



Modélisation de l'impact potentiel de la vaccination des enfants contre la COVID-19

Marc Brisson, Ph. D., directeur

Maxime Hardy, M.Sc., modélisateur du volet variant

Guillaume Gingras, Ph. D., modélisateur principal

Mélanie Drolet, Ph. D., épidémiologiste principale

Jean-François Laprise, Ph. D., modélisateur

pour le groupe de modélisation COVID-19 ULAVAL/INSPQ

Rapport 17 - 25 novembre 2021



Table des matières

- Objectifs p.3
- Limites de l'analyse p.4
- Éléments considérés lors des recommandations de vaccination p.5
- **Grand Montréal**
 - Scénarios de contacts sociaux p.7
 - Scénarios de la vaccination p.8
 - Projections de l'évolution de la COVID-19 pp.9-16
 - Analyses de sensibilité:
 - Impact de la couverture vaccinale chez les enfants de 5-11 ans pp.18-20
 - Impact potentiel d'une perte d'efficacité vaccinale pp.21-24
- **Autres Régions**
 - Scénarios de contacts sociaux p.26
 - Scénarios de la vaccination p.27
 - Projections de l'évolution de la COVID-19 pp.28-35
- **Résumé** pp.36-37
- **ANNEXE**
 - Analyses de sensibilité additionnelles
 - Augmentation modérée des contacts à l'automne pp.41-44
 - Début de la vaccination des enfants en janvier 2022 pp.45-47
 - Prédications du dernier rapport pp.48-49
 - Méthodes pp.50-60

Limites de l'analyse

Il y a beaucoup plus d'incertitudes que l'an dernier à pareille date; la situation est beaucoup plus complexe

- **Incertaines:**
 - impact du passeport vaccinal et autres mesures avec le refroidissement de la température
 - comportements différentiels selon le statut vaccinal (ex: les personnes non vaccinées ont-elles le même nombre de contacts effectifs que celles vaccinées ?)
 - couverture vaccinale chez les adultes et les enfants
 - arrivée de nouveaux variants préoccupants
 - caractéristiques des nouveaux variants
 - durée de l'efficacité vaccinale après 2 doses
 - efficacité vaccinale après 1 dose contre le variant Delta (particulièrement chez les enfants)
- **Le modèle n'intègre pas:**
 - d'efficacités vaccinales différentes selon l'issue épidémiologique ou le type de vaccin
 - l'assortativité des contacts selon le statut vaccinal (ex: les vaccinés pourraient avoir plus de contacts avec des vaccinés que des non-vaccinés, et vice versa)
 - l'impact de mesures sanitaires précises (ex: passeport vaccinal)
 - la variabilité de la couverture vaccinale par quartier/sous-région

L'impact populationnel est l'un des éléments à considérer lors des recommandations en matière de vaccination

Éléments à considérer:

1. Fardeau de la maladie
2. Caractéristiques du vaccin: efficacité, efficacité de terrain (effectiveness), immunogénicité, innocuité
3. Stratégies d'immunisation
4. Éthique
5. Équité
6. **Impact épidémiologique** et économique (impact populationnel, coût-efficacité)
7. Faisabilité
8. Acceptabilité

Objectifs

1. Prédire l'évolution potentielle de l'épidémie de COVID-19 à l'automne 2021 et à l'hiver 2022 selon deux scénarios de contacts sociaux.
2. Pour chacun des scénarios de contacts sociaux, prédire l'impact potentiel de la vaccination des enfants de 5-11 ans sur l'évolution de l'épidémie de COVID-19.
 - a) Impact indirect: réduction des cas et des hospitalisations de la population totale, via une réduction de la transmission communautaire.
 - b) Impact direct: réduction des cas et des hospitalisations parmi le groupe d'âge vacciné.

Grand Montréal

Scénarios de contacts sociaux

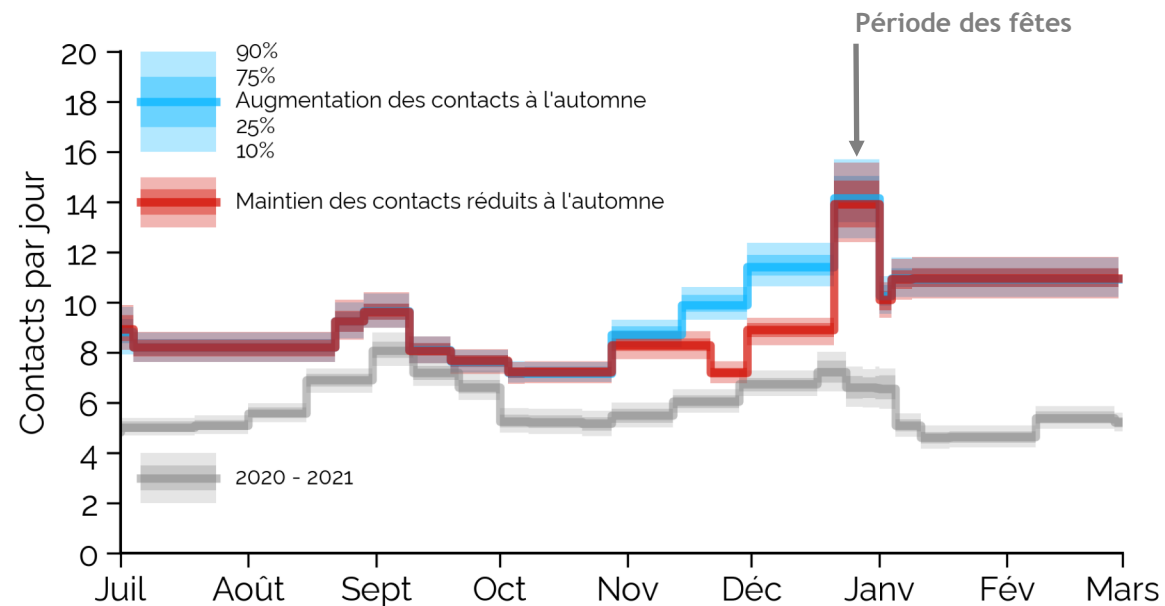
Grand Montréal

1^{er} février 2020 - 14 novembre 2021

- Contacts sociaux modélisés à partir des données de l'étude CONNECT et l'évolution des mesures sanitaires

À partir du 15 novembre 2021: Nous avons modélisé 2 scénarios de contacts sociaux:

- **Augmentation des contacts à l'automne:**
 - Augmentation graduelle des contacts effectifs* en novembre pour atteindre des niveaux de contacts pré-COVID au début décembre
 - Ce scénario peut aussi représenter une situation où la transmissibilité par contact augmente avec plus de contacts à l'intérieur
 - Contacts plus élevés pendant les fêtes (réduits à l'école/travail)
 - Contacts pré-COVID en janvier 2022
- **Maintien des contacts réduits à l'automne:**
 - Maintien du niveau de contacts effectifs* réduits jusqu'à la période des fêtes (masques, prévention dans les écoles, maintien de mesures sanitaires).
 - Contacts plus élevés pendant les fêtes (réduits à l'école/travail)
 - Retour aux contacts pré-COVID en janvier 2022



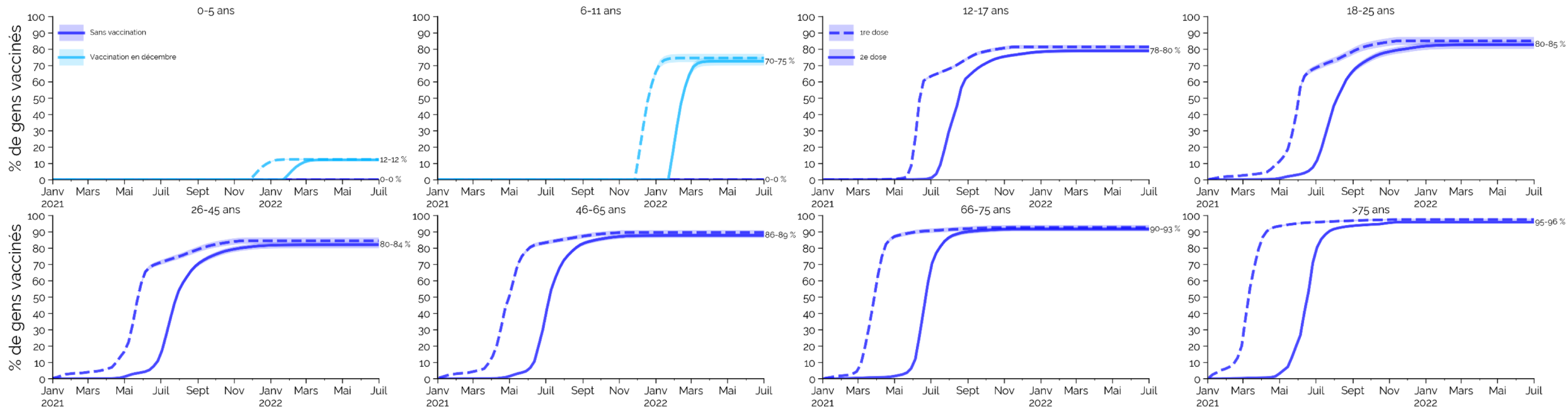
À noter:

- Pour les 2 scénarios nous intégrons 2-4 fois plus de contacts reliés aux rencontres/rassemblements du 22 décembre au 1 janvier que l'an dernier. Ceci représente plus de contacts intergénérationnels.
- Les contacts sont réduits à l'école et au travail du 22 décembre au 4 janvier.
- Contact pré-COVID = aucune mesure sanitaire ou mesure de prévention individuelle

* Contacts effectifs: contacts entre une personne infectée et une personne susceptible qui peut mener à l'infection de la personne susceptible.

