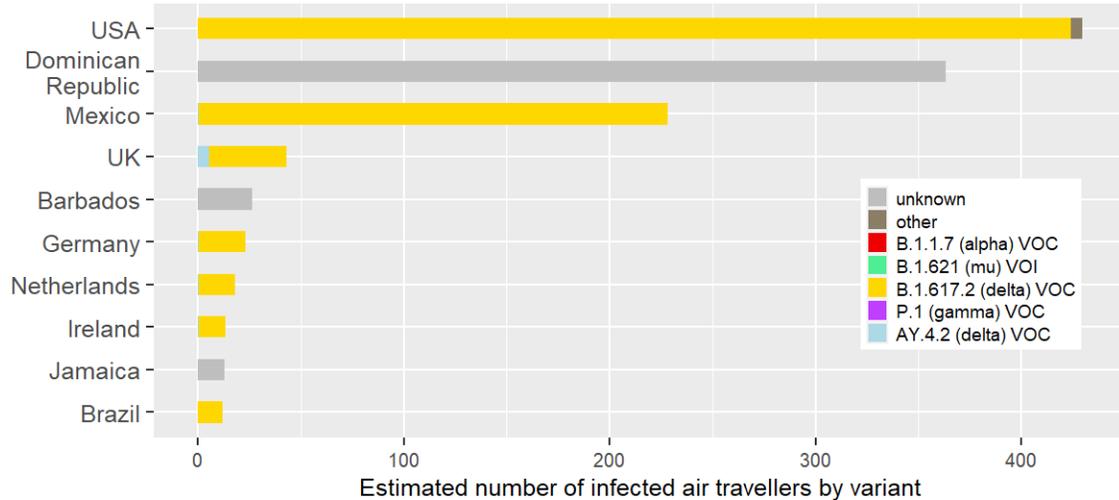
## Résultats

### Voyageurs par voie aérienne

#### À l'échelle nationale

En moyenne, il a été estimé que **1 353** voyageurs infectés auraient pu arriver au Canada par la voie aérienne pendant la semaine du 14 au 20 novembre 2021. On estime que les États-Unis représentent le risque d'importation le plus élevé pour le Canada, suivis de la République dominicaine et du Mexique (figure 1). Les pourcentages de contribution des VP et des VI importés par les voyageurs en provenance des dix principaux pays sont les suivants : 64,52 % pour la souche B.1.617.2 (variant Delta), 0,56 % pour la souche AY.4.2 (variant Delta), et 0,01 % pour la souche P.1 (variant Gamma). Les autres VP et VI représentent chacun moins de 0,01 % des cas importés.

**Figure 1. Répartition estimative des variants pour les 10 principaux pays d'où devraient être arrivés des voyageurs aériens infectés (par des vols directs et indirects) au Canada pendant la semaine du 14 au 20 novembre 2021.**



Si l'on compare les données du Réseau mondial d'intelligence santé publique (RMISP) qui tire ses renseignements des rapports en source ouverte disponibles dans les différents médias et du rapport épidémiologique hebdomadaire de l'Organisation mondiale de la Santé, on peut voir que certaines données pourraient ne pas figurer dans la base de données GISAID. Ainsi, les données sur les VP et les VI tirées de GISAID (figure 1) pourraient sous-estimer le niveau d'importation de ces différents variants.

### À l'échelle régionale

La proportion de voyageurs infectés qui entrent au Canada varie selon l'aéroport et le statut du voyageur. Le pourcentage de résultats positifs parmi ceux qui devaient avoir un résultat négatif au test PCR avant le départ (voyageurs non exemptés) était inférieur au pourcentage de résultats positifs parmi ceux qui n'étaient pas tenus de fournir de résultat négatif au test PCR avant le départ (voyageurs exemptés) (tableau 1). Les pays contribuant aux voyageurs infectés varient pour les quatre principaux aéroports canadiens recevant des voyageurs internationaux pour la semaine du 14 au 20 novembre 2021. Le variant Delta était celui que l'on retrouvait dans la majorité des cas importés (figure 2).

### **Voyageurs par voie terrestre**

En moyenne, il a été estimé que 1 898 voyageurs infectés auraient pu arriver au Canada par la voie terrestre pendant la semaine du 14 au 20 novembre 2021. L'Ontario est la province où, selon les estimations, le plus grand nombre moyen de voyageurs infectés aurait traversé les différents points d'entrée en provenance des États-Unis (tableau 2). On estime que le plus grand nombre de voyageurs terrestres infectés qui arrivent au Canada proviennent du Michigan et de New York (tableau 3). L'estimation de l'importation des variants qui arrivent dans une province est proportionnelle aux variants déclarés dans GISAID au niveau de l'État dans l'État américain adjacent au point d'entrée terrestre (tableau 4).

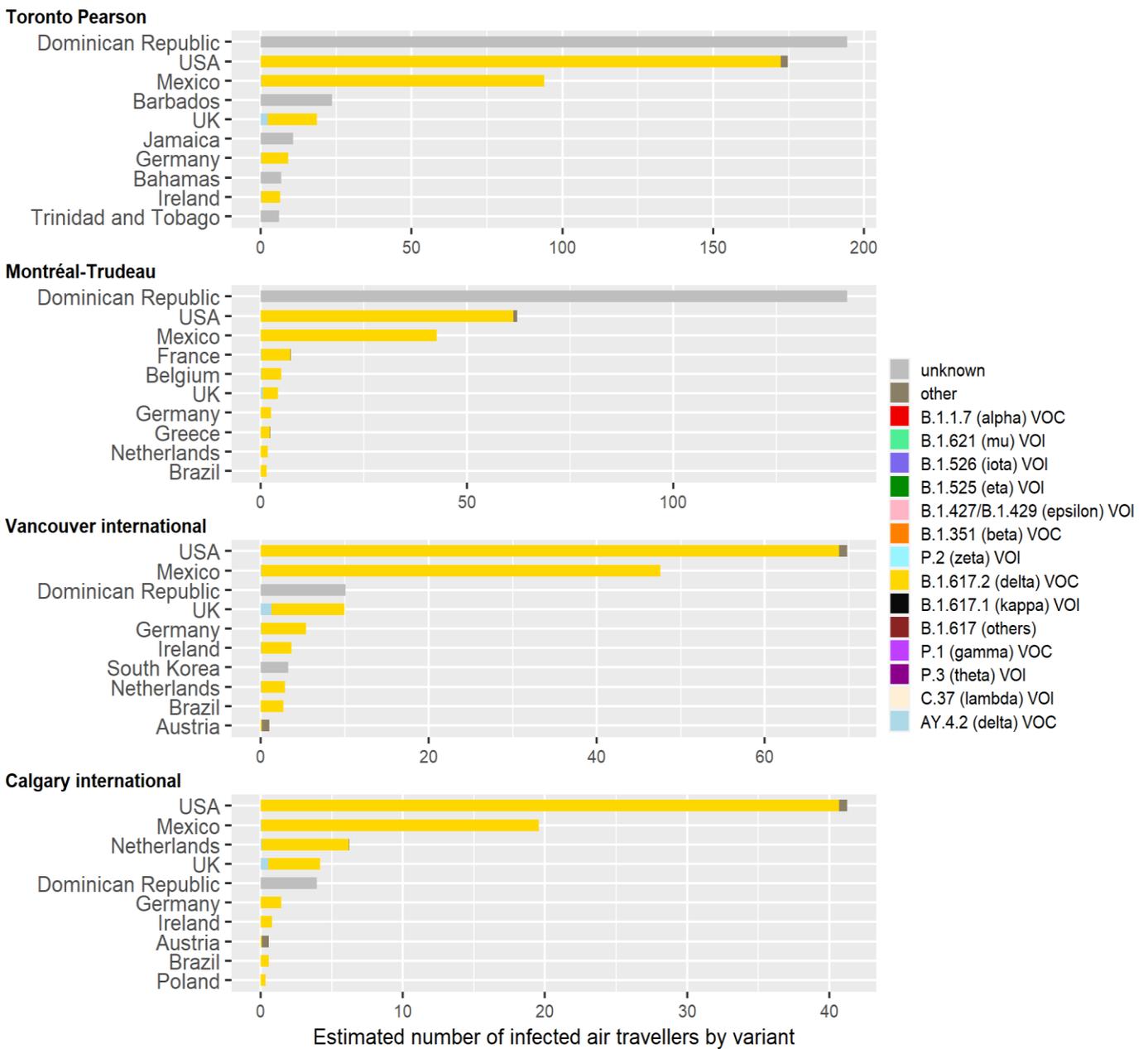
**Tableau 1. Nombre et proportion de voyageurs infectés qui sont arrivés aux principaux aéroports canadiens pendant la semaine du 14 au 20 novembre 2021. Les voyageurs exemptés ne sont pas tenus de présenter un résultat négatif au test de dépistage par PCR pour la COVID-19 avant leur départ pour le Canada.**

Aéroport	Statut du voyageur	Nombre moyen de voyageurs infectés	Volume de voyages hebdomadaires	Pourcentage de résultats positifs (%)
Toronto Pearson	Non-exemptés	168,2	74 379	0,23
	Exemptés	467,1	60 908	0,77
	Total	635,4	135 287	0,47
Montréal-Trudeau	Non-exemptés	79,7	31 670	0,25
	Exemptés	219,5	23 674	0,93
	Total	299,2	55 344	0,54
Vancouver International	Non-exemptés	47,7	26 020	0,18
	Exemptés	125,7	21 450	0,59
	Total	173,4	47 470	0,37
Calgary International	Non-exemptés	23,4	12 997	0,18
	Exemptés	62,6	10 807	0,58
	Total	86,0	23 805	0,36

**Tableau 2. Nombre moyen de voyageurs infectés qui sont arrivés au Canada par la voie terrestre en provenance des États-Unis, par province, entre le 14 et le 20 novembre 2021.**

Province	Estimation du nombre moyen de voyageurs infectés	Écart-type	Volume de voyages hebdomadaires	Pourcentage de résultats positifs (%)
Ontario	1 215,8	21,2	192 816	0,63
Colombie-	365,1	9,4	99 299	0,37
Québec	119,9	2,3	32 271	0,37
Alberta	60,4	2,6	7 193	0,84
Nouveau-	49,4	0,9	10 474	0,47
Saskatchewan	45,8	1,6	4 499	1,02
Manitoba	39,4	1,2	9 522	0,41
Yukon	2,4	0,2	358	0,67

**Figure 2. Répartition estimative des variants pour les 10 principaux pays d'où devraient être arrivés des voyageurs aériens infectés dans les quatre principaux aéroports canadiens pour la semaine du 14 au 20 novembre 2021.**



**Tableau 3. Nombre moyen de voyageurs infectés qui sont arrivés au Canada par la voie terrestre, selon le dernier État américain qu'ils ont traversé avant d'arriver au Canada entre le 14 et le 20 novembre 2021.**

État	Estimation du nombre moyen de voyageurs infectés	Écart-type	Volume de voyages hebdomadaires	Pourcentage de résultats positifs (%)
Michigan	923,95	20,38	104 309	0,89
New York	323,92	6,00	102 832	0,31
Washington	305,67	8,43	46 499	0,66
Montana	77,68	2,95	9 154	0,85
Dakota du Nord	72,80	2,00	7 300	1,00
Vermont	60,91	1,30	14 041	0,43
Maine	58,99	1,06	12 536	0,47
Idaho	42,79	2,49	2 931	1,46
Minnesota	24,08	0,65	3 143	0,77
Alaska	5,26	0,33	705	0,75
New Hampshire	0,11	0,01	15	0,71

**Tableau 4. Nombre moyen de voyageurs infectés par un VP ou un VI avec un taux de positivité prévu supérieur à 0,000 1 % pour la période du 14 au 20 novembre 2021.**

Province ou territoire	Volume de voyages hebdomadaires	Variant	Estimation du nombre moyen de voyageurs infectés	Écart-type	Pourcentage de résultats positifs (%)
Ontario	192 816	VP B.1.617.2 (Delta)	1 200,64	21,0	0,6227
		VP AY.4.2 (Delta)	0,18	0,0	0,0001
		VP P.1 (Gamma)	0,11	0,0	0,0001
Colombie-Britannique	99 299	VP B.1.617.2 (Delta)	363,27	9,4	0,3658
Québec	32 271	VP B.1.617.2 (Delta)	118,96	2,3	0,3686
		VP AY.4.2 (Delta)	0,04	0,0	0,0001
		VP P.1 (Gamma)	0,02	0,0	0,0001
Nouveau-Brunswick	10 474	VP B.1.617.2 (Delta)	48,42	0,9	0,4623
Manitoba	9 522	VP B.1.617.2 (Delta)	39,36	1,2	0,4133
Alberta	7 193	VP B.1.617.2 (Delta)	59,38	2,5	0,8256
Saskatchewan	4 499	VP B.1.617.2 (Delta)	45,59	1,6	1,0132
Yukon	358	VP B.1.617.2 (Delta)	2,38	0,2	0,6655

## Références

1. Wu SL, Mertens AN, Crider YS, Nguyen A, Pokpongkiat NN, Djajadi S, Seth A, Hsiang MS, Colford JM, Reingold A. 2020 Substantial underestimation of SARS-CoV-2 infection in the United States. *Nature communications* 11, 1-10.

## 3.2 COMPARAISON DES MESURES DE SANTÉ PUBLIQUE AU CANADA ET DANS D'AUTRES PAYS

### Points clés

- L'indice de sévérité au Canada est de 67 depuis le 1<sup>er</sup> novembre 2021; le nombre de cas a cependant légèrement augmenté depuis cette date.
- Dans plusieurs pays, le rétablissement des mesures strictes et opportunes a permis de réduire le nombre de cas pendant les vagues précédentes et actuelles, notamment en raison du déploiement des vaccins.
- L'expérience de nombreux pays européens suggère que la réinstauration rapide de mesures de santé publique pourrait encore être nécessaire, puisqu'une combinaison du variant Delta plus transmissible et des populations non vaccinées entraînera une résurgence.

### Contexte

L'indice de sévérité est une combinaison semi-quantitative de renseignements associés à neuf interventions de santé publique différentes, incluant la fermeture des écoles, la fermeture des lieux de travail, l'annulation des événements publics, les restrictions quant au nombre de personnes qui peuvent se rassembler, la fermeture des transports en commun, les exigences de rester à la maison, les restrictions sur les déplacements dans les provinces et territoires, les restrictions sur les voyages internationaux et les campagnes d'information du public. Cet indice est établi en fonction des données sur les résultats de la COVID-19 provenant d'autres pays afin de déceler les interventions qui pourraient avoir un effet. Les chiffres inclus dans ce rapport montrent la situation épidémiologique actuelle, au Canada et dans certains autres pays, parallèlement au niveau de l'indice de sévérité (appelé « Government Response » ou « Interventions » dans les figures), ainsi que, le cas échéant, de l'information sur le nombre de vaccins administrés.

### Méthodologie

*À l'échelle internationale* : Les données de surveillance de la COVID-19 proviennent du Coronavirus Resource Centre de la John Hopkins University (JHU) (<https://coronavirus.jhu.edu/map.html>), sauf pour le Canada, où les données sont fournies par l'Agence de la santé publique du Canada/Infobase (<https://health-infobase.canada.ca/COVID-19/>). Ces données sont ensuite mises en correspondance avec les données d'intervention en santé publique du Government Response Tracker (Université Oxford — <https://www.bsg.ox.ac.uk/research/research-projects/coronavirus-government-response-tracker>). Certaines informations sur les vaccins provenant de Our World in Data (Université d'Oxford) sont également incluses.

*À l'échelle provinciale/territoriale* : Les données de surveillance de la COVID-19 proviennent de l'Agence de la santé publique du Canada/Infobase alors que les données sur les interventions en santé publique proviennent principalement de l'exploration de données et du codage de l'information accessible au public par l'Agence de la santé publique du Canada. Certaines provinces ont commencé en septembre 2021 à mettre en place différentes mesures de santé publique liées au statut d'immunisation de la population, ce qu'on appelle dans ce rapport la « preuve vaccinale ». Par exemple, les personnes qui ne sont pas entièrement vaccinées ne peuvent plus entrer

dans certaines entreprises (p. ex., casinos ou restaurants) ni assister à des événements publics (p. ex., concerts). Ces restrictions ne s'appliquent pas aux personnes pleinement vaccinées. Compte tenu de ces changements récents, le codage des données sur les interventions en santé publique des provinces et des territoires dans lesquels une preuve vaccinale est requise est donc fondé sur les restrictions en place pour les personnes non vaccinées plutôt que sur les mesures moins rigoureuses s'appliquant aux personnes entièrement vaccinées. Cette approche est conforme à d'autres décisions méthodologiques antérieures et sera appliquée de façon uniforme.

L'objectif de combiner ces sources d'information vise principalement à déterminer les interventions qui peuvent avoir un effet sur la pandémie, en plus du déploiement des vaccins pour contrôler cette pandémie. L'expérience au Canada et dans d'autres pays montre que les mesures gouvernementales comportent trois éléments essentiels : le degré de « sévérité » des mesures gouvernementales (indice de sévérité), la date de leur mise en œuvre (à quel moment elles ont été mises en œuvre ou assouplies) et leur durée (temps pendant lequel elles sont restées en place). Un quatrième élément important, le respect ou l'adhésion, n'est pas abordé dans ces ensembles de données.

## Résultats

### Données à l'échelle nationale et internationale

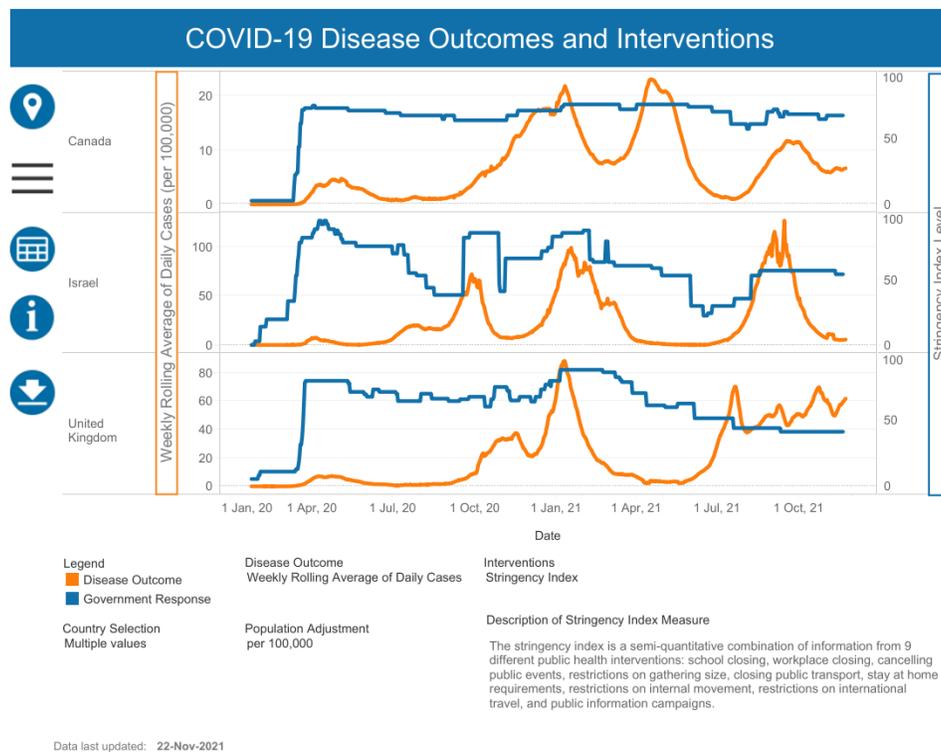
La situation au Canada est incluse, tout comme des exemples de pays qui ont réussi à réduire la moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens après les sommets d'incidence atteints, malgré la circulation des variants préoccupants (figure 1). Depuis la fin du mois de juin ou le début de juillet 2021, on a vu une résurgence de l'épidémie dans tous ces pays. Plus récemment, on a pu voir que l'épidémie semblait être maîtrisée en Israël et plafonner au Canada, tandis que le nombre de cas demeure élevé au Royaume-Uni.

Au *Canada*, le 1<sup>er</sup> novembre 2021, l'indice de sévérité est passé de 64 à 67. Cette augmentation est attribuable à une réduction temporaire de l'accès au transport en commun dans la région du Grand Toronto et de Hamilton. Certains trajets couverts par les transports en commun ont été annulés parce qu'environ 5 % des employés responsables du transport ont été mis en congé sans solde parce qu'ils n'avaient pas présenté de preuve de vaccination complète, contrairement aux fermetures ciblées des transports en commun visant à limiter les contacts et à contrôler la propagation de la maladie. Depuis le sommet de la quatrième vague au Canada qui s'est produit à la mi-septembre 2021, la moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens a diminué de façon constante jusqu'à la fin octobre ou le début de novembre 2021, et depuis, le nombre de cas a plafonné. La moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens était de 6,7 par 100 000 habitants le 22 novembre 2021, ce qui représente une diminution de 43 % depuis le sommet de la quatrième vague (figure 1). Depuis la mi-août 2021, la moyenne mobile hebdomadaire de décès quotidiens a augmenté, bien que le nombre de décès semble avoir plafonné plus récemment. La moyenne mobile hebdomadaire de décès quotidiens était de 0,05 par 100 000 au 22 novembre 2021 (données non présentées). En date du 22 novembre 2021, 80 % de la population canadienne avait reçu au moins une dose de vaccin et 77 % de la population était entièrement vaccinée, ce qui représente un niveau de couverture vaccinale plus élevé qu'en Israël et au Royaume-Uni (figure 2).

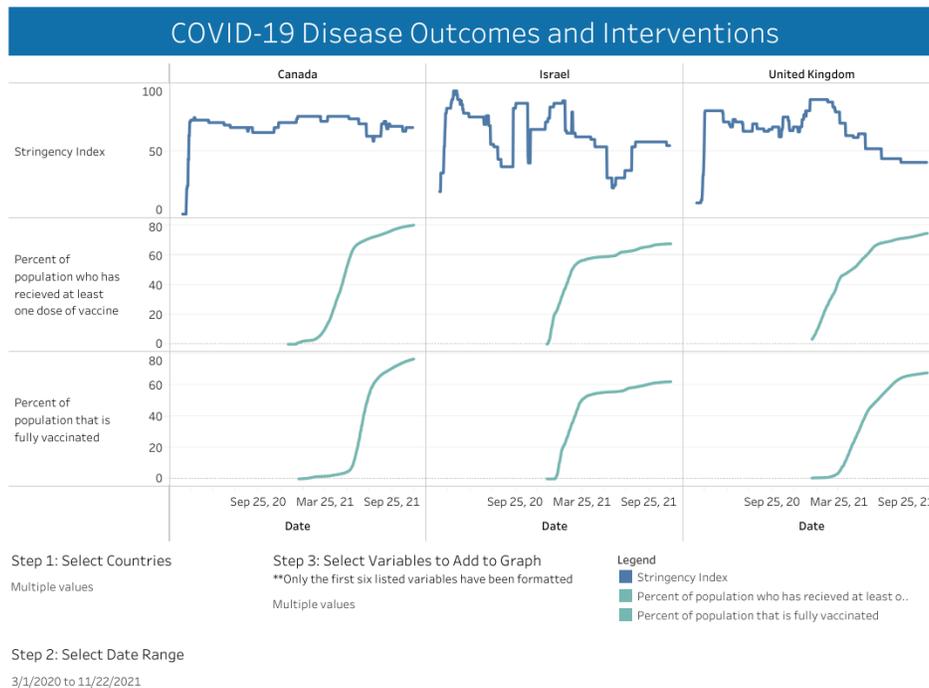
*Israël* a réussi à maîtriser une troisième vague forte (avec un sommet de 99,6 par 100 000 comme moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens) en gardant sa moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens inférieure à 0,5 par 100 000 au milieu ou à la fin du mois de mai 2021. La quatrième vague a été encore plus forte avec un sommet de 127,4 cas par 100 000 comme moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens le 14 septembre 2021. Depuis, la moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens a diminué considérablement jusqu'à atteindre

5,5 par 100 000 le 22 novembre 2021 (un nombre inférieur au chiffre de 6,7 par 100 000 déclaré au Canada). Avant la résurgence associée à la quatrième vague en Israël, l'indice de sévérité avait atteint 22 à la mi-juin 2021 en raison de la levée de toutes les mesures de santé publique utilisées pour calculer l'indice de sévérité, à l'exception des restrictions sur les voyages internationaux et des mesures liées aux campagnes d'information sur la santé publique. À mesure que le nombre de cas commençait à augmenter au début de l'été 2021, l'indice de sévérité a été augmenté à cinq reprises jusqu'à atteindre une valeur maximale de 56 le 18 août 2021, valeur qui est restée en place pendant presque trois mois. Le 11 novembre 2021, l'indice de sévérité a été baissé à 54, sa valeur actuelle au 19 novembre 2021. La diminution de l'indice est attribuable aux assouplissements des restrictions sur les rassemblements (figure 1). En Israël, les pourcentages de la population à avoir reçu au moins une dose de vaccin et à être pleinement vaccinée étaient respectivement de 67 % et de 62 % en date du 22 novembre 2021 (figure 2).

**Figure 1. Moyenne hebdomadaire mobile de cas quotidiens de COVID-19 par 100 000 habitants et données sur le confinement et sur les interventions de santé au Canada et dans certains autres pays.**



**Figure 2. Données accessibles au public provenant de Our World in Data de la Oxford University sur la vaccination au Canada, en Israël et au Royaume-Uni.**



Source des données : Université d'Oxford Our World in Data. Document consulté le : 23 novembre 2021. Disponible à l'adresse suivante : <https://ourworldindata.org/coronavirus>.

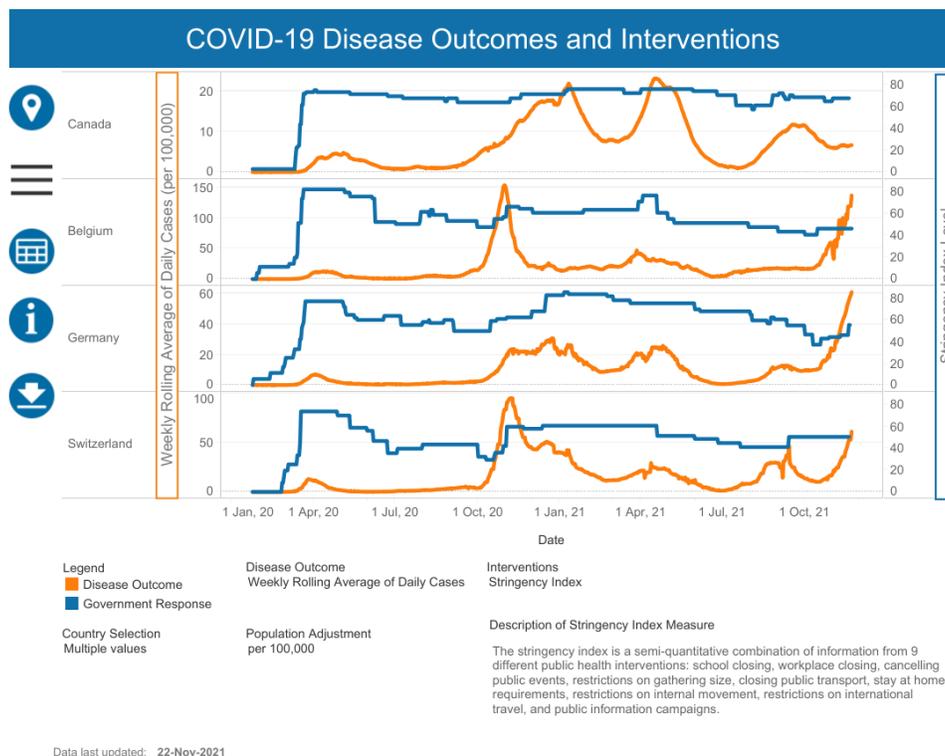
Les données sur le pourcentage de la population ayant été entièrement vaccinée au Canada ont été fournies par le groupe de travail COVID-19 Canada Open Data. Document consulté le 23 novembre 2021. Disponible à l'adresse suivante : <https://opencovid.ca/>

Tout comme Israël, le *Royaume-Uni* a aussi réussi à maîtriser une troisième vague forte (avec un sommet de 88,1 par 100 000 comme moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens) en gardant sa moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens inférieure à 2,5 par 100 000 jusqu'à la fin du mois de mai 2021. La quatrième vague au Royaume-Uni a commencé au début de juin 2021. Contrairement à Israël et au Canada, jusqu'à présent, le Royaume-Uni n'a pas encore vu de diminution soutenue du nombre de cas dans sa quatrième vague. Malgré la fluctuation des cas pendant la vague actuelle, on a vu deux sommets avec une moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens d'environ 70 par 100 000 le 21 juillet 2021 et, plus récemment, le 23 octobre 2021. La moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens a recommencé à augmenter le 11 novembre 2021 pour se situer à 61,8 par 100 000 le 22 novembre 2021. L'indice de sévérité au Royaume-Uni a été progressivement réduit par paliers depuis février 2021, à la suite de la baisse du nombre de cas pendant la troisième vague et pendant toute la quatrième vague. L'indice de sévérité s'établissait à 86 le 22 février 2021 et a graduellement diminué jusqu'à atteindre 41 le 10 septembre 2021, sa valeur actuelle au 19 novembre 2021 (figure 1). Au Royaume-Uni, 74 % de la population avait reçu au moins une dose de vaccin alors que 68 % des gens étaient entièrement vaccinés au 21 novembre 2021 (figure 2).

## Expériences actuelles de pays dont les chiffres étaient ou sont semblables à ceux du Canada

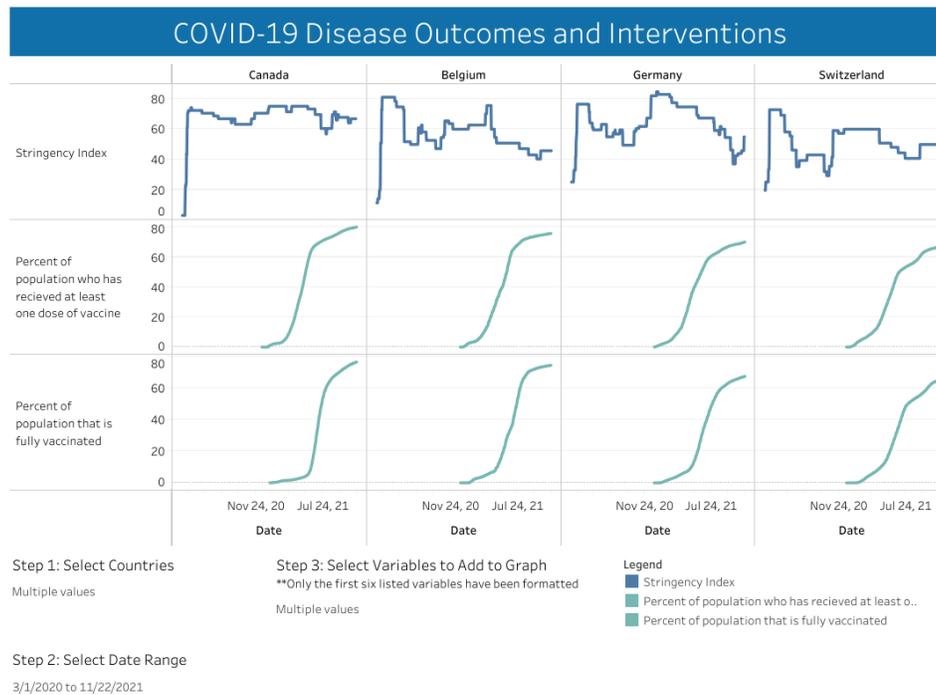
Les expériences du Canada, de la Belgique, de la Suisse et de l'Allemagne qui affichaient auparavant des moyennes hebdomadaires mobiles semblables ont fait l'objet d'un suivi (c.-à-d. que le 4 mai 2021, tous ces pays comptaient entre 18 et 25 cas par 100 000). Depuis, il y a cependant eu divergence entre l'indice associé à l'épidémie et l'indice de sévérité. Le suivi et la comparaison des écarts dans cette cohorte de pays au fil du temps se sont révélés utiles.

**Figure 3. Certains pays dont la moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens par 100 000 a été ou est semblable à celle du Canada.**



En *Belgique*, le nombre de cas a diminué entre la fin de mars 2021 et la mi-juin 2021. Depuis, la moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens a pris une tendance à la hausse, surtout au cours des six dernières semaines. On y a notamment vu une accélération marquée du nombre de cas qui donne à la Belgique un taux actuel de 136,9 cas par 100 000, ce qui la classe au cinquième rang à l'échelle mondiale, donc à un niveau considérablement plus élevé que celui du Canada (6,7 par 100 000) au 22 novembre 2021. En Belgique, l'indice de sévérité a graduellement diminué, passant de 76 à la mi-avril 2021 à 40 le 1<sup>er</sup> octobre 2021. Le 15 octobre 2021, peu après le début de la flambée des cas, l'indice a été porté à 46. Malgré l'augmentation rapide et continue du nombre de cas, aucun changement récent de cet indice n'a été effectué, puisque sa valeur actuelle est de 46 au 22 novembre 2021. Comparativement au Canada, un pourcentage plus faible de la population belge a reçu au moins une dose de vaccin (76 %) et était entièrement vaccinée (74 %) en date du 21 novembre 2021.

**Figure 4. Vaccination dans certains pays dont la moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens par 100 000 est ou a été semblable à celle du Canada.**



Source des données : Université d'Oxford Our World in Data. Document consulté le : 23 novembre 2021. Disponible à l'adresse suivante : <https://ourworldindata.org/coronavirus>.

Les données sur le pourcentage de la population ayant été entièrement vaccinée au Canada ont été fournies par le groupe de travail COVID-19 Canada Open Data. Document consulté le 23 novembre 2021. Disponible à l'adresse suivante : <https://opencovid.ca/>

La courbe de l'épidémie en *Allemagne* ressemblait quelque peu à celle du Canada jusqu'au début de septembre 2021. Plus récemment, soit depuis le début d'octobre 2021, la moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens en Allemagne a augmenté pour s'établir à 60,9 cas par 100 000 le 22 novembre 2021. Au Canada, la moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens a globalement diminué et a même plafonné pendant la même période globale (6,7 par 100 000 au 22 novembre 2021). Pendant la vague précédente (la troisième) en Allemagne, l'indice de sévérité était semblable à celui du Canada. Il s'est maintenu à 75 pendant plus de deux mois (de la fin de mars à la fin de mai 2021). À l'instar du Canada, alors que le nombre de cas diminuait pendant la période de décroissance de la troisième vague, on a vu en Allemagne des baisses simultanées de l'indice de sévérité, des baisses qui étaient également comparables à celles que l'on voyait au Canada (p. ex., 59 en Allemagne comparativement à 61 au Canada). Environ deux semaines après que les cas aient recommencé à augmenter en Allemagne en raison de la quatrième vague, l'indice a été porté à 62 le 24 août 2021. Malgré de nouvelles augmentations du nombre de cas, l'indice de sévérité a ensuite été réduit à quatre reprises, jusqu'à atteindre un creux de 37 en vigueur du 10 au 18 octobre 2021. Alors que l'on voyait une plus forte augmentation récente du nombre de cas à compter de la mi-octobre 2021, l'Allemagne a augmenté son indice de sévérité à quatre reprises, jusqu'à sa valeur actuelle de 55 au 20 novembre 2021. Ces augmentations de l'indice sont attribuables à la réintroduction des recommandations (et non des exigences) portant sur le décret ordonnant de rester à domicile et les restrictions sur les déplacements dans le pays, ainsi qu'à l'escalade de l'annulation d'événements publics, des restrictions sur les rassemblements et des fermetures d'écoles. Malgré la similarité antérieure entre les valeurs de l'indice de sévérité entre l'Allemagne et le Canada pendant les vagues précédentes, plus récemment,

et même si on tient compte des augmentations récentes de l'indice de sévérité en Allemagne, on peut voir que les valeurs de l'indice ont divergé et que cela continue d'être le cas (p. ex., 55 en Allemagne contre 67 au Canada). Il sera donc utile de surveiller davantage l'incidence des cas de COVID-19 en Allemagne au cours des prochaines semaines, puisque c'est la première fois depuis un an que l'indice de sévérité diffère grandement entre les deux pays. En Allemagne, 70 % de la population avait reçu au moins une dose de vaccin et 67 % était entièrement vaccinée au 22 novembre 2021, ce qui est inférieur aux données du Canada.

En *Suisse*, la moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens au début de juillet 2021 était comparable à celle du Canada (environ 1,5 par 100 000), mais pendant les deux mois et demi qui ont suivi, la moyenne de la Suisse a de loin dépassé ce que l'on voyait au Canada avec un sommet de 46,9 par 100 000 le 13 septembre 2021. Depuis, la moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens a diminué à environ 10 par 100 000 à la mi-octobre 2021, avant d'augmenter de nouveau jusqu'à 61,2 par 100 000 le 22 novembre 2021. Comparativement au Canada, l'indice de sévérité de la Suisse le 19 novembre 2021 était de 50 (inférieur à celui du Canada). Un pourcentage plus faible de la population, soit 67 %, avait reçu au moins une dose alors que 65 % des gens étaient entièrement vaccinés au 22 novembre 2021.

La moyenne mobile hebdomadaire de décès quotidiens au Canada (0,05 par 100 000) est très inférieure à celle des trois autres pays, puisque celle de la Suisse se situe à 0,10 par 100 000, celle de l'Allemagne à 0,25 par 100 000 et celle de la Belgique à 0,33 par 100 000 au 22 novembre 2021 (données non présentées).

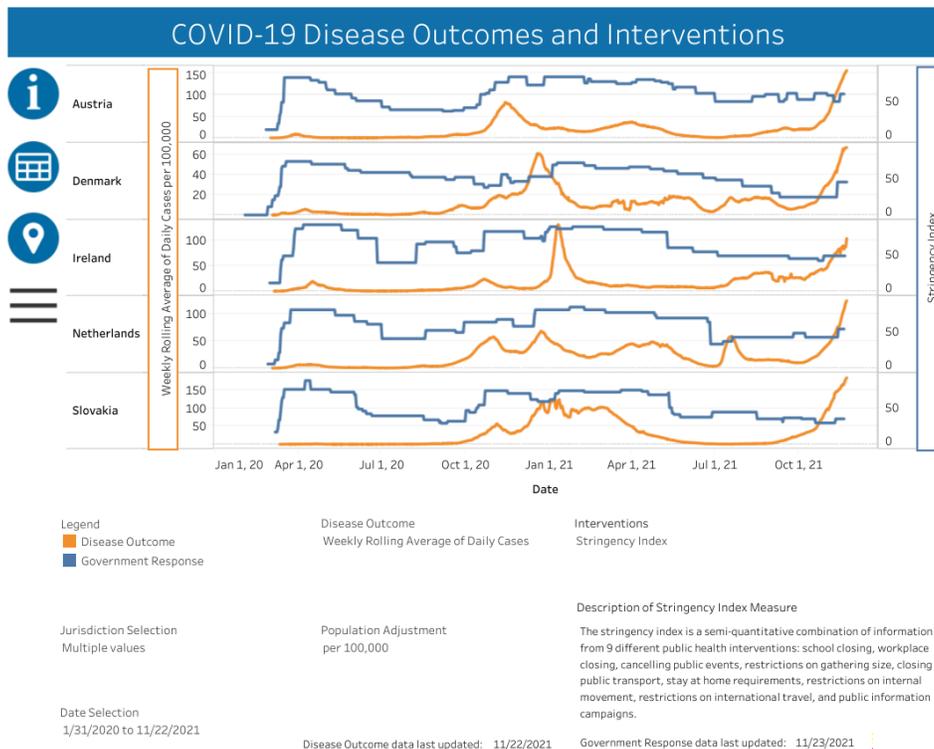
### Pays qui connaissent actuellement une résurgence de l'épidémie

L'*Autriche*, comme de nombreux autres pays d'Europe, connaît actuellement une résurgence marquée de l'épidémie de COVID-19 avec un nombre de cas dépassant de loin celui observé pendant les vagues précédentes. Au début de juillet 2021, la moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens était inférieure à 1,0 par 100 000. De la mi-juillet à la mi-octobre 2021, cette moyenne a augmenté graduellement jusqu'à atteindre environ 20 par 100 000, mais, depuis, elle a bondi considérablement jusqu'à 156,2 par 100 000 le 22 novembre 2021, soit la quatrième plus élevée à l'échelle mondiale. Il y a eu beaucoup de fluctuations dans l'indice de sévérité de l'Autriche tant avant que pendant la vague actuelle. En fait, avant que les cas ne commencent à augmenter et au moment où cette augmentation s'est produite, soit du début à la mi-juillet 2021, l'indice de sévérité était de 49 en Autriche. À mesure que le nombre de cas continuait d'augmenter, l'indice augmentait aussi, puis diminuait comme par « impulsion » pendant des périodes relativement courtes (moins d'un mois) dans une plage de valeurs allant de 49 à 60. Puis, le 15 novembre 2021, l'indice a été porté à 59, sa valeur actuelle au 19 novembre 2021, alors qu'il était de 49 auparavant. En Autriche, en date du 22 novembre 2021, 69 % de la population avait reçu au moins une dose de vaccin et 65 % des gens étaient entièrement vaccinés.