Scénarios de la vaccination - couverture vaccinale

Grand Montréal



Scénarios de la vaccination:

- **Sans la vaccination des 5-11 ans et Vaccination en décembre (1^{re} dose).**
- Pour les 5-11 ans: 5-7 semaines pour atteindre la couverture maximale de 70-75% et délai de 8 semaines entre la 1^{re} et 2^e dose.
- Pour les 12 ans et plus: Les couvertures vaccinales sont estimées à partir des données de l'INSPQ en tenant compte des incertitudes méthodologiques.

Proportion protégée, efficacité vaccinale:

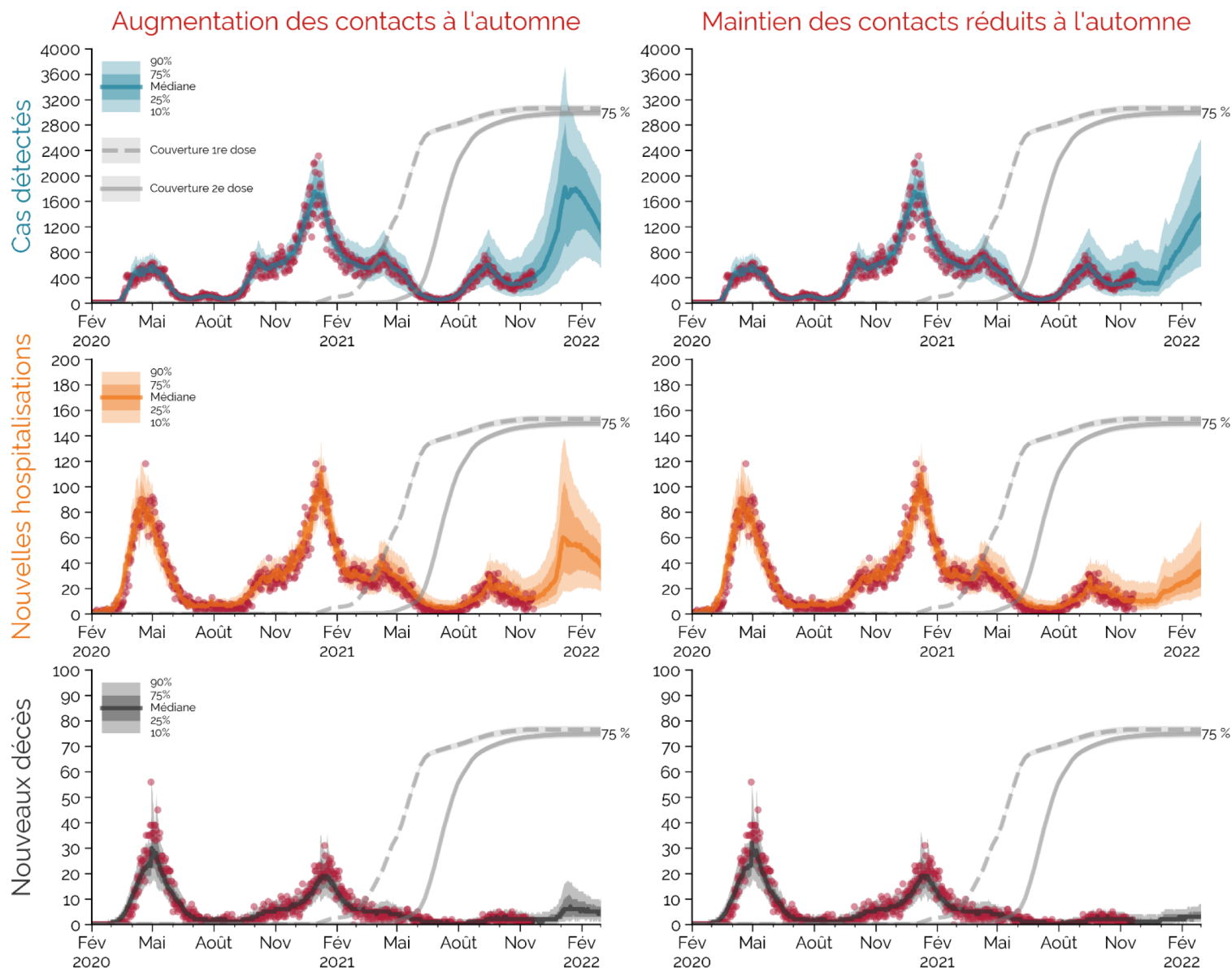
- Pour les >75 ans, l'efficacité vaccinale est de 71-89% après la 1^{re} dose et de 86-97% après la 2^e dose contre les infections (transmission) et la sévérité de la maladie (hospitalisations et décès).
- Pour les 5-75 ans, l'efficacité vaccinale est de 75-95% après la 1^{re} dose et de 91-99% après la 2^e dose contre les infections et la sévérité de la maladie.
- L'efficacité est atteinte de 2 à 3 semaines après la 1^{re} dose, selon l'âge.
- L'efficacité vaccinale pour 1 et 2 doses est la même contre toutes les souches et il n'y a pas de perte d'immunité vaccinale à court terme. Par contre, les données suggèrent que l'efficacité contre le variant Delta serait inférieure après une dose.

Évolution potentielle de la COVID-19 à l'automne 2021 et à l'hiver 2022

Sans la vaccination des enfants de 5-11 ans

Évolution de la COVID-19 dans le Grand Montréal

Sans la vaccination des enfants de 5-11 ans



- Selon le scénario d'augmentation des contacts à l'automne (retour aux niveaux de contacts pré-COVID), le modèle prédit une augmentation des cas et des hospitalisations dans le Grand Montréal (augmentation de la transmission communautaire). Les pics de cas et d'hospitalisations pourraient se situer entre ceux des 2^e et 3^e vagues et pourraient être atteints en janvier/février 2022.
- Selon le scénario de maintien des contacts à l'automne, le modèle prédit un aplatissement de la courbe des cas et des hospitalisations. Un nombre de cas plus faible en décembre pourrait limiter la transmission intergénérationnelle pendant le temps des fêtes et, par conséquent, les hospitalisations en janvier 2022.
- Cependant, le modèle prédit qu'un retour aux niveaux de contacts pré-COVID en janvier 2022 pourrait produire une augmentation des cas et des hospitalisations pendant l'hiver (il resterait suffisamment de personnes non vaccinées et non immunes).

À noter:

Voir l'annexe pour un scénario de contacts mitoyen

Les projections ne tiennent pas compte:

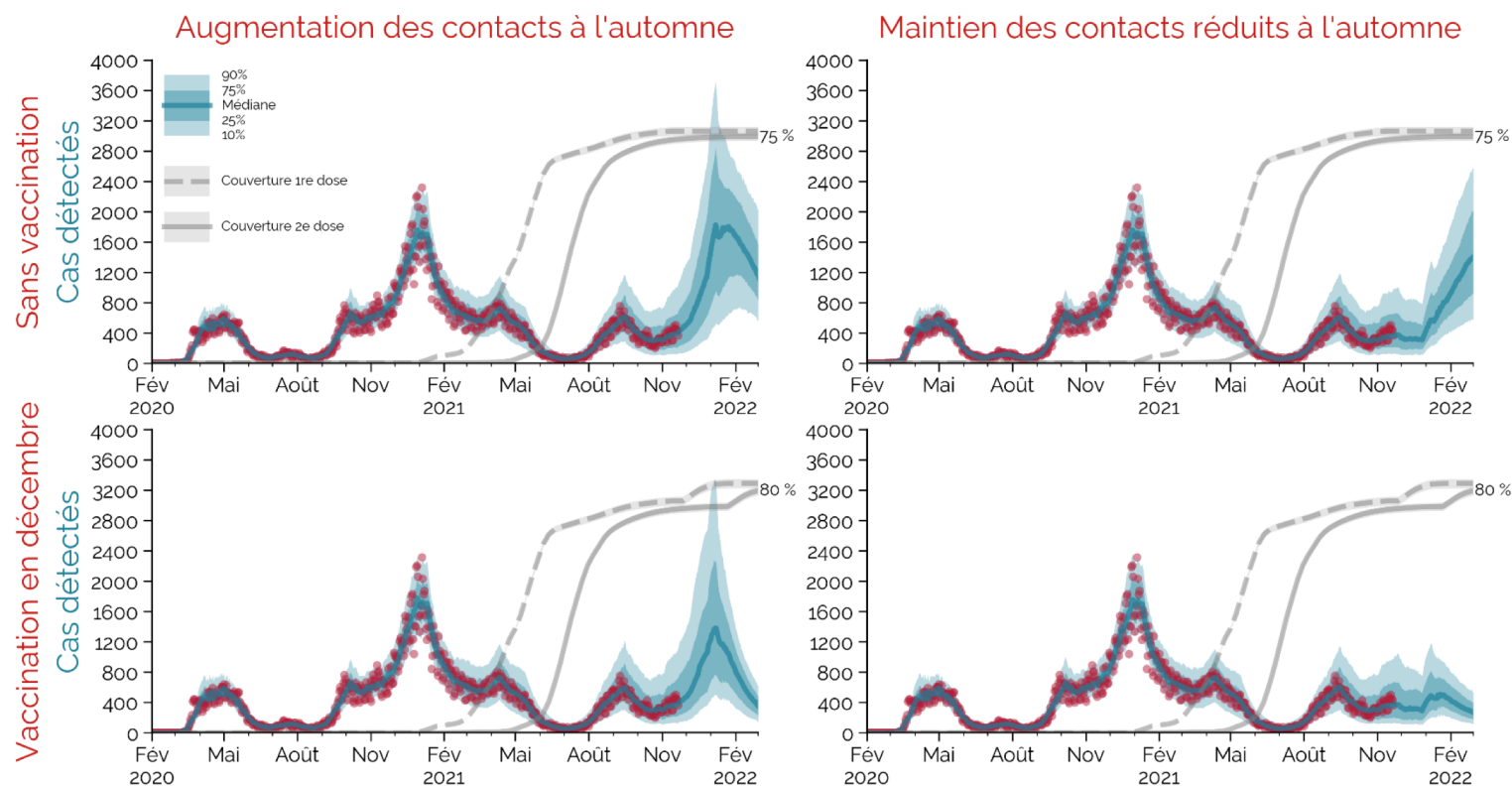
- d'une efficacité plus faible contre la transmission que contre les hospitalisations
- d'une perte potentielle d'efficacité vaccinale
- d'éclotions dans des sous-groupes de la population non-vaccinés