Le *Danemark* a été le premier pays membre de l'Union européenne à lever l'ensemble de ses restrictions en ce qui concerne la COVID-19, et ce, à la grandeur du pays à compter du 10 septembre 2021, soit après que le gouvernement danois a déclaré que la COVID-19 n'était plus une « menace critique pour la société ». À l'époque, le gouvernement avait mentionné la couverture vaccinale élevée dans sa décision d'assouplir l'ensemble des mesures à l'échelle nationale. Le 10 septembre 2021, l'indice de sévérité a été réduit à 24 où il est resté pendant presque deux mois. Environ deux semaines après cette diminution, la moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens a commencé à augmenter rapidement, passant d'environ 6 par 100 000 à 66,8 par 100 000 le 22 novembre 2021. Le 12 novembre 2021, l'indice a ensuite été porté à 44 en raison de l'augmentation continue des fermetures de lieux de travail (qui sont passées des recommandations aux exigences pour certains lieux de travail) et de la réintroduction de l'annulation de certains événements publics et des restrictions sur les

rassemblements. La couverture vaccinale au Danemark est quelque peu comparable à celle du Canada puisque 78 % de la population a reçu au moins une dose et que 76 % de la population était entièrement vaccinée au 22 novembre 2021.

**Figure 5. Pays dans lesquels on voit une résurgence; moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens par 100 000.**



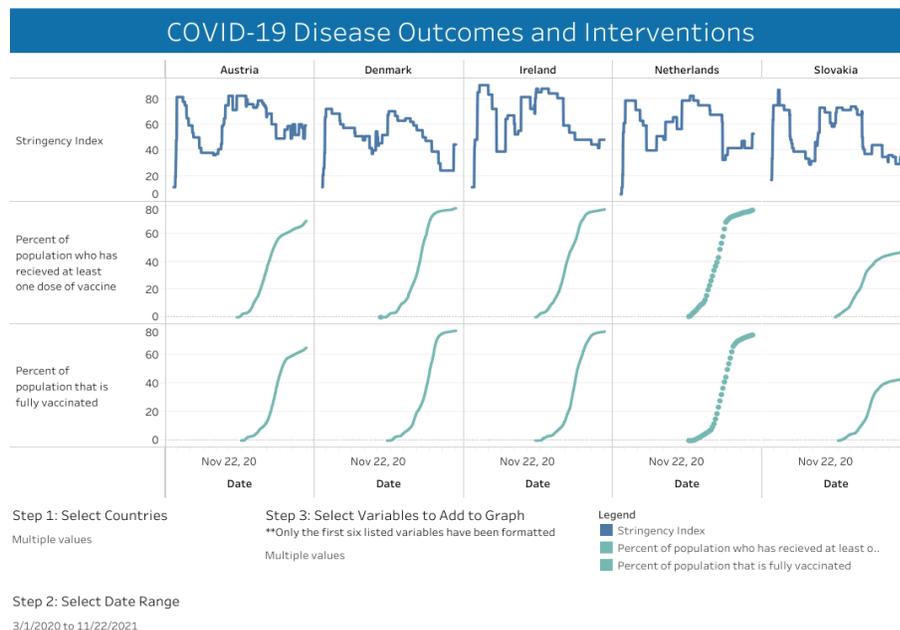
L'Irlande a connu une troisième vague très importante avec une moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens de pointe de 131,1 cas par 100 000 par jour en date du 10 janvier 2021. La mise en œuvre rapide et stricte des mesures de santé publique a entraîné un indice de sévérité élevé (c.-à-d. supérieur à 85), ce qui semble avoir permis de maîtriser la troisième vague au début de mars 2021. Après la baisse rapide du nombre de cas jusqu'à des niveaux qui se sont maintenus jusqu'au début de juillet 2021, l'indice de sévérité a graduellement été abaissé jusqu'à 48 le 4 juillet 2021. Peu de temps après cette baisse de l'indice, la moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens a commencé à augmenter à compter de la mi-juillet 2021, et, même si le nombre de cas a continué d'augmenter par la suite, l'indice de sévérité a encore été abaissé à deux reprises, d'abord jusqu'à 44 le 20 septembre 2021, puis jusqu'à 42 le 22 octobre 2021. En réponse à l'augmentation continue du nombre de cas, l'indice a été porté à 48 le 28 octobre 2021, sa valeur actuelle au 20 novembre 2021 (selon les données les plus récentes disponibles). La moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens a continué d'augmenter et se situait à 103,6 par 100 000 le 22 novembre 2021. En Irlande, 77 % de la population avait reçu au moins une dose de vaccin et 76 % des gens étaient entièrement vaccinés au 22 novembre 2021, ce qui est comparable à ce qu'on voit au Canada.

Les Pays-Bas ont connu un certain nombre de vagues importantes depuis le début de la pandémie. Plus récemment, la moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens a commencé à augmenter au début d'octobre 2021 et a continué sur la même pente, jusqu'à atteindre 125,9 par 100 000 le 22 novembre 2021. Juste

avant la période plus récente pendant laquelle les cas ont commencé à augmenter, l'indice de sévérité a été augmenté, passant de sa valeur précédente de 42 à 47 le 25 septembre 2021, avant de diminuer jusqu'à 42 le 8 octobre 2021, malgré l'augmentation du nombre de cas. Puis, le 13 novembre 2021, l'indice a été porté à 53, sa valeur actuelle au 19 novembre 2021. En date du 14 novembre 2021 (selon les données les plus récentes disponibles), 77 % de la population avait reçu au moins une dose de vaccin et 74 % des gens étaient entièrement vaccinés, des niveaux quelque peu comparables à ceux du Canada.

Jusqu'à récemment, en *Slovaquie*, il n'y avait eu qu'une seule grande vague de COVID-19. Cette vague, qui s'est produite de la fin de l'automne 2020 à la fin de l'hiver 2021, comportait de longues périodes pendant lesquelles l'incidence de la COVID-19 était relativement faible. Depuis la mi-septembre 2021 cependant, la moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens a commencé à augmenter graduellement pour atteindre environ 10 par 100 000. Cette hausse fut ensuite suivie d'une période d'accélération rapide à la mi-octobre 2021 qui se maintient encore et donne une incidence actuelle de 185,1 par 100 000 (moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens) au 22 novembre 2021, ce qui représente le plus grand nombre de cas à l'échelle mondiale. Après la baisse du nombre de cas à la fin de la première vague en Slovaquie, l'indice de sévérité a globalement descendu jusqu'à atteindre un creux de 31 le 13 septembre 2021, ce qui a coïncidé avec le début de la deuxième vague actuelle de cas dans le pays. Par la suite, en raison de l'augmentation spectaculaire du nombre de cas, l'indice a fluctué davantage d'abord en augmentant (à 36), puis en diminuant (à 29) avant, plus récemment (en date du 10 novembre 2021) d'augmenter de nouveau jusqu'à sa valeur actuelle de 35 (au 19 novembre 2021). En Slovaquie, en date du 22 novembre 2021, 47 % de la population avait reçu au moins une dose de vaccin et 43 % des gens étaient entièrement vaccinés.

**Figure 6. Taux de vaccination dans certains pays où l'on observe une résurgence.**

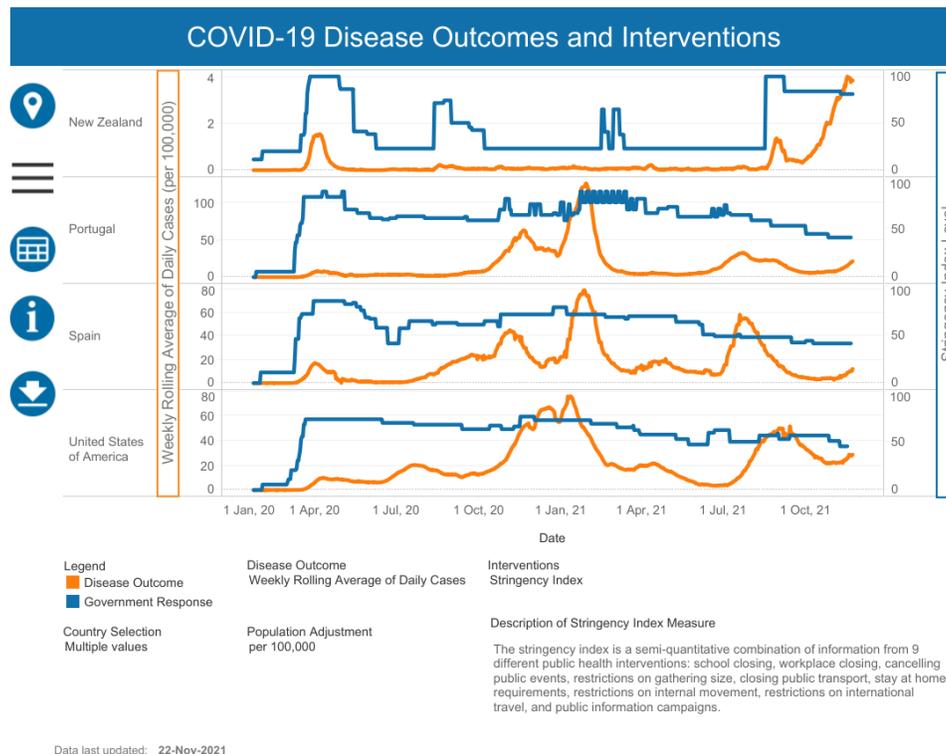


Source des données : Université d'Oxford Our World in Data. Document consulté le : 23 novembre 2021. Disponible à l'adresse suivante : <https://ourworldindata.org/coronavirus>.

### Autres pays dignes de mention

La *Nouvelle-Zélande* a réussi à traverser les vagues précédentes en mettant rapidement en œuvre des mesures de santé publique rigoureuses. En fait, pendant les vagues précédentes, la moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens dans ce pays n'a jamais dépassé 1,6 par 100 000, sommet qui a été atteint pendant la première vague au début d'avril 2020. Entre mai 2020 et la mi-août 2021, la moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens était extrêmement basse (fourchette de 0 à 0,2 par 100 000). Cependant, à compter de la mi-août 2021, le nombre de cas a augmenté rapidement jusqu'à atteindre un sommet, soit le niveau le plus élevé déclaré à ce jour. Ainsi, le 16 novembre 2021, la moyenne mobile hebdomadaire a atteint 4,0 cas par jour par 100 000, avant de se stabiliser à 3,9 cas par 100 000 déclarés au 22 novembre 2021. À mesure que le nombre de cas augmentait pendant la vague actuelle, l'indice de sévérité a rapidement suivi la même pente passant de 22, sa valeur précédente, à 96, valeur qui s'est maintenue du 17 août au 6 septembre 2021. Cette augmentation de l'indice a initialement semblé avoir l'effet souhaité, puisque le nombre de cas a diminué pendant tout le mois de septembre 2021 jusqu'à atteindre un creux de 0,3 par 100 000 (moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens) le 27 septembre 2021. Comme le nombre de cas a commencé à diminuer, l'indice de sévérité a été réduit peu après (c'est-à-dire environ une semaine après le début de la diminution des cas) jusqu'à 81, le 7 septembre 2021. Il est resté à ce niveau pendant 20 jours avant que le nombre de cas ne recommence à augmenter. À mesure que le nombre de cas continuait cependant d'augmenter, l'indice de sévérité baissait jusqu'à atteindre une valeur de 78 le 9 novembre 2021, valeur qui s'est maintenue jusqu'au 22 novembre 2021. Les pourcentages de la population néo-zélandaise ayant reçu au moins une dose de vaccin et ayant été entièrement vaccinée ont augmenté depuis la fin d'août 2021 et se situent respectivement à 75 % et à 69 % au 22 novembre 2021.

Figure 7. Moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens de COVID-19 par 100 000 dans certains pays.

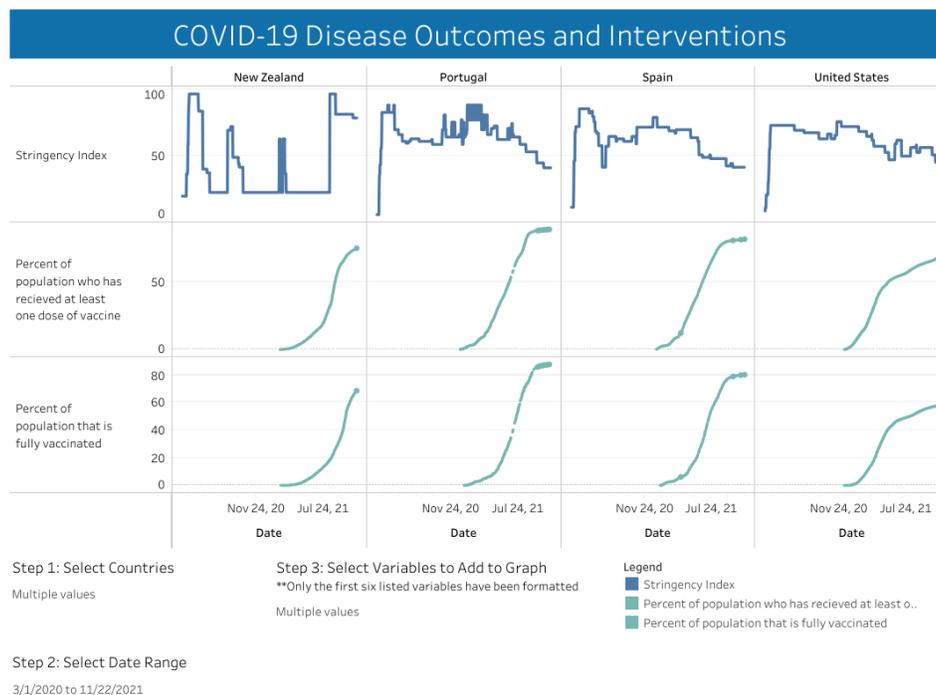


Au *Portugal*, le dernier sommet dans le nombre de cas a été atteint à la fin de juillet 2021 (moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens de 32,6 par 100 000). Par la suite, la moyenne mobile hebdomadaire de cas

quotidiens est descendue à 5,6 par 100 000 au début d'octobre 2021. Depuis le début de novembre 2021, cette moyenne a cependant augmenté pour s'établir à 21,4 par 100 000 le 22 novembre 2021. À mesure que le nombre de cas diminuait pendant la plus récente vague, l'indice de sévérité baissait également. Il est ainsi passé en quatre étapes de 64 (au sommet de la vague) à 41 en date du 26 octobre 2021, soit sa valeur actuelle au 20 novembre 2021. En date du 15 novembre 2021 (selon les données les plus récentes disponibles), le pourcentage de la population qui avait reçu au moins une dose de vaccin était de 89 % alors que le pourcentage de la population qui était entièrement vaccinée était de 88 %, ce qui représente le deuxième niveau de couverture vaccinale le plus élevé à l'échelle mondiale (après Singapour et les Émirats arabes unis).

En *Espagne*, après la dernière vague de COVID-19 dont le sommet a été atteint le 19 juillet 2021 avec une moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens de 58,3 par 100 000, le nombre de cas a chuté à son plus bas niveau depuis la mi-juillet 2020 pour atteindre 2,7 par 100 000 le 1<sup>er</sup> novembre 2021. Depuis, la moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens a augmenté jusqu'à 12,1 par 100 000 le 22 novembre 2021. Après la vague précédente qui a sévi à l'été 2021, l'indice de sévérité a été maintenu à 48 jusqu'au 14 septembre 2021. Au 20 novembre 2021, l'indice de sévérité est de 41. Au 21 novembre 2021, le pourcentage de la population espagnole ayant reçu au moins une dose de vaccin atteignait 82 % alors qu'il se situait à 80 % pour les gens ayant été pleinement vaccinés, soit des pourcentages un peu plus élevés que ceux du Canada.

**Figure 8. Couverture vaccinale dans certains pays.**



Source des données : Université d'Oxford Our World in Data. Document consulté le : 23 novembre 2021. Disponible à l'adresse suivante : <https://ourworldindata.org/coronavirus>.

La courbe épidémique des *États-Unis* ressemblait à celle du Royaume-Uni. Depuis la mi-septembre 2021 cependant, la courbe a divergé. Le nombre de cas a augmenté ou plafonné au Royaume-Uni, tandis qu'il a diminué au cours de cette période aux États-Unis. Le nombre de cas a augmenté au cours des 11 derniers jours aux États-Unis, mais il demeure nettement inférieur à celui du Royaume-Uni. Pendant toute la période où les tendances dans les nombres de cas ont divergé, la couverture vaccinale globale a été plus élevée aux États-Unis qu'au Royaume-Uni, alors que l'indice de sévérité était plus élevé aux États-Unis. Ainsi, aux États-Unis, pendant la

quatrième vague, la moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens a atteint un sommet le 13 septembre 2021 avec 51,7 par 100 000. Depuis, elle a chuté jusqu'à 21 ou 22 cas par 100 000 entre la fin d'octobre et le début de novembre 2021. La valeur de l'indice de sévérité de 56, qui est entrée en vigueur lorsque le sommet a été atteint le 13 septembre 2021, a été maintenue pendant environ un mois et demi avant d'être réduite à deux reprises, d'abord à 50 le 27 octobre 2021, puis à 45, le 8 novembre 2021, sa valeur actuelle au 16 novembre 2021 (selon les données les plus récentes disponibles). Aux États-Unis, 69 % de la population a reçu au moins une dose du vaccin et 58 % des gens sont entièrement vaccinés (deux chiffres très inférieurs à ceux du Canada) en date du 22 novembre 2021.

### Au Canada

Les provinces et les territoires inclus dans cette figure ne représentent que les régions ayant  $\geq 2$  cas comme moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens par 100 000 habitants ces dernières semaines.

#### Modification aux restrictions sur les voyages à l'étranger

Depuis le 29 octobre 2021, l'avis aux aviateurs (NOTAM) pour le Maroc a été levé, ce qui a permis la reprise des vols directs vers le Canada. À compter de cette date, les voyageurs entièrement vaccinés de tous les pays peuvent se rendre au Canada s'ils ont obtenu un résultat négatif au test de dépistage PCR dans les 72 heures précédant le voyage. Ce changement a réduit de 2,7 l'indice de sévérité dans toutes les provinces et tous les territoires.

En juillet 2021, soit avant la quatrième vague, la *Colombie-Britannique* avait déclaré son plus bas nombre de cas depuis août 2020 (c.-à-d. moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens inférieure à 1 par 100 000). Depuis la fin de septembre 2021, le nombre de cas a beaucoup diminué et, au 23 novembre 2021, la moyenne mobile hebdomadaire de cas s'établissait à 7,4 par 100 000. Ainsi, en novembre 2021, la moyenne mobile hebdomadaire de décès quotidiens a fluctué entre 0,08 et 0,16 par 100 000. La moyenne hebdomadaire de décès était de 0,08 par 100 000 le 23 novembre 2021. Le 15 novembre 2021, l'indice a donc été ramené à 54, soit sa valeur actuelle au 23 novembre 2021. Cette baisse de l'indice était attribuable à la levée des mesures ciblées dans certaines collectivités, y compris les restrictions sur les fermetures d'écoles et de lieux de travail, et le décret ordonnant de rester à domicile. En outre, en date du 23 novembre 2021, 79 % de la population était entièrement vaccinée (données non présentées, source : groupe de travail COVID-19 Canada Open Data).

En *Alberta*, après une hausse marquée depuis la mi-juillet 2021, la moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens a atteint un sommet à la fin de septembre avec 37,7 par 100 000. Le nombre de cas a depuis diminué, mais la baisse est moins rapide ces dernières semaines. Ainsi, au 23 novembre 2021, cette moyenne atteignait 8,4 par 100 000. En novembre 2021, le nombre de décès liés à la COVID-19 est passé de 0,20 par 100 000 le 1<sup>er</sup> novembre 2021 à 0,08 par 100 000 le 23 novembre 2021. L'indice de sévérité était de 47 le 23 novembre 2021 et il est à ce niveau depuis le 29 octobre 2021. En date du 23 novembre 2021, 71 % de la population était entièrement vaccinée, soit la troisième plus faible proportion au Canada (données non présentées) source : groupe de travail COVID-19 Canada Open Data).

La *Saskatchewan* a récemment connu l'une des plus importantes résurgences de COVID-19 au pays. À la mi-juillet 2021, le nombre de cas a commencé à augmenter rapidement jusqu'à atteindre une moyenne mobile hebdomadaire de 42,1 par 100 000 au 30 septembre 2021. Depuis le 12 octobre 2021, le nombre de cas a cependant diminué. Ainsi, au 23 novembre 2021, la moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens était de 10,6 par 100 000. Les décès ont, quant à eux, atteint un sommet le 6 octobre 2021 (moyenne mobile hebdomadaire de décès quotidiens de 0,58 par 100 000). Depuis, la moyenne mobile hebdomadaire de décès

quotidiens a fluctué entre 0,2 et 0,5 par 100 000. L'indice de sévérité était de 33 le 23 novembre 2021, ce qui en fait le plus bas au pays, et il est en place depuis le 29 octobre 2021. En date du 23 novembre 2021, 70 % de la population était entièrement vaccinée, soit la deuxième plus faible proportion au Canada (données non présentées, source : groupe de travail COVID-19 Canada Open Data).

Au *Manitoba*, au début d'août 2021, le nombre de cas déclarés était à son plus bas depuis septembre 2020 (soit 1,8 par 100 000 le 7 août 2021). On a vu une augmentation constante de la moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens depuis la mi-août 2021, ce qui a poussé la moyenne hebdomadaire mobile de cas à atteindre 11,4 par 100 000 le 23 novembre 2021. Ainsi, le 23 novembre 2021, la moyenne mobile hebdomadaire de décès quotidiens était de 0,23 par 100 000. L'indice de sévérité était de 72 le 23 novembre 2021 et il est à ce niveau depuis le 29 octobre 2021. Le Manitoba est la province dans laquelle les mesures de santé publique sont les plus strictes au pays. En outre, en date du 23 novembre 2021, 74 % de la population était entièrement vaccinée (données non présentées, source : groupe de travail COVID-19 Canada Open Data).

En *Ontario*, depuis le sommet de la troisième vague atteint en avril 2021, le nombre de cas a fluctué. Ainsi, les cas ont augmenté de façon constante en août 2021 pour finalement atteindre un sommet le 5 septembre 2021, avec une moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens de 5,2 par 100 000. Au cours des trois dernières semaines cependant, le nombre de cas a augmenté. Ainsi, au 23 novembre 2021, cette moyenne atteignait 4,6 par 100 000. En novembre 2021, le nombre de décès liés à la COVID-19 a été stable avec une moyenne mobile hebdomadaire de décès de 0,03 par 100 000 au 23 novembre 2021. L'indice de sévérité était de 42 le 23 novembre 2021 et il est à ce niveau depuis le 29 octobre 2021. En outre, en date du 23 novembre 2021, 77 % de la population était entièrement vaccinée (données non présentées, source : groupe de travail COVID-19 Canada Open Data).

Au *Québec*, après le sommet de la troisième vague atteint le 14 avril 2021 avec une moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens de 18,8 par 100 000, le nombre de cas a baissé jusqu'à 0,48 par 100 000 le 21 juillet 2021. La moyenne mobile hebdomadaire de cas a ensuite augmenté pour culminer à la mi-septembre (9,2 par 100 000), pour ensuite fluctuer entre 4,8 et 8,5 par 100 000. L'incidence augmente depuis le début de novembre 2021, ce qui a poussé la moyenne mobile hebdomadaire de cas à atteindre 8,5 par 100 000 le 23 novembre 2021. La moyenne hebdomadaire de décès était de 0,03 par 100 000 le 23 novembre 2021. L'indice de sévérité était de 69 le 23 novembre 2021, une valeur en place depuis le 29 octobre 2021. En outre, en date du 23 novembre 2021, 77 % de la population était entièrement vaccinée (données non présentées, source : groupe de travail COVID-19 Canada Open Data).

Le *Nouveau-Brunswick* a vu une forte résurgence dans le nombre de cas au cours des derniers mois. Les cas ont commencé à augmenter au début d'août 2021 pour atteindre un sommet le 14 octobre 2021 (moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens de 13,3 par 100 000). Depuis le 14 octobre 2021, le nombre de cas a commencé à diminuer pour atteindre un creux de 5,2 par 100 000 le 31 octobre 2021. On a toutefois vu une augmentation récente du nombre de cas, ce qui a poussé la moyenne mobile hebdomadaire de cas à atteindre 9,9 par 100 000 le 23 novembre 2021. Au cours du dernier mois, le nombre de décès liés à la COVID-19 a diminué, ce qui a donné, le 23 novembre 2021, une moyenne hebdomadaire mobile de décès de 0,02 par 100 000. L'indice de sévérité a fluctué au cours du dernier mois entre 47 et 57 et se trouvait à 47 le 23 novembre 2021. Cette diminution est attribuable à la levée de mesures ciblées dans certaines collectivités, y compris des restrictions sur les rassemblements et les déplacements dans la province. En date du 23 novembre 2021, 78 % de la population était vaccinée (données non présentées, source : groupe de travail COVID-19 Canada Open Data).

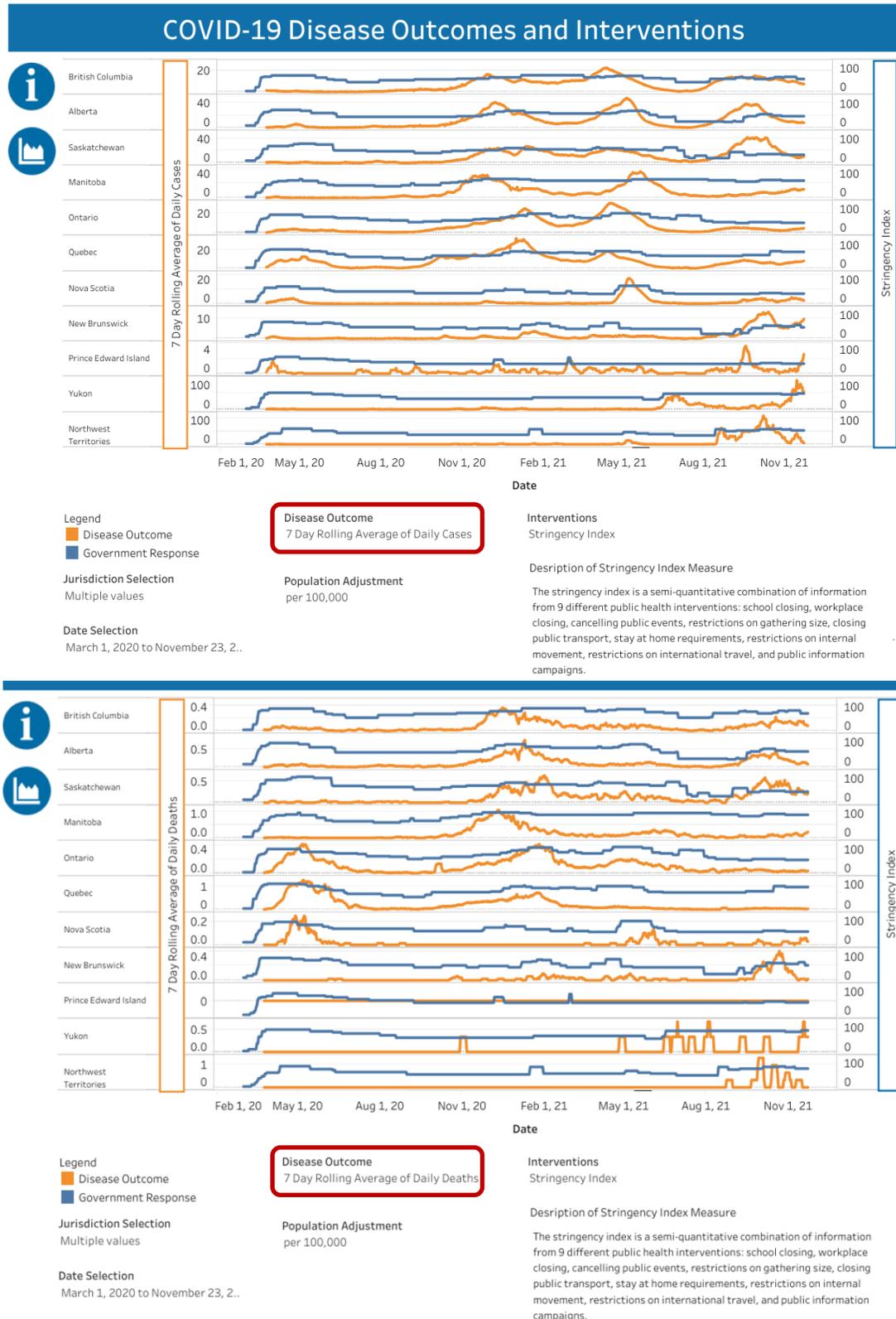
Le nombre de cas a atteint un sommet en *Nouvelle-Écosse* le 9 mai 2021, avec une moyenne mobile hebdomadaire de 17,6 par 100 000. Au cours du dernier mois, le nombre de cas a fluctué avec une moyenne mobile hebdomadaire variant entre 1,1 et 4,3 par 100 000. Ainsi, au 23 novembre 2021, cette moyenne atteignait 2,3 par 100 000. La moyenne hebdomadaire de décès était de 0,03 par 100 000 le 23 novembre 2021. L'indice de sévérité était de 42 le 23 novembre 2021, et ce, depuis le 29 octobre 2021. En date du 23 novembre 2021, 81 % de la population était entièrement vaccinée, soit la troisième plus forte proportion au pays (données non présentées, source : groupe de travail COVID-19 Canada Open Data).

À l'*Île-du-Prince-Édouard*, le nombre de cas a atteint un sommet le 18 septembre 2021 avec une moyenne mobile hebdomadaire de 3,6 par 100 000. Au cours du dernier mois, le nombre de cas a fluctué avec une moyenne mobile hebdomadaire de 0 à 2,5 par 100 000, mais ce nombre a augmenté ces deux dernières semaines. Ainsi, au 23 novembre 2021, cette moyenne atteignait 2,5 par 100 000. À ce jour, aucun décès lié à la COVID-19 n'a été déclaré dans l'Île-du-Prince-Édouard. L'indice de sévérité était de 42 le 23 novembre 2021 et il est à ce niveau depuis le 29 octobre 2021. En date du 23 novembre 2021, 83 % de la population était entièrement vaccinée, soit la plus forte proportion au Canada (données non présentées, source : groupe de travail COVID-19 Canada Open Data).

Le nombre de cas a globalement augmenté au *Yukon* depuis la mi-septembre 2021, et la plus forte moyenne hebdomadaire mobile de cas a été atteinte le 15 novembre 2021 (89,5 par 100 000). Ainsi, au 23 novembre 2021, cette moyenne atteignait 54,9 par 100 000. Il s'agit de la moyenne hebdomadaire mobile la plus élevée au pays à l'heure actuelle. La moyenne hebdomadaire de décès était de 0,34 par 100 000 le 23 novembre 2021. L'indice de sévérité de 66 le 23 novembre 2021 est en place depuis le 16 novembre 2021, en hausse par rapport à sa valeur précédente de 62. Cette augmentation de l'indice est attribuable à l'escalade des restrictions liées aux événements et aux rassemblements publics. Au 23 novembre 2021, 80 % de la population était entièrement vaccinée (données non présentées, source : groupe de travail COVID-19 Canada Open Data).

Les *Territoires du Nord-Ouest* ont connu une augmentation importante du nombre de cas depuis la fin d'août 2021. La moyenne mobile hebdomadaire des cas est passée de 1,0 par 100 000 le 15 août 2021 à 111,5 par 100 000 le 8 octobre 2021. Le nombre de cas a ensuite diminué pour atteindre 4,8 par 100 000 le 8 novembre 2021, et depuis, il a fluctué. Ainsi, au 23 novembre 2021, cette moyenne atteignait 5,1 par 100 000. La moyenne hebdomadaire de décès était de 0 par 100 000 le 23 novembre 2021. À mesure que le nombre de cas augmentait en août 2021, des mesures de santé publique ont été mises en œuvre dans des collectivités ciblées, y compris des fermetures d'écoles et de lieux de travail, l'annulation de certains événements publics, des restrictions sur les rassemblements et à propos des déplacements dans le territoire. L'indice de sévérité a augmenté, passant de 38 le 14 août 2021 à 64 le 15 août 2021. Les restrictions ont cependant varié depuis cette date, selon l'évolution de l'épidémie dans les communautés touchées. L'indice de sévérité était de 59 le 23 novembre 2021 et il est à ce niveau depuis le 9 novembre 2021. En outre, en date du 23 novembre 2021, 80 % de la population était entièrement vaccinée (données non présentées, source : groupe de travail COVID-19 Canada Open Data).

**Figure 9. Moyenne mobile hebdomadaire de cas quotidiens (en haut) et de décès (en bas) par province associés à la COVID-19 dans la population par 100 000 habitants et données sur le confinement et sur les interventions de santé.**



## 4 MODÉLISATION DYNAMIQUE

### 4.1 MODÉLISATION BASÉE SUR LES AGENTS : ÉTUDE DE L'EFFET COMBINÉ DE LA BAISSÉ DE L'IMMUNITÉ, DE L'ADMINISTRATION DES DOSES DE RAPPEL ET DE LA VACCINATION DES ENFANTS (DE 5 À 11 ANS) SUR LA TRAJECTOIRE À LONG TERME DE L'ÉPIDÉMIE DE SRAS-COV-2 AU CANADA

#### Points clés

- Cette étude a examiné l'incidence de la baisse de l'immunité combinée à une seule série de doses de rappel chez les adultes (automne 2021) et sans ces doses de rappel, ainsi qu'avec la vaccination du groupe des 5 à 11 ans (fin 2021) et sans cette vaccination.
- La vaccination du groupe des 5 à 11 ans, combinée avec les doses de rappel pour les adultes, a permis de réduire le nombre de cas pour qu'il reste bas en 2022. Comme on supposait que l'immunité conférée par les doses de rappel diminuait également, on a vu une résurgence à la fin de 2022 ou en 2023. Plus la proportion de la population qui a reçu des doses de rappel était élevée, plus la résurgence est survenue plus tard en 2022-2023.
- Si l'immunité après la vaccination, et après l'administration des doses de rappel, diminue de la façon paramétrée dans le modèle, des rappels annuels pourront être nécessaires.
- Il faut donc comprendre la dynamique de la baisse de l'immunité après la vaccination, de l'administration des doses de rappel et de l'infection survenue naturellement, ainsi que l'incidence sur la transmission du virus et la protection contre les conséquences graves, pour soutenir une modélisation plus poussée.

#### Contexte

La modélisation basée sur les agents de l'ASPC a été utilisée pour examiner l'effet combiné de la baisse de l'immunité, de l'administration d'une dose de rappel unique à des proportions variables de la population canadienne âgée de 18 ans et plus et de la vaccination du groupe des 5 à 11 ans. La vaccination des 5 à 11 ans a été approuvée par Santé Canada le 19 novembre 2021 et appuyée par le Comité consultatif national de l'immunisation (CCNI) [1]. Le modèle a examiné les projections plus loin dans l'avenir (de 2022 à 2024) afin d'évaluer l'impact potentiel à long terme d'une seule dose de rappel avec et sans vaccination du groupe des 5 à 11 ans.

## Méthodologie

Les détails sur la méthodologie MBA ont déjà été publiés [2-4]. Vous trouverez plus de détails à cet égard dans l'annexe du présent rapport.

### Vaccination

Dans la modélisation, le déploiement de la vaccination est mis en œuvre en fonction du taux de vaccination observé chez les 12 ans et plus, tandis que les scénarios d'approvisionnement en vaccins fournis par le Centre de préparation à la vaccination, et le déploiement des vaccins par ordre de priorité, comme l'a recommandé le Comité consultatif national de l'immunisation (CCNI) (figure A-3, annexe), sont les éléments qui ont orienté le déploiement des vaccins dans le groupe des 5 à 11 ans et des doses de rappel (voir ci-dessous).

Dans la modélisation, les personnes sont choisies pour être vaccinées si elles (i) sont âgées de 12 ans et plus (dans les scénarios sans vaccination des enfants) ou de 5 ans et plus (dans les scénarios avec vaccination des enfants), (ii) ne présentent pas de symptômes d'infection (bien que les personnes qui sont guéries de l'infection deviennent admissibles à la vaccination), et (iii) consentent à être vaccinées selon un niveau d'acceptation du vaccin selon l'âge (tableau 1). La volonté de vacciner les enfants (de 5 à 11 ans) et les adolescents (de 12 à 17 ans) dépend de l'acceptation du vaccin dans les ménages, c.-à-d. que la probabilité qu'un enfant ou un adolescent se fasse vacciner n'est incluse que si au moins un adulte dans le ménage est disposé à se faire vacciner. Les parents d'enfants sont légèrement moins enclins à accepter la vaccination pour leurs enfants que les parents d'adolescents (tableau 1). Les données sur l'acceptation vaccinale sont tirées du rapport du Centre canadien d'immunisation du 18 novembre 2021, qui contient des données sur la vaccination jusqu'au 13 novembre 2021 inclusivement [6]. On prévoit un niveau d'acceptation vaccinale variant entre 1 % et 4,5 % pour les groupes d'âge inférieurs à 70 ans, puisque ces groupes continuent actuellement de recevoir activement le vaccin.

**Tableau 1. Acceptation vaccinale, selon l'âge.**

Groupe d'âge	Couverture modélisée après la première dose	Couverture réelle après la première dose [6]	Couverture modélisée après la deuxième dose	Données sur la couverture réelle après la deuxième dose [6]
5 à 11 ans (enfants)	80 %	s.o.	74,4 %	s.o.
12 à 17 ans (adolescents)	90 %	87 %	85,5 %	82 %
18 à 29 ans	89 %	86 %	84,5 %	80 %
30 à 39 ans	88 %	85 %	83,6 %	81 %
40 à 49 ans	90 %	88 %	87,3 %	85 %
50 à 59 ans	92 %	90 %	90,1 %	87 %
60 à 69 ans	93 %	92 %	91,1 %	91 %
70 à 79 ans	94 %	94 %	93,1 %	93 %
80 ans et plus	95 %	95 %	94,1 %	93 %

Selon des données réelles [6], une forte proportion de personnes qui ont reçu une première dose sont disposées à recevoir la deuxième (tableau 1). On estime que la volonté de vacciner les enfants est légèrement inférieure à la volonté de vacciner les adolescents, d'après les données d'enquête [7]. La volonté modélisée globale de recevoir deux doses est de 76,4 % pour l'ensemble de la population et de 87,6 % pour la population admissible dans le

scénario sans vaccination des enfants. Ce taux atteint 82,0 % de la population totale et 86,5 % de la population admissible dans les scénarios avec vaccination des enfants. La vaccination des groupes de 12 ans et plus commence le 14 décembre 2020 et se termine à diverses dates selon le scénario (voir la section *Résultats*). Les personnes incluses dans la modélisation qui ont été vaccinées avant le 4 mars 2021 recevront une deuxième dose du vaccin 28 jours après la première, alors que les personnes qui ont été vaccinées le 4 mars 2021 ou après cette date recevront leur deuxième dose après un intervalle différé de quatre mois, comme l’a recommandé le CCNI [8, 9]. Dans les scénarios de vaccination du groupe des 5 à 11 ans, ces enfants sont vaccinés après un intervalle posologique de 56 jours, comme le recommande le CCNI [1]. On estime que le taux de vaccination pour le groupe des 5 à 11 ans augmentera graduellement, passant de 3 750 par jour à l’échelle nationale en novembre 2021, à 5 626 par jour en décembre 2021, puis à 11 250 par jour en janvier 2022 jusqu’à un maximum de 22 500 par jour d’ici février 2022. Selon les taux cibles estimés, la vaccination du groupe des 5 à 11 ans commence le 19 novembre 2021 et devrait se terminer environ le 23 juin 2022.