Impact potentiel de la vaccination des enfants de 5-11 ans sur l'évolution de la COVID-19

parmi la population totale (impact indirect)

Évolution des cas détectés dans le Grand Montréal

Selon la vaccination des enfants de 5-11 ans



Selon le scénario d'augmentation des contacts à l'automne (retour aux niveaux de contacts pré-COVID):

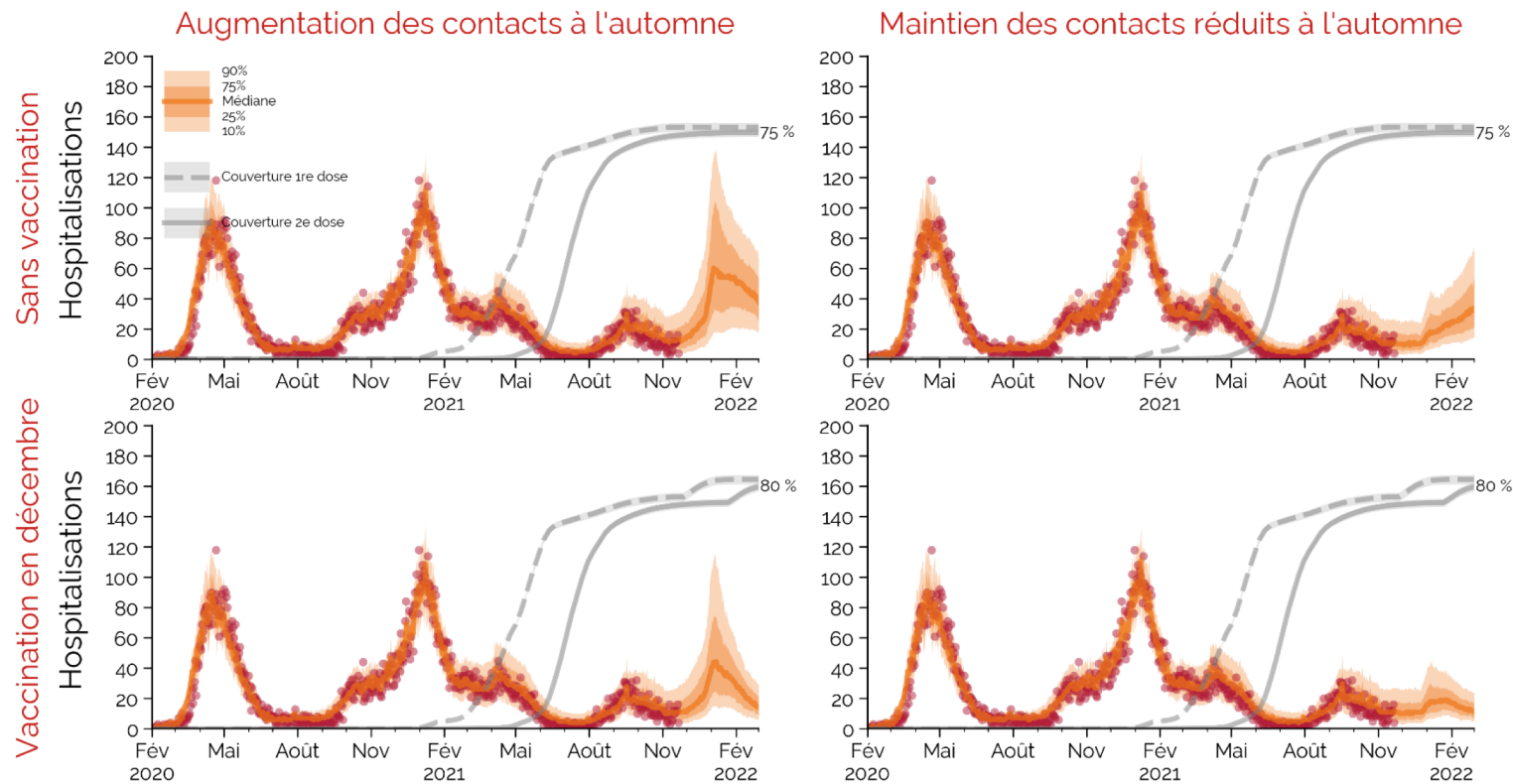
- La vaccination des enfants en décembre permettrait de diminuer la transmission avant la période des fêtes et ainsi d'accélérer la diminution des cas en janvier et février 2022.

Selon le scénario du maintien des contacts réduits pendant l'automne:

- La vaccination des enfants permettrait de réduire le nombre de cas en janvier et février 2022, étant donné la faible transmission communautaire pendant l'automne (résultant du maintien des contacts réduits à l'automne).
- La vaccination des enfants pourrait limiter l'augmentation de la transmission qui pourrait survenir pendant la période des fêtes avec l'augmentation des contacts intergénérationnels (percolation des cas des enfants vers les adultes).

Évolution des hospitalisations dans le Grand Montréal

Selon la vaccination des enfants de 5-11 ans



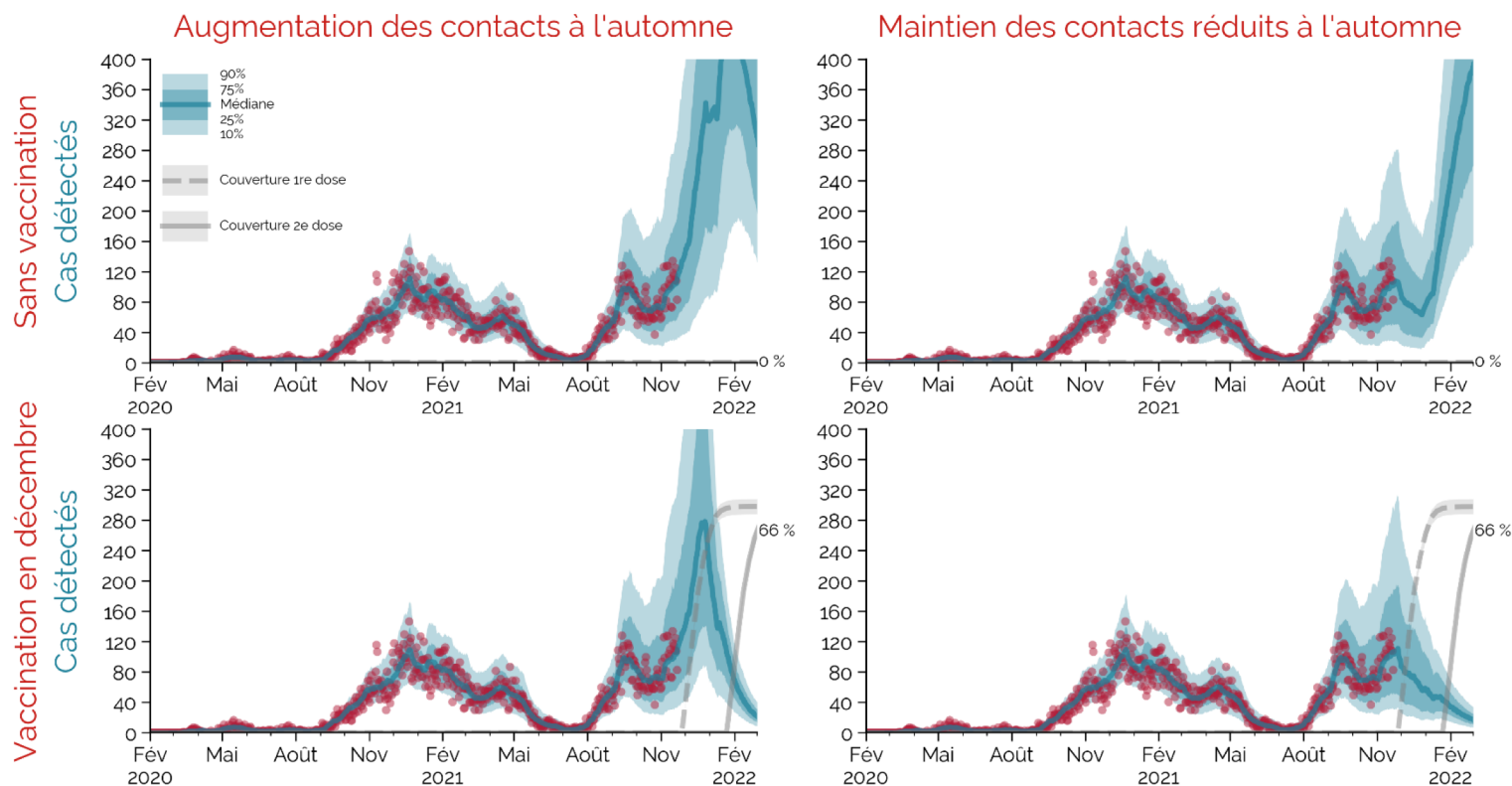
- **La vaccination des enfants** permettrait également de réduire les hospitalisations dans tous les groupes d'âge en limitant la transmission communautaire (particulièrement chez les personnes non vaccinées et/ou vulnérables).
- L'impact indirect de la vaccination des enfants sur les hospitalisations serait d'autant plus élevé:
 - en vaccinant les enfants en décembre, avant la période des fêtes (limitant ainsi la transmission intergénérationnelle et la percolation des infections des enfants vers les adultes).
 - dans un contexte de faible transmission communautaire.

Impact potentiel de la vaccination des enfants de 5-11 ans sur l'évolution de la COVID-19

parmi les enfants (impact direct)

Évolution des cas détectés chez les enfants de 6-11 ans

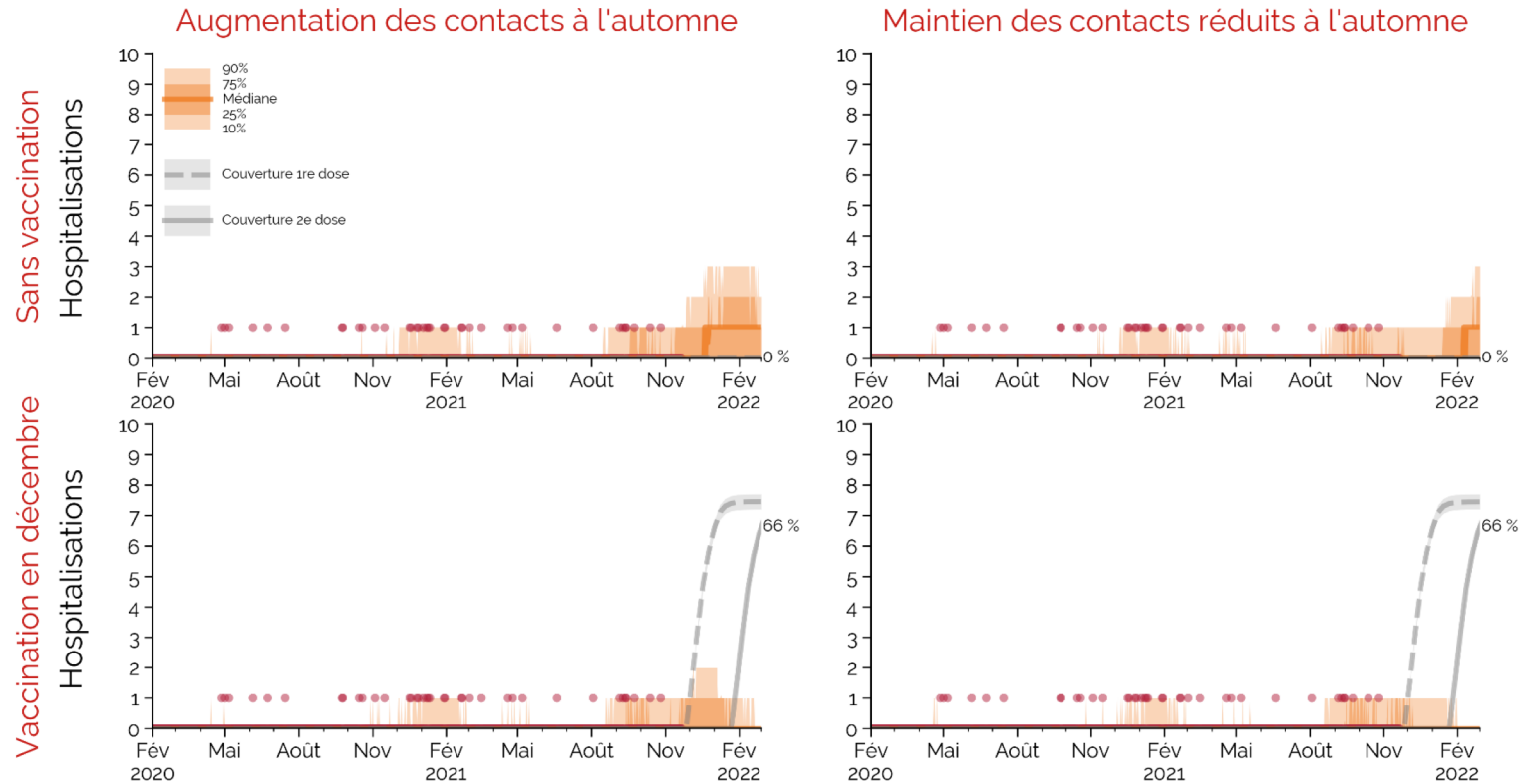
Selon les contacts sociaux et la vaccination des enfants de 5-11 ans



- Étant donné qu'une grande proportion des enfants sont encore susceptibles à l'infection, le potentiel de transmission et d'infection parmi ce groupe d'âge demeure élevé.
- Le modèle prédit que la vaccination des enfants de 5-11 ans pourrait avoir un impact direct important. Toutefois, celui-ci dépendra de la situation épidémiologique au moment de la vaccination.
- **Selon le scénario d'augmentation des contacts à l'automne** (retour aux contacts pré-COVID, transmission communautaire soutenue), l'impact direct de la vaccination des enfants serait moindre. Un nombre important d'enfants pourraient alors avoir déjà été infectés avant la période des fêtes.
- **Selon le scénario du maintien des contacts réduits pendant l'automne** (faible transmission communautaire), l'impact direct de la vaccination serait élevé.

Évolution des hospitalisations chez les enfants de 6-11 ans

Selon les contacts sociaux et la vaccination des enfants 5-11 ans



- Le risque d'hospitalisations des enfants de 5-11 ans est faible. La vaccination aurait donc peu d'impact sur les hospitalisations de ce groupe d'âge.

Analyses de sensibilité

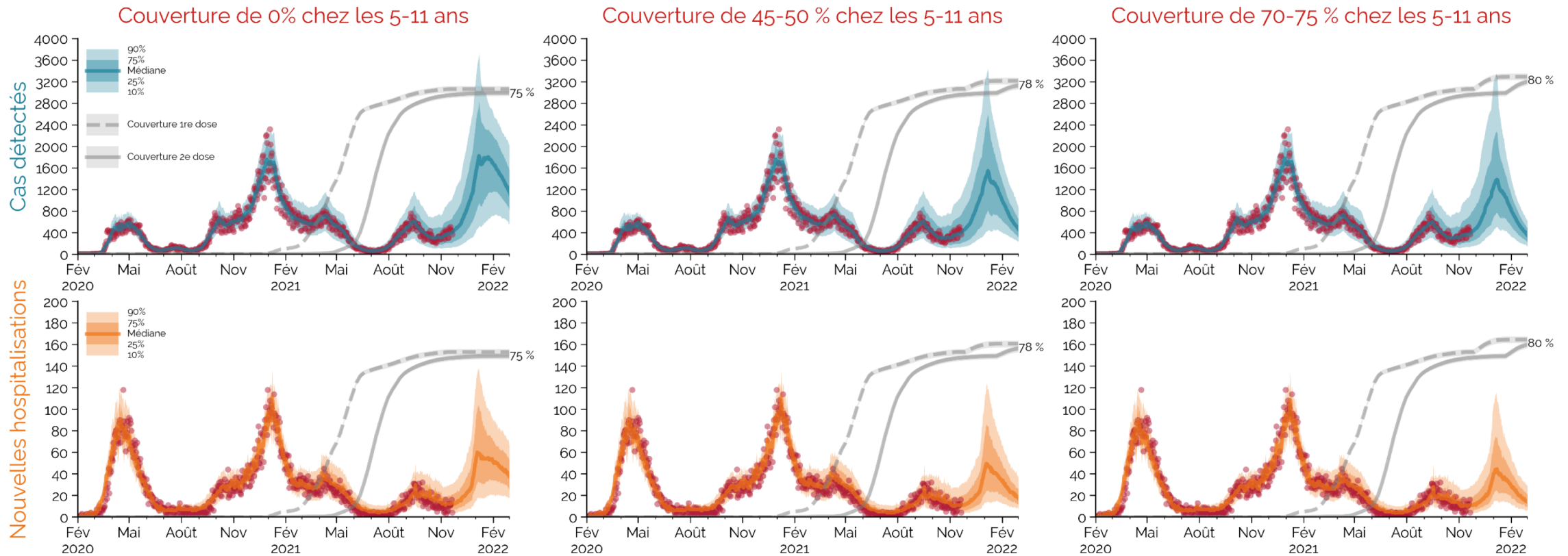
1. Couverture vaccinale plus faible chez les enfants de 5-11 ans
2. Perte de protection vaccinale

Impact potentiel de la couverture vaccinale des enfants de 5-11 ans

Évolution de la COVID-19 dans la population totale du Grand Montréal

Scénario: augmentation des contacts à l'automne (retour aux niveaux de contacts pré-COVID)