Dans le modèle, une dose de rappel unique est administrée à compter du 17 septembre 2021, soit un minimum de six mois après l’administration de la deuxième dose, conformément à la recommandation du CCNI [10]. Les doses de rappel sont administrées dans le même ordre de priorité que la première et la deuxième dose qui, dans la population en général, ont été administrées des personnes plus âgées aux plus jeunes. On présume que les doses de rappel sont imparfaites et assurent une protection contre l’infection, les symptômes, les hospitalisations et les décès jusqu’au niveau conféré par deux doses de vaccin. Lorsqu’une personne reçoit une dose de rappel, sa protection est réinitialisée à l’immunité totale conférée par deux doses et le temps avant la baisse de l’immunité est réinitialisé, ce qui lui donne une autre période de six mois pendant laquelle l’immunité se maintient, avant de commencer à baisser (voir la section *Baisse de l’immunité* dans l’annexe).

Les taux de vaccination pour la première dose, la deuxième dose et la dose de rappel sont modélisés selon le déploiement passé et actuel. Des projections sont aussi établies pour les mois à venir en fonction des taux de vaccination les plus récents [9]. De plus amples détails sur le déploiement, l’intervalle entre les doses et l’efficacité du vaccin par dose figurent dans l’annexe (voir la section *Vaccination*) Le tableau 2 présente un résumé de l’efficacité conditionnelle du vaccin contre l’infection, les symptômes cliniques, les hospitalisations et les décès.

**Tableau 2. Hypothèses relatives à l’efficacité du vaccin (EV) pour le vaccin modélisé contre l’infection, les symptômes cliniques, les hospitalisations et les décès après l’administration de la première et de la deuxième dose, ainsi que des doses de rappel, et l’EV conditionnelle correspondante par rapport aux souches sauvages et au variant Alpha.**

Paramètre	EV		EV conditionnelle (saisie dans le modèle)	
	Première dose	Deuxième dose/dose de rappel	Première dose	Deuxième dose/dose de rappel
Efficacité contre l’infection	60 %	92 %	60 %	92 %
Efficacité contre les symptômes	66 %	94 %	15 %	25 %
Efficacité contre les hospitalisations	80 %	96 %	41 %	33 %
Efficacité contre le décès	85 %	96 %	25 %	0 %

## Variants préoccupants (VP)

Le modèle présume qu’un premier variant préoccupant (VP) est apparu le 1<sup>er</sup> décembre 2020, introduit par des cas importés qui se sont mêlés à la population, et utilise la probabilité de 10 % qu’un cas importé infecté par un

VP arrive au pays (figure A-5 dans l'annexe). Ce premier VP est modélisé à partir du variant Alpha qui est 50 % plus transmissible et 40 % plus virulent que la souche de type sauvage, mais ne démontre aucune caractéristique d'échappement immunitaire (tableau 2) [11-13].

Au 9 mars 2021, les cas importés qui arrivent au pays pourraient être infectés par les VP Alpha ou Delta. Le nombre d'introductions du variant Delta est inversement proportionnel au nombre d'introductions du variant Alpha et reflète la situation mondiale dans laquelle le variant Delta est devenu dominant avec le temps. Le taux d'introduction possible du variant Delta représente 1,6 % de tous les VP introduits au pays le 9 mars 2021 et ce taux augmente de façon linéaire au fil du temps jusqu'il domine entièrement les souches préexistantes au 29 août 2021. On a présumé que le variant Delta était 100 % plus transmissible et 80 % plus virulent que la souche de type sauvage [11-13]. On a aussi présumé qu'il échappait partiellement à la protection offerte par les vaccins à l'ARNm. L'échappement immunitaire a donc été modélisé comme une réduction de 33 % de l'efficacité du vaccin contre l'infection après la première dose (avant administration de la deuxième dose) et une réduction de 6 % après la deuxième dose [11-13]. On a présumé que le vaccin continuait d'offrir une bonne protection contre les formes graves de la maladie associées au variant Delta [11-13] (tableau 3).

**Tableau 3. Caractéristiques des variants préoccupants comme elles ont été modélisées dans la MBA.**

Caractéristiques	Variants préoccupants	
	Alpha (B.1.1.7)	Delta (B.1.617.2)
Plus grande transmissibilité comparativement à la souche de type sauvage	50 %	100 %
Virulence accrue par rapport à la souche de type sauvage	40 %	80 %
Réduction de l'efficacité du vaccin contre l'infection	Réduction de 0 % de l'EV après la première ou la deuxième dose, c.-à-d. protection complète contre l'infection 14 jours et 7 jours après les première et deuxième doses du vaccin (60 % et 92 % respectivement, tableau 2)	Réduction de 33 % de l'EV après la première dose, c.-à-d. 40 % de protection contre l'infection 14 jours après la première dose du vaccin; 33 % de réduction de 60 % (tableau 2)  Réduction de 6 % de l'EV après la deuxième dose, c.-à-d. 86 % de protection contre l'infection 7 jours après la deuxième dose du vaccin; 6 % de réduction de 92 % (tableau 2)

## Scénarios modèles

Tous les scénarios présentés dans ce rapport sont fondés sur le scénario avec baisse de l'immunité plus lente présenté dans le rapport de modélisation précédent (4 novembre 2021). Dans ce scénario avec baisse de l'immunité, dans les six mois qui suivent le rétablissement complet après l'infection ou après l'acquisition d'une protection complète grâce à la deuxième dose ou à une dose de rappel, toutes les personnes verront une baisse linéaire de leur immunité au fil du temps. Le taux de diminution varie selon l'âge. Ainsi, les personnes de 65 ans et plus perdront toute leur immunité en **deux ans**, alors que celles qui ont moins de 65 ans perdront plutôt complètement leur immunité en **trois ans**. D'autres hypothèses relatives à la baisse de l'immunité sont présentées dans l'annexe (voir la section *Modèle de référence*). En outre, tous les scénarios sont modélisés à partir d'une base de référence étalonnée selon la réponse à l'épidémie historique et actuelle au Canada. On a supposé que la levée complète des mesures de santé publique aurait lieu le 1<sup>er</sup> mars 2022, ce qui inclut notamment un retour aux taux de contacts avant la COVID-19, la fin du port du masque ou du couvre-visage et l'élimination du passeport vaccinal sans réintroduction d'autre mesure pendant le reste de la période dans le modèle (voir l'annexe, section *Modèle de référence*).

Sept scénarios ont été examinés, soit un scénario dans lequel aucune dose de rappel n'est administrée et aucune vaccination n'est effectuée dans le groupe d'âge des 5 à 11 ans (ce scénario est contre-factuel, puisque ces deux mesures ont été approuvées au Canada [1, 10]), et six scénarios avec diverses combinaisons de vaccination et non-vaccination chez les enfants de 5 à 11 ans :

1. **Scénario contre-factuel** : Aucune dose de rappel et aucune vaccination du groupe d'âge des 5 à 11 ans. Deux doses sont administrées au groupe d'âge des 12 ans et plus.
2. **Dose de rappel aux 65 ans et plus** : Deux doses sont administrées au groupe d'âge des 12 ans et plus, et des doses de rappel sont administrées au groupe d'âge des 65 ans et plus.
3. **Dose de rappel aux 40 ans et plus** : Deux doses sont administrées au groupe d'âge des 12 ans et plus, et des doses de rappel sont administrées au groupe d'âge des 40 ans et plus.
4. **Dose de rappel aux 18 ans et plus** : Deux doses sont administrées au groupe d'âge des 12 ans et plus, et des doses de rappel sont administrées au groupe d'âge des 18 ans et plus.
5. **Dose de rappel aux 65 ans et plus et vaccination des enfants** : Deux doses sont administrées au groupe d'âge des 5 ans et plus, et des doses de rappel sont administrées au groupe d'âge des 65 ans et plus.
6. **Dose de rappel aux 40 ans et plus et vaccination des enfants** : Deux doses sont administrées au groupe d'âge des 5 ans et plus, et des doses de rappel sont administrées au groupe d'âge des 40 ans et plus.
7. **Dose de rappel aux 18 ans et plus et vaccination des enfants** : Deux doses sont administrées au groupe d'âge des 5 ans et plus, et des doses de rappel sont administrées au groupe d'âge des 18 ans et plus.

## Résultats

Les mesures clés des extrants du modèle sont extraites pour la période correspondant au début de la quatrième vague (1<sup>er</sup> août 2021) jusqu'à la fin de l'exécution du modèle (6 février 2025) et sont présentées dans le tableau 4. Les figures 1 à 5 présentent les infections cliniques quotidiennes, les infections asymptomatiques, la prévalence des hospitalisations, les admissions aux soins intensifs et les décès.

Comparativement au scénario contre-factuel, tous les scénarios dans lesquels une dose de rappel a été administrée ont entraîné de meilleurs résultats de santé, ce qui indique qu'au minimum, le déploiement des doses de rappel compensera pour un vaccin imparfait et une baisse de l'immunité (tableau 4). L'ajout de la vaccination

des 5 à 11 ans s'est traduit par de meilleurs résultats de santé dans le scénario Dose de rappel aux 65 ans et plus et Dose de rappel aux 18 ans et plus (tableau 4), mais pas dans le scénario Dose de rappel aux 40 ans et plus, peut-être en raison de la dynamique entre les enfants et les parents et nécessite donc un examen plus approfondi. Cependant, comme on suppose que l'immunité diminue (pour disparaître éventuellement complètement) après la vaccination et qu'une dose de rappel unique est administrée, l'épidémie ne se termine dans aucun des scénarios présentés et la comparaison de l'impact à long terme devrait donc être fondée sur l'impact à court terme, comme la résurgence pour une période déterminée et la résurgence retardée (figures 1 à 5).

Si la protection contre la première, la deuxième et les doses de rappel diminue aussi rapidement que prévu (une perte totale de l'immunité après de deux à trois ans), et si toutes les mesures de santé publique sont levées d'ici le 1<sup>er</sup> mars 2022 et qu'aucune mesure n'est rétablie après cette date, une résurgence des cas, des hospitalisations et des décès est inévitable (figures 1 à 5). La trajectoire de la résurgence prévue variera selon la proportion de la population qui reçoit une dose de rappel ponctuelle et si le groupe des 5 à 11 ans est vacciné ou non. Dans les scénarios sans vaccination des enfants de ce groupe d'âge, l'administration des doses de rappel au groupe des 65 ans et plus n'entraînait pas de différence importante par rapport au scénario contre-factuel qui a entraîné une résurgence plus forte en 2022 que toutes les vagues précédentes. Cependant, si l'on augmente la couverture des doses de rappel pour le groupe des 40 ans et plus et le groupe des 18 ans et plus, on peut voir que la résurgence devient une épidémie semblable aux vagues précédentes; bien que la suppression d'une résurgence en 2022 sera compensée par une résurgence plus importante par la suite (2023 et 2024). Les résultats suggèrent que si l'immunité s'affaiblit aussi rapidement que prévu, d'autres régimes avec dose de rappel régulière pourraient être nécessaires pour prévenir des épidémies pluriannuelles qui menaceront la capacité du système de santé.

La vaccination du groupe d'âge des 5 à 11 ans en plus de l'administration des doses de rappel ponctuelles offrait les meilleurs résultats à long terme (figures 1 à 5). Si l'on vaccine les personnes du groupe des 5 à 11 ans et que l'on administre des doses de rappel aux personnes de 65 ans et plus, la résurgence prévue en 2022 est reportée au début de 2023, mais la courbe de l'épidémie est plus prononcée. Le fait d'étendre la dose de rappel ponctuelle au groupe des 40 ans et plus a retardé la résurgence jusqu'au milieu de 2023, tandis que le déploiement de cette dose de rappel au groupe des 18 ans et plus a retardé la résurgence jusqu'en 2024. Bien que les hospitalisations et les admissions aux soins intensifs aient dépassé les capacités du système de santé dans ces scénarios, il ne faut pas oublier qu'il s'agit des pires scénarios parce qu'ils représentent ce qui pourrait se produire si les doses de rappel ne sont pas administrées de façon plus régulière et plus globale ou si les mesures de santé publique ne sont pas réinstaurées au besoin. La plus longue période avant la prochaine résurgence représente le temps, dans ces scénarios, qui pourrait être utilisé pour mettre en place un programme avec dose de rappel de routine pour éviter les résurgences pluriannuelles et submerger le système de santé pendant les années à venir.

## Conclusion

L'incidence à long terme d'une seule dose de rappel et de la vaccination du groupe des 5 à 11 ans de la population canadienne est complexe et est directement liée à la couverture vaccinale globale de la population, à la vitesse de vaccination des enfants au cours des prochains mois et de la rapidité du déploiement des doses de rappel, mais surtout de la vitesse et du degré à laquelle l'immunité diminue. Si les hypothèses modélisées sur la baisse de l'immunité et l'efficacité des vaccins sont exactes, d'autres doses de rappel (possiblement annuelles) seront nécessaires. Cependant, pour 2022, une dose de rappel du vaccin administrée à une plus grande proportion de la population en combinaison avec la vaccination des enfants pourrait retarder une résurgence pendant une longue période, et ainsi permettre de déployer d'autres campagnes de rappel ou de mettre en œuvre des mesures de santé publique pour contrôler la résurgence future. La mise au point et le déploiement de traitements efficaces

auraient un impact important sur la nécessité de devoir utiliser des doses de rappel à l'avenir. Une meilleure compréhension des taux et de l'étendue de la baisse de l'immunité, des répercussions sur la transmission du SRAS-CoV-2 et des conséquences graves, ainsi que des effets des doses de rappel, sera essentielle pour poursuivre la modélisation de la COVID-19.

**Tableau 4. Mesures clés des extrants du modèle extraites pour la période correspondant à la quatrième vague et aux vagues subséquentes (du 1<sup>er</sup> août 2021 à la fin de l'exécution du modèle) présentées sous forme de valeur médiane (avec des intervalles de crédibilité de 95 %) résumant 100 exécutions du modèle pour chaque scénario.**

Chiffres projetés à compter du 1 <sup>er</sup> août 2021	Scénario contre-factuel	Sans vaccination des enfants			Avec vaccination des enfants		
		Dose de rappel aux 65 ans et plus	Dose de rappel aux 40 ans et plus	Dose de rappel aux 18 ans et plus	Dose de rappel aux 65 ans et plus	Dose de rappel aux 40 ans et plus	Dose de rappel aux 18 ans et plus
Total des cas par 100 000	65 822 (43 299 à 73 610)	64 400 (44 878 à 71 518)	58 160 (51 907 à 63 187)	50 554 (18 034 à 64 042)	46 780 (42 933 à 67 200)	53 468 (43 967 à 58 955)	48 534 (5 667 à 59 495)
Cas cliniques par 100 000	30 449 (18 800 à 35 326)	29 014 (18 818 à 33 487)	25 597 (22 243 à 28 585)	22 087 (7 580 à 28 741)	20 056 (18 185 à 31 552)	23 972 (18 665 à 27 092)	21 394 (2 340 à 27 323)
Cas asymptomatiques par 100 000	35 362 (24 499 à 38 284)	35 112 (26 036 à 37 909)	32 370 (29 740 à 34 729)	28 442 (10 454 à 34 948)	26 729 (24 648 à 35 611)	29 634 (24 738 à 31 997)	27 058 (3 252 à 32 172)
Hospitalisation pour soins actifs par 100 000	1 994 (1 093 à 2 343)	1 692 (944 à 2 002)	1 431 (1 157 à 1 687)	1 322 (306 à 1 829)	1 100 (973 à 2 032)	1 380 (993 à 1 673)	1 409 (126 à 1 882)
Admissions aux soins intensifs par 100 000	596 (304 à 709)	506 (275 à 592)	415 (338 à 489)	384 (80 à 549)	332 (279 à 613)	400 (281 à 504)	410 (33 à 545)
Décès par 100 000	680 (352 à 891)	496 (265 à 707)	396 (291 à 549)	382 (47 à 736)	328 (270 à 727)	390 (295 à 554)	524 (21 à 781)
Nombre d'infections dans les écoles par 100 000	8 555 (5 758 à 9 547)	8 503 (5 887 à 9 476)	8 622 (7 650 à 9 456)	7 903 (4 069 à 9 794)	4 968 (3 947 à 7 089)	6 282,5 (4 929 à 6 823)	6 192,5 (907 à 7 177)
Nombre d'infections sur le lieu de travail par 100 000	8 244 (5 170 à 9 230)	8 277,5 (5 227 à 9 096)	6 957,5 (5 976 à 7 546)	5 257,5 (1 364 à 7 253)	6 539 (6 123 à 9 645)	7 031,5 (5 434 à 7 972)	5 758,5 (389 à 7 345)
Nombre d'infections dans les lieux de rassemblement pour personnes d'âges mixtes par 100 000	16 204 (10 121 à 18 484)	15 630 (10 231 à 17 325)	13 918,5 (11 880 à 15 228)	11 406,5 (3 414 à 15 157)	11 643 (10 833 à 17 453)	13 725,5 (10 746 à 15 400)	11 748,5 (1 015 à 14 763)

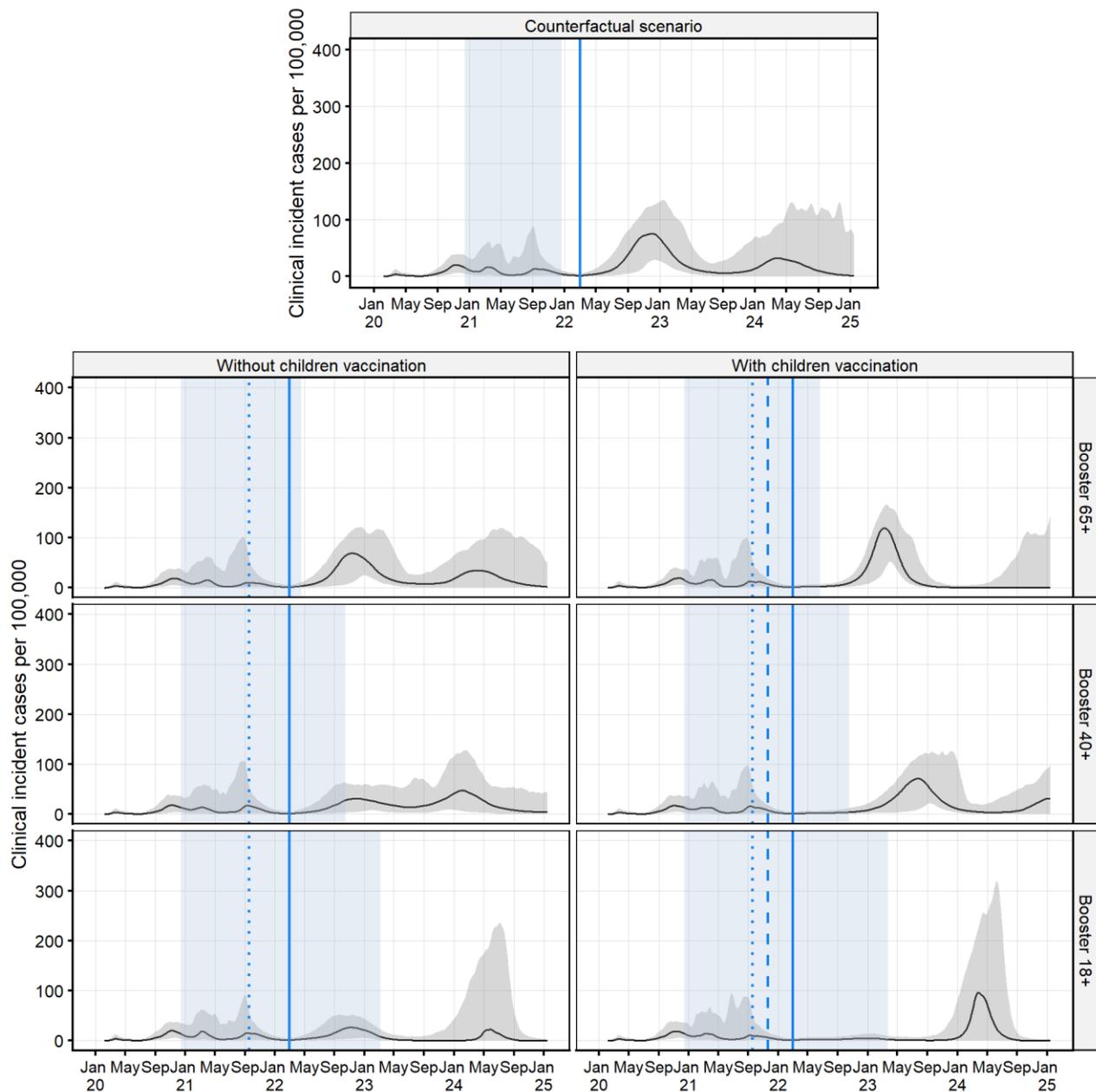
## Section 4 : Modélisation dynamique

Chiffres projetés à compter du 1 <sup>er</sup> août 2021	Scénario contre-factuel	Sans vaccination des enfants			Avec vaccination des enfants		
		Dose de rappel aux 65 ans et plus	Dose de rappel aux 40 ans et plus	Dose de rappel aux 18 ans et plus	Dose de rappel aux 65 ans et plus	Dose de rappel aux 40 ans et plus	Dose de rappel aux 18 ans et plus
Nombre d'infections à domicile par 100 000	32 480 (21 522 à 35 946)	31 475,5 (22 339 à 34 962)	28 192 (25 342 à 30 807)	24 601,5 (8 475 à 31 341)	23 160,5 (21 347 à 32 948)	26 370 (21 599 à 28 988)	24 248 (2 686 à 29 694)
Nombre d'infections cliniques par 100 000 (non vaccinées)	9 857,5 (7 446 à 11 111)	9 721,5 (7 459 à 11 038)	9 396,5 (8 788 à 10 535)	9 269,5 (4 444 à 10 641)	6 360 (5 369 à 7 809)	6 752,5 (5 704 à 7 482)	6 085,5 (1 174 à 7 321)
Nombre d'infections cliniques par 100 000 (partiellement non vaccinées)	771,5 (633 à 1 166)	788 (628 à 1 152)	771 (609 à 1 197)	697 (265 à 1 130)	851,5 (655 à 1 145)	895 (740 à 1 163)	781 (147 à 1 043)
Nombre d'infections cliniques par 100 000 (entièrement vaccinées)	19 406,5 (10 353 à 22 995)	18 218,5 (9 998 à 21 053)	15 094,5 (12 299 à 16 833)	11 388 (2 403 à 17 209)	12 775 (11 593 à 22 909)	15 949,5 (11 100 à 19 022)	13 922,5 (695 à 19 037)
Proportion de la population totale vaccinée (1 <sup>re</sup> dose)	78,9 (78,6 à 79,1)	78,8 (78,5 à 79)	78,8 (78,6 à 79,1)	78,8 (78,6 à 79,1)	84,8 (84,6 à 85,1)	84,9 (84,6 à 85,1)	84,9 (84,7 à 85)
Proportion de la population admissible vaccinée (1 <sup>re</sup> dose)	90,3 <sup>a</sup> (90,1 à 90,5)	89,5 <sup>b</sup> (89,3 à 89,7)	89,5 <sup>b</sup> (89,3 à 89,7)	89,5 <sup>b</sup> (89,3 à 89,6)			
Journée de fin de la vaccination — deuxième dose	22 déc. 2021	20 déc. 2021	20 déc. 2021	22 déc. 2021	22 juin 2022	23 juin 2022	26 juin 2022
Jour de fin de la vaccination — dose de rappel	s.o.	19 avril 2022	15 oct. 2022	8 mars 2023	18 avril 2022	18 octobre 2022	25 mars 2023

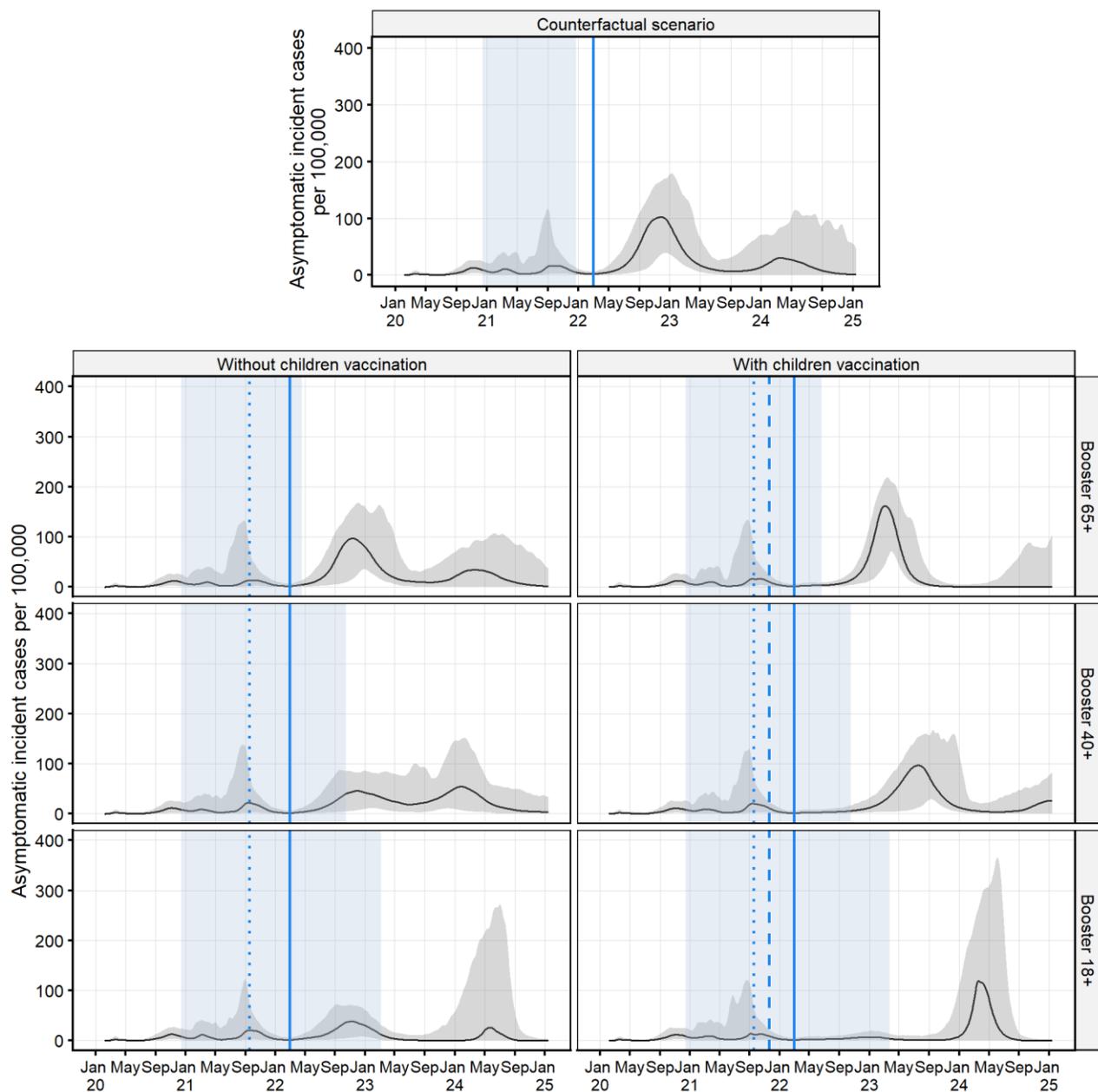
<sup>a</sup>La population admissible comprend les personnes âgées de 12 ans et plus

<sup>b</sup>La population admissible comprend les personnes âgées de 5 ans et plus

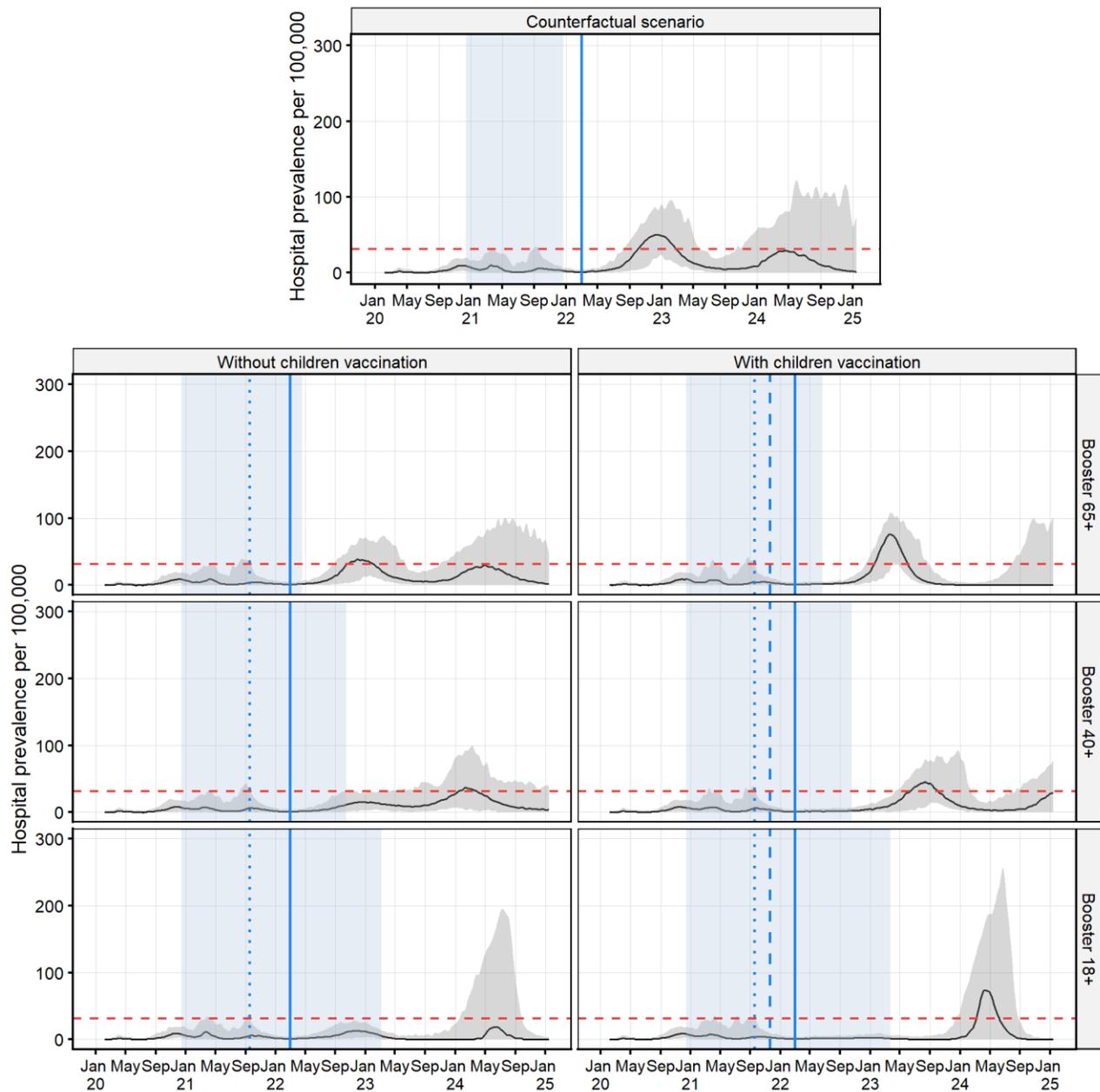
**Figure 1. Courbes épidémiques prévues montrant l'incidence clinique quotidienne par 100 000 personnes selon sept scénarios.** La ligne noire et la zone grisée représentent les intervalles médians lissés et les intervalles de crédibilité à 95 %, respectivement, tirés de 100 exécutions de la modélisation pour chaque scénario. La barre bleue pleine représente la période de déploiement de la vaccination qui commence le 14 décembre 2020 et se termine à diverses dates (voir le tableau 4). Les trois lignes verticales par ordre chronologique sont le premier jour de l'administration du rappel (ligne pointillée bleue, 17 septembre 2021), le premier jour de la vaccination du groupe d'âge des 5 à 11 ans (enfants) (ligne bleue en tirets, 19 novembre 2021 dans les scénarios avec vaccination des enfants) et le jour de la levée complète de toutes les mesures de santé publique (ligne bleue pleine, 1<sup>er</sup> mars 2022). La ligne verticale bleue représente la date à laquelle toutes les mesures de santé publique sont retirées (ligne bleue pleine, 1<sup>er</sup> mars 2022).



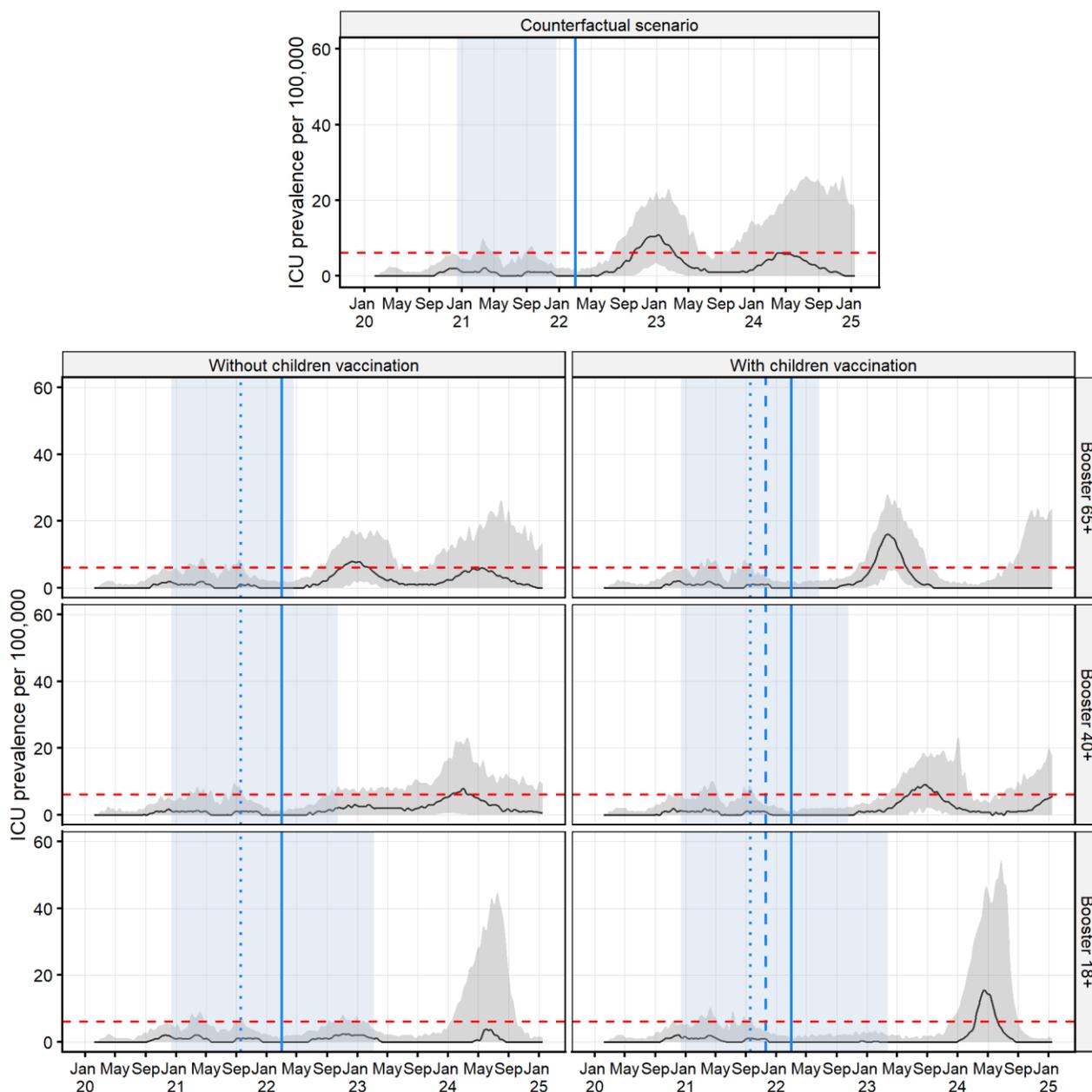
**Figure 2. Courbes épidémiques projetées montrant l'incidence asymptomatique quotidienne par 100 000 personnes selon sept scénarios.** La ligne noire et la zone grisée représentent les intervalles médians lissés et les intervalles de crédibilité à 95 %, respectivement, tirés de 100 exécutions de la modélisation pour chaque scénario. La barre bleue pleine représente la période de déploiement de la vaccination qui commence le 14 décembre 2020 et se termine à diverses dates (voir le tableau 4). Les trois lignes verticales par ordre chronologique sont le premier jour de l'administration du rappel (ligne pointillée bleue, 17 septembre 2021), le premier jour de la vaccination du groupe d'âge des 5 à 11 ans (enfants) (ligne bleue en tirets, 19 novembre 2021 dans les scénarios avec vaccination des enfants) et le jour de la levée complète de toutes les mesures de santé publique (ligne bleue pleine, 1<sup>er</sup> mars 2022). La ligne verticale bleue représente la date à laquelle toutes les mesures de santé publique sont retirées (ligne bleue pleine, 1<sup>er</sup> mars 2022).



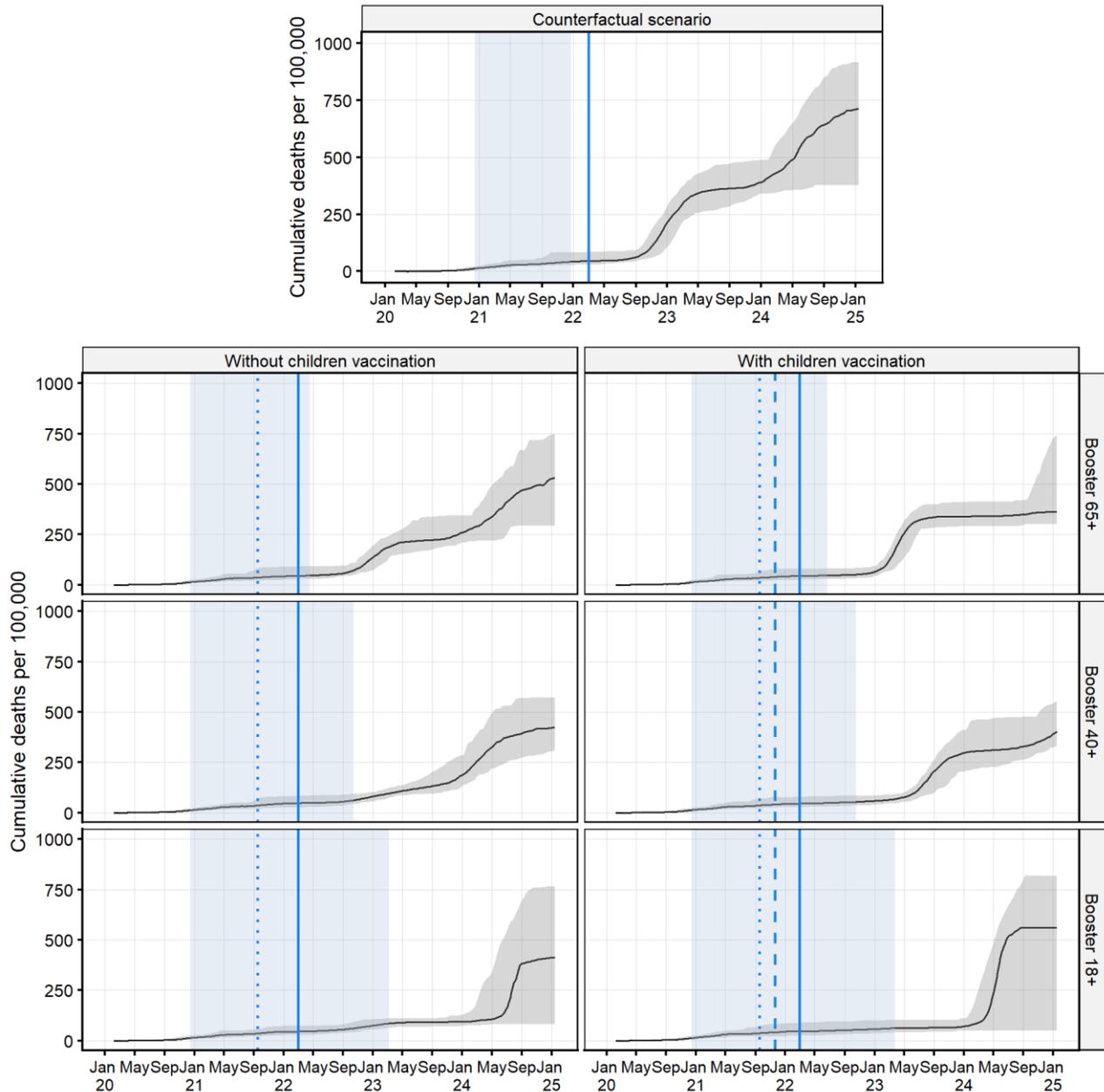
**Figure 3. Courbes épidémiques prévues montrant la prévalence quotidienne des hospitalisations par 100 000 personnes selon sept scénarios.** La ligne noire et la zone grisée représentent les intervalles médians lissés et les intervalles de crédibilité à 95 %, respectivement, tirés de 100 exécutions de la modélisation. La barre bleue pleine représente la période de déploiement de la vaccination qui commence le 14 décembre 2020 et se termine à diverses dates (voir le tableau 4). Les trois lignes verticales par ordre chronologique sont le premier jour de l'administration du rappel (ligne pointillée bleue, 17 septembre 2021), le premier jour de la vaccination du groupe d'âge des 5 à 11 ans (enfants) (ligne bleue en tirets, 19 novembre 2021 dans les scénarios avec vaccination des enfants) et le jour de la levée complète de toutes les mesures de santé publique (ligne bleue pleine, 1<sup>er</sup> mars 2022). La ligne verticale bleue représente la date à laquelle toutes les mesures de santé publique sont retirées (ligne bleue pleine, 1<sup>er</sup> mars 2022). La ligne horizontale en tirets rouges représente la limite de lits d'hôpitaux au Canada (31 lits d'hôpital par 100 000; mise à jour le 25 janvier 2021 à partir des données de Santé Canada).



**Figure 4. Courbes épidémiques prévues montrant la prévalence quotidienne aux soins intensifs par 100 000 personnes selon sept scénarios.** La ligne noire et la zone grisée représentent les intervalles médians lissés et les intervalles de crédibilité à 95 %, respectivement, tirés de 100 exécutions de la modélisation. La barre bleue pleine représente la période de déploiement de la vaccination qui commence le 14 décembre 2020 et se termine à diverses dates (voir le tableau 4). Les trois lignes verticales par ordre chronologique sont le premier jour de l'administration du rappel (ligne pointillée bleue, 17 septembre 2021), le premier jour de la vaccination du groupe d'âge des 5 à 11 ans (enfants) (ligne bleue en tirets, 19 novembre 2021 dans les scénarios avec vaccination des enfants) et le jour de la levée complète de toutes les mesures de santé publique (ligne bleue pleine, 1<sup>er</sup> mars 2022). La ligne verticale bleue représente la date à laquelle toutes les mesures de santé publique sont retirées (ligne bleue pleine, 1<sup>er</sup> mars 2022). La ligne horizontale en pointillés rouges représente la limite de lits en soins intensifs au Canada (6 lits par 100 000 personnes; mise à jour le 25 janvier 2021 à partir des données de Santé Canada).



**Figure 5. Nombre cumulé de décès prévu par 100 000 personnes selon sept scénarios.** La ligne noire et la zone grisée représentent les intervalles médians lissés et les intervalles de crédibilité à 95 %, respectivement, tirés de 100 exécutions de la modélisation. La barre bleue pleine représente la période de déploiement de la vaccination qui commence le 14 décembre 2020 et se termine à diverses dates (voir le tableau 4). Les trois lignes verticales par ordre chronologique sont le premier jour de l'administration du rappel (ligne pointillée bleue, 17 septembre 2021), le premier jour de la vaccination du groupe d'âge des 5 à 11 ans (enfants) (ligne bleue en tirets, 19 novembre 2021 dans les scénarios avec vaccination des enfants) et le jour de la levée complète de toutes les mesures de santé publique (ligne bleue pleine, 1<sup>er</sup> mars 2022). La ligne verticale bleue représente la date à laquelle toutes les mesures de santé publique sont retirées (ligne bleue pleine, 1<sup>er</sup> mars 2022).



## Références

1. Government of Canada. National Advisory Committee on Immunization (NACI) statement: Recommendation on the use of the Pfizer-BioNTech COVID-19 vaccine (10 mcg) in children 5 to 11 years of age. 2021; Available from: <https://www.canada.ca/en/public-health/services/immunization/national-advisory-committee-on-immunization-naci/recommendations-use-covid-19-vaccines/pfizer-biontech-10-mcg-children-5-11-years-age.html>.
2. Ng, V., et al., Projected effects of nonpharmaceutical public health interventions to prevent resurgence of SARS-CoV-2 transmission in Canada. *Canadian Medical Association Journal*, 2020. 192(37): p. E1053.
3. Ng, V., et al., Modelling the impact of shutdowns on resurging SARS-CoV-2 transmission in Canada. *Royal Society Open Science*, 2021. 8(5): p. 210233.
4. Gabriele-Rivet V, et al., Modelling the impact of age-stratified public health measures on SARS-CoV-2 transmission in Canada. . *Royal Society Open Science*, 2021. 8: 210834.
5. Government of Canada. Guidance on the prioritization of initial doses of COVID-19 vaccine(s). 2021; Available from: <https://www.canada.ca/en/public-health/services/immunization/national-advisory-committee-on-immunization-naci/guidance-prioritization-initial-doses-covid-19-vaccines.html>.
6. Canadian Immunization Committee (CIC), COVID-19 vaccination coverage in Canada. Weekly report to the Canadian Immunization Committee (CIC), November 18 2021 report. 2021.
7. MacDonald SE, Gagneur A, and COVImm study team, Parents' COVID-19 vaccination intentions for children: COVImm national survey preliminary results, collected Dec 10-24 2020. Unpublished report from the Applied immunization (Aimm) research program. 2021.
8. Government of Canada. NACI rapid response: Extended dose intervals for COVID-19 vaccines to optimize early vaccine rollout and population protection in Canada. 2021 [cited 2021 March 4, 2021]; Available from: <https://www.canada.ca/en/public-health/services/immunization/national-advisory-committee-on-immunization-naci/rapid-response-extended-dose-intervals-covid-19-vaccines-early-rollout-population-protection.html>.
9. COVID-19 Tracker Canada. COVID-19 Vaccination Tracker. 2021 [cited 2021 November 19, 2021]; Available from: <https://covid19tracker.ca/vaccinationtracker.html>.
10. Government of Canada. National Advisory Committee on Immunization statement: Interim guidance on booster COVID-19 vaccine doses in Canada. 2021; Available from: <https://www.canada.ca/en/public-health/services/immunization/national-advisory-committee-on-immunization-naci/recommendations-use-covid-19-vaccines/statement-guidance-booster-doses.html>.
11. Institut national de santé publique du Québec (INSPQ), CONNECT: étude des contacts sociaux des Québécois. 2020.
12. Brankston, G., et al., Quantifying Contact Patterns in Response to COVID-19 Public Health Measures in Canada. (in preparation). 2020.
13. Prem, K., A.R. Cook, and M. Jit, Projecting social contact matrices in 152 countries using contact surveys and demographic data. *PLOS Computational Biology*, 2017. 13(9): p. e 1005697.

## 4.2 MODÈLE SEIR AVEC COMPARTIMENTS : ÉTUDE DE L'INCIDENCE COMPARATIVE DE LA VACCINATION DES 5 À 11 ANS ET DES DOSES DE RAPPEL ALORS QUE LES MESURES DE SANTÉ PUBLIQUE SONT LEVÉES ET QUE L'IMMUNITÉ BAISSÉ

### Points clés

- Les simulations suggèrent que si les mesures de santé publique étaient complètement levées au début de 2022 sans aucune vaccination supplémentaire, que ce soit sous forme de doses de rappel ou pour le groupe des 5 à 11 ans, cela pourrait entraîner une résurgence de l'épidémie.
- Les scénarios suggèrent aussi que l'administration de doses de rappel dans les groupes de personnes plus âgées et la vaccination des enfants de 5 à 11 ans limiteraient le niveau de la résurgence des cas et des hospitalisations en 2022 et le garderaient bas, mais le recours à une approche prudente à l'égard de la levée des mesures de santé publique reste essentiel.

### Contexte

Au 19 novembre 2021, 78,2 % (88,99 % de la population admissible âgée de 12 ans et plus) des Canadiens ont reçu au moins une dose de vaccin contre la COVID-19 alors que 75,04 % (85,49 % des personnes admissibles) ont été entièrement vaccinées [1]. À l'échelle nationale, l'incidence des cas déclarés est d'un peu moins de 3 000 cas par jour (2 875 cas déclarés le 19 novembre 2021). À l'échelle nationale, la quatrième vague de l'épidémie nationale a atteint un sommet avec un peu moins de 5 000 cas par jour (environ la moitié de celui des deux sommets précédents) au début de septembre, avant de suivre une tendance à la baisse, de plafonner et d'augmenter depuis le début de novembre.

La situation actuelle soulève de nombreuses questions quant à la façon dont l'épidémie se déroulera. La couverture vaccinale actuelle et (avec l'approbation récente des vaccins pour les 5 à 11 ans) dans un avenir proche sera-t-elle suffisante pour maintenir l'épidémie majoritairement sous contrôle? L'immunité conférée par le vaccin commence-t-elle à diminuer au Canada? Comment la vaccination des enfants de 5 à 11 ans et les doses de rappel affecteront-elles les vagues successives? La question qui se pose demeure : quand sera-t-il possible de lever en toute sécurité les mesures de santé publique restantes, y compris l'exigence d'une preuve vaccinale? Bien que les preuves de la baisse de l'immunité continuent d'émerger dans les pays qui ont commencé à vacciner la population plus tôt, l'échéancier de la vaccination au Canada et l'intervalle plus long entre les doses qui offrent des niveaux de protection plus élevés signifient qu'il est encore trop tôt pour avoir une idée claire de l'état potentiel de la baisse de l'immunité au pays.

Tant l'immunité acquise après l'infection survenue que l'immunité conférée par le vaccin peuvent baisser. La diminution du nombre d'anticorps sériques est une réponse à laquelle on s'attend de la part du système immunitaire puisqu'une grande immunité protectrice découle souvent des lymphocytes B mémoires que l'on voit apparaître après une infection survenue naturellement ou la vaccination [6]. À ce jour, des études suggèrent que l'infection survenue naturellement assure une protection relativement longue [7]. On a cependant pu voir, dans

les données des pays qui ont commencé plus tôt à vacciner les gens en suivant les intervalles recommandés par le fabricant (trois ou quatre semaines pour les vaccins à ARN-messager), des signes de diminution des anticorps [8,9]. Les données du Royaume-Uni, qui a aussi utilisé des intervalles prolongés entre les doses, montrent une baisse moins importante de l'efficacité de la protection que les données tirées des études réalisées dans des pays qui ont suivi des intervalles de trois ou quatre semaines entre les doses [10,11]. On voit notamment dans les données du Royaume-Uni qu'environ 10 semaines après la vaccination complète, la protection contre l'infection commence à diminuer alors que la protection contre les maladies graves et les décès est majoritairement maintenue [10,11]. Les personnes âgées et celles qui présentent une vulnérabilité clinique sous-jacente pourraient être plus touchées [10,11]. Les personnes plus âgées et plus vulnérables peuvent ainsi avoir une réponse immunitaire initiale plus faible, ce qui la fait tomber plus rapidement sous le niveau de protection que ce que l'on peut voir chez les personnes plus jeunes et immunocompétentes. L'interprétation des données sur la baisse de l'immunité dans le contexte canadien demeure complexe à l'heure actuelle puisque le Canada a suivi un intervalle de dosage prolongé pouvant atteindre quatre mois entre les doses pour maximiser la couverture de la première dose et la protection contre les maladies graves dans la population [12]. Les études canadiennes sur la baisse potentielle de l'immunité conférée par le vaccin effectuées jusqu'à maintenant pourraient avoir été réalisées trop tôt après l'administration de la deuxième dose pour pouvoir détecter les signaux d'une baisse importante de l'immunité dans la population [15].

Ce rapport résume les simulations effectuées pour examiner l'incidence potentielle de la levée des mesures de santé publique, la vaccination du groupe des 5 à 11 ans, et l'administration des doses de rappel au groupe des 60 ans et plus en fonction des scénarios de baisse de l'immunité et de levée des mesures de santé publique.

## Méthodologie

Cette étude a utilisé une version mise à jour du modèle SEIR structuré selon l'âge de l'ASPC [13]. Le modèle (version 22) été adapté aux données de surveillance nationales spécifiques à l'âge portant sur les cas confirmés et l'incidence des hospitalisations jusqu'au 15 octobre 2021. L'ajustement des valeurs des paramètres jusqu'au 15 octobre 2021 n'incluait cependant pas la baisse de l'immunité. Un nouvel étalonnage pourrait être justifié dans un proche avenir pour mieux adapter le modèle aux données de la quatrième vague si l'on suppose que certains niveaux de baisse de l'immunité se produisent.

## Plan de l'étude

Deux scénarios, l'un comprenant la vaccination du groupe des 5 à 11 ans et l'autre avec l'administration de doses de rappel au groupe des 60 ans et plus six mois après l'administration de la deuxième dose, ont été utilisés pour examiner l'incidence potentielle de la baisse de l'immunité conférée par la vaccination alors que les mesures de santé publique sont levées. Ces deux scénarios sont également comparés à un scénario de référence contre-factuel dans lequel il y a une baisse, mais où ni les doses de rappel ni la vaccination des enfants de 5 à 11 ans ne sont utilisées pour évaluer l'incidence de ces deux mesures.

Pour le scénario de vaccination du groupe d'âge des 5 à 11 ans, la vaccination commence le 1<sup>er</sup> janvier 2022 à un taux d'environ 53 280 doses par jour (à l'échelle nationale) jusqu'à ce que 60 % de cette population soit vaccinée, ce qui veut dire qu'il faudra environ six semaines et demie pour terminer cette phase de la vaccination. Une deuxième dose est ensuite administrée à ce même groupe huit semaines après la première (au même rythme que la première) afin que la vaccination puisse se terminer au début d'avril 2022. On suppose une réduction de 2 % de l'acceptation du vaccin pour la deuxième dose. Comme pour les hypothèses de vaccination antérieures, on

suppose que l'efficacité maximale de la première dose est atteinte 14 jours après avoir reçu cette dose et que l'efficacité maximale de la deuxième dose est atteinte 7 jours après l'administration de la deuxième dose.

Pour le scénario avec doses de rappel, les troisièmes doses commencent à être données six mois après l'administration de la deuxième dose pour le sous-groupe des personnes de 60 ans et plus qui ont reçu leurs deux doses à trois semaines d'intervalle. Cette population représente moins de 5 % de la population canadienne totale dans les simulations actuelles. La population restante de personnes âgées de 60 ans et plus commence à recevoir la dose de rappel à compter du 15 décembre 2021 à un taux d'environ 56 000 doses par jour. Dans les scénarios actuels, l'administration des doses de rappel à la population admissible de 60 ans et plus se termine au début de mars 2022. Pour la dose de rappel, on suppose une réduction de 2 % de l'acceptation du vaccin par rapport aux niveaux d'acceptation de la deuxième dose. L'efficacité de la dose de rappel devrait commencer le jour même où cette dose est administrée.

Les limitations actuelles pour les contacts ont été fixées à environ 50 % des taux de contacts quotidiens avant la COVID-19, conformément aux niveaux de sévérité actuellement en vigueur dans l'ensemble du Canada (Oxford COVID-19 Government Response Tracker) [13]. Une variance supplémentaire par groupe d'âge représentant conceptuellement le comportement propre à l'âge et le respect des mesures de santé publique a été incluse pour ajuster le modèle aux données observées. Pour les deux scénarios, la levée des mesures de santé publique a été modélisée comme la levée des contraintes actuelles jusqu'à un niveau correspondant à 80 % du niveau pré-COVID-19 à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2022, puis à 100 % à compter du 1<sup>er</sup> mars 2022.

La baisse de l'immunité conférée par le vaccin est incluse dans toutes les simulations. L'immunité conférée par le vaccin commence à diminuer six mois après l'administration de la deuxième dose (les niveaux décroissants sont fondés sur les données du Royaume-Uni [11] et de plus amples détails sur les méthodes utilisées pour simuler la baisse de l'immunité figurent dans l'annexe). Dans toutes les simulations, une diminution de la transmissibilité au printemps et à l'été (du 15 avril 2022 au 1<sup>er</sup> septembre 2022) en raison des effets saisonniers (survie réduite du virus en été et plus grande probabilité de transmission lorsque les contacts s'effectuent de plus en plus à l'intérieur en automne) a été modélisée comme une réduction du coefficient de transmission à cette période (voir l'annexe pour plus de détails).

## Résultats

### Incidence des cas

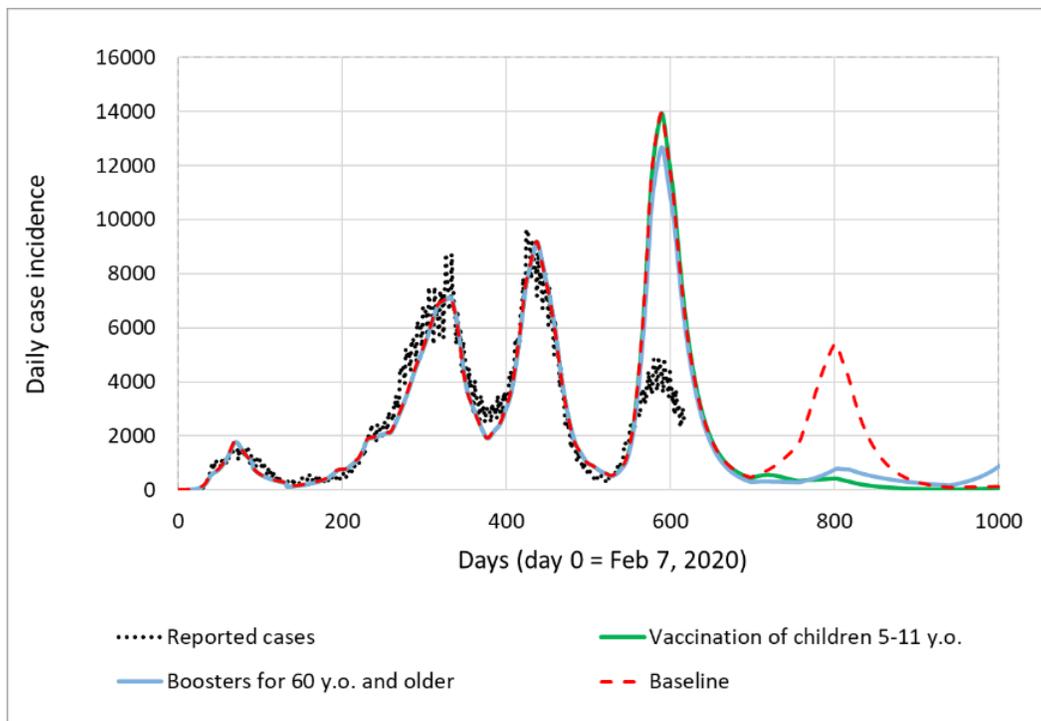
Dans les scénarios actuels, la quatrième vague atteint son sommet vers la fin de septembre et est en baisse par la suite. Étant donné que la vaccination des enfants et la majorité des doses de rappel ne sont administrées qu'après cette période, leur impact sur la quatrième vague est minime en raison de leur mise en œuvre tardive par rapport à la quatrième vague. Le niveau d'incidence relativement élevé du scénario de référence comparativement aux données observées suggère que la diminution de la protection contre la transmission dans les simulations actuelles pourrait être plus importante que ce qui se produit réellement au Canada ou que la diminution commence plus tard que prévu. Par conséquent, les niveaux d'immunité post-infection à la fin de la quatrième vague peuvent être surestimés dans le modèle, ce qui se traduit par une incidence supérieure à ce qui sera observé dans la vie réelle pour les doses de rappel et la vaccination des enfants dans les simulations effectuées après la quatrième vague.

L'administration de doses de rappel aux personnes âgées de 60 ans et plus et la vaccination des enfants de 5 à 11 ans ont eu une incidence importante sur la trajectoire de l'épidémie après la quatrième vague. L'administration de doses de rappel a eu la plus forte incidence au départ, bien que la situation s'inverse ensuite dans une certaine mesure au cours de la première semaine de mars 2022, après la levée complète des mesures de santé publique (figure 1).

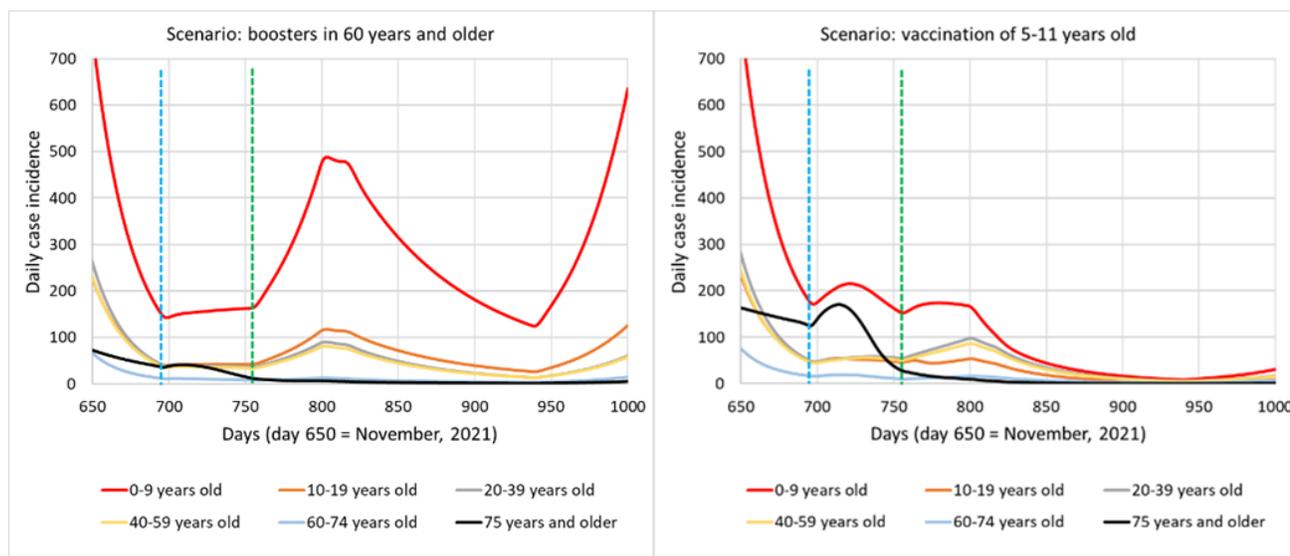
On voit une légère augmentation du nombre de cas au début de la cinquième vague dans le scénario qui inclut la vaccination du groupe d'âge des 5 à 11 ans. Cette hausse correspond à la levée des mesures de santé publique correspondant à 80 % des taux de contact avant la COVID-19 à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2022. L'augmentation du nombre de cas est rapidement maîtrisée compte tenu de la vaccination simultanée du groupe d'âge des 5 à 11 ans dans ce scénario.

Le scénario avec doses de rappel ne prévoit pas de hausse dans le nombre de cas au moment de la levée des mesures de santé publique à un niveau correspondant à 80 % des taux de contact avant la COVID-19, soit à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2022. Dans ce scénario, on voit une hausse du nombre de cas en mars 2022, alors que les mesures de santé publique seront levées jusqu'à atteindre 100 % des taux de contact avant la COVID-19 à compter du 1<sup>er</sup> mars 2022. Le scénario avec doses de rappel montre une augmentation du nombre de cas à l'automne 2022, ce qui correspond à la reprise des activités à l'intérieur à la fin de l'été et au risque accru de transmission associé à ce contexte. Dans ce scénario avec doses de rappel, l'augmentation du nombre de cas à l'automne 2022 est principalement attribuable aux enfants (moins de 11 ans) puisqu'ils ne sont pas vaccinés dans ce scénario (figure 2).

**Figure 1. Incidence quotidienne des cas pour le scénario de référence avec administration de doses de rappel au groupe d'âge des 60 ans et plus et vaccination du groupe d'âge des 5 à 11 ans.** Tous les scénarios supposent une levée des mesures de santé publique à un niveau correspondant à 80 % des taux de contact avant la COVID-19 le 1<sup>er</sup> janvier 2022, suivi d'une levée complète des mesures (100 %) le 1<sup>er</sup> mars 2022. Seules les données sur les cas déclarés jusqu'au 15 octobre 2021 sont incluses dans la figure.



**Figure 2. Incidence quotidienne des cas par groupe d'âge pendant la période commençant le 18 novembre 2021, pour les scénarios avec administration de doses de rappel aux personnes âgées de 60 ans et plus et vaccination des 5 à 11 ans.** Tous les scénarios supposent que 80 % des mesures sont levées le 1<sup>er</sup> janvier 2022 (ligne verticale en tirets bleue) et que ce chiffre atteint 100 % le 1<sup>er</sup> mars 2022 (ligne verticale en tirets verte).



## Hospitalisations

Les tendances en ce qui concerne les admissions quotidiennes à l'hôpital étaient généralement semblables aux incidences quotidiennes dans l'ensemble actuel de simulations. Comme en ce qui concerne les résultats pour l'incidence des cas, la quatrième vague d'hospitalisations simulées est plus forte que ce qui est indiqué dans les données de surveillance, probablement en raison de la baisse de l'immunité dans ces scénarios qui se produit plus rapidement ou atteint un niveau inférieur à ce qui se produit réellement (figure 3). En ce qui concerne les cas, l'incidence des doses de rappel et de la vaccination des 5 à 11 ans sur les hospitalisations est minime pendant la quatrième vague en raison du moment de leur mise en œuvre (la majorité des doses de rappel seront administrées à compter du 15 décembre 2021, tandis que la vaccination des 5 à 11 ans commencera le 1<sup>er</sup> janvier 2022).

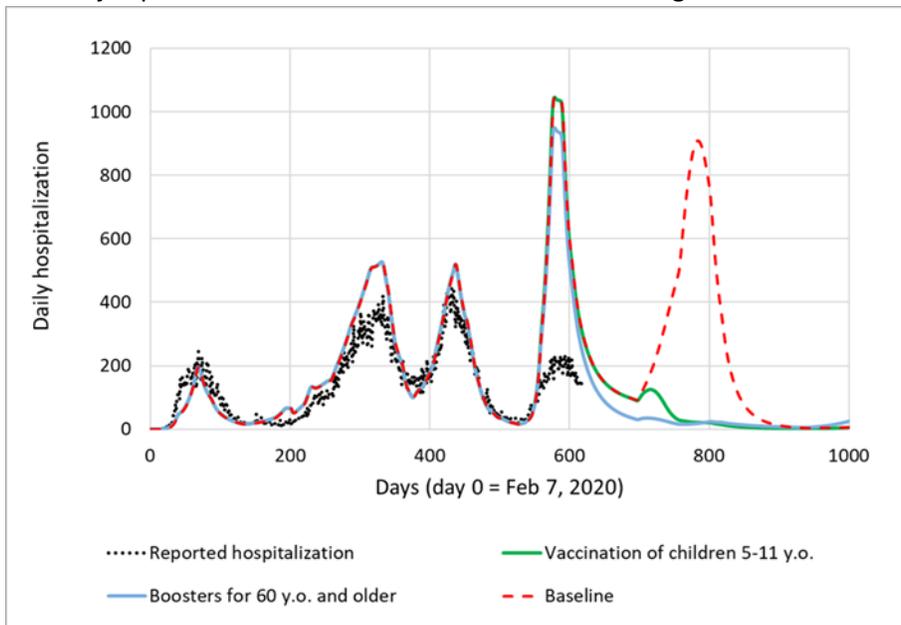
L'administration des doses de rappel aux personnes âgées 60 ans et plus ou la vaccination des enfants de 5 à 11 ans a eu une incidence importante sur la trajectoire des hospitalisations dans la période qui a suivi la quatrième vague alors que l'administration de doses de rappel a eu la plus forte incidence globale (figure 3). Les deux scénarios donnent des sommets d'hospitalisations inférieurs à l'incidence de pointe actuelle de la quatrième vague.

On observe une légère augmentation des admissions à l'hôpital dans le scénario avec vaccination des enfants à compter du début de 2022. Tout comme dans la tendance vue avec l'incidence des cas, le moment de l'augmentation des admissions à l'hôpital correspond à la levée jusqu'à un niveau correspondant à 80 % des taux de contact avant la COVID-19 à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2022. Cette augmentation du nombre d'hospitalisations se produit principalement dans le groupe d'âge le plus âgé et diminue à mesure que la vaccination des enfants progresse et que l'immunité globale de la population augmente (figure 4). Dans le scénario avec doses de rappel, les hospitalisations semblent augmenter légèrement dans le groupe des 75 ans et plus lorsque les mesures de santé publique sont levées le 1<sup>er</sup> janvier 2022, mais cette tendance est rapidement renversée, car l'administration des doses de rappel continue de progresser à compter du début de 2022. Une légère augmentation des admissions à l'hôpital dans le groupe des 0 à 9 ans est observée dans le scénario avec dose de rappel après la levée complète des mesures de santé publique le 1<sup>er</sup> mars 2022, car ce scénario n'inclut pas la vaccination des enfants. Ce groupe d'âge le plus jeune est également à l'origine de la résurgence dans le nombre de cas observée à l'automne 2022 dans le scénario avec dose de rappel lorsque la majorité des activités se déroulent à l'intérieur. Une période de simulation plus longue sera donc nécessaire pour évaluer si la résurgence dans le nombre de cas à l'automne 2022 entraînera une sixième vague de grande ampleur.

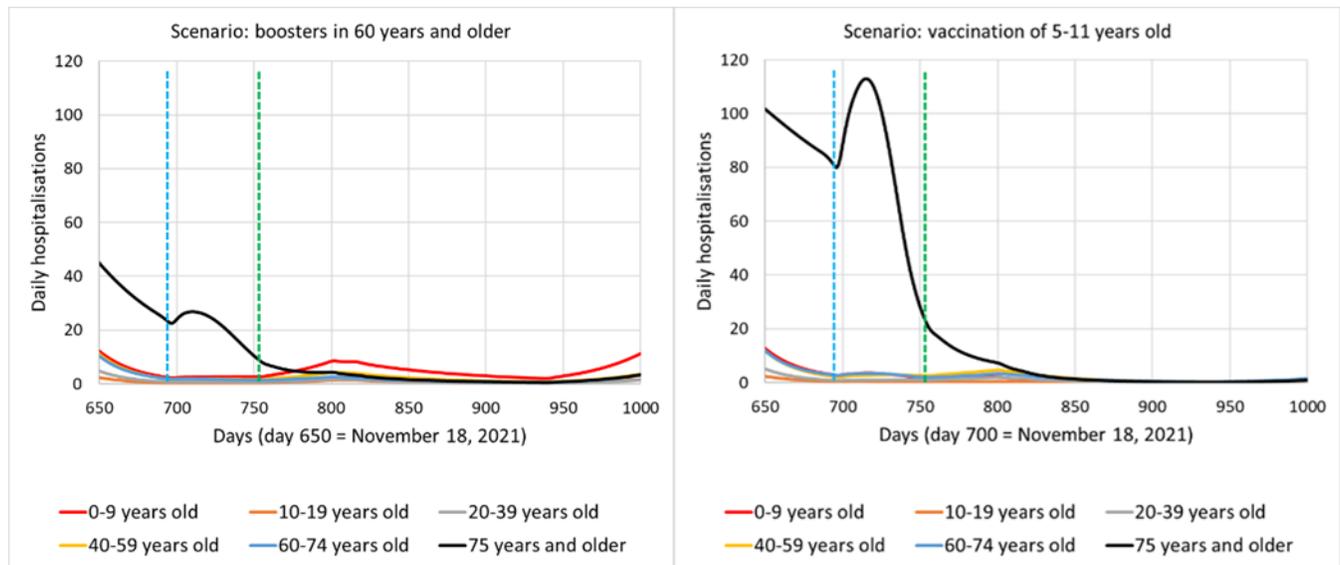
## Conclusion

Les simulations suggèrent que si les mesures de santé publique étaient complètement levées au début de 2022 sans aucune vaccination supplémentaire, que ce soit sous forme de doses de rappel ou pour le groupe des 5 à 11 ans, pourrait entraîner une résurgence de l'épidémie. Si des doses de rappel sont données au groupe des 60 ans et plus ou que les 5 à 11 ans se font vacciner, les simulations suggèrent que la levée de la plupart des mesures se traduira par une résurgence limitée de l'épidémie pendant une bonne partie de 2022.

**Figure 3. Nombre quotidien d'hospitalisations pour le scénario de référence avec administration de doses de rappel au groupe d'âge des 60 ans et plus et vaccination du groupe d'âge des 5 à 11 ans.** Tous les scénarios supposent une levée des mesures de santé publique à un niveau correspondant à 80 % des taux de contact avant la COVID-19 le 1<sup>er</sup> janvier 2022 et que niveau atteint 100 % au 1<sup>er</sup> mars 2022. Seules les données sur les hospitalisations déclarées jusqu'au 15 octobre 2021 sont incluses dans la figure.



**Figure 4. Nombre quotidien d'hospitalisations par groupe d'âge pendant la période commençant le 18 novembre 2021, pour les scénarios avec administration de doses de rappel aux personnes âgées de 60 ans et plus et avec vaccination des 5 à 11 ans.** Tous les scénarios supposent que 80 % des mesures sont levées le 1<sup>er</sup> janvier 2022 (ligne verticale en tirets bleue) et que ce chiffre atteint 100 % le 1<sup>er</sup> mars 2022 (ligne verticale en tirets verte).



## Limites

Les résultats présentés doivent être interprétés avec prudence et tenir compte des mises en garde suivantes :

- Il existe encore beaucoup d'incertitude quant au niveau et au comportement réels de la baisse de l'immunité et l'étalonnage utilisé a surestimé la trajectoire de l'épidémie pour la quatrième vague. Bien que cela puisse entraîner une surestimation de l'ampleur de l'incidence relative des mesures simulées par rapport au niveau de référence, le niveau de cas et d'hospitalisations qui en résulte devrait être conservateur. La baisse utilisée présumait que le niveau de protection contre les maladies graves demeurerait élevé et que seule la protection contre la transmission diminuait. Par conséquent, si cela ne se produit pas à plus long terme, le niveau d'hospitalisations en l'absence de dose de rappel pourrait être plus élevé, ce qui pourrait rendre l'administration des doses de rappel encore plus importante pour limiter le nombre d'hospitalisations.
- La baisse utilisée suppose que les personnes qui reçoivent des doses de rappel atteignent un niveau de protection contre la transmission semblable au niveau maximal obtenu après la deuxième dose du vaccin et que la baisse de la protection renouvelée diminuera de la même façon que la protection conférée par le deuxième vaccin. Il y a beaucoup d'incertitude quant au niveau et à la baisse de l'immunité qui peuvent se produire en ce qui concerne les doses de rappel. Les augmentations observées dans l'incidence et les hospitalisations dans les scénarios où seules les doses de rappel sont administrées à la fin de 2022 pourraient ne pas se produire en réalité, ou du moins pas aussi tôt si la protection fournie par ces doses de rappel dure plus longtemps. Les scénarios sans vaccination des enfants sont probablement contre-factuels, ce qui, en plus des doses de rappel, réduira probablement davantage le risque de résurgence à la fin de 2022.
- Bien que la vaccination chez les 5 à 11 ans ne soit pas effectuée assez tôt pour affecter la quatrième vague, les résultats suggèrent qu'elle pourrait avoir une incidence importante sur la trajectoire de l'épidémie en 2022.
- L'impact combiné des doses de rappel administrées aux 60 ans et plus et de la vaccination des 5 à 11 ans n'a pas été évalué et devrait faire l'objet de simulations futures.
- En réalité, la levée complète des mesures de santé publique modélisées ici pourrait ne pas avoir lieu avant un certain temps, car certaines modifications du comportement de la population ont probablement eu lieu. Ces mesures seront probablement maintenues dans une certaine mesure pendant un certain temps, ce qui inclut obliger une certaine partie de la population à continuer de faire du télétravail, faire preuve de prudence lors des interactions étroites, etc.
- Une fois que des renseignements plus précis sur les caractéristiques de la baisse de l'immunité seront disponibles, une période de simulation plus longue sera modélisée pour déterminer l'impact des mesures sur la trajectoire à long terme de l'infection et du fardeau de la COVID-19 au Canada.

## Références

1. Gouvernement du Canada, 2021. Vaccination contre la COVID-19 au Canada. <https://sante-infobase.canada.ca/covid-19/couverture-vaccinale/> [https://sante-infobase.canada.ca/covid-19/couverture-vaccinale/ - a4](https://sante-infobase.canada.ca/covid-19/couverture-vaccinale/-a4)
2. Organisation mondiale de la santé (OMS). COVID-19 — A global pandemic. What do we know about SARS-CoV-2 and COVID-19 (June 5, 2020), [https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/risk-comms-updates/update-28-covid-19-what-we-know-may-2020.pdf?sfvrsn=ed6e286c\\_2](https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/risk-comms-updates/update-28-covid-19-what-we-know-may-2020.pdf?sfvrsn=ed6e286c_2)

3. Sanche et coll., 2020. High contagiousness and rapid spread of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). *Emerging Infectious Diseases* 26(7). [https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/26/7/20-0282\\_article](https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/26/7/20-0282_article)
4. Gouvernement du Canada, 2021. Mise à jour quotidienne sur l'épidémiologie de la COVID-19 <https://sante-infobase.canada.ca/covid-19/resume-epidemiologique-cas-covid-19.html>
5. Ying Liu, Joacim Rocklöv, The reproductive number of the Delta variant of SARS-CoV-2 is far higher compared to the ancestral SARS-CoV-2 virus, *Journal of Travel Medicine*, 2021;, taab124, <https://doi.org/10.1093/jtm/taab124>
6. Turner, J.S., Kim, W., Kalaidina, E. et coll. SARS-CoV-2 infection induces long-lived bone marrow plasma cells in humans. *Nature* 595, 421–425 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03647-4>
7. Lumley et coll., 2021. Antibody status and incidence of SARS-CoV-2 infection in Health Care workers. *NEJM*. <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa2034545>
8. Tartof SY et coll. (2021). "Effectiveness of mRNA BNT162b2 COVID-19 vaccine up to 6 months in a large integrated health system in the USA: as retrospective cohort study" *The Lancet* 398(10309):1407-1416 [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)02183-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02183-8)
9. Chemaitelly, H et coll., (2021). « Waning of BNT162b2 Vaccine protection against SARS-CoV-2 infection in Qatar ». *NEJM* DOI: 10.1056/NEJMoa2114114
11. Public Health England, SAGE 9 septembre 2021. "Duration of protection of COVID-19 vaccines against clinical disease." [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/1017309/S1362\\_PHE\\_duration\\_of\\_protection\\_of\\_COVID-19\\_vaccines\\_against\\_clinical\\_disease.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1017309/S1362_PHE_duration_of_protection_of_COVID-19_vaccines_against_clinical_disease.pdf)
- 12.
13. Andrews et coll., Vaccine effectiveness and duration of protection of Comirnaty, Vaxzevria and Spikevax against mild and severe COVID-19 in the UK. medRxiv 2021.09.15.21263583; doi: <https://doi.org/10.1101/2021.09.15.21263583>
14. Agence de la santé publique du Canada (Comité consultatif national de l'immunisation (CCNI) : Déclarations et publications), 2021. Recommandations sur l'utilisation des vaccins contre la COVID-19 <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/immunisation/comite-consultatif-national-immunisation-ccni/recommandations-utilisation-vaccins-covid-19.html>  
<https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/immunisation/comite-consultatif-national-immunisation-ccni/recommandations-utilisation-vaccins-covid-19.html>
15. Ludwig A, B. P., Orpana H, Nadeau C, Diasparra M, Barnes J, Hennessy D, Otten A, Ogden N. (2020). « Assessing the impact of varying levels of case detection and contact tracing on COVID-19 transmission in Canada during lifting of restrictive closures using a dynamic compartmental model. » *Can Commun Dis Rep* 46(11/12): 409-421.
16. Hale, T., Angrist, A., Goldszmidt, R., Kira, B., Petherick, A., Phillips, T., Webster, S., Cameron-Blake, E., Hallas, L., Majumdar, S., et Tatlow, H.. (2021). « A global panel database of pandemic policies (Oxford COVID-19 Government Response Tracker). » *Nature Human Behaviour*. <https://doi.org/10.1038/s41562-021-01079-8>
17. Danuta M Skowronski, Solmaz Setayeshgar, Yossi Febriani, Manale Ouakki, Macy Zou, Denis Talbot, Natalie Prystajeky, John R Tyson, Rodica Gilca, Nicholas Brousseau, Geneviève Deceuninck, Eleni Galanis, Chris D Fjell, Hind Sbihi, Elise Fortin, Sapha Barkati, Chantal Sauvageau, Monika Naus, David M Patrick, Bonnie Henry, Linda M N Hoang, Philippe De Wals, Christophe Garenc, Alex Carignan, Mélanie Drolet, Manish Sadarangani, Marc Brisson, Mel Kraiden, Gaston De Serres. Two-dose SARS-CoV-2 vaccine effectiveness with mixed schedules and extended dosing intervals: test-negative design studies from British Columbia and Quebec, Canada. medRxiv 2021.10.26.21265397; doi: <https://doi.org/10.1101/2021.10.26.21265397>

## 5 ANNEXES

### 5.1 LISTE DES CONTRIBUTEURS

#### Rédacteur en chef, ASPC

- Nicholas Ogden

#### Rédacteurs, ASPC

- Mette Cornelisse
- Aamir Fazil
- Manon Fleury
- Patricia Huston
- Ainsley Otten
- Patricia Turgeon

#### Connaissance de la situation à l'échelle nationale

##### ASPC

- David Champredon
- Michael Li
- Shokoofeh Nourbakhsh
- Ben Smith

##### McMaster University

- Irena Papst

##### Simon Fraser University

- Sean Anderson
- Elisha Are
- Caroline Colijn

#### Connaissance de la situation à l'échelle internationale

##### ASPC

- Brent Avery
- Brendan Dougherty
- Vanessa Gabriele-Rivet
- Samir Mechai
- Rachael Milwid
- Emily De Rubeis

#### Modélisation dynamique

##### ASPC

- Philippe Berthiaume
- Vanessa Gabriele-Rivet
- Valerie Hongoh
- Victoria Ng

## 5.2 DOCUMENTS SUPPLÉMENTAIRES

La section suivante contient la méthodologie et les résultats supplémentaires associés aux modèles utilisés pour créer le rapport. Le titre de chacune des sections des documents supplémentaires contient un hyperlien vers la section associée du rapport.