Impact de la couverture vaccinale des enfants de 5-11 ans

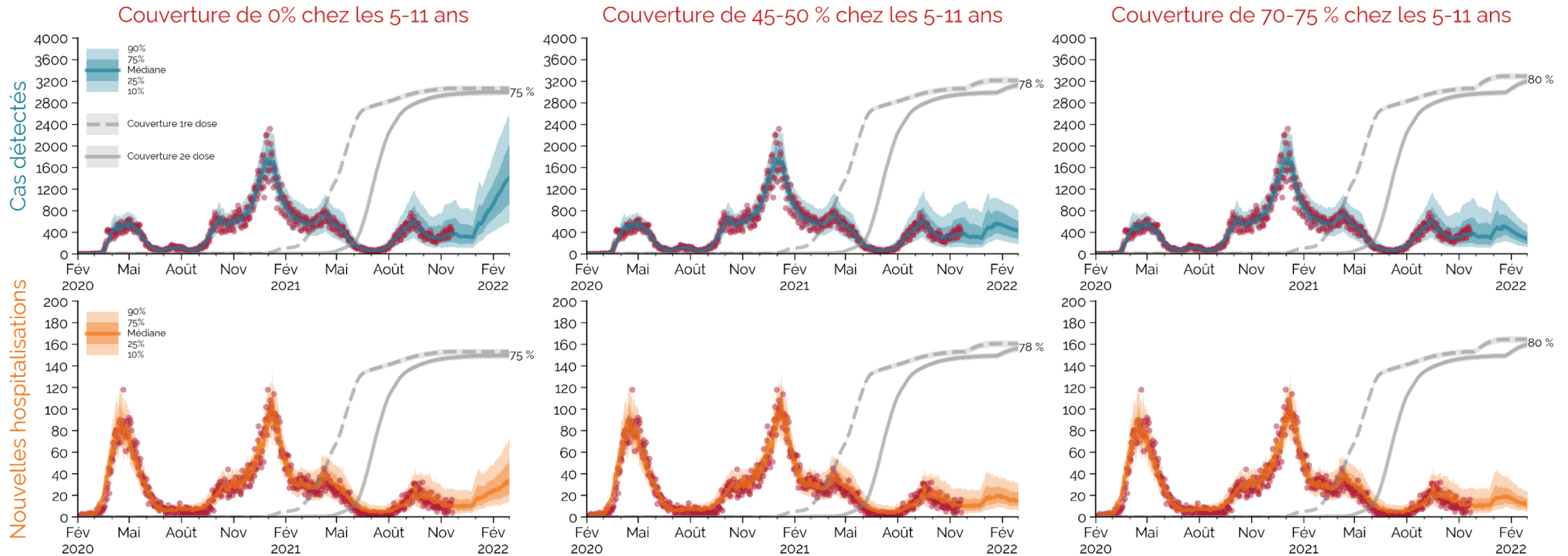


- Le modèle prédit qu'une couverture de 45-50% chez les enfants de 5-11 ans produirait un impact sur la transmission communautaire semblable à celui prédit avec une couverture de 70-75%
- **Ce résultat dépend de deux hypothèses importantes:**
 1. la couverture est uniforme dans toutes les régions (aucune région avec une très faible couverture), et
 2. une efficacité vaccinale élevée doit être maintenue à long terme

Évolution de la COVID-19 dans la population totale du Grand Montréal

Scénario: maintien des contacts réduits à l'automne (niveaux de contacts pré-COVID en janvier)

Impact de la couverture vaccinale des enfants de 5-11 ans



- Le modèle prédit qu'une couverture de 45-50% chez les enfants de 5-11 ans produirait un impact sur la transmission communautaire semblable à celui prédit avec une couverture de 70-75%
- **Ce résultat dépend de deux hypothèses importantes:**
 1. la couverture est uniforme dans toutes les régions (aucune région avec une très faible couverture), et
 2. une efficacité vaccinale élevée doit être maintenue à long terme

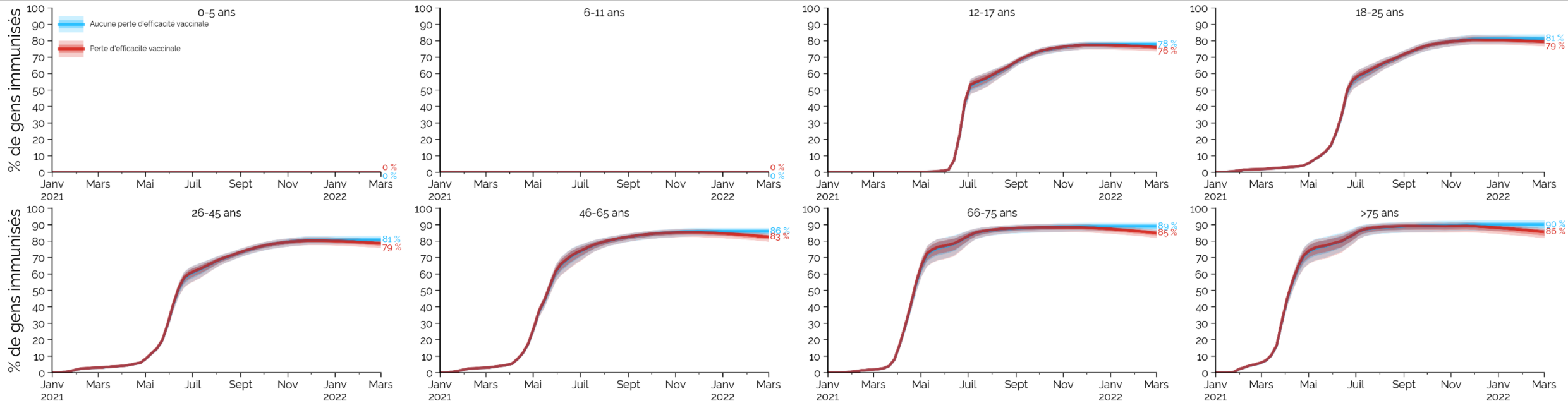
Impact potentiel d'une perte d'efficacité vaccinale à long terme

Scénario hypothétique avec une perte d'efficacité vaccinale

Attention, les données actuellement disponibles au Québec et au Canada ne démontrent pas de perte d'efficacité vaccinale pour le moment au Québec¹ (par contre une perte d'efficacité vaccinale est mesurée en Grande Bretagne²)

Pourcentage de la population protégée par la vaccination

Avec et sans perte d'efficacité vaccinale

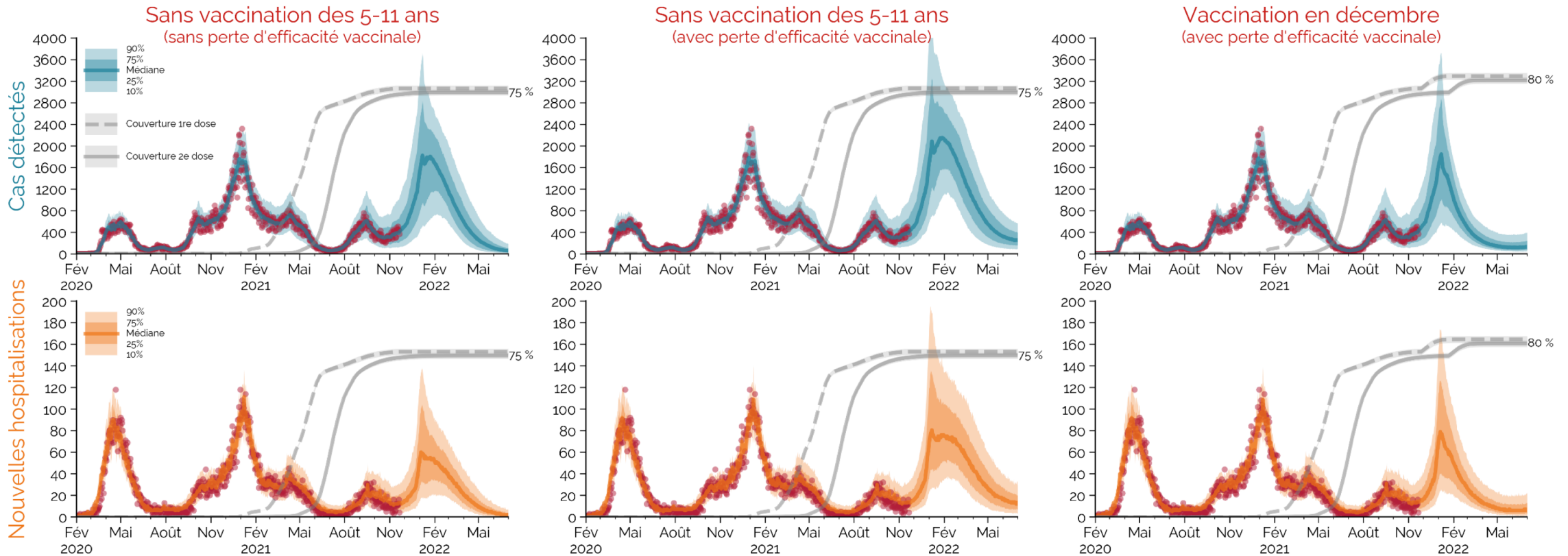


- **Aucune perte d'efficacité vaccinale:** Scénario de base.
- **Perte d'efficacité vaccinale:** Scénario hypothétique avec une perte d'efficacité vaccinale après la 2^{ème} dose (Pertes de 6% après 6 mois et 20% après 1 an). Attention: ce scénario hypothétique n'inclut pas de doses de rappel (ex: 3^{ème} dose).

Évolution de la COVID-19 dans le Grand Montréal à long terme

Scénario: augmentation des contacts à l'automne (retour aux niveaux de contacts pré-COVID)