### PRÉVISIONS À COURT TERME POUR LES CAS ET DÉCÈS SIGNALÉS AU CANADA À L'AIDE DE LA COURBE DE CROISSANCE DE RICHARDS

#### Méthodologie

La courbe de croissance de Richards a été utilisée à cette étape de la pandémie pour effectuer des prévisions à court terme du nombre de cas et de décès. Ce type de courbe peut tenir compte de la possibilité de croissance sous-exponentielle précoce des épidémies (allant de l'incidence constante à la dynamique de croissance exponentielle en passant par la croissance polynomiale). Ce type de modélisation s'adapte généralement à un plus vaste éventail de courbes de croissance en forme de S que la modélisation logistique en raison de son adaptation aux situations dans lesquels la courbe de croissance est asymétrique. Une illustration de l'utilisation de ce modèle pour prédire les cas au Canada (et sa comparaison avec d'autres modèles empiriques) est disponible à l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.epidem.2021.100457>.

#### Limites

Les modélisations utilisées pour effectuer des prévisions à court terme ne tiennent pas explicitement compte des mécanismes de transmission de la COVID-19, y compris des comportements humains et de la réponse à l'épidémie. La croissance future de l'épidémie est entièrement fondée sur le nombre historique de cas signalés. Ces modélisations ne tiennent pas explicitement compte des répercussions des mesures d'atténuation récemment mises en œuvre ou de l'assouplissement de ces mesures (distanciation sociale, fermetures d'établissements, etc.), et les effets de ces mesures n'ont donc aucune influence sur les projections tant qu'elles n'ont pas été effectivement indiquées dans les données de cas de surveillance déclarés. Elles ne tiennent pas non plus compte des retards et des arriérés dans les tests, des changements apportés au nombre de tests effectués quotidiennement, des changements dans l'admissibilité aux tests, de l'introduction récente des nouveaux variants préoccupants, etc.

## *PRÉVISIONS À LONG TERME POUR LES CAS DÉCLARÉS AU CANADA ÉTABLIES À L'AIDE DE LA MODÉLISATION DYNAMIQUE (ASPC ET UNIVERSITÉ MCMASTER)*

### **Méthodologie**

#### **Conception du modèle**

Le modèle ASPC-McMaster University est un modèle SEIR comportant des compartiments supplémentaires qui reflètent la biologie des infections par le SRAS-CoV-2 et les aspects du système de santé pertinents pour le traitement de la COVID-19. La structure compartimentale spécifique à la COVID-19 consiste à diviser les compartiments infectés en compartiments asymptomatiques (a), présymptomatiques (p), légèrement ou modérément symptomatiques (m) ou très symptomatiques (s), et en compartiments pour les personnes hospitalisées en soins actifs ou aux soins intensifs (figure A-1).

Le modèle comprend également un mécanisme de vaccination à deux doses avec cinq strates de vaccination, soit personnes non vaccinées, personnes ayant reçu une première dose d'un vaccin (mais non encore protégée en raison du délai de la réponse immunitaire au vaccin), personnes protégées par une première dose d'un vaccin, personnes ayant reçu une deuxième dose et personnes protégées par une deuxième dose. Chaque strate de vaccination a son propre ensemble de compartiments épidémiologiques, ce qui permet aux paramètres de la maladie d'être ajustés pour refléter la gravité réduite des infections débilitantes après chacune des doses (figure A-2).

Figure A-1. Diagramme compartimental du modèle de l'ASPC et de la McMaster University.

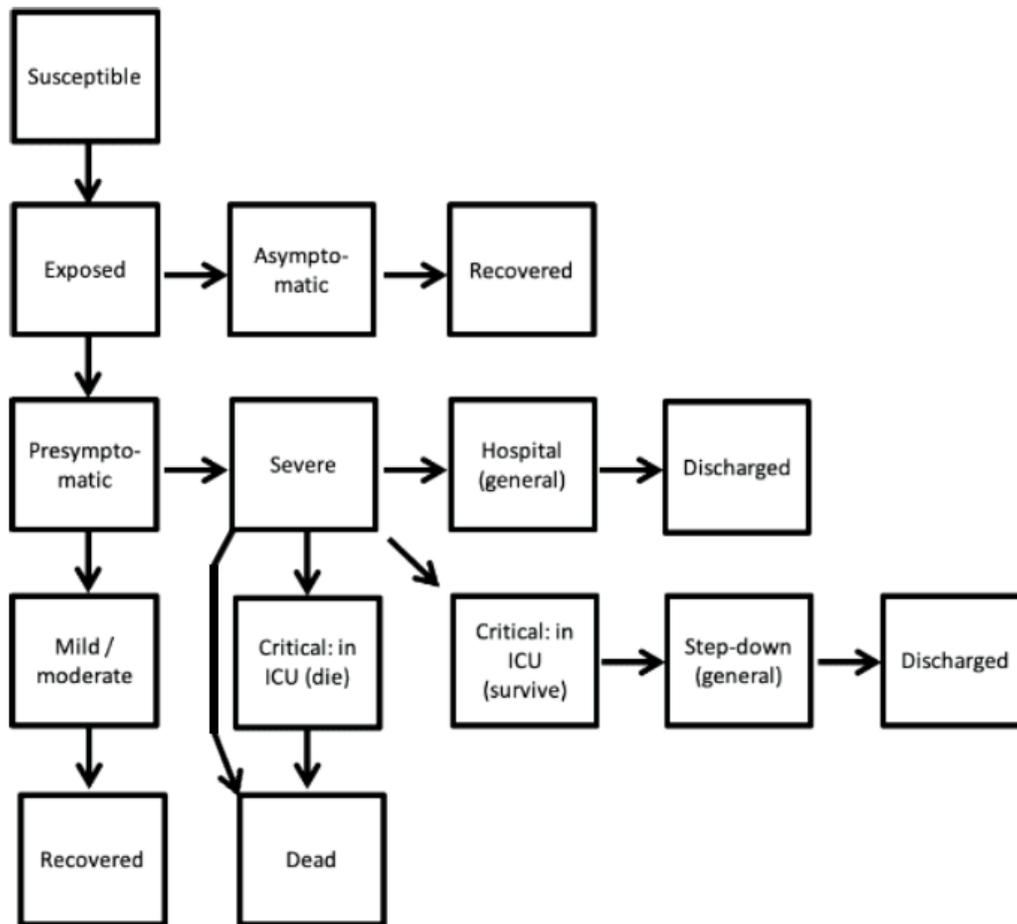
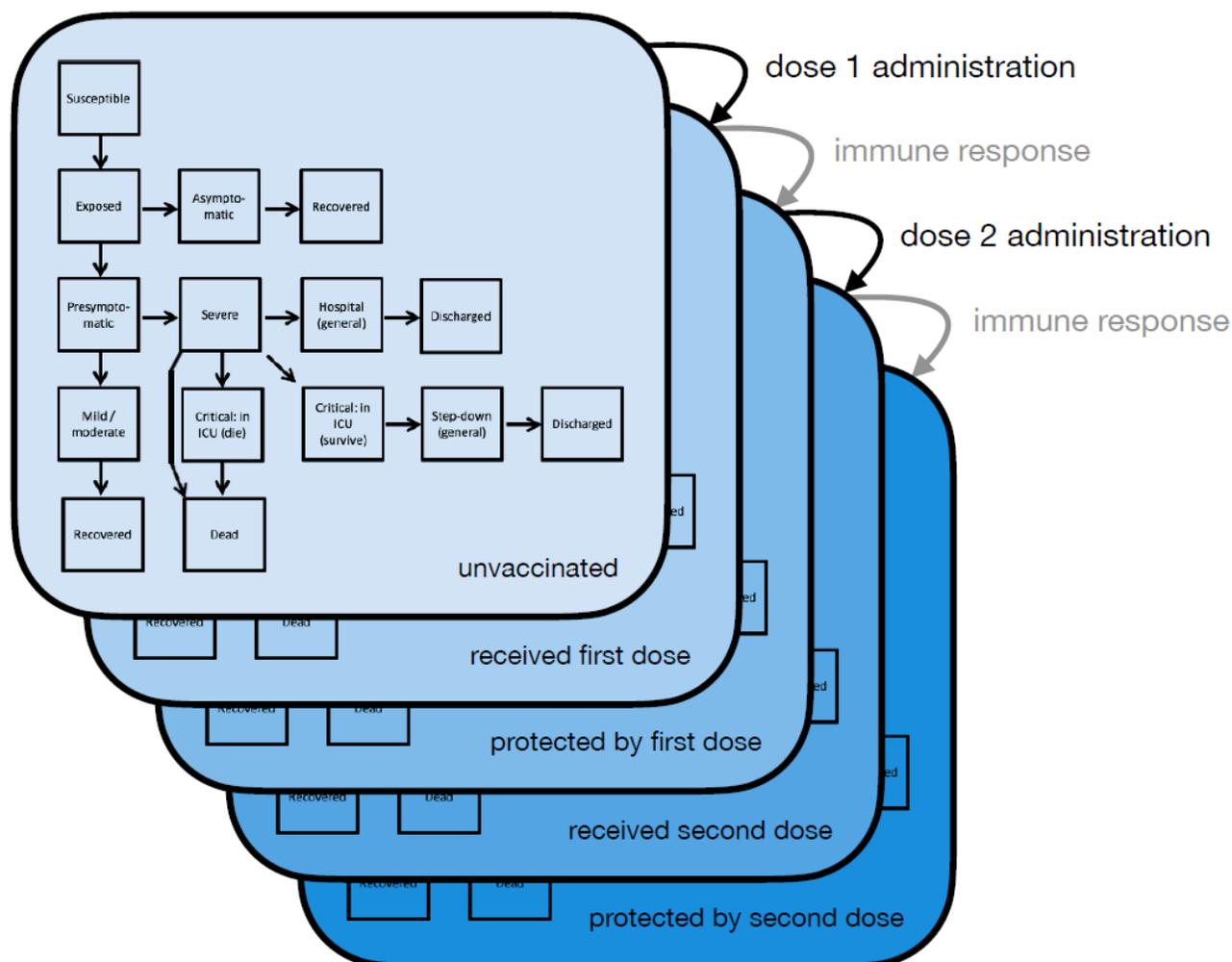


Figure A-2. Strates de vaccination du modèle de l'ASPC et de la McMaster University.



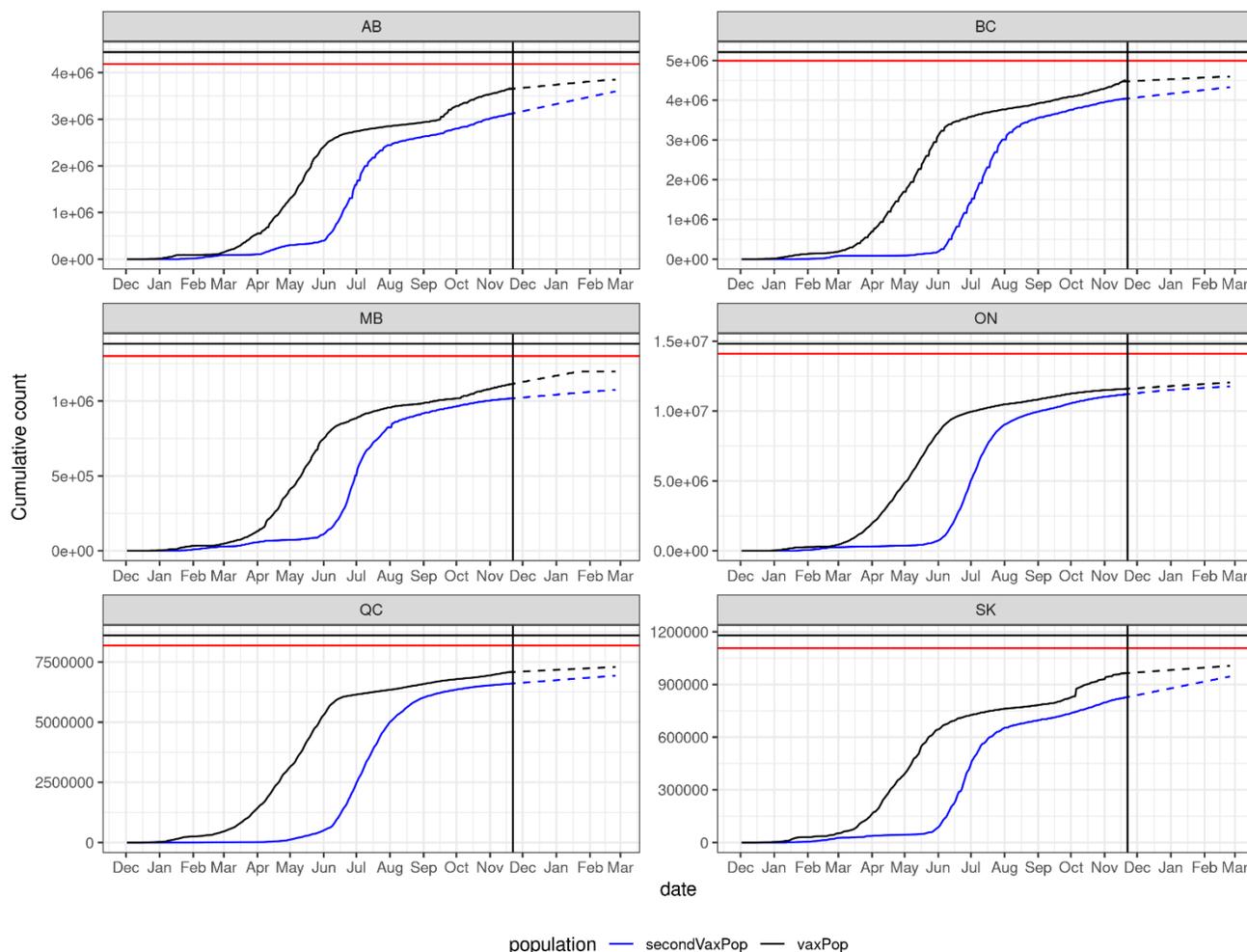
Le modèle permet de modifier le taux de transmission efficace  $\beta(t)$  en fonction de différents éléments et de le faire varier dans le temps pour ainsi tenir compte des changements dans les interventions en santé publique effectuées au fil du temps. On voit, pour chaque province, une séquence des dates auxquelles des changements importants ont été apportés à la politique de santé publique est précisée, et une nouvelle estimation du taux de transmission réel dans les périodes entre chacune de ces dates (tableau A-1).

### Étalonnage

Le cadre permet au modèle de s'adapter simultanément à tout nombre de séries chronologiques de rapports observés (p. ex., cas déclarés, hospitalisations, admissions à l'USI, décès). L'étalonnage est effectué à l'aide de l'estimation de la probabilité maximale en appariant les trajectoires du modèle déterministe à la série chronologique de rapport donnée (en supposant une erreur d'observation binominale négative). Toute augmentation de la transmissibilité découlant de la présence des variants préoccupants (VP) est implicitement prise en compte dans l'estimation des variations dans le temps du taux de transmission effectif, même si les augmentations du taux de transmission attribuables aux augmentations de la prévalence des VP pendant la dernière période d'estimation du taux de transmission avant la prévision (ainsi qu'au cours de la période de prévision) ont été modélisées.

Les dénombrements quotidiens de l'administration de la première dose et de la deuxième dose du vaccin sont inclus dans le processus d'étalonnage en convertissant ces dénombrements quotidiens en taux par personne non symptomatique dans la strate de vaccin pertinente (non vaccinée pour la première dose et protégée par la première dose d'un vaccin pour la deuxième dose) et en simulant la distribution des vaccins aux populations admissibles. Une personne vaccinée met en moyenne 14 jours à préparer sa réponse immunitaire protectrice à la vaccination. Par rapport au variant Alpha (B.1.1.7), la première dose d'un vaccin est censée être efficace à 60 % pour bloquer la transmission, alors que la deuxième dose est efficace à 90 %. L'efficacité du vaccin est réduite proportionnellement au nombre de cas déclarés ayant été attribués au variant Delta (B.1.617.2), soit 30 % après la première dose et 80 % après la deuxième. La probabilité d'infection asymptomatique est plus élevée avec chacune des doses du vaccin, et les infections graves ne se produisent pas chez les personnes qui ont reçu au moins une première dose. La baisse de l'immunité et les doses de rappel ne sont pas incluses dans le présent modèle.

**Figure A-3. Nombre cumulatif de vaccins administrés dans les six principales provinces.** Les lignes pleines correspondent aux nombres cumulatifs quotidiens alors que les lignes en tirets sont les projections. La ligne horizontale noire représente la population et la ligne horizontale rouge représente la population admissible. Les trajectoires en noir correspondent aux populations ayant reçu au moins une dose et les trajectoires en bleu sont des populations ayant reçu deux doses.



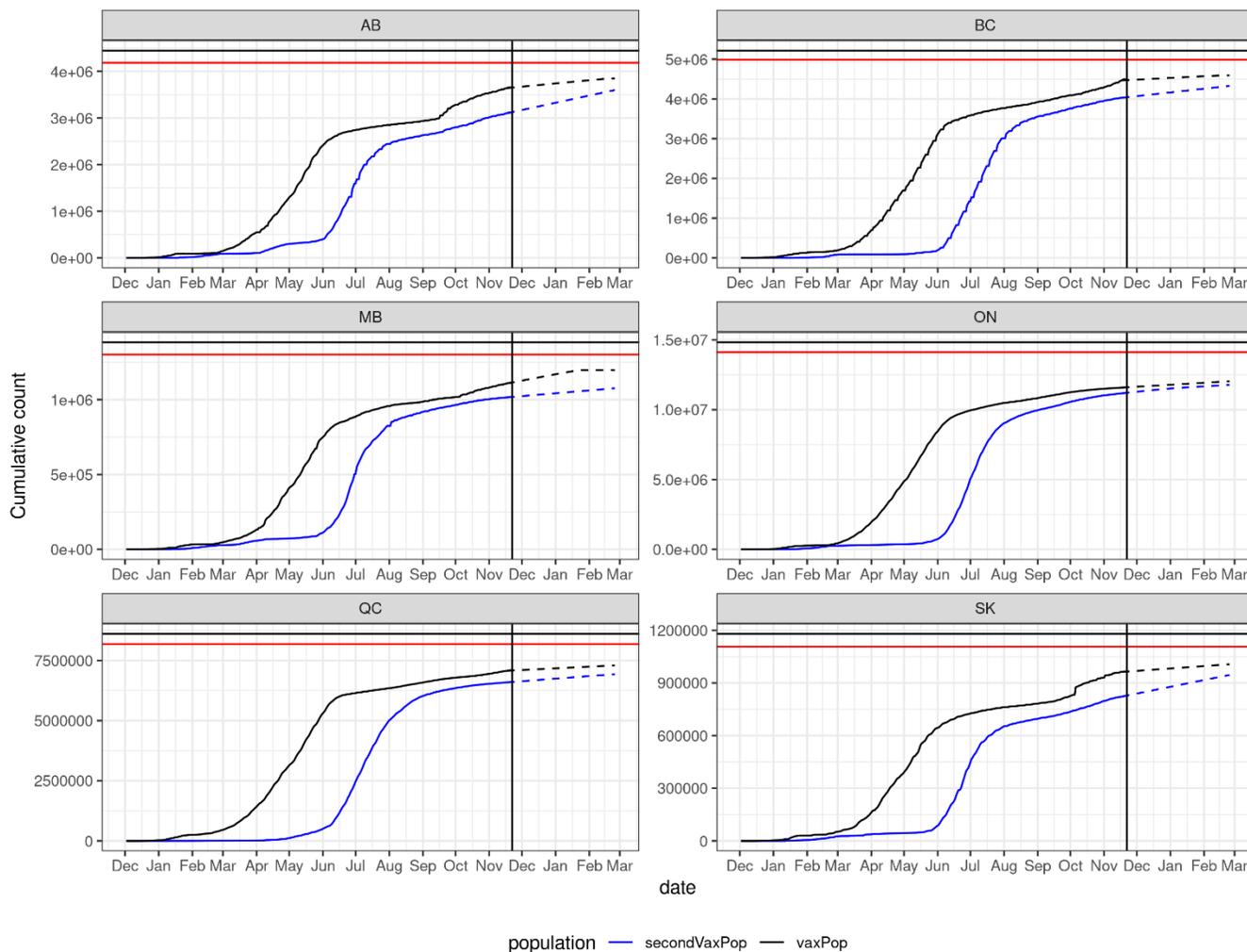
## Projections à long terme

Cinquante exécutions du modèle étalonné ont été utilisées pour effectuer des projections 30 jours à l'avance des cas déclarés selon différents scénarios de réouverture. Chaque scénario de réouverture est fondé sur la multiplication du taux de transmission effectif estimé dans la période précédant immédiatement la date de la projection par un facteur supérieur pour ainsi tenir compte des changements possibles dans la transmission à la suite d'un assouplissement ou d'un renforcement des mesures de santé publique.

On suppose une concurrence entre le VP Alpha dominant et le VP Delta envahissant, ce qui entraîne une croissance logistique de la proportion de cas signalés causés par le VP Delta avec un coefficient de sélection de 0,07 par jour, ce qui a pour effet d'augmenter le taux de transmission en plus des augmentations en raison des scénarios de réouverture envisagés.

On obtient les données sur la vaccination à venir grâce à une fonction de saturation qui tient compte du taux de vaccination actuel, d'une plus faible demande et de la réticence à se faire vacciner. Un seuil de 92 % et de 90 % de la population admissible (âgée de 5 ans et plus) a été ajouté pour la première et la deuxième dose, respectivement, afin que le reste corresponde à la population réticente (figures A-3 et A-4).

**Figure A-4. Nombre cumulatif de vaccins administrés dans les six principales provinces avec des proportions adaptées à la taille de la population.** Les lignes pleines correspondent aux nombres cumulatifs quotidiens alors que les lignes en tirets sont les projections. La ligne horizontale noire représente la population et la ligne horizontale rouge représente la population admissible. Les trajectoires en noir correspondent aux populations ayant reçu au moins une dose et les trajectoires en bleu sont des populations ayant reçu deux doses.



**Tableau A-1. Dates clés de réouverture et de réintroduction des mesures de santé publique pour les six principales provinces.**

Province	Date	Détails
<b>Colombie-Britannique</b>	25 mai 2021	Étape 1 sur 4 de la réouverture
	15 juin 2021	Étape 2 de la réouverture
	1 <sup>er</sup> juillet 2021	Étape 3 de la réouverture
	20 août 2021	Le port du masque ou du couvre-visage et des restrictions supplémentaires sont remis en vigueur dans la région de Central Okanagan
	13 septembre 2021	La carte de vaccination de la Colombie-Britannique est maintenant en vigueur
	28 septembre 2021	Nouvelles restrictions sanitaires pour la région est de la vallée du Fraser en raison des faibles taux de vaccination
	14 octobre 2021	Restrictions supplémentaires pour le Nord
	25 octobre 2021	Levée des restrictions et des limites de capacité pour les événements intérieurs et les rassemblements dans lesquels la carte de vaccination de la C.-B. est en vigueur et la preuve de vaccination vérifiée
<b>Alberta</b>	1 <sup>er</sup> juin 2021	Étape 1 de la réouverture
	10 juin 2021	Étape 2 de la réouverture
	1 <sup>er</sup> juillet 2021	Dernière étape de la réouverture
	3 septembre 2021	Remise en vigueur de certaines mesures de santé publique, notamment le port obligatoire du masque ou du couvre-visage dans les espaces intérieurs et dans les lieux de travail, et arrêt de la vente d'alcool dans les restaurants, cafés, bars, pubs et boîtes de nuit
	20 septembre 2021	Début du programme d'exemption des restrictions et nouvelles mesures de santé publique à l'échelle de la province
	25 octobre 2021	Vaccination complète requise pour que les 12 ans et plus puissent aller dans les restaurants et au cinéma, assister à des événements sportifs et dans d'autres endroits exploités conformément au Programme d'exemption des restrictions
<b>Saskatchewan</b>	30 mai 2021	Étape 1 de la réouverture
	20 juin 2021	Étape 2 de la réouverture
	11 juillet 2021	Étape 3 de la réouverture
	17 septembre 2021	Mise en vigueur d'une ordonnance provisoire visant le port du masque obligatoire à l'échelle de la province pour tous les espaces publics intérieurs
	1 <sup>er</sup> octobre 2021	Preuve de vaccination ou résultat négatif à un test de dépistage requis pour accéder à certains espaces et activités
	18 octobre 2021	Preuve de vaccination ou résultat négatif à un test de dépistage requis pour accéder à certains espaces et activités
	26 octobre 2021	Augmentation de la disponibilité des vaccins contre la COVID-19 dans les cabinets de médecins
<b>Manitoba</b>	12 juin 2021	Rassemblements en plein air autorisés dans les espaces privés et publics
	26 juin 2021	Étape 1 de la réouverture
	17 juillet 2021	Étape 2 de la réouverture

	28 août 2021	Port du masque ou couvre-visage obligatoire dans tous les espaces publics intérieurs
	3 septembre 2021	Le passeport vaccinal et le port du masque ou du couvre-visage à l'intérieur seront requis pour participer à certains événements ou activités, à l'exception des enfants non admissibles
	12 octobre 2021	Restrictions supplémentaires pour la région Southern Health
	21 octobre 2021	Fin de l'état d'urgence
	12 novembre 2021	Restrictions supplémentaires en vigueur
<b>Ontario</b>	11 juin 2021	Étape 1 de la réouverture
	30 juin 2021	Étape 2 de la réouverture
	16 juillet 2021	Étape 3 de la réouverture
	18 août 2021	Mise en pause du Plan d'action pour le déconfinement en réponse au variant Delta
	25 septembre 2021	Assouplissement des limites de capacité dans bon nombre de milieux où une preuve de vaccination est exigée
	9 <sup>er</sup> octobre 2021	Retour à la pleine capacité dans les salles de concert, théâtres et cinémas, zones réservées aux spectateurs dans les installations sportives et récréatives, lieux de réunions et d'événements, hippodromes, pistes de course automobile et autres lieux similaires, et les lieux de production commerciale de cinéma et de télévision accueillant un auditoire en studio.
	25 octobre 2021	Levée des limites de capacité pour les bars, restaurants et salles de sport
<b>Québec</b>	28 mai 2021	Début du plan de réouverture
	11 juin 2021	Réouverture des terrasses des bars
	12 juillet 2021	Aucune limite de capacité dans les magasins tant que la distance d'un mètre entre les clients est maintenue
	1 <sup>er</sup> septembre 2021	Début de l'utilisation du passeport vaccinal pour les événements publics, bars, restaurants et salles de sport
	15 septembre 2021	Début de l'utilisation obligatoire des passeports vaccinaux
	27 septembre 2021	Les personnes qui vivent dans des résidences privées pour personnes âgées dans des régions où le taux de transmission est élevé devront porter un masque ou couvre-visage dans les aires communes.
	8 octobre 2021	Augmentation de limite de capacité à l'intérieur
	14 octobre 2021	Passeport vaccinal obligatoire pour accéder aux établissements de santé et aux milieux de vie; mesures d'assouplissement pour les restaurants et les bars
	22 <sup>er</sup> octobre 2021	Lignes directrices pour l'Halloween; limites pour les rassemblements à l'intérieur
	15 novembre 2021	Les fonctionnaires du Québec retourneront au bureau; la danse et le chant seront permis dans les bars et les restaurants.

# RISQUE D'IMPORTATION ASSOCIÉ AUX VOYAGES PAR VOIE AÉRIENNE ET PAR VOIE TERRESTRE

## Méthodologie

### Structure du modèle

Le modèle tient compte a) des volumes de voyages voyageurs qui arrivent par avion et par voie terrestre; b) des types de voyageurs; c) de la politique sur les tests préalables à l'arrivée; d) de l'immunité naturelle et de la couverture vaccinale; e) du facteur de correction de la sous-déclaration; et f) de la probabilité quotidienne d'infection propre à la région. À l'aide de cette information, le modèle calcule le nombre prévu de passagers qui arrivent au Canada infectés et le nombre de passagers infectés par un variant. La modélisation se fait au niveau des pays pour les voyageurs qui arrivent par avion et au niveau des États américains pour les voyageurs qui prennent la voie terrestre.

### Types de voyageurs

Aux fins de ces analyses, les voyageurs sont répartis en deux catégories. Le premier type de voyageur « Canadien » ou *CND* décrit une personne qui réside au Canada. On suppose que les *CND* ont passé tout leur temps au pays depuis le début de la pandémie, sauf pour une visite de  $t_c$  jours dans un pays  $c$  où ils peuvent avoir été infectés et risquent d'importer l'infection au pays. Le deuxième type correspond aux « voyageurs étrangers » ou *FT*. Contrairement aux *CND*, on présume que les *FT* ont passé tout leur temps dans le pays  $c$  depuis le début de la pandémie, puis arrivent au Canada et contribuent de ce fait au risque d'importation. La valeur de  $t_c$  pour les *CND* est décrite à l'aide d'une répartition normale  $N(15, 2)$ , qui suppose que la plupart des Canadiens ont environ 15 jours de congé annuel à passer dans le pays  $c$  [1]. Pour les *FT*,  $t_c$  est le temps entre le début de la pandémie et maintenant.

### Volume de voyageurs aériens et par voie terrestre

L'Agence des services frontaliers du Canada (ASFC) utilise l'information préalable sur les voyageurs (IPV) pour fournir les volumes aériens quotidiens prévus au Canada. Ces données constituent la source la plus à jour pour les volumes de voyages prévus au Canada en provenance de chacun des pays d'embarquement (c.-à-d. le pays où le voyage à destination du Canada a commencé). Ces données ne représentent pas le nombre réel de passagers à l'arrivée et pourraient surestimer le nombre réel de passagers si certains passagers décident à la dernière minute de ne pas prendre l'avion. De plus, certaines compagnies aériennes ne contribuent pas à l'IPV. Les données de l'ASFC sont également stratifiées par type de voyageur. Dans les données de l'ASFC, le pays de délivrance du document de voyage présenté au moment de l'achat du billet a été utilisé comme mesure pour caractériser les *CND* et les *FT*. Les volumes de voyages par avion pour chacun des aéroports de l'ensemble de l'itinéraire sont fournis par l'Administration du transport aérien international (IATA). Les données de l'ASFC et de l'IATA sont établies chaque jour et chaque mois, respectivement, mais les données de l'IATA ne sont envoyées qu'une fois tous les 60 jours. Par conséquent, pour calculer le risque d'importation au niveau des points d'entrée au Canada pour les voyageurs aériens, il faut répartir proportionnellement le nombre total d'arrivées par pays établi par l'ASFC en fonction des totaux déclarés par l'IATA pour les aéroports. Par conséquent, pour calculer le risque d'importation au niveau des points d'entrée au Canada pour les voyageurs aériens, il faut répartir proportionnellement le nombre total d'arrivées par pays établi par l'ASFC en fonction des totaux déclarés par l'IATA pour les aéroports.

L'ASFC fournit également des données sur le volume réel de voyages par voie terrestre calculé en fonction du volume quotidien de voyageurs, y compris le trafic commercial, qui passent par les points d'entrée terrestres du Canada. L'État d'embarquement (c.-à-d. l'État américain où a commencé le voyage à destination du Canada) est tiré d'une autre série de données de l'ASFC qui enregistre le nombre quotidien de plaques d'immatriculation des véhicules qui entrent au Canada à chacun des points d'entrée terrestres. On présume que les lieux d'embarquement des voyageurs qui se trouvent dans les véhicules munis de plaques d'immatriculation américaines sont ceux de l'État ayant délivré la plaque. Dans le cas des voyageurs qui se trouvent dans des véhicules munis de plaques canadiennes, on suppose que le lieu d'embarquement est l'État américain adjacent au point d'entrée.

### Politique de test avant l'arrivée

Une politique sur les tests, qui est entrée en vigueur le 7 janvier 2021 exige que la plupart des voyageurs obtiennent un résultat négatif au test de dépistage de la COVID-19 72 heures avant leur départ pour le Canada. On présume que  $\mu$ , le nombre de jours entre l'exécution du test PCR et le départ pour le Canada, suit une répartition uniforme (1 à 3 jours). La sensibilité du test PCR,  $Se$ , est fixée à 0,90 [2]. Les voyageurs essentiels sont en grande partie exemptés des tests préalables à l'arrivée. ArriveCAN et ContactTrace fournissent des données hebdomadaires sur la proportion de voyageurs (CND et FT) qui sont exemptés des tests avant l'arrivée en provenance de chacun des pays ou pour chaque point d'entrée (É.-U.), et ce, tant par voie aérienne que par voie terrestre. La proportion de voyageurs exemptés est calculée comme suit :

$1 - \frac{\text{Number non-exempt}_{\text{ArriveCan}}}{\text{Total travel volume}_{\text{CBSA}}}$ . Aux fins de la présente analyse, les voyageurs qui figurent dans la base de données d'ArriveCan et ont indiqué qu'ils « revenaient au Canada » sont utilisés comme mesure pour les *Canadiens* (CND), alors que tous les autres voyageurs sont désignés par le terme « *voyageur étranger* » (FT).

### Immunité naturelle et couverture vaccinale

La probabilité qu'un voyageur importe au Canada une infection provenant du pays  $c$  dépend en partie du fait qu'il a ou non déjà été exposé à la COVID-19, infecté puis guéri depuis le début de la pandémie et s'il a ou non été vacciné et a donc réussi à développer une immunité contre l'infection. Par souci de simplicité, on suppose que l'immunité découlant d'une infection naturelle et de la vaccination ne diminue pas.

Pour tenir compte de la variabilité de l'efficacité entre les candidats vaccins utilisés dans le monde, on suppose que l'efficacité du vaccin contre l'infection suit une distribution normale avec un écart-type de 1,5 % (les valeurs moyennes sont indiquées dans le tableau A-1). L'efficacité des vaccins est légèrement supérieure pour les États-Unis et le Canada puisque la majorité des vaccins administrés dans ces pays sont de type ARN-messager et offrent donc une meilleure protection que les autres vaccins [3].

Dans les analyses actuelles, l'efficacité du vaccin correspond à la probabilité qu'une personne vaccinée développe une immunité complète contre l'infection (c.-à-d. une probabilité de 0 % de contracter l'infection). Ci-après, le terme « probabilité d'être vacciné avec succès »,  $Vacc_{c,d}$ , est utilisé pour décrire la probabilité qu'un voyageur du pays  $c$  ait été vacciné et ait développé une immunité contre l'infection le jour  $d$ . La probabilité qu'un voyageur ait été vacciné avec succès est  $Vacc_{h,d}$  pour les CND (pays d'origine  $h$ ).

Les voyageurs non exemptés doivent présenter une preuve de leur statut d'immunisation à leur arrivée au Canada. La proportion de voyageurs non exemptés qui sont entièrement vaccinés par des vaccins approuvés par Santé Canada, partiellement vaccinés par des vaccins approuvés par Santé Canada, entièrement vaccinés par des vaccins non approuvés par Santé Canada, partiellement vaccinés par des vaccins non approuvés par Santé Canada,

entièrement vaccinés par un mélange de vaccins approuvés et non approuvés par Santé Canada et non vaccinés sont calculés chaque semaine à l'aide des données d'ArriveCan et de ContactTrace. Pour ces voyageurs, la probabilité d'être vaccinés avec succès,  $Vacc_{c,d}$ , est égale à l'efficacité du vaccin après la première ou la deuxième dose dans le pays  $c$  (tableau A-1).

Les données sur le statut d'immunisation ne sont pas disponibles pour les voyageurs exemptés. Par conséquent, on suppose que la probabilité qu'un voyageur soit vacciné avec succès est proportionnelle à la couverture vaccinale le jour  $d$  dans le pays  $c$  ( $Prop_{c,d}$ ), et l'efficacité du vaccin ( $VaccEff_c$ ) pour la première et la deuxième dose (tableau A-1) :

$$Vacc_{c,d} = Prop_{c,d,dose1} \times VaccEff_{c,dose1} + Prop_{c,d,dose2} \times VaccEff_{c,dose2} \quad (1)$$

La proportion de personnes vaccinées dans chaque pays est tirée d'un ensemble de données ouvertes et disponibles sur le nombre cumulatif de vaccins contre la COVID-19 par pays, mis à jour quotidiennement avec les chiffres officiels les plus récents (<https://ourworldindata.org/covid-vaccinations>).

**Tableau A-1. Efficacité du vaccin contre l'infection pour chaque statut d'immunisation utilisé dans le modèle de risque d'importation.**

Type de voyageur	Vaccins approuvés par Santé Canada (SC)	Pays	Hypothèse	Statut d'immunisation	Estimation de l'EV moyenne	Référence	
Voyageurs non exemptés <sup>a</sup>	Approuvés par SC	États-Unis et Canada	EV des vaccins à ARN-messager (PV = 0,35; EV = 0,82)	Partiellement vaccinées <sup>c</sup>	0,35	[4]	
				Entièrement vaccinées	0,82	[4, 5]	
		Pays étrangers autres que les États-Unis		Partiellement vaccinées <sup>c</sup>	0,32	[3, 4]	
				Entièrement vaccinées	0,71	[3-6]	
	Non approuvés par SC	Tous les pays	EV des vaccins non approuvés par SC. Elle est supposée être similaire à celle du vaccin AZ (PV = 0,30; EV = 0,60)	Partiellement vaccinées	0,30	[3, 4, 7]	
				Entièrement vaccinées	0,60	[3, 4, 6, 7]	
		Combinaison de vaccins approuvés et non approuvés par SC		Tous les pays	Moyenne de l'EV des vaccins approuvés par SC (PV = 0,32; EV = 0,71) et non approuvés par SC (PV = 0,30; EV = 0,60)	Entièrement vaccinées	0,66
	Voyageurs exemptés <sup>b</sup>	Données non disponibles	États-Unis et Canada	EV des vaccins à ARN-messager (PV = 0,35; EV = 0,82)	Partiellement vaccinées	0,35	[4]
					Entièrement vaccinées	0,88	[4, 5]
Données non disponibles		Pays étrangers autres que les États-Unis	Partiellement vaccinées		0,31	[3, 4]	
			Entièrement vaccinées		0,66	[3-7]	

PV = personnes partiellement vaccinées; EV = personnes entièrement vaccinées; AZ = AstraZeneca; J = Janssen

<sup>a</sup> La proportion de voyageurs dans chaque catégorie de statut d'immunisation est fondée sur les données d'ArriveCan et de ContactTrace.

<sup>b</sup> La proportion de voyageurs dans chaque catégorie de statut d'immunisation est fondée sur les données de couverture vaccinale propres à chacun des pays [9].

<sup>c</sup> Comprend les voyageurs qui ont reçu leur deuxième dose dans les 14 jours précédant leur voyage au Canada.

### Facteur de correction pour la sous-déclaration

Le nombre de cas confirmés déclarés par les systèmes nationaux de surveillance sous-estime la prévalence réelle dans la population en raison des failles dans le système de santé qui empêchent de détecter, de tester et de déclarer les cas, y compris une probabilité plus faible de voir des cas asymptomatiques. Par conséquent, une méthode adaptée de [10] a été utilisée pour calculer un facteur de correction variable dans le temps,  $CF_t$ . En bref, Wu et coll. (2020) [10] ont élaboré une analyse semi-bayésienne du biais de probabilité fondé sur la taille de la population, le nombre de cas déclarés et le nombre déclaré de tests de dépistage de la COVID-19 pour estimer le nombre réel de cas pour chaque État aux États-Unis. Cette méthode a été modifiée pour estimer le  $CF_t$  pour chaque pays et État américain, en tenant compte de la diminution temporelle de la population vulnérable en raison de l'augmentation du nombre cumulatif de cas et de la couverture vaccinale. Le  $CF_t$  pour un pays donné pendant une période donnée a été calculé en divisant le nombre de cas estimatif par le nombre de cas déclarés.

Comme la plupart des données n'étaient pas disponibles au début de la pandémie, les données quotidiennes par pays et par État en ce qui concerne le nombre de personnes vaccinées [9, 11, 12], le nombre de cas testés [9, 11, 13, 14] et le nombre de nouveaux cas [9, 11, 14, 15] ont été utilisés pour calculer le  $CF_t$  à compter de mars 2020  $CF_t$  from March onwards. L'interpolation linéaire a été utilisée pour estimer le nombre de personnes ayant été testées ou vaccinées en cas de données manquantes.

Comme cela est décrit dans [10], la méthode d'estimation fournit des résultats instables pour les paramètres comprenant de faibles taux de test. Pour contourner ce problème, les données ont été agrégées de mars à août 2020, puis à intervalles d'un mois par la suite. Dans les cas où les données étaient insuffisantes en raison de la collecte continue de données, les données ont été agrégées pour une période de quatre semaines, se terminant à la date des données les plus récentes.

La taille de la population sensible pour chaque période pour le pays  $c$  a été calculée en fonction des estimations de la population de 2020 ( $Pop_{c,2020}$ ) [9, 16, 17], de la proportion déclarée de personnes ayant déjà été infectées ( $P_{Infected_{c,d}}$ ) et de la proportion de personnes vaccinées avec succès ( $V_{acc_{c,d}}$ , voir l'équation 1) :

$$SPop_{c,d} = Pop_{c,2020} \times (1 - P_{Infected_{c,d}}) \times (1 - V_{acc_{c,d}}) \quad (2)$$

Dans de rares cas, la valeur estimée de  $CF_t$  était inférieure à 1, auquel cas on a supposé un ratio de 1. En fonction d'une exploration visuelle des valeurs estimées de  $CF_t$ , une valeur seuil maximale de 80 a été choisie arbitrairement et toute valeur estimée au-dessus de ce seuil a été rejetée. Dans la mesure du possible, toutes les valeurs manquantes de  $CF_t$  en raison du filtrage des données pour le seuil ou les données insuffisantes ont été remplacées par la valeur médiane dans l'ensemble des données de  $CF_t$  disponibles pour le pays ou l'État concerné. Pour les pays dans lesquels l'ensemble des valeurs de  $CF_t$  n'étaient pas disponibles, une approche modélisée de régression a été utilisée pour estimer la valeur  $CF_t$  (dépendant de la variable) de croissance du revenu national par habitant par pays en 2019 [18]. La croissance du revenu national a été utilisée comme indicateur de l'efficacité du système de surveillance du pays pour détecter, tester et déclarer les cas de COVID-19. Le modèle de régression a été exécuté pour chaque période, et le critère d'information moyen d'Akaike (AIC) a été calculé pour toute la durée de la pandémie. Le meilleur modèle choisi est celui qui avait la valeur AIC la plus faible et des valeurs résiduelles conformes à la distribution paramétrique. Le prédicteur du modèle final était une valeur logarithmique du RNB par habitant.

### Probabilité quotidienne d'infection

La probabilité quotidienne d'infection des personnes vulnérables du pays  $c$  qui n'ont jamais été infectées et qui n'ont pas été vaccinées est le produit des nouveaux cas déclarés pendant la journée,  $NewCases_{c,d}$ , du facteur de correction de la sous-déclaration et de l'inverse de la population qui n'a pas été infectée auparavant (tout en tenant compte de la sous-déclaration) ni vaccinée, en utilisant la taille de la population du pays en 2020,  $Pop_{c,2020}$  :

$$\beta_{c,d} = \frac{NewCases_{c,d} * CF}{Pop_{c,2020} * \left(1 - \sum_{t=0}^{d-1} NewCases_t * CF / Pop_{c,2020}\right) * (1 - Vacc_{c,d})} \quad (3)$$

À noter que pour les calculs du risque d'importation par voie terrestre  $\beta_c$  est calculé au niveau de l'État américain à l'aide des données de surveillance de COVID-19 au niveau des États.

## Analyses

Le modèle estime le nombre de *CND* et de *FT* infectés qui arrivent au Canada pendant une semaine donnée  $w$ . Pour les analyses suivantes, nous supposons que le jour 0 correspond au début de la pandémie et que le jour  $s$  est le jour où la personne voyage du pays  $c$  au Canada (c.-à-d. que  $s$  est le nombre de jours entre le début de la pandémie et la date du voyage au Canada). Tous les événements (voyage à destination du Canada, arrivée dans le pays  $c$ , test PCR) sont présumés avoir lieu au début de la journée donnée. Les périodes de latence et les périodes infectieuses sont décrites selon les répartitions normales  $N(3,5, 1,0)$  et  $N(12, 4,0)$  jours, respectivement [19-21]. La somme des périodes latentes et infectieuses est représentée par le paramètre  $n$  dans les équations ci-dessous.

### Voyageurs exemptés (test préalable à l'arrivée non requis)

#### Probabilités d'infection des CND

Nous supposons qu'un CND qui a développé une immunité après avoir été vacciné ou qui a été infecté au Canada à n'importe quel moment depuis le début de la pandémie jusqu'à la date de son départ du Canada vers le pays  $c$  ne peut pas importer l'infection du pays  $c$ .

Lorsque  $t_c \leq n$ , la probabilité qu'un CND importe une infection du pays  $c$  au Canada le jour  $s$  est égale à la probabilité que cette personne ait été infectée à quelque moment que ce soit pendant son voyage, multipliée par la probabilité qu'elle n'ait pas été infectée au Canada à quelque moment que ce soit avant son voyage et qu'elle n'ait pas été vaccinée avec succès au Canada :

$$P_{c,s}^{E,CND,t_c^-} = \left(1 - \prod_{d=s-t_c}^{s-1} (1 - \beta_{c,d})\right) \times (1 - Prev_{h,s-(t_c+1)}) \times (1 - Vacc_{h,s-(t_c+1)}) \quad (4)$$

Lorsque  $t_c > n$ , la probabilité qu'un CND importe une infection du pays  $c$  au Canada le jour  $s$  est égale à la somme de la probabilité qu'il ne soit pas infecté pendant  $t_c$  et de la probabilité qu'il soit infecté dans le pays, guérisse et soit alors immunisé avant son départ, multipliée par la probabilité de ne pas avoir été infecté à quelque moment que ce soit avant le voyage et de ne pas avoir été vacciné avec succès au Canada :

$$P_{c,s}^{E,CND,t_c^+} = \left(\prod_{d=s-t_c}^{s-(n+1)} (1 - \beta_{c,d}) - \prod_{d=s-t_c}^{s-1} (1 - \beta_{c,d})\right) \times (1 - Prev_{h,s-(t_c+1)}) \times (1 - Vacc_{h,s-(t_c+1)}) \quad (5)$$

### Probabilités d'infection des FT

Pour les FT, lorsque le temps dans le pays  $c$  est plus grand que la somme des périodes latentes et infectieuses (c.-à-d.  $t_c > n$ ), la probabilité qu'un voyageur qui arrive au Canada infecté est égale à la probabilité qu'il ait été infecté à quelque moment que ce soit au cours des  $n$  jours précédant son voyage au Canada, multipliée par la probabilité de ne pas avoir été infecté dans le pays  $c$  à tout moment avant cette période de  $n$  jours et la probabilité de ne pas avoir été vacciné avec succès. Pour les FT, à ce stade de la pandémie, le temps passé dans le pays  $c$  sera toujours supérieur à  $n$  (c.-à-d.  $t_c > n$ ). La probabilité qu'un FT qui voyage du pays  $c$  arrive au Canada le jour  $s$  et soit infecté est donc égale à :

$$P_{c,s}^{E,FT} = \left( 1 - \prod_{d=s-n}^{s-1} (1 - \beta_{c,d}) \right) \times (1 - Prev_{c,s-(n+1)}) \times (1 - Vacc_{c,s-(n+1)}) \quad (6)$$

### Voyageurs non exemptés (test préalable à l'arrivée requis)

Pour un voyageur non exempté, l'infection est importée lorsqu'une personne qui arrive au Canada est infectée le jour du test, mais qu'elle reçoit un résultat faussement négatif ou n'est ni infectée ni immunisée le jour du test, mais est ensuite infectée pendant les jours qui précèdent son départ. La probabilité qu'un voyageur non exempté (NE) voyageant par avion à partir du pays  $c$  arrive infecté à sa destination finale au Canada le jour  $s$  est égale à la somme de la probabilité d'obtenir un faux négatif comme résultat le jour du test et de la probabilité d'être infectée à tout moment après le test étant donné que la personne n'était pas infectée et n'était pas immunisée le jour du test.

$$P_{c,s}^{NE} = P_{testday\_infect}^{NE} \times (1 - Se) + P_{testday\_no\_infect}^{NE} \times P_{infection\_after\_test}^{NE} \quad (7)$$

Où  $P_{testday\_infect}$  est la probabilité qu'il soit infecté le jour du test,  $1 - Se$  est la probabilité qu'il ait un résultat négatif au test compte tenu de l'infection le jour du test,  $P_{testday\_no\_infect}$  est la probabilité qu'il ne soit PAS infecté le jour du test s'il n'a pas été immunisé par la vaccination et n'a pas été infecté avant le test, et  $P_{infection\_after\_test}$  est la probabilité de contracter l'infection après le jour du test.

### Probabilités d'infection des CND :

On suppose qu'un CND qui a développé une immunité après la vaccination avant son départ ou qui est devenu infecté au Canada à tout moment entre le début de la pandémie et la date de son départ du Canada vers le pays  $c$  ne peut importer l'infection du pays  $c$ . Lorsque le temps passé dans le pays  $c$  est inférieur ou égal à la somme des périodes latentes et infectieuses et du nombre de jours entre le test PCR et le voyage de retour au Canada (c.-à-d.  $t_c \leq n + \mu$ ), la probabilité qu'un CND soit infecté le jour du test est égale à la probabilité d'être infecté à tout moment dans les  $t_c$  avant le jour du test, multipliée par la probabilité de ne pas avoir été infecté au Canada à quelque moment que ce soit avant le voyage et à ne pas avoir été vacciné avec succès au Canada (semblable à l'équation 4) :

$$P_{testday\_infect}^{NE,CND,t_c^-} = \left( 1 - \prod_{d=s-t_c}^{s-(\mu+1)} (1 - \beta_{c,d}) \right) \times (1 - Prev_{h,s-(t_c+1)}) \times (1 - Vacc_{h,s-(t_c+1)}) \quad (8)$$

La probabilité de NE PAS être infecté le jour du test parce que la personne n'a pas contracté l'infection à quelque moment que ce soit pendant le voyage avant de passer le test, puisque la personne n'a pas développé d'immunité en raison de l'infection au Canada ou grâce à la vaccination, est la suivante :

$$P_{testday\_no\_infect}^{NE,CND,t_c-} = \prod_{d=s-t_c}^{s-(\mu+1)} (1 - \beta_{c,d}) \times (1 - Prev_{h,s-(t_c+1)}) \times (1 - Vacc_{h,s-(t_c+1)}) \quad (9)$$

La probabilité d'être infecté l'un des jours restants du voyage avant le départ pour le Canada est la suivante :

$$P_{infection\_after\_test}^{NE} = 1 - \prod_{d=s-\mu}^{s-1} (1 - \beta_{c,d}) \quad (10)$$

Pour les CND, quand  $t_c \leq n + \mu$  selon l'équation 7, la probabilité qu'un CND importe une infection du pays  $c$  au Canada le jour  $s$  est :

$$P_{c,s}^{NE,CND,t_c-} = \left[ \left( 1 - \prod_{d=s-t_c}^{s-(\mu+1)} (1 - \beta_{c,d}) \right) (1 - Se) + \left( \prod_{d=s-t_c}^{s-(\mu+1)} (1 - \beta_{c,d}) \right) \left( 1 - \prod_{d=s-\mu}^{s-1} (1 - \beta_{c,d}) \right) \right] \times [(1 - Prev_{h,s-(t_c+1)}) \times (1 - Vacc_{h,s-(t_c+1)})]$$

$$P_{c,s}^{NE,CND,t_c-} = \left[ 1 - Se + Se \prod_{d=s-t_c}^{s-(\mu+1)} (1 - \beta_{c,d}) - \prod_{d=s-t_c}^{s-1} (1 - \beta_{c,d}) \right] \times [(1 - Prev_{h,s-(t_c+1)}) \times (1 - Vacc_{h,s-(t_c+1)})] \quad (11)$$

Quand le temps passé dans le pays  $c$  dépasse la somme des périodes latentes et infectieuses et le nombre de jours avant le test (c.-à-d.  $t_c > n + \mu$ ), la probabilité qu'une personne soit infectée le jour du test est égale à la somme de la probabilité de ne pas être infectée pendant  $t_c$  et de la probabilité d'être infectée dans le pays, de guérir et de devenir immunisée avant le départ, multipliée par la probabilité de ne pas avoir été infectée au Canada à quelque moment que ce soit avant le voyage et de ne pas avoir été vaccinée avec succès (semblable à l'équation 5) :

$$P_{testday\_infect}^{NE,CND,t_c+} = \left( \prod_{d=s-t_c}^{s-(\mu+n+1)} (1 - \beta_{c,d}) - \prod_{d=s-t_c}^{s-(\mu+1)} (1 - \beta_{c,d}) \right) \times ((1 - Prev_{h,s-(t_c+1)}) \times (1 - Vacc_{h,s-(t_c+1)})) \quad (12)$$

La probabilité de NE PAS être infectée le jour du test parce que la personne n'a pas contracté l'infection à quelque moment que ce soit pendant le voyage avant de passer le test et qu'elle n'a pas développé d'immunité en raison de l'infection ou grâce à la vaccination au Canada, est égale à l'équation 9 :

$$P_{testday\_no\_infect}^{NE,CND,t_c+} = \left( \prod_{d=s-t_c}^{s-(\mu+1)} (1 - \beta_{c,d}) \right) \times ((1 - Prev_{h,s-(t_c+1)}) \times (1 - Vacc_{h,s-(t_c+1)})) \quad (13)$$

Par conséquent, en fonction de l'équation 7, lorsque la durée du séjour est plus longue, c'est-à-dire  $t_c > n + \mu$ , la probabilité qu'un CND importe une infection du pays  $c$  au Canada le jour  $s$  est de :

$$\begin{aligned}
 P_{c,s}^{NE,CND,t_c+} &= \left[ \left( \prod_{d=s-t_c}^{s-(\mu+n+1)} (1-\beta_{c,d}) - \prod_{d=s-t_c}^{s-(\mu+1)} (1-\beta_{c,d}) \right) (1-Se) + \left( \prod_{d=s-t_c}^{s-(\mu+1)} (1-\beta_{c,d}) \right) \left( 1 - \prod_{d=s-\mu}^{s-1} (1-\beta_{c,d}) \right) \right] \\
 &\quad \times [(1-Prev_{h,s-(t_c+1)}) \times (1-Vacc_{h,s-(t_c+1)})] \\
 P_{c,s}^{NE,CND,t_c+} &= \left[ (1-Se) \prod_{d=s-t_c}^{s-(\mu+n+1)} (1-\beta_{c,d}) + Se \prod_{d=s-t_c}^{s-(\mu+1)} (1-\beta_{c,d}) - \prod_{d=s-t_c}^{s-1} (1-\beta_{c,d}) \right] \\
 &\quad \times [(1-Prev_{h,s-(t_c+1)}) \times (1-Vacc_{h,s-(t_c+1)})] \tag{14}
 \end{aligned}$$

### Probabilités d'infection des FT :

Pour les FT, à ce stade de la pandémie, le temps passé dans le pays  $c$ ,  $t_c$ , sera toujours supérieur à la somme des périodes latentes et infectieuses et au nombre de jours avant le test (c'est-à-dire  $t_c > n + \mu$ ). La probabilité qu'un FT soit infecté le jour du test est égale à la probabilité qu'il contracte l'infection à quelque moment que ce soit au cours des  $n$  jours précédant le test, multipliée par la probabilité qu'il n'ait pas été vacciné avec succès et de ne pas avoir été infecté dans le pays  $c$  à tout moment avant cette période de  $n$  jours (semblable à l'équation 6) :

$$P_{testday\_infect}^{NE,FT} = \left( 1 - \prod_{d=s-(n+\mu)}^{s-(\mu+1)} (1-\beta_{c,d}) \right) \times ((1-Prev_{c,s-(n+\mu+1)}) \times (1-Vacc_{c,s-(n+\mu+1)})) \tag{15}$$

La probabilité de NE PAS être infectée le jour du test parce que la personne n'a pas contracté l'infection pendant l'un des  $n$  jours avant le test, et qu'elle n'a pas développé d'immunité en raison de l'infection ou grâce à la vaccination dans le pays  $c$ , est la suivante :

$$P_{testday\_no\_infect}^{NE,FT} = \prod_{d=s-(n+\mu)}^{s-(\mu+1)} (1-\beta_{c,d}) \times ((1-Prev_{c,s-(n+\mu+1)}) \times (1-Vacc_{c,s-(n+\mu+1)})) \tag{16}$$

De ce fait, en fonction de l'équation 7, la probabilité qu'un FT importe une infection du pays  $c$  au Canada le jour  $s$  est :

$$\begin{aligned}
 P_{c,s}^{NE,FT} &= \left[ \left( 1 - \prod_{d=s-(n+\mu)}^{s-(\mu+1)} (1-\beta_{c,d}) \right) (1-Se) + \left( \prod_{d=s-(n+\mu)}^{s-(\mu+1)} (1-\beta_{c,d}) \right) \left( 1 - \prod_{d=s-\mu}^{s-1} (1-\beta_{c,d}) \right) \right] \\
 &\quad \times [(1-Prev_{c,s-(n+\mu+1)}) \times (1-Vacc_{c,s-(n+\mu+1)})] \\
 P_{c,s}^{NE,FT} &= \left[ 1 - Se + Se \prod_{d=s-(n+\mu)}^{s-(\mu+1)} (1-\beta_{c,d}) - \prod_{d=s-(n+\mu)}^{s-1} (1-\beta_{c,d}) \right] \\
 &\quad \times [(1-Prev_{c,s-(n+\mu+1)}) \times (1-Vacc_{c,s-(n+\mu+1)})] \tag{17}
 \end{aligned}$$

### Calcul du nombre de passagers arrivant infectés au Canada

Le nombre moyen de voyageurs infectés qui arrivent au Canada le jour  $s$  est de :

$$I_s = \sum_{i,c,k} v_{c,i,k,s}^{NE} [q P_{c,s}^{NE,CND} + (1-q) P_{c,s}^{NE,FT}] + \sum_{i,c,k} v_{c,i,k,s}^E [q P_{c,s}^{E,CND} + (1-q) P_{c,s}^{E,FT}] \quad (18)$$

où  $v_{c,i,k,s}^{NE}$  est le volume de passagers qui ont besoin d'un test PCR avant l'arrivée, qui partent du pays (ou de l'État américain)  $c$ , au point de départ  $i$ , le jour  $s$  et qui arrivent au Canada au point d'entrée  $k$ . De même,  $v_{i,k,s}^E$  est le volume de passagers, soit les voyageurs qui sont exemptés du test avant l'arrivée. De plus,  $q$  représente la proportion de Canadiens par rapport au nombre de visiteurs qui quittent le pays (ou l'État américain)  $c$  pour visiter le Canada. Le modèle calcule les probabilités quotidiennes d'introduction de l'infection pour les CND et les FT en partance de chacun des pays (ou des États américains) chacun des sept jours d'une semaine épidémiologique donnée. Le nombre quotidien de voyageurs infectés est calculé pour chaque jour, puis additionné au total de la semaine épidémiologique donnée.

### Calcul du nombre de passagers infectés par variant

Un passager infecté ne peut être porteur que d'un variant. Les données sur les variants préoccupants (VP) et les variants d'intérêt (VI) ont été téléchargées de la base de données EpiFlu™ [22] du GISAID, conformément à l'accord d'accès de partage de données du GISAID (<https://www.gisaid.org/registration/terms-of-use/>). Pour estimer le nombre de passagers qui sont infectés par un VP ou un VI à leur arrivée, on présume que la proportion de variants déclarée dans la base de données GISAID pendant une période de quatre semaines (qui inclut la semaine modélisée et les trois semaines antérieures) pour le pays (ou l'État américain) d'embarquement est la même proportion que celle qui serait observée chez les voyageurs infectés qui arrivent au Canada en provenance de ces pays. Cette hypothèse repose sur des biais inhérents tels que : 1) on peut cibler des personnes qui ont récemment voyagé à l'étranger et ont récemment été en contact étroit avec une personne revenant d'un voyage à l'étranger pour obtenir des échantillons à séquencer; 2) le nombre d'échantillons séquencés peut être insuffisant pour représenter le profil national actuel des variants, ce qui explique la raison pour laquelle les résultats présentés dans ce rapport sont limités aux pays ayant au moins 20 échantillons séquencés (tableau A-2). Il est difficile de tenir compte des biais dans l'échantillonnage ciblé parce que la base de données GISAID n'inclut pas systématiquement l'information sur les antécédents de voyage ni l'emplacement où l'exposition a eu lieu. Pour offrir une perspective plus large en ce qui concerne les variants qui circulent dans le pays, nous avons également inclus des échantillons provenant d'hôtes non humains (*Felis catus*, *Canis lupus Familiaris*, *Gorilla Gorilla Gorilla*, *Panthera leo*, *vison*, *Chlorocebus sabaeus*, *Mus musculus*, *Panthera Tigris jacksoni*) et de sources environnementales (eaux usées provenant des eaux usées domestiques).

## Hypothèses du modèle

- Les Canadiens et les visiteurs au Canada connaissent les mêmes taux d'exposition (c.-à-d.  $\beta_{c,d}$ ) dans le pays de départ ou dans l'État américain.
- Les voyageurs infectés ne transmettent pas l'infection pendant leur voyage.
- Les voyageurs susceptibles ne sont pas exposés à la COVID-19 pendant les voyages effectués par des personnes qui ne voyagent pas (p. ex., employés des services aéroportuaires).
- L'immunité est permanente.
- On présume que les voyageurs visitent un pays ou un État américain (ou y résident) avant de venir au Canada. Cet emplacement est défini par les données sur le lieu d'embarquement pour les CND et les FT fournies par l'ASFC.

## Limites du modèle

- Le modèle ne tient pas compte de la troncature à droite des cas déclarés, en ce sens qu'il y a une sous-déclaration au cours des derniers jours en raison des personnes infectées qui n'ont pas encore de symptômes et qui doivent se soumettre à des tests.
- On suppose qu'une personne infectée le jour du test et dont le résultat est négatif ramènera automatiquement l'infection au Canada, peu importe le stade de l'infection.

**Tableau A-2. Pays et nombre d'échantillons séquencés, *n*, du 14 au 20 novembre 2021, comme indiqué dans GISAID.** Les pays dont la taille de l'échantillon est inférieure à 20 ne sont pas pris en compte dans la modélisation estimant les variants préoccupants qui devraient être introduits au Canada.

Pays	n	Pays	n	Pays	n	Pays	n
Royaume-Uni	164544	Brésil	1144	Costa Rica	134	Maldives	35
É.-U.	106458	Slovaquie	1086	Finlande	133	Ukraine	32
Danemark	27487	Singapour	1067	Inde	131	Maurice	31
Allemagne	22027	Luxembourg	1066	Sri Lanka	103	Pacifique	31
France	9664	Mexique	1039	Équateur	101	Colombie	29
Suisse	7367	Bahreïn	837	Bosnie-Herzégovine	93	Îles Vierges américaines	29
Suède	4944	Norvège	798	Argentine	92	Congo	25
Belgique	3989	Lituanie	603	Afrique du Sud	91	Maroc	20
Pays-Bas	3661	Nouvelle-Zélande	555	Fédération de Russie	83	*	< 10
Italie	3246	Thaïlande	533	Jordanie	79		
Autriche	2987	Roumanie	475	Bonaire	75		
Pologne	2891	Croatie	425	Pakistan	69		
Australie	2839	Pérou	387	Égypte	63		
Espagne	2196	Israël	362	Massachusetts	63		
Turquie	1985	District de Columbia	298	Liechtenstein	56		
Portugal	1842	Grèce	285	Martinique	52		
République tchèque	1459	Cambodge	265	Curaçao	47		
Chili	1378	Estonie	255	Saint-Martin	39		
Irlande	1242	Malaisie	231	RAS de Hong Kong, Chine	38		
Canada	1209	Slovénie	184	Japon	35		

\*Pays ayant soumis moins de 20 échantillons séquencés : Indonésie, Sénégal, Trinité-et-Tobago, Kosovo, Réunion, Botswana, Guadeloupe, Bulgarie, Comores, Mayotte, Kenya, Bangladesh, Guam, Vietnam, Koweït, Louisiane, Missouri, Corée du Sud

## Références

1. Messenger JC, Lee S, McCann D. Working time around the world: Trends in working hours, laws, and policies in a global comparative perspective: Routledge; 2007.
2. Zhen W, Smith E, Manji R, Schron D, Berry GJ. 2020 Clinical evaluation of three sample-to-answer platforms for detection of SARS-CoV-2. *Journal of clinical microbiology* 58, e00783-00720.
3. Voysey M, Clemens SAC, Madhi SA, Weckx LY, Folegatti PM, Aley PK, Angus B, Baillie VL, Barnabas SL, Bhorat QE. 2021 Safety and efficacy of the ChAdOx1 nCoV-19 vaccine (AZD1222) against SARS-CoV-2: an interim analysis of four randomised controlled trials in Brazil, South Africa, and the UK. *The Lancet* 397, 99-111.
4. Lopez Bernal J, Andrews N, Gower C, Gallagher E, Simmons R, Thelwall S, Stowe J, Tessier E, Groves N, Dabrera G. 2021 Effectiveness of Covid-19 vaccines against the B. 1.617. 2 (Delta) variant. *N. Engl. J. Med.*, 585-594.

5. Pouwels KB, Pritchard E, Matthews PC, Stoesser N, Eyre DW, Vihta K-D, House T, Hay J, Bell JI, Newton JN. 2021 Effect of Delta variant on viral burden and vaccine effectiveness against new SARS-CoV-2 infections in the UK. *Nat. Med.*, 1-9.
6. Sharma K, Koirala A, Nicolopoulos K, Chiu C, Wood N, Britton PN. 2021 Vaccines for COVID-19: where do we stand in 2021? *Paediatr. Respir. Rev.*
7. Omrani AS, Tleyjeh IM. 2021 Which are the best coronavirus disease 2019 vaccines? *Clinical Microbiology and Infection*.
8. Nordström P, Ballin M, Nordström A. 2021 Effectiveness of heterologous ChAdOx1 nCoV-19 and mRNA prime-boost vaccination against symptomatic Covid-19 infection in Sweden: A nationwide cohort study. *The Lancet Regional Health-Europe*, 100249.
9. Ritchie H, Mathieu E, Rodés-Guirao L, Appel C, Giattino C, Ortiz-Ospina E, Hasell J, Macdonald B, Beltekian D, Roser M. 2020 Coronavirus pandemic (COVID-19). *Our World in Data*.
10. Wu SL, Mertens AN, Crider YS, Nguyen A, Pokpongkiat NN, Djajadi S, Seth A, Hsiang MS, Colford JM, Reingold A. 2020 Substantial underestimation of SARS-CoV-2 infection in the United States. *Nature communications* 11, 1-10.
11. Control CfD, Prevention. COVID-19 Response. COVID-19 case surveillance public data access, summary, and limitations Available from: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/cases-updates/cases-in-us.html>.
12. JHU. Available from: <https://coronavirus.jhu.edu/vaccines/us-states>.
13. Open COVID-19 Data Working Group. Detailed Epidemiological Data from the COVID-19 Outbreak. Available from: <http://virological.org/t/epidemiological-data-from-the-ncov-2019-outbreak-early-descriptions-from-publicly-available-data/337>.
14. World Health Organization. WHO COVID-19 detailed surveillance data dashboard. Available from: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYWVWRiZWVkdWUtdmM0Ni00MDAwLTljYWVtN2EwNTM3YjQzMmRmliwidCI6ImY2MTBjMGI3LWJkMjQtNGIzOS04MTBiLTNkYzI4MGFmYjU5MCI6ImMiOj9>.
15. Dong E, Du H, Gardner L. 2020 An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time. *The Lancet infectious diseases* 20, 533-534.
16. Census. Table 2. RESIDENT POPULATION FOR THE 50 STATES, THE DISTRICT OF COLUMBIA, AND PUERTO RICO: 2020 CENSUS. Available from: <https://www.census.gov/data/tables/2020/dec/2020-apportionment-data.html>.
17. Available from: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?locations=TV>.
18. The World Bank. GNI per capita, Atlas method (2019). Available from: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GNP.PCAP.CD>.
19. Cevik M, Bamford C, Ho A. 2020 COVID-19 pandemic—a focused review for clinicians. *Clinical Microbiology and Infection* 26, 842-847.
20. Weiss A, Jellingsø M, Sommer MOA. 2020 Spatial and temporal dynamics of SARS-CoV-2 in COVID-19 patients: A systematic review and meta-analysis. *EBioMedicine* 58, 102916.
21. Woodruff A, Walsh KL, Knight D, Irizarry-Alvarado JM. 2020 COVID-19 infection: strategies on when to Discontinue isolation, a retrospective study. *Am. J. Infect. Control* 48, 1032-1036.
22. Shu Y, McCauley J. 2017 GISAID: Global initiative on sharing all influenza data—from vision to reality. *Eurosurveillance* 22, 30494.

# MODÉLISATION BASÉE SUR LES AGENTS

## Méthodologie

La MBA de l'ASPC a déjà été publiée [1-3] et vous trouverez des renseignements techniques supplémentaires à cet égard ici :

- <https://www.cmaj.ca/content/cmaj/suppl/2020/08/17/cmaj.200990.DC1/200990-res-1-at.pdf>
- <https://royalsocietypublishing.org/doi/suppl/10.1098/rsos.210233>
- <https://ccnmi.ca/>

La modélisation est un modèle de simulation stratifié selon l'âge utilisé pour examiner la transmission du SRAS-CoV-2 au Canada. Compte tenu de la date de début des symptômes déclarée par les premiers cas au Canada, nous supposons que la transmission communautaire a commencé le 7 février 2020 [4]. Une éclosion est déclenchée par six cas symptomatiques sur une période de deux semaines qui transmettent l'infection localement. Les agents sont modélisés dans dix groupes d'âge distincts qui tiennent compte des différences dans les résultats de santé et les taux de contacts selon l'âge [5]. Le modèle utilise un intervalle de temps quotidien de plus de 1 096 jours (le jour 0 correspondant au 7 février 2020 alors que le jour 1 095 représente le 7 février 2023).

## Modélisation de l'environnement et des déplacements des agents

Les agents sont affectés à un foyer et à un environnement commun désignés (école, lieu de travail ou lieu de rassemblement pour personnes d'âges mixtes) en fonction de leur âge, en utilisant les projections pour le Canada comme guide pour affecter les agents de groupes d'âge susceptibles d'entrer en contact les uns avec les autres à la maison, au travail, à l'école et dans d'autres lieux; ces autres lieux (par exemple, restaurants, cafés, centres commerciaux, musées, bibliothèques, cinémas, supermarchés, parcs publics et plages) sont appelés des lieux de rassemblement pour personnes d'âges mixtes [5]. Les milieux de travail sont définis par un groupe d'âge plus restrictif qui se mélange, composé principalement de personnes âgées de 16 à 65 ans. Les écoles représentent les garderies, les écoles primaires et secondaires et la plupart des agents du groupe d'âge des 0 à 16 ans sont affectés aux écoles. Les agents ont été répartis dans les trois environnements communs pendant les jours de semaine. Au moment de l'initialisation de la modélisation, les agents se déplaçaient entre leur ménage et l'environnement commun pendant les jours de semaine, passant en moyenne huit heures par jour hors du domicile. Chaque fin de semaine, un groupe d'agents différent était choisi au hasard pour se rendre dans un nouvel environnement d'âge mixte hors de son environnement habituel. Nous avons présumé que les écoles et les lieux de travail étaient fermés les fins de semaine. La mobilité variait selon l'âge, ainsi qu'entre les jours de semaine et les fins de semaine. Nous avons présumé que les agents plus âgés n'étaient pas aussi mobiles pendant les jours de semaine que les personnes plus jeunes, mais pour des raisons de simplicité, nous avons supposé que les déplacements pendant la fin de semaine étaient uniformes entre les groupes d'âge. La mobilité était déterminée au quotidien pour chaque agent qui pouvait donc sortir de la maison s'il était sélectionné aléatoirement en fonction de la probabilité estimée pour son groupe d'âge [1, 2].

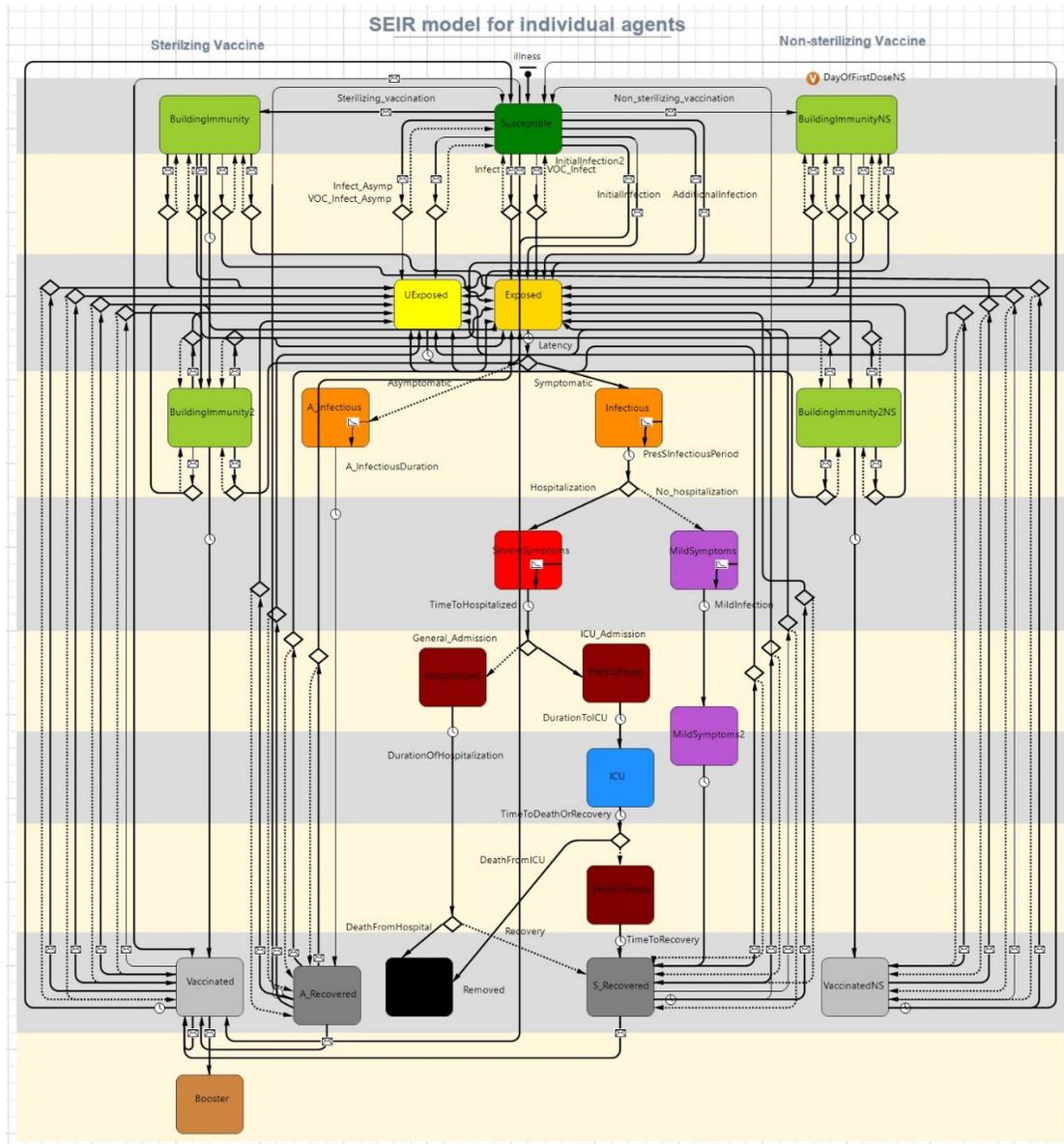
## Cadre de la modélisation

Un cadre avec compartiments a été élaboré afin de représenter les états de santé épidémiologiques des agents (figure A-1). Tous les agents commencent par être susceptibles (nous présumons que la population canadienne n'est pas consciente du SRAS-CoV-2), à l'exception des agents infectés utilisés pour amorcer la transmission. L'infection se produit lors d'un contact réussi entre des agents susceptibles et infectieux. Les agents infectieux se

présentent sous quatre états : asymptomatiques, présymptomatiques, légèrement symptomatiques et symptomatiques graves. On suppose que les cas graves, après une période présymptomatique, restent à la maison jusqu'à ce qu'ils soient hospitalisés et ne peuvent donc transmettre l'infection qu'aux membres du ménage, à un taux réduit de 50 %, alors que les cas asymptomatiques, présymptomatiques et bénins peuvent infecter tant les membres du ménage que ceux qu'ils côtoient dans différents lieux communs. Une fois infectés, les agents passent par différents états de santé en commençant par les états associés à l'exposition (avec une distinction entre les agents qui ont été exposés à un cas symptomatique et ceux qui ont été exposés à un cas asymptomatique) jusqu'à la guérison ou la mort. Nous avons présumé que les personnes guéries demeurent immunisées contre la réinfection pendant la durée de l'exécution du modèle. La durée pendant laquelle les agents restent dans chacun des états de santé épidémiologique variait d'un agent à l'autre et a été déterminée par échantillonnage à partir des distributions de probabilité définies par la littérature ou les données canadiennes [1, 2].

La transmission de la COVID-19, des agents infectés à des agents susceptibles, s'effectue dans le ménage et dans les environnements communs. Par souci de simplicité, le modèle actuel n'intègre pas la transmission pendant les déplacements de l'agent ou dans d'autres environnements uniques comme les hôpitaux ou les établissements de soins de longue durée. Le modèle représente donc le nombre de références pour les infections, les hospitalisations et les décès, à l'exclusion des éclosions isolées comme celles observées dans les établissements de soins de longue durée, les hôpitaux et d'autres éclosions localisées. Pour tenir compte des taux d'hospitalisation et de mortalité qui ont été gonflés en raison des décès dans les établissements de soins de longue durée et les hôpitaux, nous avons supprimé les cas liés à des éclosions dans les établissements et à la transmission dans les hôpitaux afin de fournir une meilleure estimation des taux d'hospitalisation et de mortalité attribuables à la transmission dans la collectivité en général.

**Figure A-1. Modélisation basée sur les agents de l'ASPC qui peut examiner les vaccins contre la souche de type sauvage et les variants ayant des caractéristiques uniques, ainsi que d'autres mesures de santé publique, incluant la détection et l'isolement des cas, la recherche des contacts et la mise en quarantaine, la distanciation physique et les fermetures dans les collectivités.**



## Vaccination

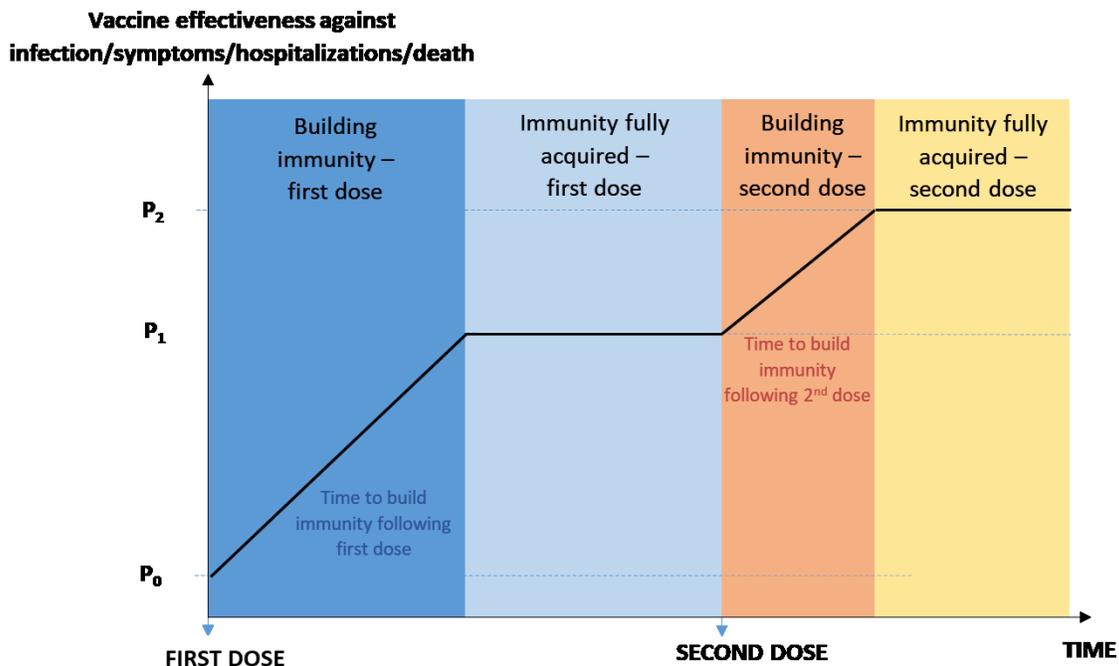
Pour simuler l'incidence de la vaccination, la modélisation inclut deux états représentant les première et deuxième doses des vaccins stérilisants et non stérilisants (BuildingImmunity et BuildingImmunity2) (figure A-1). Les agents peuvent être infectés par contact avec un agent infectieux après la vaccination et la probabilité d'infection diminue chaque jour après avoir reçu les première et deuxième doses (figure A-2). Le modèle permet une logique distincte selon le mode d'action présumé du vaccin (stérilisation/blocage de la transmission par rapport à non-stérilisation/réduction de la maladie). Il permet également la modélisation simultanée d'un vaccin stérilisant et d'un vaccin non stérilisant. Les agents susceptibles qui sont vaccinés effectuent le suivi de l'état du vaccin qu'ils ont reçu (stérilisant ou non stérilisant), le temps qui s'est écoulé depuis qu'ils ont reçu les doses du vaccin et les effets protecteurs qui en découlent.