Impact potentiel d'une perte d'efficacité vaccinale



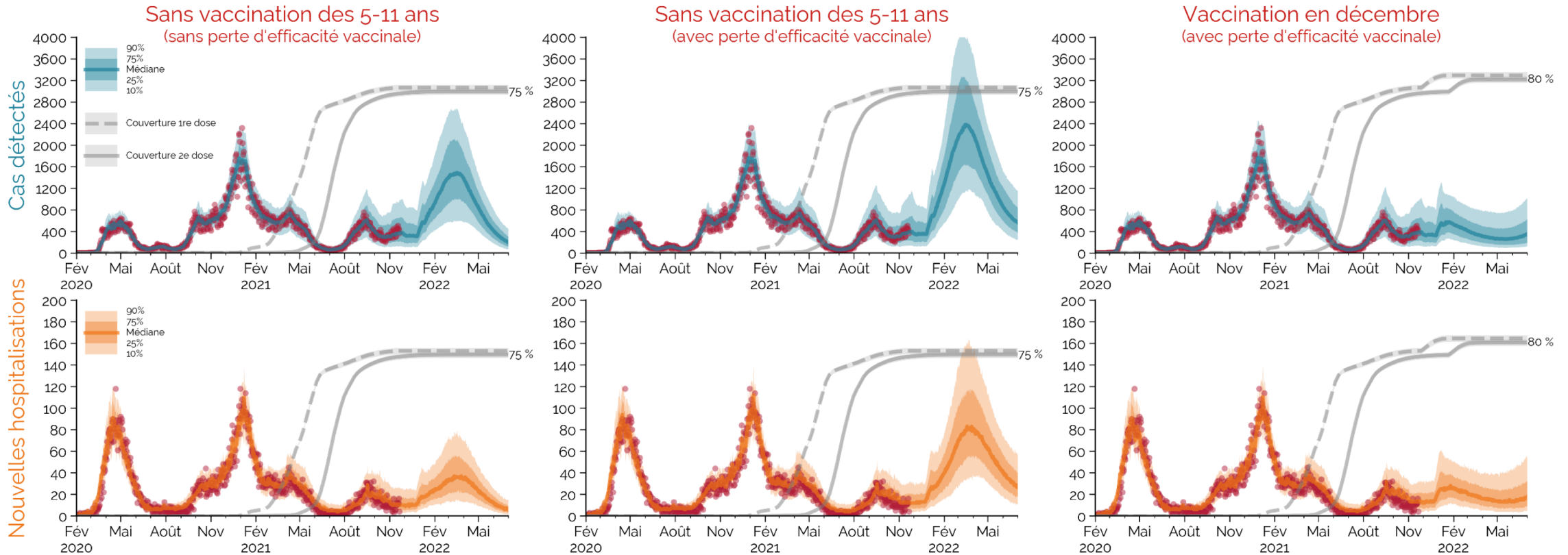
- Scénario hypothétique avec une perte d'efficacité vaccinale contre les infections, les hospitalisations et les décès (pertes de 6% après 6 mois et 20% après 1 an)
- Une perte d'efficacité vaccinale aurait un impact substantiel sur la transmission communautaire et le nombre d'hospitalisations
- La vaccination des enfants de 5-11 ans pourrait limiter l'impact potentiel d'une perte d'efficacité vaccinale
- Il est primordial d'utiliser tous les outils/analyses disponibles pour détecter rapidement une perte possible de l'efficacité vaccinale

À noter: Les projections à long terme sont très incertaines. Elles sont présentées à titre d'exemple pour illustrer l'importance du maintien de l'efficacité vaccinale contre les hospitalisations. Les projections seraient plus optimistes si l'efficacité est maintenue pour les cas sévères ou si la perte d'efficacité n'est pas généralisée à l'ensemble de la population.

Évolution de la COVID-19 dans le Grand Montréal à long terme

Scénario: maintien des contacts réduits à l'automne (niveaux de contacts pré-COVID en janvier)

Impact potentiel d'une perte d'efficacité vaccinale



- Scénario hypothétique avec une perte d'efficacité vaccinale contre les infections, les hospitalisations et les décès (pertes de 6% après 6 mois et 20% après 1 an)
- Une perte d'efficacité vaccinale aurait un impact substantiel sur la transmission communautaire et le nombre d'hospitalisations
- La vaccination des enfants de 5-11 ans pourrait limiter l'impact potentiel d'une perte d'efficacité vaccinale
- Il est primordial d'utiliser tous les outils/analyses disponibles pour détecter rapidement une perte possible de l'efficacité vaccinale

À noter: Les projections à long terme sont très incertaines. Elles sont présentées à titre d'exemple pour illustrer l'importance du maintien de l'efficacité vaccinale contre les hospitalisations. Les projections seraient plus optimistes si l'efficacité est maintenue pour les cas sévères ou si la perte d'efficacité n'est pas généralisée à l'ensemble de la population.

Autres Régions

Scénarios de contacts sociaux

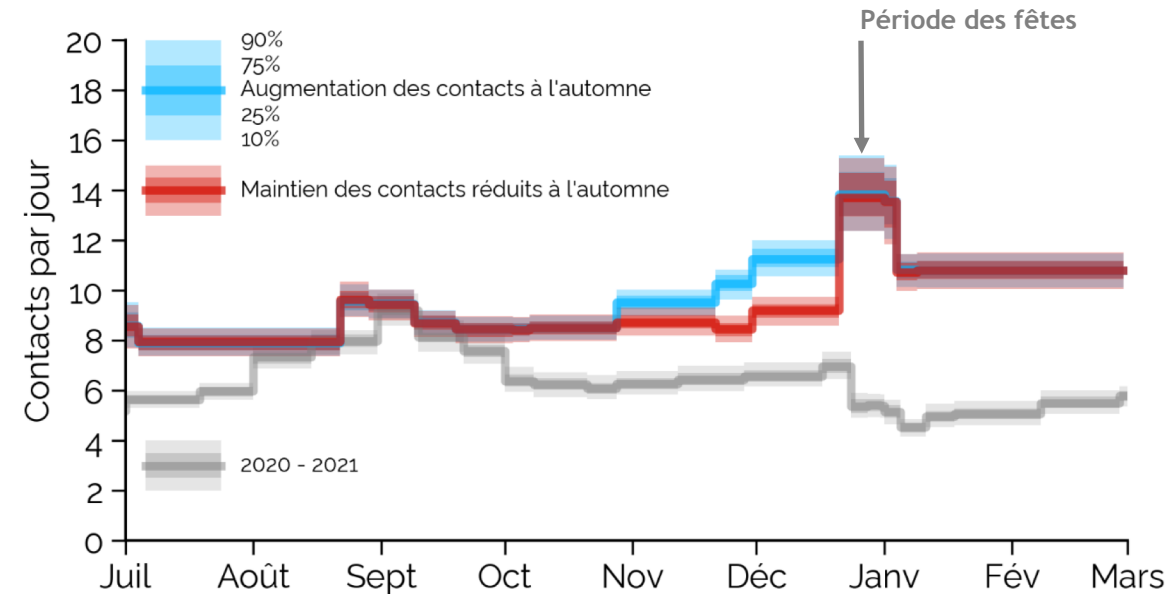
Autres Régions

1^{er} février 2020 - 14 novembre 2021

- Contacts sociaux modélisés à partir des données de l'étude CONNECT et l'évolution des mesures sanitaires

À partir du 15 novembre 2021: Nous avons modélisé 2 scénarios de contacts sociaux:

- **Augmentation des contacts à l'automne:**
 - Augmentation graduelle des contacts effectifs* en novembre pour atteindre des niveaux de contacts pré-COVID au début décembre
 - Ce scénario peut aussi représenter une situation où la transmissibilité par contact augmente avec plus de contacts à l'intérieur
 - Contacts plus élevés pendant les fêtes (réduits à l'école/travail)
 - Contacts pré-COVID en janvier 2022
- **Maintien des contacts réduits à l'automne:**
 - Maintien du niveau de contacts effectifs* réduits jusqu'à la période des fêtes (masques, prévention dans les écoles, maintien de mesures sanitaires).
 - Contacts plus élevés pendant les fêtes (réduits à l'école/travail)
 - Retour aux contacts pré-COVID en janvier 2022



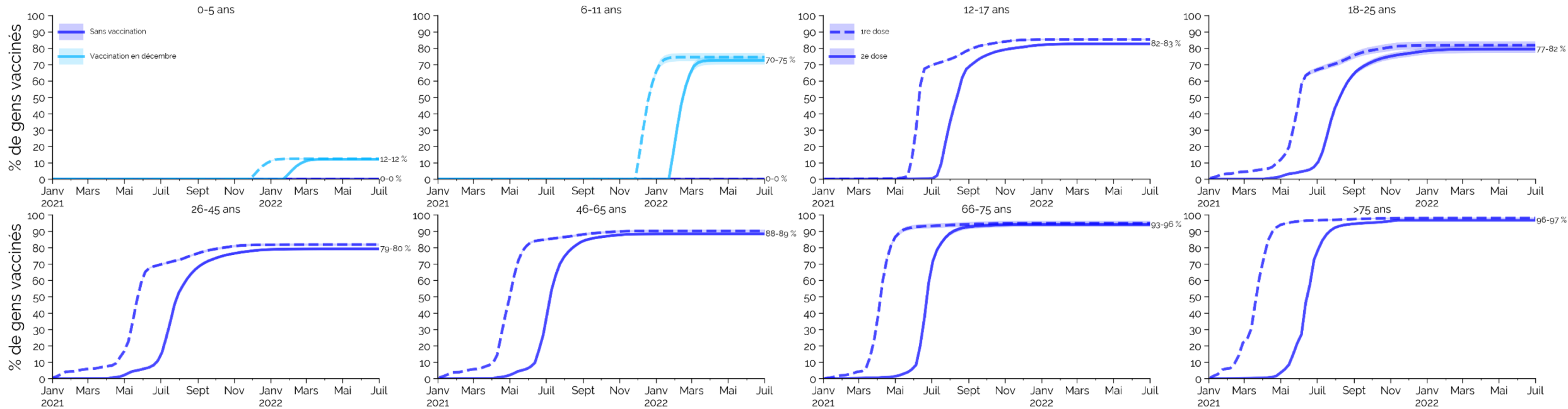
À noter:

- Pour les 2 scénarios nous intégrons 2-4 fois plus de contacts reliés aux rencontres/rassemblements du 22 décembre au 1 janvier que l'an dernier. Ceci représente plus de contacts intergénérationnels.
- Les contacts sont réduits à l'école et au travail du 22 décembre au 4 janvier.
- Contact pré-COVID = aucune mesure sanitaire ou mesure de prévention individuelle

* Contacts effectifs: contacts entre une personne infectée et une personne susceptible qui peut mener à l'infection de la personne susceptible.