Dans le modèle, la vaccination dépend du temps, et l'efficacité du vaccin contre l'infection, les symptômes cliniques et les conséquences graves pour la santé est modélisée comme suit :

1. Le vaccin a une combinaison d'effets, incluant la prévention de l'infection, des symptômes cliniques, des hospitalisations et des décès et on peut voir que les niveaux de protection augmentent entre les première et deuxième doses du vaccin (figure A-2);
2. La probabilité d'attraper une infection, de développer des symptômes cliniques, d'être hospitalisé et de décéder de ce virus est fonction du temps qui s'est écoulé depuis la première dose assurant l'immunité totale reçue 14 jours après la première dose (figure A-2);
3. De même, la probabilité d'attraper une infection, de développer des symptômes cliniques, d'être hospitalisé et de décéder de ce virus est fonction du temps qui s'est écoulé depuis la deuxième dose, puisque l'immunité complète est acquise sept jours après la deuxième dose (figure A-2).

L'immunité après l'infection ou la vaccination n'a pas diminué pendant la durée des cycles dans la modélisation.

**Figure A-2. Délai et début de l'efficacité vaccinale contre l'infection, les symptômes cliniques et les complications graves après les première et deuxième doses du vaccin.**  $P_0$ ,  $P_1$  et  $P_2$  correspondent respectivement à la probabilité d'efficacité du vaccin contre l'infection, les symptômes, les hospitalisations ou le décès avant la première dose, après la première dose et après la deuxième dose, respectivement. La probabilité de protection contre l'infection et les problèmes de santé augmente avec le temps.



### Efficacité du vaccin

Le modèle inclut des probabilités conditionnelles imbriquées pour établir l'effet des vaccins sur la protection contre l'infection, les symptômes cliniques, les hospitalisations et les décès. L'efficacité globale du vaccin (EV) contre les symptômes cliniques, les hospitalisations et les décès est ajustée comme EV conditionnelle, c'est-à-dire l'efficacité du vaccin contre les symptômes d'une infection donnée, l'efficacité du vaccin contre l'hospitalisation en fonction des symptômes donnés et l'efficacité du vaccin contre les décès en fonction des hospitalisations. Ces différentes EV conditionnelles ont été calculées comme suit :

$$VE_{symp|inf} = 1 - \frac{(1 - VE_{symp})}{(1 - VE_{inf})} \quad (1)$$

$$VE_{hosp|symp} = 1 - \frac{(1 - VE_{hosp})}{(1 - VE_{symp})} \quad (2)$$

$$VE_{death|hosp} = 1 - \frac{(1 - VE_{death})}{(1 - VE_{hosp})} \quad (3)$$

### Intervalles recommandés et délai allongé entre la première et la deuxième dose

La modélisation est fondée sur le fait que les personnes recevront deux doses de vaccin et que la vaccination a débuté le 14 décembre 2020. La modélisation tient compte de l’approvisionnement limité en vaccins du Canada entre janvier et mai 2021 et utilise, à compter du 4 mars 2021, un intervalle allongé entre les première et deuxième doses du vaccin, comme le recommande le CCNI [6]. Les personnes incluses dans la modélisation des personnes vaccinées avant le 4 mars reçoivent une deuxième dose du vaccin 28 jours après la première, alors que les personnes vaccinées qui ont été vaccinées le 4 mars ou après cette date reçoivent leur deuxième dose le 25 mai ou après cette date. À ce stade, les première et deuxième doses sont administrées simultanément et la proportion d’administration de la première dose diminue au fil du temps. Les taux d’administration de la première et de la deuxième dose sont fondés sur les données provenant du COVID-19 Tracker, ce qui inclut des données allant jusqu’au 18 novembre 2021 [7]. Dans la dernière mise à jour (rapport de modélisation en date du 25 novembre 2021), la date de fin prévue du déploiement de la vaccination va du 20 décembre 2021 dans les scénarios dans lesquels les enfants ne sont pas vaccinés jusqu’au 26 juin 2022 dans les scénarios où les enfants sont vaccinés (figure A-3, tableau 4).

### Dose de rappel

Selon les données de Covid19tracker.ca [7], on peut voir que les doses de rappel ont commencé à être administrées le 17 septembre 2021. Les taux hebdomadaires du 17 septembre au 11 novembre 2021 sont fondés sur des données réelles, tandis que les taux à compter du 11 novembre devraient augmenter de façon linéaire jusqu’à 150 doses de rappel par 100 000 personnes par jour d’ici mai 2022. La date de fin du déploiement de la dose de rappel va du 18 avril 2022 au 25 mars 2023 selon le scénario (tableau 4).

**Figure A-3. Nombre cumulatif de personnes vaccinées ayant reçu la première dose (colonne de gauche), la deuxième dose (colonne du milieu) et la dose de rappel (colonne de droite) par groupe d'âge pour les sept modèles présentés dans le rapport du 25 novembre 2021.**

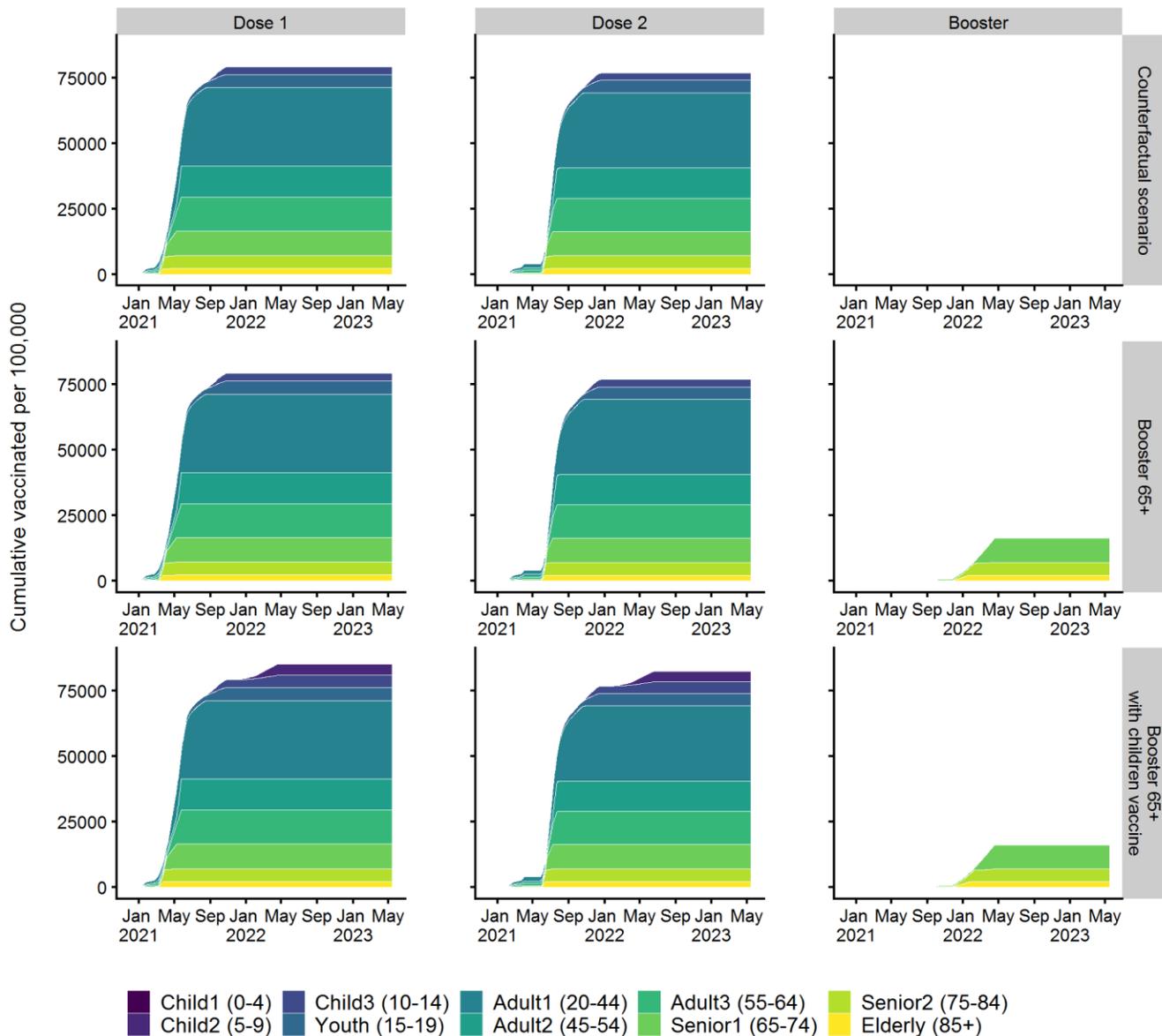
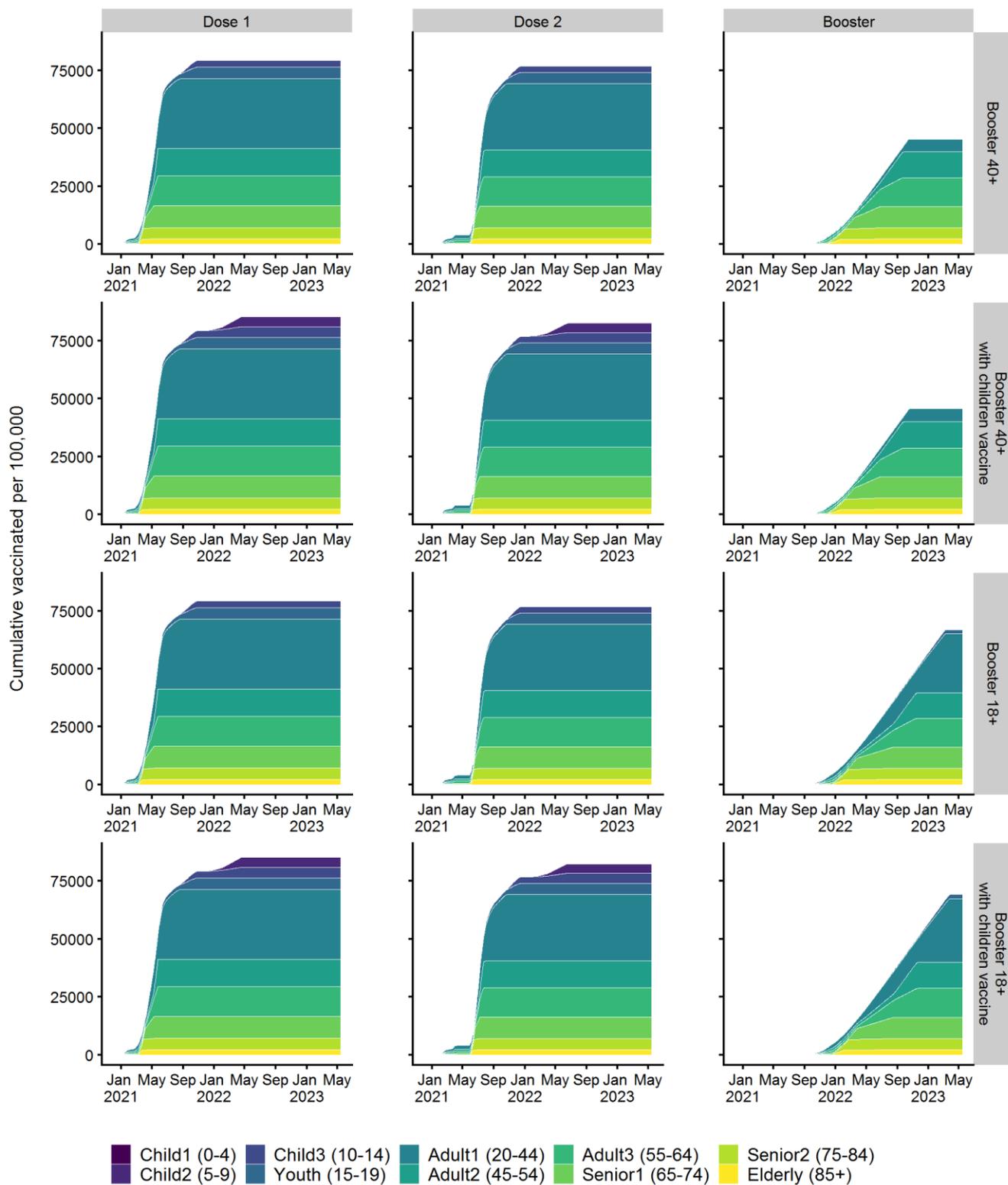


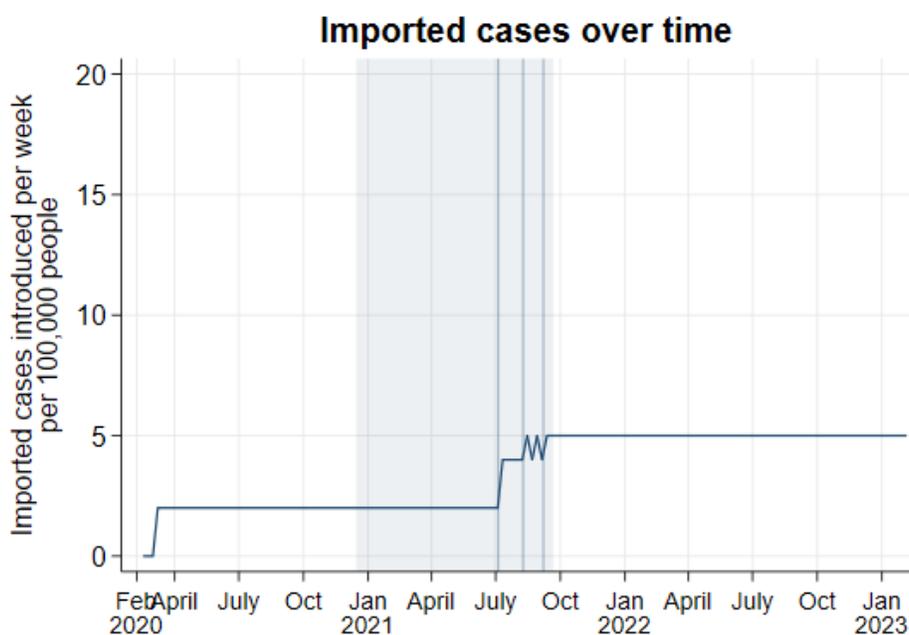
Figure A-3 (suite). Nombre cumulé de personnes vaccinées ayant reçu la première dose (colonne de gauche), la deuxième dose (colonne du milieu) et la dose de rappel (colonne de droite) par groupe d'âge pour les sept modèles présentés dans le rapport du 25 novembre 2021.



## Cas importés

Le nombre de personnes infectées qui entrent au Canada constitue un nombre statique de cas chaque semaine par 100 000 personnes estimé du début de la pandémie à la réouverture de la frontière. Le nombre de cas importés par semaine est estimé à l'aide du risque modèle de risque d'importation de l'ASPC et est défini comme un cas permanent et un cas transitoire (qui demeure dans la population pendant cinq à quinze jours) par 100 000 habitants par semaine [8]. Ces chiffres représentent le nombre de voyageurs infectés qui entrent au Canada après avoir subi un test au moins 72 heures avant leur départ pour le Canada (tests préalables avant le départ) et qui sont présumés avoir échappé à la détection ou avoir été exemptés des tests [9, 10].

**Figure A-4. Cas importés introduits dans la modélisation par semaine au fil du temps.** À compter du 1<sup>er</sup> mars 2020, deux cas sont importés chaque semaine par 100 000 personnes, ce qui représente le volume de déplacements malgré les restrictions en place. La première ligne verticale bleue représente l'étape 1 de la réouverture (5 juillet 2021) lorsque le nombre de cas importés passe à quatre cas par 100 000 personnes. La deuxième ligne verticale bleue représente l'étape 2 de la réouverture (9 août 2021) lorsque le nombre de cas importés passe à un chiffre entre quatre et cinq cas par 100 000 personnes. La troisième ligne verticale bleue représente l'étape 3 de la réouverture (7 septembre 2021) lorsque le nombre de cas importés passe à cinq cas par 100 000 personnes. Le nombre de cas importés reste à cinq par 100 000 personnes pour le reste de la durée du modèle.



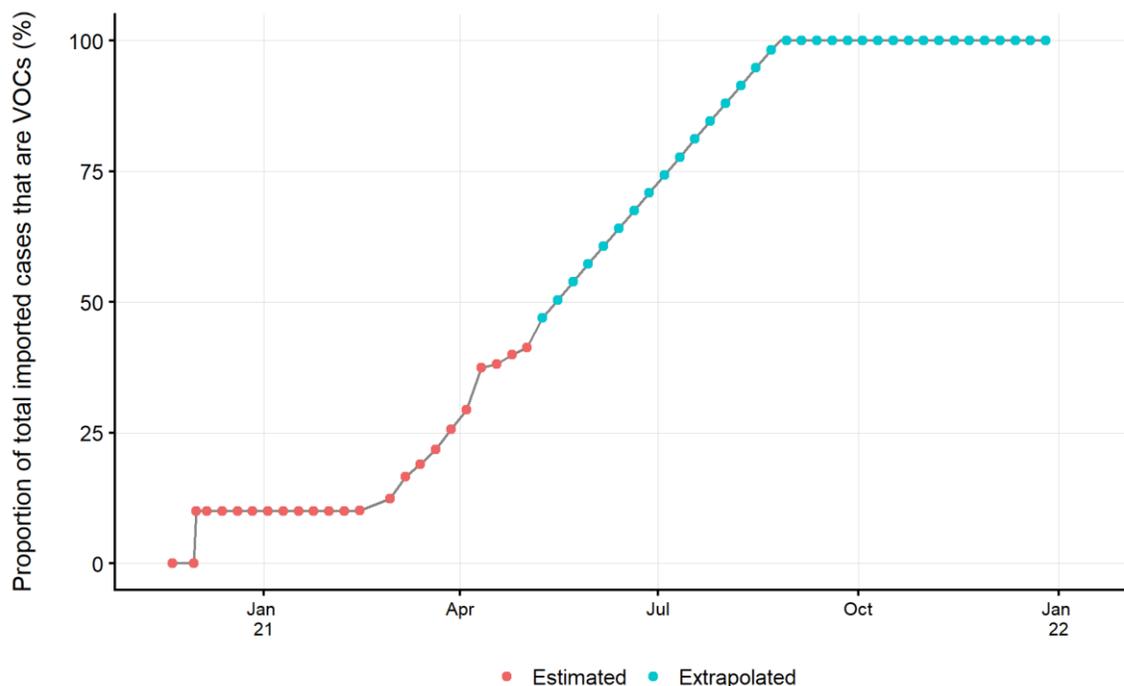
Les étapes 1, 2 et 3 de la réouverture de la frontière ont été estimées à l'aide du modèle de risque d'importation de l'ASPC et se déroulent respectivement le 1<sup>er</sup> juillet, le 8 août et le 7 septembre 2021. On estime que la réouverture de la frontière contribuera à l'importation de 1 500, de 1 688 et de 1 875 cas supplémentaires par semaine au Canada à chacune des étapes de la réouverture. Ces cas ont été convertis en un nombre par 100 000 habitants pour la MBA, ce qui a donné 4, 4 à 5 et 5 cas importés par semaine pour une population canadienne de 100 000. Comme c'était le cas avant l'étape 1, les cas importés ont été répartis en un cas permanent, les cas restants étant des cas transitoires (demeurant dans la population pendant 5 à 15 jours). La

figure A-4 montre le nombre de cas importés introduits dans les modèles du présent rapport de modélisation, avec une augmentation correspondante dans le nombre de cas à chacune des étapes de la réouverture de la frontière.

### Variants préoccupants

L'introduction des variants préoccupants (VP) se fait par l'entremise des voyageurs qui arrivent au pays. Lorsqu'un agent susceptible est infecté, un suivi de la souche infectieuse est effectué (variant préoccupant par rapport à la souche de type sauvage) et la probabilité d'infection à d'autres agents dépendra du type de souche trouvé. Le modèle peut examiner deux ou plusieurs VP ayant différentes caractéristiques (c.-à-d. transmissibilité, virulence, échappement immunitaire de la protection contre les infections, hospitalisations et décès causés par les vaccins), en plus de la souche de type sauvage originale. La figure A-5 montre la proportion des VP qui s'introduisent dans la population modèle et deviennent des cas importés. Les valeurs de décembre 2020 au 9 mai 2021 sont estimées à partir du modèle de risque d'importation de l'ASPC (marqueurs rouges) et les points de données subséquents (marqueurs bleus) sont extrapolés de façon linéaire avec une proportion de cas importés attribués à des VP qui devrait atteindre 100 % d'ici le 29 août 2021.

**Figure A-5. Proportion de cas importés qui sont des variants préoccupants selon l'estimation du modèle de risque d'importation de l'ASPC.** Les marqueurs rouges indiquent les proportions estimées à partir des extraits du modèle, tandis que les marqueurs bleus indiquent les points de données extrapolés estimés pour des périodes futures. La proportion de cas importés qui devrait être attribuable à des VP atteindra 100 % d'ici le 29 août 2021.



## Modèle de référence (dernier étalonnage effectué en octobre 2021)

Le scénario de référence canadien actuel (figure A-6) tient compte des mesures de santé publique historiques qui ont été mises en œuvre et a été étalonné pour simuler l'épidémie à l'échelle nationale. Les hypothèses utilisées dans ce modèle sont fondées sur les données disponibles et sont résumées ci-dessous :

### Hypothèses qui ne changent pas pendant toute la durée du modèle :

- Détection et isolement de 20 % de tous les cas pour toute la période du modèle [11-13].
- 50 % des cas détectés ont fait l'objet d'une recherche de contacts. Lorsque cette recherche de contacts atteignait 50 cas actifs par 100 000, elle s'arrêtait pour toute la période incluse dans la modélisation en raison d'un dépassement de la capacité de traçage [14, 15].

### Hypothèses relatives à la distanciation physique :

- Les données du sondage indiquent que la distanciation physique (c.-à-d. les taux quotidiens selon lesquels chaque personne entre en contact avec d'autres personnes) a varié pendant la pandémie (et a déjà été publiée [1, 2]), tout comme les niveaux de conformité qui changeaient selon les groupes d'âge [16-18]. La distanciation physique tient compte de nombreuses mesures de santé publique qui réduiraient les contacts efficaces entre les personnes, par exemple le port du masque ou du couvre-visage, les restrictions sur les rassemblements, la réduction des taux de contacts, etc., mais ces mesures ne sont pas modélisées explicitement.
- L'assouplissement graduel commence le 15 juillet 2021, et le retour à 100 % des taux de contacts avant la pandémie se fera d'ici le 1<sup>er</sup> mars 2022 [5, 17, 18].

### Hypothèses relatives aux fermetures restrictives :

- Il y a cinq phases de fermeture entre le 16 mars et le 1<sup>er</sup> septembre 2021. Ces fermetures sont modélisées selon la diminution de la mobilité observée au cours des périodes correspondantes en fonction aide des données sur la mobilité de Google et du rapport *Le travail à domicile au Canada : qu'avons-nous appris jusqu'à présent?* de Statistique Canada [19, 20]. Les fermetures comprennent 100 % des écoles, 50 % des lieux de travail et 50 % des lieux de rassemblement pour personnes d'âges mixtes correspondant à la diminution de la mobilité observée selon l'emplacement [19, 20].
- Première phase (du 16 mars au 10 mai 2020) dans laquelle 100 % des écoles, 50 % des lieux de travail (télétravail) et 50 % des lieux de rassemblement pour personnes d'âges mixtes (entreprises non essentielles) sont fermés.
- Deuxième phase (du 11 mai au 30 juin 2020), dans laquelle 100 % des écoles sont restées fermées et 40 % des personnes continuent de faire du télétravail et les entreprises non essentielles rouvrent.
- Troisième phase (du 1<sup>er</sup> juillet au 7 septembre 2020), dans laquelle 65 % des écoles du modèle rouvrent, ce qui représente les camps d'été et les activités qui rassembleraient les enfants pendant l'été et 36 % des personnes continuent de faire du télétravail.
- Quatrième phase (correspond à la deuxième vague, à l'hiver 2020), déclenchée lorsque le nombre de cas cliniques a atteint 200 cas actifs par 100 000 et s'est terminée après 12 semaines), modélisée selon l'indice de sévérité.
- Cinquième phase (correspond à la troisième vague, à l'hiver 2021), déclenchée lorsque le nombre de cas cliniques a atteint 220 cas actifs par 100 000 et s'est terminée le 15 juin 2021), modélisée selon l'indice de sévérité.
- Réouverture graduelle des écoles, des lieux de travail et des entreprises non essentielles qui commence le 15 juin 2021 et varie selon l'emplacement :
- Réouverture complète des entreprises non essentielles d'ici le 1<sup>er</sup> septembre 2021

- Réouverture d'un maximum de 80 % des lieux de travail d'ici le 1<sup>er</sup> septembre 2021, ce qui veut dire que certaines personnes continueront de faire du télétravail indéfiniment
- Réouverture des écoles, comme pendant la troisième phase. 65 % des écoles ont rouvert le 15 juin 2021, ce qui représente les camps d'été et activités qui rassembleraient les enfants pendant l'été. Le 7 septembre 2021, les écoles ont été rouvertes à leur pleine capacité, ce qui représente le début de l'année scolaire.
- Aucune autre fermeture n'était incluse dans le modèle de référence.

### Hypothèses relatives aux cas importés :

- Le taux d'importation représentant une frontière fermée est un cas importé permanent (qui demeure dans la population pendant toute l'exécution du modèle) par 100 000 habitants par semaine, alors qu'un cas importé transitoire (qui se mêle à la population pendant cinq à quinze jours pendant qu'il était infectieux, puis repart) par 100 000 habitants par semaine [8].
- La réouverture de la frontière canadienne s'effectue en trois étapes :
- Étape 1 (5 juillet 2021) – Les résidents canadiens entièrement vaccinés qui font partie de la catégorie des voyageurs non essentiels sont autorisés à entrer au Canada, pourvu qu'ils respectent les exigences relatives aux tests de dépistage avant le départ [9, 10], ce qui se traduit par 1 500 cas importés par semaine (quatre cas importés par 100 000 par semaine; un cas importé permanent et trois cas importés transitoires).
- Étape 2 (9 août 2021) – Les résidents américains entièrement vaccinés qui font partie de la catégorie des voyageurs non essentiels sont autorisés à entrer au Canada, pourvu qu'ils respectent les exigences relatives aux tests de dépistage avant le départ [9, 10], ce qui se traduit par 1 688 cas importés par semaine (quatre ou cinq cas importés, en alternance, par 100 000 par semaine avec toujours un cas importé permanent et trois ou quatre cas importés transitoires).
- Étape 3 (début septembre 2021) – Les voyageurs non essentiels entièrement vaccinés en provenance de pays autres que les É.-U. sont autorisés à entrer au Canada, pourvu qu'ils respectent les exigences relatives aux tests de dépistage avant le départ [9, 10], ce qui se traduit par 1 875 cas importés par semaine (cinq cas importés par 100 000 par semaine; un cas importé permanent et quatre cas importés transitoires).
- Les cas importés respectent les mesures de santé publique au même titre que la population, mais doivent subir des tests à la frontière et être surveillés. En réalité, les cas importés peuvent même se conformer aux mesures de santé publique à un niveau plus élevé que la population en général, soit quarantaine, isolement, distanciation physique (bien que les estimations du modèle soient tirées d'un modèle qui tient compte des cas qui ont échappé à la détection avant l'entrée au Canada).

### Hypothèses relatives au type sauvage et aux variants préoccupants du SRAS-CoV-2 :

- À compter du 1<sup>er</sup> décembre 2020, la probabilité que chaque cas importé soit lié à un variant préoccupant était de 10 % (estimation). La proportion de cas associés à une importation de VP change de façon dynamique au fil du temps selon les points de données estimés à partir du modèle de risque d'importation de l'ASPC (voir la figure A-5) [8].
- Le VP est modélisé sur le variant Alpha (B.1.1.7) qui est 50 % plus transmissible [21] et 40 % plus virulent, ce qui entraîne plus d'hospitalisations que la souche de type sauvage [22], mais n'a pas l'échappement immunitaire comme caractéristique. Cela correspond à un R0 d'environ 4,1.
- La valeur de référence comprend l'introduction du variant Delta (B.1.617.2), qui a été introduit le 9 mars 2021 et est devenu dominant le 29 août 2021. Le variant Delta est caractérisé par l'échappement immunitaire et est 100 % plus transmissible et 80 % plus virulent que le type sauvage. Cela correspond à un R0 d'environ 5,4.

### Hypothèses sur l'infection et la baisse de l'immunité

- Les personnes asymptomatiques sont aussi infectieuses que les personnes symptomatiques.
- L'immunité est maintenue pendant six mois, avant de commencer à baisser [23, 24].
- Cette baisse est plus rapide chez les personnes âgées de 65 ans et plus [25, 26].
- L'immunité obtenue à la suite d'une infection et l'immunité conférée par vaccin diminuent pendant la même période (deux ans chez les 65 ans et plus et trois ans chez les moins de 65 ans).
- L'immunité après une dose de rappel (troisième dose) diminuera au fil du temps au même rythme que la baisse qui a suivi l'administration de la deuxième dose.
- Six mois après la vaccination ou l'infection naturelle, la protection contre l'infection par le SRAS-CoV-2 diminue, mais la protection contre l'hospitalisation et le décès persiste et ne diminue pas [24].
- La protection contre l'hospitalisation et la mort que donne l'infection survenue naturellement est la même que l'immunité conférée par le vaccin après deux doses complètes. La protection contre l'hospitalisation et le décès variera selon la souche de SARS-CoV-2 (voir les tableaux 2 et 3 du rapport de MBA).
- Les personnes chez qui l'infection est survenue naturellement à deux reprises ou celles chez qui l'infection est survenue naturellement et qui ont ensuite été entièrement vaccinées ont une immunité à vie [26].

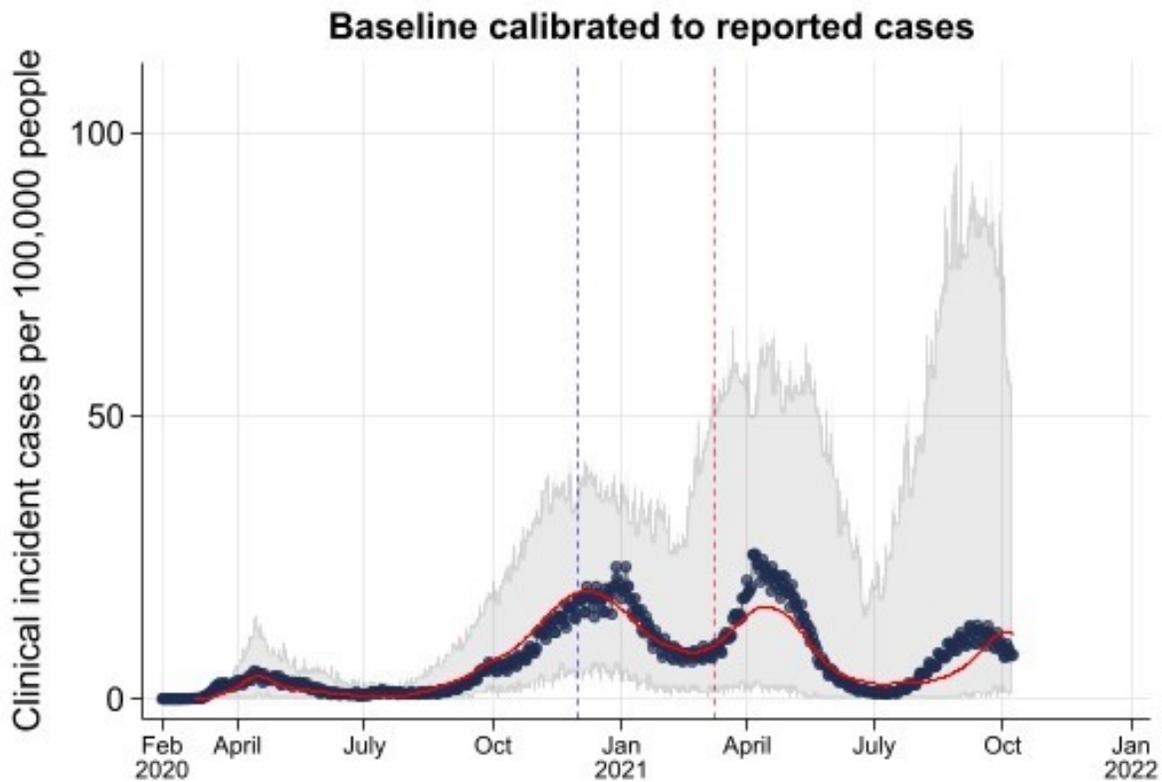
### Hypothèses relatives aux doses de rappel

- Les doses de rappel sont administrées dans le même ordre de priorité que les première et deuxième doses, en général, des plus âgés aux plus jeunes.
- Les doses de rappel sont administrées au moins six mois après la deuxième dose.
- Les taux d'administration hebdomadaires de la dose de rappel sont estimés à l'aide de covid19tracker.ca pour la période entre le 17 septembre et le 11 novembre 2021 [7].
- Les doses de rappel sont imparfaites et assurent une protection contre l'infection, les symptômes, les hospitalisations et les décès jusqu'au niveau conféré par deux doses de vaccin (tableau 2). Lorsqu'une personne reçoit une dose de rappel, sa protection est réinitialisée au niveau total d'immunité conférée par deux doses, c.-à-d. qu'elle est toujours imparfaite puisque le vaccin à deux doses est imparfait, et le temps avant la baisse de l'immunité est réinitialisé, ce qui lui donne une autre période de six mois pendant laquelle l'immunité se maintient, avant de commencer à baisser.

### Hypothèses relatives aux passeports vaccinaux :

- Entre le 15 septembre 2021 et le 1<sup>er</sup> mars 2022, la population a dû utiliser un passeport vaccinal conçu pour empêcher les personnes non vaccinées d'entrer dans les entreprises non essentielles (environ 50 % des lieux de travail et 50 % des lieux de rassemblement pour personnes d'âges mixtes). Cette situation se produit dans de nombreuses provinces et de nombreux territoires. La date de fin de vigueur de ce passeport n'est qu'une estimation de la date où ils ne seront plus requis.

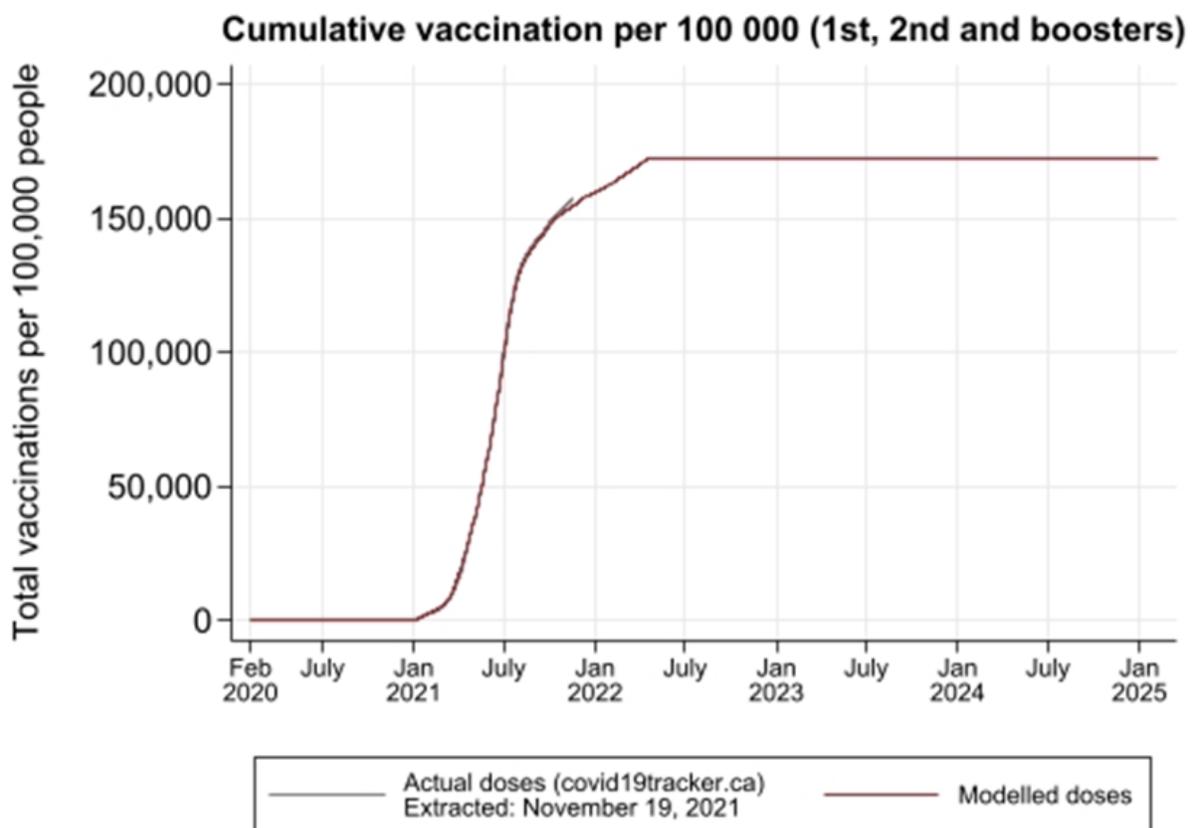
**Figure A-6. Scénario de référence.** La ligne pointillée bleue représente l'introduction du variant Alpha le 1<sup>er</sup> décembre 2020. La ligne pointillée rouge représente l'introduction du variant Delta le 9 mars 2021. Les marqueurs bleus représentent les nouveaux cas au fil du temps jusqu'au 8 octobre 2021. La courbe rouge représente la valeur médiane des nouveaux cas obtenue après 100 exécutions du modèle jusqu'au 8 octobre 2021. La zone grise ombrée représente l'intervalle de crédibilité de 95 % pour les nouveaux cas tiré des 100 exécutions du modèle entre le 7 février 2021 et le 8 octobre 2021. Ce modèle de référence comprend le déploiement de la vaccination et toutes les mesures de santé publique mises en œuvre à ce jour, ainsi que les mesures prévues selon les scénarios modélisés présentés dans ce rapport.



## Déploiement de la vaccination au Canada : réalité et modélisation (données extraites le 19 novembre 2021)

La figure A-7 montre les doses totales cumulatives de vaccins (premier, deuxième et rappels) administrées au Canada jusqu'au 18 novembre 2021 [7] par rapport aux doses totales cumulatives administrées dans le modèle du scénario Dose de rappel aux 65 ans et plus (tracé pour toute l'exécution du modèle). Ce modèle représente le déploiement de la vaccination qui se rapproche le plus du déploiement réel de la vaccination au Canada. Les doses modélisées sont fondées sur le calendrier d'approvisionnement et de livraison et sur le déploiement retardé de 4 mois recommandé par le CCNI au début du mois de mars 2021 [6, 27] et depuis la dernière semaine de mai 2021, la proportion de doses distribuées en tant que première et deuxième doses [7]. En novembre 2021, les données sur les doses de rappel ont été rendues publiques et sont maintenant intégrées dans la MBA [7]. Le déploiement modélisé de la vaccination est conforme au déploiement actuel de la vaccination  $\pm 1\%$  de la couverture vaccinale actuelle.