Scénarios de la vaccination - couverture vaccinale

Autres Régions



Scénarios de la vaccination:

- **Sans la vaccination des 5-11 ans** et **Vaccination en décembre (1^{re} dose)**.
- Pour les 5-11 ans: 5-7 semaines pour atteindre la couverture maximale de 70-75% et délai de 8 semaines entre la 1^{re} et 2^e dose.
- Pour les 12 ans et plus: Les couvertures vaccinales sont estimées à partir des données de l'INSPQ en tenant compte des incertitudes méthodologiques.

Proportion protégée, efficacité vaccinale:

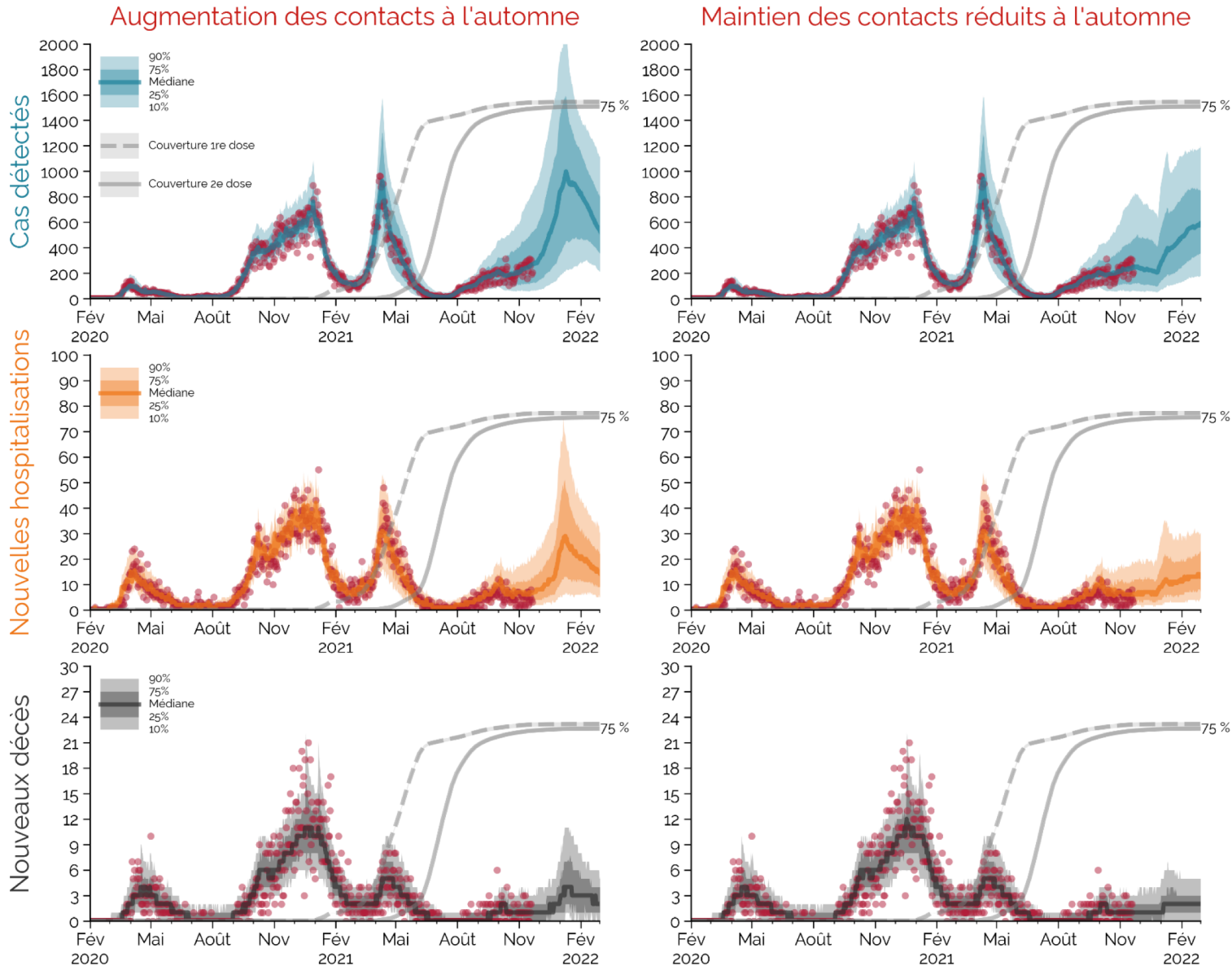
- Pour les >75 ans, l'efficacité vaccinale est de 71-89% après la 1^{re} dose et de 86-97% après la 2^e dose contre les infections (transmission) et la sévérité de la maladie (hospitalisations et décès).
- Pour les 5-75 ans, l'efficacité vaccinale est de 75-95% après la 1^{re} dose et de 91-99% après la 2^e dose contre les infections et la sévérité de la maladie.
- L'efficacité est atteinte de 2 à 3 semaines après la 1^{re} dose, selon l'âge.
- L'efficacité vaccinale pour 1 et 2 doses est la même contre toutes les souches et il n'y a pas de perte d'immunité vaccinale à court terme. Par contre, les données suggèrent que l'efficacité contre le variant Delta serait inférieure après une dose.

Évolution potentielle de la COVID-19 à l'automne 2021 et à l'hiver 2022

Sans la vaccination des enfants de 5-11 ans

Évolution de la COVID-19 dans les Autres Régions

Sans la vaccination des enfants de 5-11 ans



- Selon le scénario d'augmentation des contacts à l'automne (retour aux niveaux de contacts pré-COVID), le modèle prédit une augmentation des cas et des hospitalisations dans les Autres Régions (augmentation de la transmission communautaire). Les pics de cas et d'hospitalisations pourraient se situer entre ceux des 3^e et 4^e vagues et pourraient être atteints en janvier/février 2022.
- Selon le scénario de maintien des contacts à l'automne, le modèle prédit un aplatissement de la courbe des cas et des hospitalisations. Un nombre de cas plus faible en décembre pourrait limiter la transmission intergénérationnelle pendant le temps des fêtes et, par conséquent, les hospitalisations en janvier 2022.
- Cependant, le modèle prédit qu'un retour au niveau de contact pré-COVID en janvier 2022 pourrait produire une augmentation des cas et des hospitalisations pendant l'hiver (il resterait suffisamment de personnes non vaccinées et non immunes).

À noter:

Voir l'annexe pour un scénario de contacts mitoyen

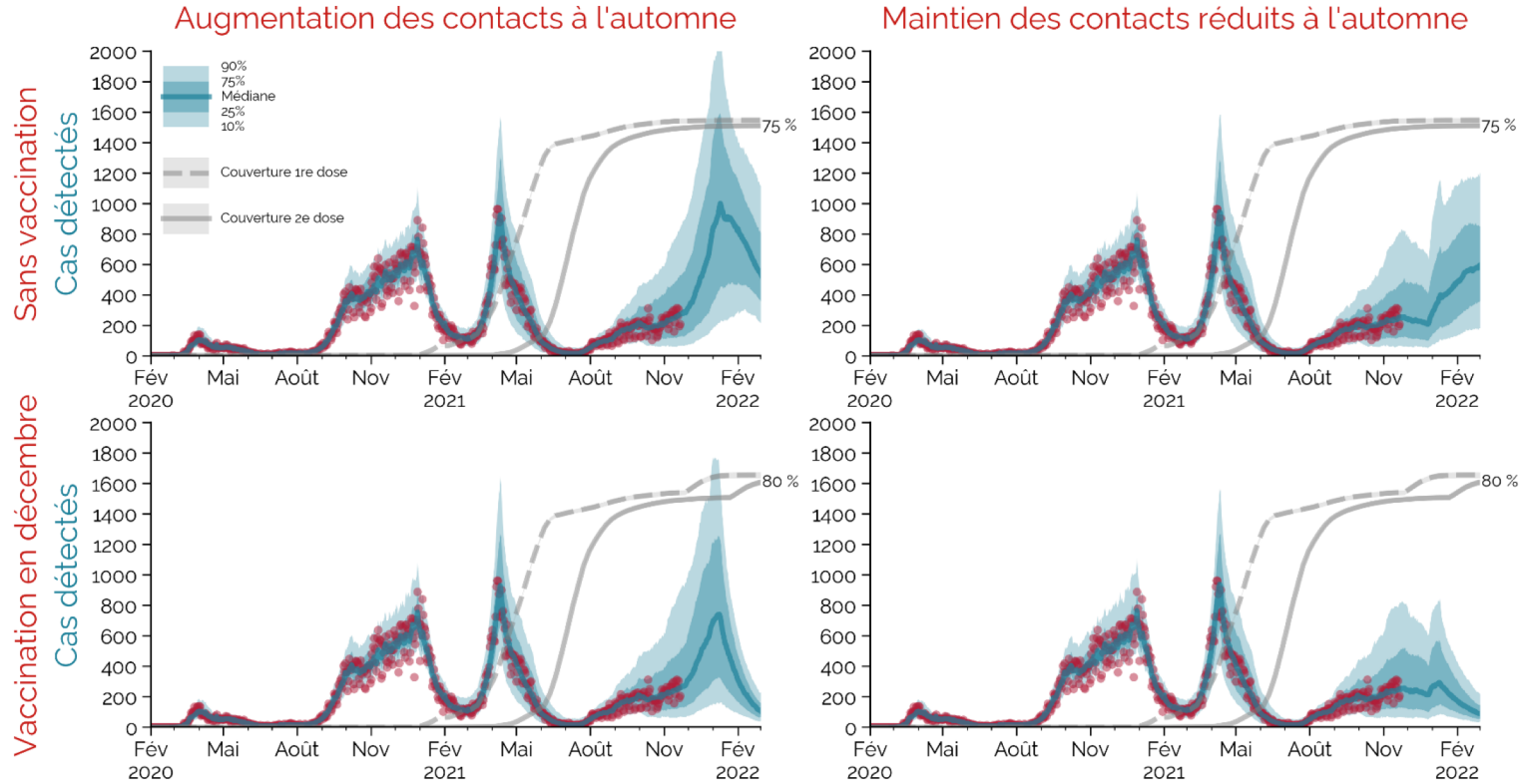
- d'une efficacité plus faible contre la transmission que contre les hospitalisations
- d'une perte potentielle d'efficacité vaccinale
- d'éclosions dans des sous-groupes de la population non-vaccinés