**Figure A-7. Doses de vaccin administrées au fil du temps, données réelles et résultats du modèle.** La ligne rouge représente la médiane des doses de vaccin cumulatives administrées pendant 100 simulations du scénario contre-factuel. La ligne bleu foncé représente les doses réelles cumulatives de vaccin administrées par date au Canada jusqu'au 18 octobre 2021.



## Références

1. Ng, V., et coll., Projected effects of nonpharmaceutical public health interventions to prevent resurgence of SARS-CoV-2 transmission in Canada. *Journal de l'Association médicale canadienne*, 2020. 192(37): p. E1053.
2. Ng, V., et coll., Modelling the impact of shutdowns on resurging SARS-CoV-2 transmission in Canada. *Royal Society Open Science*, 2021. 8(5): p. 210233.
3. Gabriele-Rivet V, et coll., Modelling the impact of age-stratified public health measures on SARS-CoV-2 transmission in Canada. . *Royal Society Open Science*, 2021. 8 : 210834.
4. Agence de santé publique du Canada, Liste nationale des cas de COVID-19. Extraite le 6 juin 2020. 2020.
5. Prem, K., A.R. Cook, and M. Jit, Projecting social contact matrices in 152 countries using contact surveys and demographic data. *PLOS Computational Biology*, 2017. 13(9): p. e1005697.
6. Gouvernement du Canada. Réponse rapide du CCNI : Allongement des intervalles entre les doses des vaccins contre la COVID-19 pour optimiser les campagnes de vaccination précoces et la protection des populations au Canada 2021 [cité en 2021, 4 mars 2021]. Accessible à l'adresse : <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/immunisation/comite-consultatif-national-immunisation-ccni/reponse-rapide-allongement-intervalles-doses-vaccins-covid-19-campagnes-precoces-protection-population.html>.
7. COVID-19 Tracker Canada. COVID-19 Vaccination Tracker. 2021 [cité en 2021, 18 octobre 2021]. Accessible à l'adresse : <https://covid19tracker.ca/vaccinationtracker.html>.
8. Agence de la santé publique du Canada, Rapport bihebdomadaire de modélisation de l'Agence de la santé publique du Canada : risque d'importation par voie aérienne et terrestre. Rapport de modélisation interne. 2021.
9. Gouvernement du Canada. Dépistage de la COVID-19 pour les voyageurs 2021 [cité en 2021, 1 juin 2021]. Accessible à l'adresse : [https://voyage.gc.ca/voyage-covid/voyage-restrictions/liste-verification-avion-canada/tests-depistage-covid-19-voyageurs-arrivent-canada?\\_ga=2.241358533.691563136.1648433759-1204646246.1648433759](https://voyage.gc.ca/voyage-covid/voyage-restrictions/liste-verification-avion-canada/tests-depistage-covid-19-voyageurs-arrivent-canada?_ga=2.241358533.691563136.1648433759-1204646246.1648433759).
10. Gouvernement du Canada. Dépistage de la COVID-19 pour les voyageurs 2021 [cité en 2021, 1 juin 2021]. Accessible à l'adresse : [https://voyage.gc.ca/voyage-covid/voyage-restrictions/liste-verification-avion-canada/tests-depistage-covid-19-voyageurs-arrivent-canada?\\_ga=2.30553848.691563136.1648433759-1204646246.1648433759](https://voyage.gc.ca/voyage-covid/voyage-restrictions/liste-verification-avion-canada/tests-depistage-covid-19-voyageurs-arrivent-canada?_ga=2.30553848.691563136.1648433759-1204646246.1648433759).
11. Centre for Mathematical Modelling of Infectious Diseases (CMMID). Using a delay-adjusted case fatality ratio to estimate under-reporting. 2020 [cité le 19 avril 2020]. Accessible à l'adresse : [https://cmmid.github.io/topics/covid19/global\\_cfr\\_estimates.html](https://cmmid.github.io/topics/covid19/global_cfr_estimates.html).
12. Dougherty, B.P., et coll., Exploring the percentage of COVID-19 cases reported in the community in Canada and associated case fatality ratios. *Infectious Disease Modelling*, 2020: p. 10.1016/j.idm.2020.11.008.
13. Santé publique Ontario, Résumé épidémiologique amélioré : COVID-19 : mortalité clinique, identification des cas et taux d'attaque en Ontario. 2020. p. 12.
14. Toronto Public Health, Temporary Change in Contact Tracing. Date : 8 octobre 2020. 2020.
15. Ville de Toronto, City of Toronto COVID-19 Summary. Consulté le : 19 novembre 2020. 2020.
16. Centre de médecine comportementale de Montréal. Étude iCARE (International COVID-19 Awareness and Response Evaluation Study). 2020 [cité en 2020, 16 novembre 2020]. Accessible à l'adresse : <https://mbmc-cmcm.ca/covid19/research/stats/adherence/>
17. Institut national de santé publique du Québec (INSPQ), CONNECT : étude des contacts sociaux des Québécois. 2020.
18. Brankston, G., et coll., Quantifying Contact Patterns in Response to COVID-19 Public Health Measures in Canada. (en préparation). 2020.

19. Google Canada. *Rapport sur la mobilité de la communauté (COVID-19)*. 2020 [cité en 2020, 23 décembre 2020]. Accessible à l'adresse : [https://www.gstatic.com/covid19/mobility/2021-04-07\\_CA\\_Mobility\\_Report\\_fr.pdf](https://www.gstatic.com/covid19/mobility/2021-04-07_CA_Mobility_Report_fr.pdf).
20. Statistique Canada (StatCan). *Série d'enquêtes sur les perspectives canadiennes 1 : La COVID-19 et travailler de la maison, 2020*. 2020 [cité le 16 avril 2020]. Accessible à l'adresse : <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/200417/dq200417a-fra.pdf>
21. Volz, E., et coll., Transmission of SARS-CoV-2 Lineage B.1.1.7 in England: Insights from linking epidemiological and genetic data. medRxiv, 2021: p. 2020.12.30.20249034.
22. Agence de la santé publique du Canada, Variants préoccupants au Canada : mise à jour quotidienne, 6 avril 2021. *Document interne établi après analyse des données accessibles au public*. 2021.
23. Levin, E.G., et coll., Waning Immune Humoral Response to BNT162b2 Covid-19 Vaccine over 6 Months. *New England Journal of Medicine*, 2021.
24. Chemaitelly, H., et coll., Waning of BNT162b2 Vaccine Protection against SARS-CoV-2 Infection in Qatar. *New England Journal of Medicine*, 2021.
25. Andrews, N., et coll., Vaccine effectiveness and duration of protection of Comirnaty, Vaxzevria and Spikevax against mild and severe COVID-19 in the UK. medRxiv, 2021: p. 2021.09.15.21263583.
26. Kontopoulou, K., et coll., Evolution of Antibody Titers Up to 6 Months Post-Immunization With the BNT162b2 Pfizer/BioNTech Vaccine in Greece (September 12, 2021). *Evolution of Antibody Titers Up to 6 Months Post-Immunization With the BNT162b2 Pfizer/BioNTech Vaccine in Greece*, 2021.
27. Gouvernement du Canada. *Orientations sur l'administration prioritaire des premières doses du vaccin contre la COVID-19*. 2021. Accessible à l'adresse : <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/immunisation/comite-consultatif-national-immunisation-ccni/orientations-administration-prioritaire-premieres-doses-vaccine-covid-19.html>

## MODÈLE SEIR AVEC COMPARTIMENTS

### Méthodologie

Une version avec stratification selon la vaccination (v22) du modèle déterministe dynamique avec compartiments utilisant le cadre susceptible-exposé-infectieux-retiré (modèle SEIR) a été appliquée à la population canadienne, comme cela est indiqué dans [8]. Des voies précises ont été incluses pour le statut d'immunisation, c'est-à-dire personne non vaccinée, personne vaccinée ayant reçu une seule dose et personne vaccinée ayant reçu deux doses. Des compartiments et des voies supplémentaires ont été introduits pour simuler la baisse de l'immunité naturelle et conférée par le vaccin.

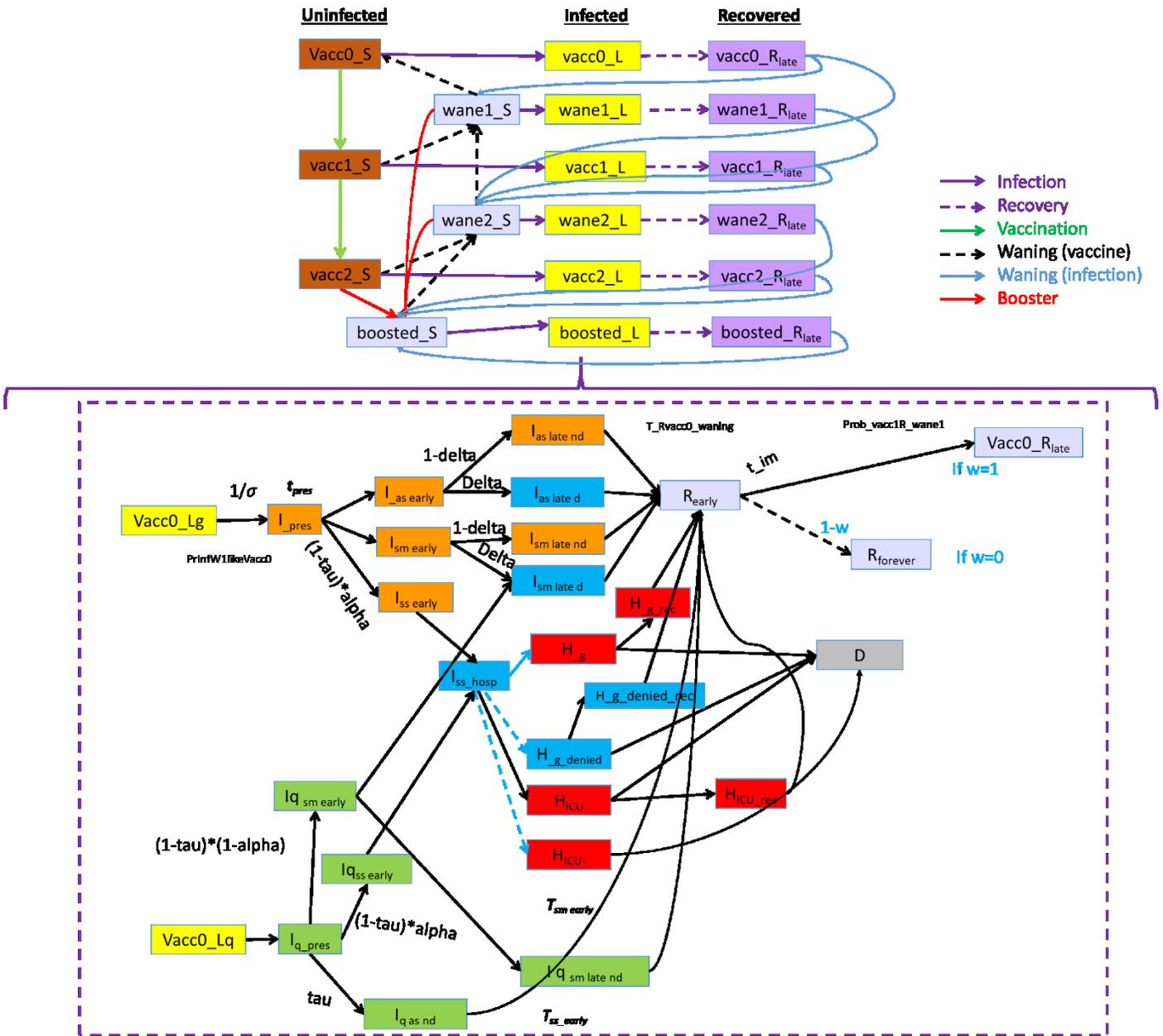
La transmission entre les personnes peut s'effectuer dans les groupes d'âge ou entre ceux-ci, ainsi que dans les différents statuts d'immunisation et entre ceux-ci, à des taux influencés par le nombre de contacts quotidiens, selon la matrice prévue pour le Canada [8] et selon l'effet présumé du type de vaccination (vaccin conçu pour prévenir les maladies qui réduit la probabilité de contracter une forme grave de la maladie, vaccin conçu pour prévenir la transmission qui réduit la probabilité de transmission).

Les paramètres du modèle sont tirés de la littérature (pour les taux de contacts, les taux de détection de cas, le pourcentage de contacts ayant fait l'objet d'une recherche puis mis en quarantaine, le coefficient de transmission lorsque les gens entrent en contact, ainsi que le délai jusqu'à l'isolement des cas) ou en adaptant le modèle aux données de surveillance du Canada pour les cas, les hospitalisations et les décès jusqu'au 15 octobre 2021.

Le processus d'étalonnage comprend un paramètre représentant le niveau national général des mesures de santé publique, fondé sur l'indice de sévérité [6], modulé par un coefficient spécifique à l'âge représentant des facteurs tels que le respect des mesures de santé publique et la probabilité d'infection en cas de contact. Ce coefficient spécifique à l'âge a été ajusté de façon empirique, par groupe d'âge, selon l'incidence des cas et des hospitalisations. De plus, un « coefficient saisonnier » qui réduit la transmission pendant les mois plus chauds de chaque année de simulation (chaque printemps, à compter du 15 avril) a également été inclus. Dans toutes les simulations, ce coefficient est resté actif jusqu'au 1<sup>er</sup> septembre de chaque année. Bien que ce coefficient ait été rajusté de façon empirique, on pourrait dire qu'il correspond au transfert d'une fraction des contacts entre des personnes qui passent d'endroits fermés à des interactions plus ouvertes, à l'extérieur. À l'appui de cette affirmation, une étude récente de l'Université de Bonn suggérait que le caractère saisonnier pourrait entraîner une réduction de la transmission pouvant atteindre un maximum de 43 % [3]

Le modèle conceptuel général du SEIR de l'ASPC est présenté dans la figure A1. La partie supérieure de la figure illustre les flux entre les différents compartiments que sont le vaccin et l'état immunitaire, tandis que la partie inférieure présente les détails de la circulation entre les réservoirs des différents compartiments de l'état d'infection qui sont les mêmes pour tous les états immunitaires.

Figure A-1. Modèle conceptuel du modèle SEIR stratifié par âge de l'ASPC (v22).



### Baisse de l'immunité

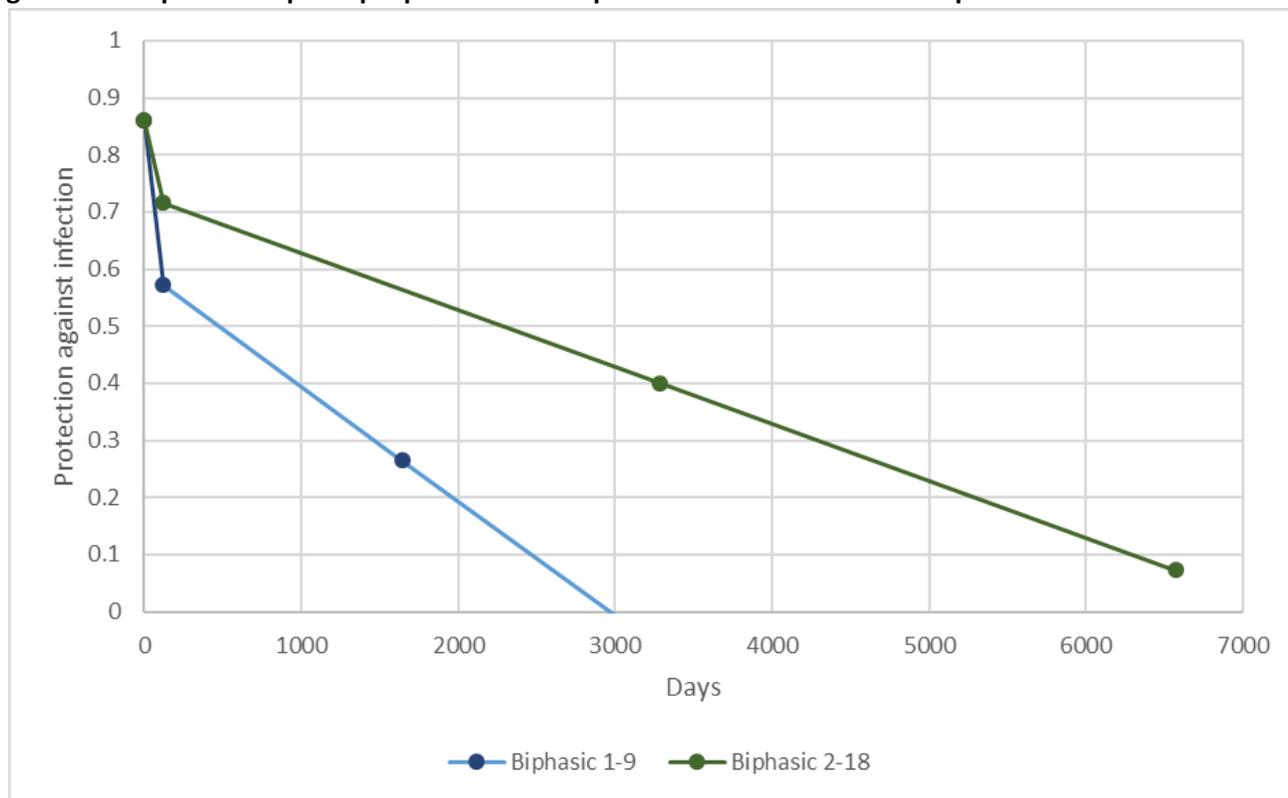
Il est possible que l'immunité conférée par le vaccin et l'immunité acquise après une infection baissent. Cette diminution est donc modélisée grâce à une approche discrète qui déplace progressivement les personnes entre des compartiments ayant différents niveaux de protection contre l'infection. Au total, deux compartiments intermédiaires (wane1\_S et wane2\_S) sont inclus dans le modèle pour tenir compte de la réduction de l'efficacité (c.-à-d. baisse) après une seule et deux doses de vaccin, respectivement. Des valeurs spécifiques de transmission et de protection contre les maladies peuvent être explicitement attribuées aux compartiments associés à la baisse. À moins qu'elles ne soient infectées, les personnes restent au niveau d'immunité attribué au compartiment pendant une période prédéterminée, après quoi elles sont déplacées vers le compartiment ayant le niveau

d'immunité inférieure suivant. Les personnes qui se trouvent dans le compartiment « wane1\_S » finissent par redevenir complètement vulnérables. Les personnes rétablies qui n'ont pas encore été vaccinées peuvent passer au niveau 1 ou au niveau 2 et 80 % d'entre elles passeront au niveau 2, ce qui correspond approximativement au niveau de vaccination actuel au Canada.

On suppose que la deuxième dose du vaccin confère une protection maximale. On suppose également que la réduction du niveau de protection associé à chacun des compartiments décroissants commence six mois après l'administration de la deuxième dose. La baisse de l'immunité a été simulée de manière à imiter la décroissance exponentielle de la protection contre la transmission en utilisant un taux linéaire de décroissance plus rapide pendant les 120 premiers jours, suivi d'un taux plus lent par la suite (figure A2). On suppose que la décroissance est plus prononcée chez les 60 ans et plus que chez les moins de 60 ans. De ce fait, en ce qui concerne la population des 60 ans et plus, la première perte plus rapide avec décroissance utilisée équivaut à une perte linéaire sur 1 an pour les 120 premiers jours, avec un rythme plus lent correspondant à une perte linéaire sur 9 ans par la suite. En ce qui concerne la population des 59 ans et moins, la première perte plus rapide avec décroissance utilisée équivaut à une perte linéaire sur 2 ans pour les 120 premiers jours, avec un rythme plus lent correspondant à une perte linéaire sur 18 ans par la suite.

En ce qui concerne le temps total dans le compartiment Wane2\_S (180 jours), la valeur lue 120 jours après le début de la baisse de protection est tirée de la fonction graphique (figure A2). En ce qui concerne le compartiment Wane1\_S, le niveau de protection utilisé dans ce compartiment correspond à la valeur à mi-chemin entre le niveau attendu au début et à la fin de la durée modélisée dans ce compartiment. Cette valeur a été utilisée pour tenir compte du fait qu'à la fin de la période dans Wane1\_S (180 jours), les personnes retournent à un état dans lequel elles ne bénéficient d'aucune protection. Par exemple, pour le compartiment wane1 et la population âgée de 59 ans et moins, la valeur à mi-chemin (9 ans + 120 jours) est lue à partir de la fonction graphique et utilisée pendant toute la période passée dans ce compartiment. La baisse de la protection contre les formes graves de la maladie n'a pas été incluse dans les simulations actuelles.

Figure A-2. Disparition biphasique pour simuler la perte de l'immunité conférée par le vaccin.



### Vaccination

La couverture vaccinale est fondée sur la couverture vaccinale actuelle déclarée au Canada [1]. La modélisation utilise le déploiement suivant du vaccin en trois phases :

- Une période de 28 jours entre la première dose et la deuxième dose à compter du 15 décembre 2020 jusqu'à la fin de février 2021 après quoi,
- à compter du 1<sup>er</sup> mars 2021, un intervalle de 4 mois entre les première et deuxième doses du vaccin a été utilisé jusqu'à ce que toutes les premières doses aient été complètement administrées, puis
- un intervalle de 28 jours a été réintroduit pour l'administration des deuxièmes doses restantes.

Dans toutes les simulations, l'effet maximal de la vaccination s'est produit après un délai de 14 jours pour la première dose et de 7 jours pour deuxième et troisième doses respectivement. L'efficacité présumée du vaccin figure ci-dessous (tableau A-1).

**Tableau A-1. Hypothèses sur l'efficacité du vaccin contre l'infection, les symptômes, l'hospitalisation et la mort, après la première dose et la deuxième dose.**

	Efficacité du vaccin		Efficacité conditionnelle (saisie dans le modèle)	
	Une dose	Deux doses	Une dose	Deux doses
Contre l'infection	60 %	92 %	60 %	92 %
Contre les symptômes	66 %	94 %	15 %	25 %
Contre l'hospitalisation	80 %	96 %	41 %	33 %
Contre la mort	85 %	96 %	25 %	0,000 1 %

## Variant Delta

Le variant Delta a été introduit dans le modèle le 1<sup>er</sup> mars 2021, avant de dominer progressivement toutes les autres souches en six mois. Il comporte une augmentation de 50 % de la transmissibilité par rapport à la souche Alpha (B.117). Une réduction de l'efficacité du vaccin a également été intégrée pour le variant Delta avec une valeur de réduction de 33 % après la première dose et de 6 % après la deuxième dose. Une augmentation de la virulence de 80 % pour le variant Delta par rapport au type sauvage a également été incluse.

**Tableau A-2. Description des compartiments du modèle.**

État	Définitions	Valeurs initiales (aucune donnée indique zéro)
S	Personnes susceptibles.	Stratification par groupe d'âge, estimations de la population de StatCan au 1 <sup>er</sup> juillet, 2019 [11] [0,10) 3 982 527 [10,20) 4 146 397 [20,40) 10 286 131 [40,60) 10 069 708 [60,75) 6 315 255 75 ans et plus 2 789 244
Svacc	Personnes susceptibles qui sont vaccinées.	(rempli selon le déploiement du vaccin).
Wane	Personnes vaccinées ou infectées naturellement et guéries, sujettes à une baisse de l'immunité (comporte deux compartiments, soit Wane1 et Wane2).	
Lq	Personnes dont l'infection est latente, en quarantaine.	
L	Personnes, dans la population en général, dont l'infection est latente (non en quarantaine).	10
I_pres	Personnes infectées présymptomatiques dans la population en général (et première période infectieuse pour les asymptomatiques).	20
Iq_pres	Personnes infectées présymptomatiques en quarantaine (et première période infectieuse pour les asymptomatiques).	
Iq_as_nd	Personnes infectées en quarantaine, dont l'infection n'a pas été détectée (asymptomatique), après la première phase de la période infectieuse jusqu'à la fin de la quarantaine.	
Iq_sm_early	Personnes infectées en quarantaine ayant des symptômes légers après la période infectieuse présymptomatique et avant la détection.	
Iq_ss_early	Personnes infectées en quarantaine ayant des symptômes graves après la période infectieuse présymptomatique et avant la détection de l'infection.	
Iq_sm_late_nd	Personnes infectées en quarantaine ayant des symptômes légers, mais dont l'infection n'a pas été détectée, dans la phase tardive de la période infectieuse.	
I_as_early	Personnes infectées dans la population en général, sans symptôme et dont l'infection n'a pas été détectée, entre la fin de la période infectieuse présymptomatique théorique et la détection.	
I_sm_early	Personnes infectées dans la population en général, avec symptômes légers et dont l'infection n'a pas été détectée,	

	entre la fin de la période infectieuse présymptomatique et la détection de l'infection.	
I_ss_early	Personnes infectées dans la population en général, avec symptômes graves et dont l'infection n'a pas été détectée, entre la fin de la période infectieuse présymptomatique et la détection de l'infection.	
I_as_late_nd	Personnes infectées dans la population en général qui restent asymptomatiques après un temps de détection possible, mais dont l'infection n'a pas été détectée.	
I_as_late_d	Personnes infectées dans la population en général dont l'infection a été détectée, mais qui restent asymptomatiques après la détection.	
I_sm_late_nd	Personnes infectées dans la population en général qui présente des symptômes légers et dont l'infection n'a pas été détectée, même après la période de détection.	
I_sm_late_d	Personnes infectées dans la population en général, avec symptômes légers, dont l'infection a été détectée.	
Iss_hosp	Personnes infectées avec symptômes graves et dont l'infection a été détectée, après la phase précoce de l'infection et qui sont au triage à l'hôpital.	
H_g_OK	Personnes infectées avec symptômes graves qui restent à l'hôpital et ont reçu des soins généraux pendant la <u>première phase de leur séjour</u> .	
H_g_rec	Personnes infectées avec symptômes graves qui restent à l'hôpital et ont reçu des soins généraux pendant la <u>deuxième phase de leur séjour</u> .	
H_ICU_OK	Personnes infectées avec symptômes graves qui restent à l'hôpital à l'unité des soins intensifs pendant la <u>première phase de leur séjour</u> .	
H_ICU_rec	Personnes infectées avec symptômes graves qui restent à l'hôpital à l'unité des soins intensifs pendant la <u>deuxième phase de leur séjour</u> .	
H_g_denied	Personnes infectieuses avec symptômes graves qui ne peuvent pas accéder aux soins à l'hôpital en raison des capacités locales insuffisantes ou dépassées pendant la <u>première phase de leur séjour</u> .	
H_g_denied_rec	Personnes infectieuses avec symptômes graves qui ne peuvent pas accéder aux soins à l'hôpital en raison des capacités locales insuffisantes ou dépassées pendant la <u>deuxième phase de leur séjour</u> .	
H_ICU_denied	Personnes infectieuses avec symptômes graves qui ne peuvent pas accéder aux soins intensifs en raison de capacités locales insuffisantes ou dépassées.	
R_early	Personnes guéries, après l'infection.	
R_forever	Personnes guéries, qui restent immunisées.	
D	Personnes décédées.	

Tableau A-3. Définitions et valeurs des paramètres du modèle.

Paramètre	Définition	Valeur	Références
beta	Probabilité de transmission lors	Valeurs multiples dans le temps.	Données de surveillance publique en ligne. <a href="https://sante-infobase.canada.ca/covid-19/">https://sante-infobase.canada.ca/covid-19/</a>

## Section 5 : Annexes

	d'un contact avec une personne infectieuse.	Adaptée conjointement avec lambda et delta pour s'adapter au mieux aux données historiques de surveillance jusqu'au 15 février 2021. Valeur initiale pour le processus d'étalonnage (0,052). Après cette date, les valeurs sont basées sur des scénarios (voir la section Méthodologie).	Dernière consultation le 15 février 2021.  Valeur initiale tirée de [10].
beta_multipl ier	Facteur de correction pour tenir compte de l'impact combiné de l'augmentation de la transmission attribuable à un variant ou de la diminution de la transmission en raison des vaccins.		
lambda	Proportion de personnes exposées à des maladies infectieuses détectées qui font l'objet d'une recherche de contacts et d'une mise en quarantaine (recherche des contacts/quarantaine)	Valeurs multiples dans le temps. Adapté conjointement avec bêta et delta pour convenir au mieux aux données historiques de surveillance jusqu'au 15 février 2021. Après cette date, les valeurs sont basées sur des scénarios (voir la section Méthodologie).	Données de surveillance publique en ligne. <a href="https://sante-infobase.canada.ca/covid-19/">https://sante-infobase.canada.ca/covid-19/</a> Dernière consultation le 15 février 2021.
cgg	Nombre de contacts quotidiens entre deux personnes de la population en général.	Matrice 6*6	Valeurs disponibles dans [8]. Établie d'après [9] et adaptée aux groupes d'âge simulés.
cgq	Nombre de contacts quotidiens entre une personne de la population en général et une personne de la population en quarantaine.	Matrice 6*6 En partant de l'hypothèse qu'une personne en quarantaine est en contact avec un maximum d'une personne par jour pendant sa période de quarantaine. La valeur un a ensuite été répartie	Valeurs disponibles dans [8].

Section 5 : Annexes

		entre les groupes d'âge en fonction de la taille de la population de chaque strate.	
Cgg_multiplier	Paramètre basé sur l'indice de sévérité [REF] utilisé pour représenter les mesures générales de santé publique au fil du temps.		
Cgg_adjustor	Coefficient de correction qui tient compte du non-respect des mesures de santé publique.		
sigma	Période de latence (jours).	2,5 jours. Calculée comme la différence entre la durée de la période d'incubation et de la période présymptomatique.	
delta	Adapté conjointement avec bêta et delta pour s'adapter au mieux aux données historiques de surveillance.	Valeurs multiples dans le temps. Adapté conjointement avec lambda et bêta pour convenir au mieux aux données historiques de surveillance jusqu'au 15 février 2021. Après cette date, les valeurs sont basées sur des scénarios (voir la section Méthodologie).	Données de surveillance publique en ligne. <a href="https://sante-infobase.canada.ca/covid-19/">https://sante-infobase.canada.ca/covid-19/</a> Dernière consultation le 15 février 2021.
alpha	Proportion de personnes infectées symptomatiques qui développent des symptômes graves.	[0,10) 0,52 % [10,20) 0,55 % [20,40) 1,07 % [40,60) 3,07 % [60,75) 10,02 % 75 et plus 18,00 % Calibré pour s'adapter aux données sur les hospitalisations.	Données sur les hospitalisations : Agence de la santé publique du Canada. Ensemble de données provisoires sur les cas confirmés de COVID-19. <a href="https://www150.statcan.gc.ca/n1/fr/catalogue/13260003">https://www150.statcan.gc.ca/n1/fr/catalogue/13260003</a>
tau	Proportion de personnes infectées qui sont asymptomatiques	31 %	(1) (valeur pour les études ayant identifié l'infection par le SRAS-CoV-2 par un dépistage effectué auprès de populations définies).

## Section 5 : Annexes

t <sub>pres</sub>	Période entre le début de l'infectiosité et l'apparition des symptômes chez les personnes qui développent des symptômes.	2,5 jours	(2). Veuillez noter que les auteurs indiquent une période infectieuse présymptomatique de 2 à 3 jours (DFSQ, jours à partir de l'apparition des symptômes) et nous avons choisi d'utiliser une valeur au milieu des deux valeurs.
t <sub>sm_early</sub>	Période entre l'apparition des symptômes pour les formes légères ou les personnes asymptomatiques et la détection.	Les valeurs sont basées sur des scénarios (voir la section Méthodologie).	
t <sub>ss_early</sub>	Période entre l'apparition des symptômes pour les formes graves ou les personnes asymptomatiques et la détection.	1 jour	Basé sur l'hypothèse selon laquelle les personnes infectées qui ont des symptômes graves (nécessitant une hospitalisation) chercheraient à consulter un médecin dans la journée suivant l'apparition des symptômes.
t <sub>sm</sub>	Période infectieuse totale. Comprend tant la période infectieuse présymptomatique que la période infectieuse symptomatique.	9,5	Période symptomatique (7 jours) selon [12]. Voir le paramètre « t <sub>pres</sub> », en haut de ce tableau pour la référence présymptomatique.
t <sub>late_q_sm</sub>	Période entre la possibilité de détection du virus et la fin de la quarantaine pour les formes légères.	Calculée en supposant une durée de quarantaine de 14 jours et en utilisant les valeurs t <sub>pres</sub> (2,5 jours) et les valeurs t <sub>sm_early</sub> (voir scénarios dans la méthodologie).	En supposant une durée de quarantaine de 14 jours, en fonction de la durée de la quarantaine obligatoire pour les voyageurs sans symptômes qui reviennent au Canada. Source : Gouvernement du Canada, règles en ligne, <a href="https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/publications/maladies-et-affections/2019-nouveau-coronavirus-fiche-information.html">https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/publications/maladies-et-affections/2019-nouveau-coronavirus-fiche-information.html</a> , consulté le 16 février 2021.
t <sub>late_q_as</sub>	Temps entre la fin de la période infectieuse présymptomatique théorique et la fin de la quarantaine pour les personnes asymptomatiques.	11,5 jours Calculé en supposant une durée de quarantaine de 14 jours et un t <sub>pres</sub> de 2,5 jours.	Source : Gouvernement du Canada, règles en ligne, <a href="https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/publications/maladies-et-affections/2019-nouveau-coronavirus-fiche-information.html">https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/publications/maladies-et-affections/2019-nouveau-coronavirus-fiche-information.html</a> , consulté le 16 février 2021.
picu	Proportion de personnes hospitalisées nécessitant des	-----	Bien que le modèle permette de répartir les cas hospitalisés entre les soins généraux et les soins intensifs, cette fonctionnalité n'est pas utilisée pour le moment.

Section 5 : Annexes

	soins intensifs ou qui accèdent aux soins intensifs à l'hôpital.		
t <sub>sorting</sub>	Période pour le tri des cas graves à l'hôpital.	1 jour	Nous présumons qu'il faut en moyenne une journée entre le moment où un cas grave arrive à l'hôpital et le moment où il fait l'objet du triage, puis est isolé dans le service approprié.
m <sub>g_early</sub>	Taux de mortalité pour les cas graves à l'hôpital.	[0,10) 0,79 % [10,20) 0 % [20,40) 1,59 % [40,60) 5,63 % [60,75) 16,22 % 75 ans et plus 25,81 %	Données sur les hospitalisations : Agence de la santé publique du Canada. Ensemble de données nationales sur les cas confirmés de COVID-19. Données extraites le 2 août 2021 — note : la mortalité concerne tous les patients hospitalisés (soins intensifs et non intensifs).
m <sub>ICU_early</sub>	Taux de mortalité pour les cas graves qui sont décédés à l'hôpital (USI).	-----	Proportion des cas hospitalisés en soins généraux et en soins intensifs. Cette fonctionnalité n'a pas été utilisée pour le moment. Au lieu de cela, un taux de mortalité global pour tous les cas hospitalisés a été utilisé (voir m <sub>g_early</sub> ).
t <sub>hr_early</sub>	Période entre le premier jour à l'hôpital après le triage, et le décès, pour les personnes qui sont décédées.	[0,10) 3 [10,20) 3 [20,40) 7 [40,60) 8 [60,75) 9 75 ans et plus 10	Basé sur [4], [7], [9].
th <sub>late</sub>	Période entre la deuxième période d'hospitalisation, et la guérison, pour les cas guéris.	1 jour (le minimum sans avoir à supprimer le compartiment). Stratification par âge	Il n'y a pas de preuve claire et solide que la durée du séjour du survivant est plus longue que celle du séjour de la personne qui est décédée.
m <sub>g_denied</sub>	Taux de mortalité spécifique pour les cas graves qui sont décédés à la maison parce qu'ils n'ont pas pu obtenir de soins à l'hôpital.	Non utilisé. Ce paramètre n'a pas été utilisé et la mortalité n'est pas calculée pour les scénarios dans lesquels la capacité d'hospitalisation est dépassée.	
m <sub>ICU-</sub>	Taux de mortalité spécifique pour les cas graves qui sont décédés à l'hôpital parce qu'ils n'ont pas eu accès aux USI.	Non utilisé. La mortalité n'est pas calculée pour les scénarios dans lesquels la capacité d'hospitalisation est dépassée.	
ICU capacity		-----	Bien que le modèle permette de répartir les cas hospitalisés entre les soins généraux et les soins

---

			intensifs, cette fonctionnalité n'a pas été utilisée dans les simulations actuelles.
w	Pourcentage de personnes guéries qui perdent leur immunité.	0 ou 1 pour tous les groupes d'âge.	Défini à 0 ou à 1 selon que la diminution de l'immunité naturelle est incluse ou non dans les simulations.
t_im	Durée de l'immunité pour patients guéris	15 mois	En l'absence de preuve évidente de la diminution de l'immunité naturelle, les présents scénarios ont utilisé les valeurs des 15 mois à des fins de tests.

## Références

1. Buitrago-Garcia, D., D. Egli-Gany, et coll. (2020). « Occurrence and transmission potential of asymptomatic and presymptomatic SARS-CoV-2 infections: A living systematic review and meta-analysis. » *PLOS Medicine* 17(9): e1003346.
2. Chen, P. Z., N. Bobrovitz, et coll. (2020). « Heterogeneity in transmissibility and shedding SARS-CoV-2 via droplets and aerosols. » *medRxiv*: 2020.2010.2013.20212233.
3. Gablera, et coll., 2021. « The effectiveness of Strategies to contain SARS-CoV-2: Testing, Vaccinations, and NPIs » *ECONtribute Discussion Paper No.100*.  
[https://www.econtribute.de/RePEc/ajk/ajkdps/ECONtribute\\_100\\_2021.pdf](https://www.econtribute.de/RePEc/ajk/ajkdps/ECONtribute_100_2021.pdf)
4. Gold, J. A. W., Wong, K. K., Szablewski, C. M., Patel, P. R., Rossow, J., da Silva, J., et coll. (2020). Characteristics and clinical outcomes of adult patients hospitalized with COVID-19 - georgia, mars 2020. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*, 69, 545-550. doi:10.15585/mmwr.mm6918e1.
5. Gouvernement du Canada, 2021. Vaccination contre la COVID-19 au Canada. <https://sante-infobase.canada.ca/covid-19/couverture-vaccinale/>
6. Hale, T., Angrist, A., Goldszmidt, R., Kira, B., Petherick, A., Phillips, T., Webster, S., Cameron-Blake, E., Hallas, L., Majumdar, S., et Tatlow, H.. (2021). « A global panel database of pandemic policies (Oxford COVID-19 Government Response Tracker). » *Nature Human Behaviour*. <https://doi.org/10.1038/s41562-021-01079-8>
7. Kim, L., Whitaker, M., O'Halloran, A., Kambhampati, A., Chai, S. J., Reingold, A., et coll. (2020). Hospitalization rates and characteristics of children aged <18 years hospitalized with laboratory-confirmed COVID-19 - COVID-NET, 14 États, 1<sup>er</sup> mars au 25 juillet 2020. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*, 69(32), 1081-1088. doi:10.15585/mmwr.mm6932e3.
8. Ludwig A, Berthiaume P, Orpana H, Nadeau C, Diasparra M, Barnes J, Hennessy D, Otten A, Ogden N. 2020 Assessing the impact of varying levels of case detection and contact tracing on COVID-19 transmission in Canada during lifting of restrictive closures using a dynamic compartmental model. *Can Commun Dis Rep* 46, 409 à 21
9. Prem, K., A. R. Cook, et coll. (2017). « Projecting social contact matrices in 152 countries using contact surveys and demographic data. » *PLOS Computational Biology* 13(9): e1005697.
10. Rizzo, S., Chawla, D., Zalocusky, K., Keebler, D., Chia, J., Lindsay, L., et coll. (2020). Descriptive epidemiology of 16,780 hospitalized COVID-19 patients in the united states. *MedRxiv*, 2020.07.17.20156265. doi:10.1101/2020.07.17.20156265.
11. Sheng Li, Joseph N. S. Eisenberg, Ian H. Spicknall, James S. Koopman, Dynamics and Control of Infections Transmitted From Person to Person Through the Environment, *American Journal of Epidemiology*, Volume 170, numéro 2, 15 juillet 2009, pp. 257 à 265, <https://doi.org/10.1093/aje/kwp116>.
12. Statistique Canada. Estimations de la population (Recensement de 2016 et données administratives), selon le groupe d'âge et le sexe au 1<sup>er</sup> juillet, Canada, provinces, territoires, annuelles (personnes sauf mention contraire), CANSIM Consulté le 13 mai 2020.
13. Wölfel, R. et coll. Virological assessment of hospitalized patients with COVID-2019. *Nature* <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2196-x> (2020).