Impact potentiel de la vaccination des enfants de 5-11 ans sur l'évolution de la COVID-19

parmi la population totale (impact indirect)

Évolution des cas détectés dans les Autres Régions

Selon la vaccination des enfants de 5-11 ans



Selon le scénario d'augmentation des contacts à l'automne (retour aux niveaux de contacts pré-COVID):

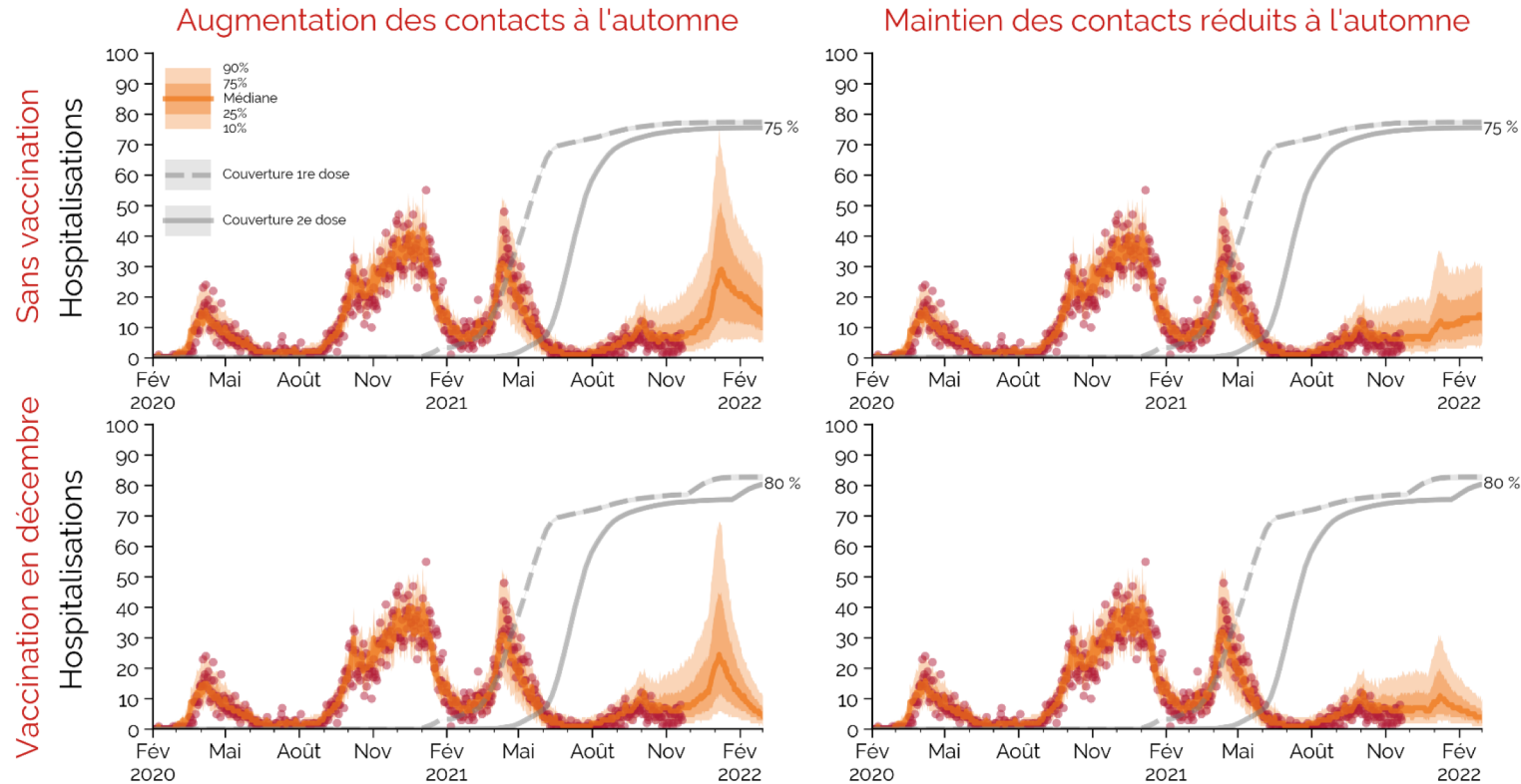
- La vaccination des enfants en décembre permettrait de diminuer la transmission avant la période des fêtes et ainsi d'accélérer la diminution des cas en janvier et février 2022.

Selon le scénario du maintien des contacts réduits pendant l'automne:

- La vaccination des enfants permettrait de réduire le nombre de cas en janvier et février 2022, étant donné la faible transmission communautaire pendant l'automne (résultant du maintien des contacts réduits à l'automne).
- La vaccination des enfants pourrait limiter l'augmentation de la transmission qui pourrait survenir pendant la période des fêtes avec l'augmentation des contacts intergénérationnels (percolation des cas des enfants vers les adultes).

Évolution des hospitalisations dans les Autres Régions

Selon la vaccination des enfants de 5-11 ans



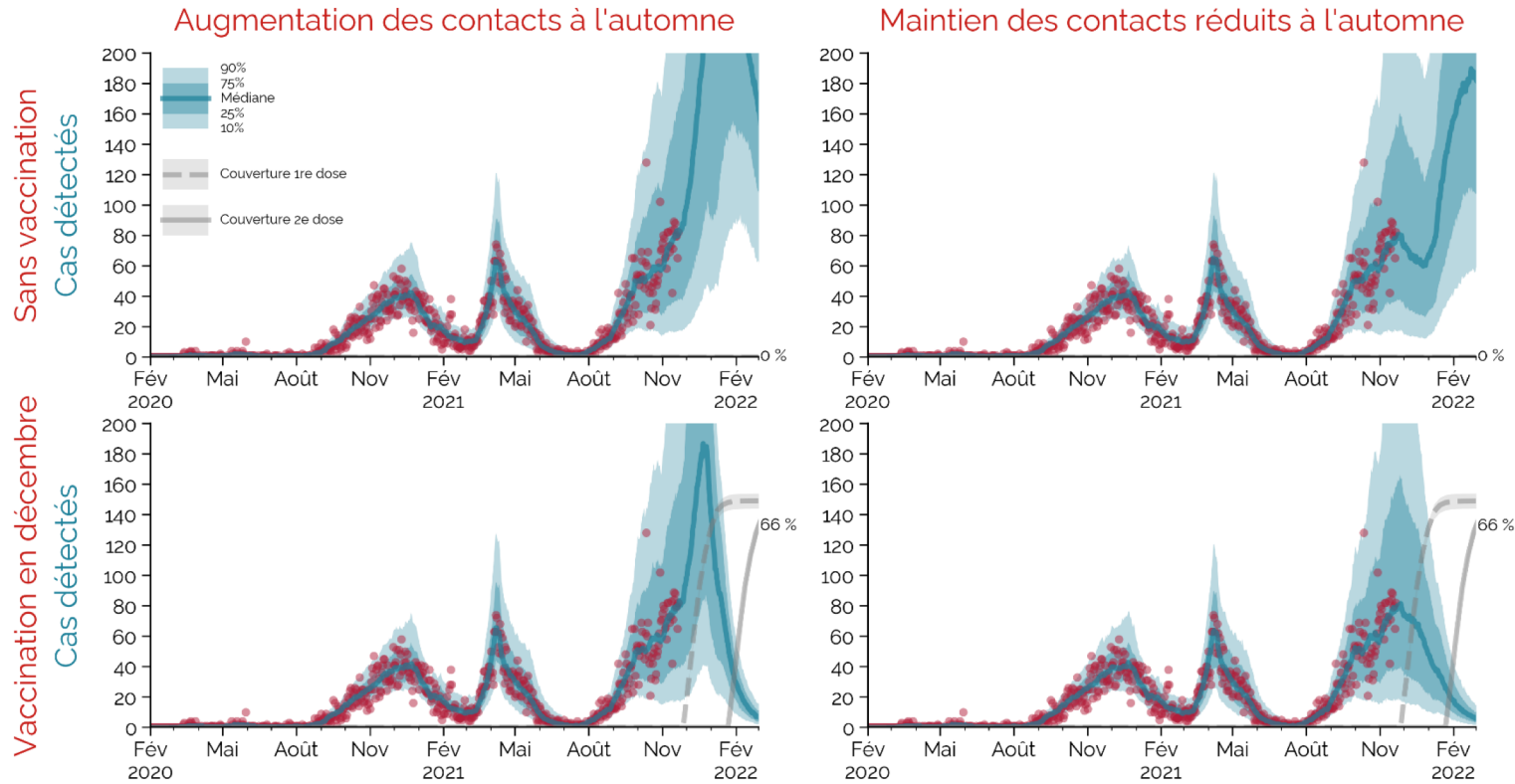
- **La vaccination des enfants** permettrait également de réduire les hospitalisations dans tous les groupes d'âge en limitant la transmission communautaire (particulièrement chez les personnes non vaccinées et/ou vulnérables).
- L'impact indirect de la vaccination des enfants sur les hospitalisations serait d'autant plus élevé:
 - en vaccinant les enfants en décembre, avant la période des fêtes (limitant ainsi la transmission intergénérationnelle et la percolation des infections des enfants vers les adultes).
 - dans un contexte de faible transmission communautaire.

Impact potentiel de la vaccination des enfants de 5-11 ans sur l'évolution de la COVID-19

parmi les enfants (impact direct)

Évolution des cas détectés chez les enfants de 6-11 ans

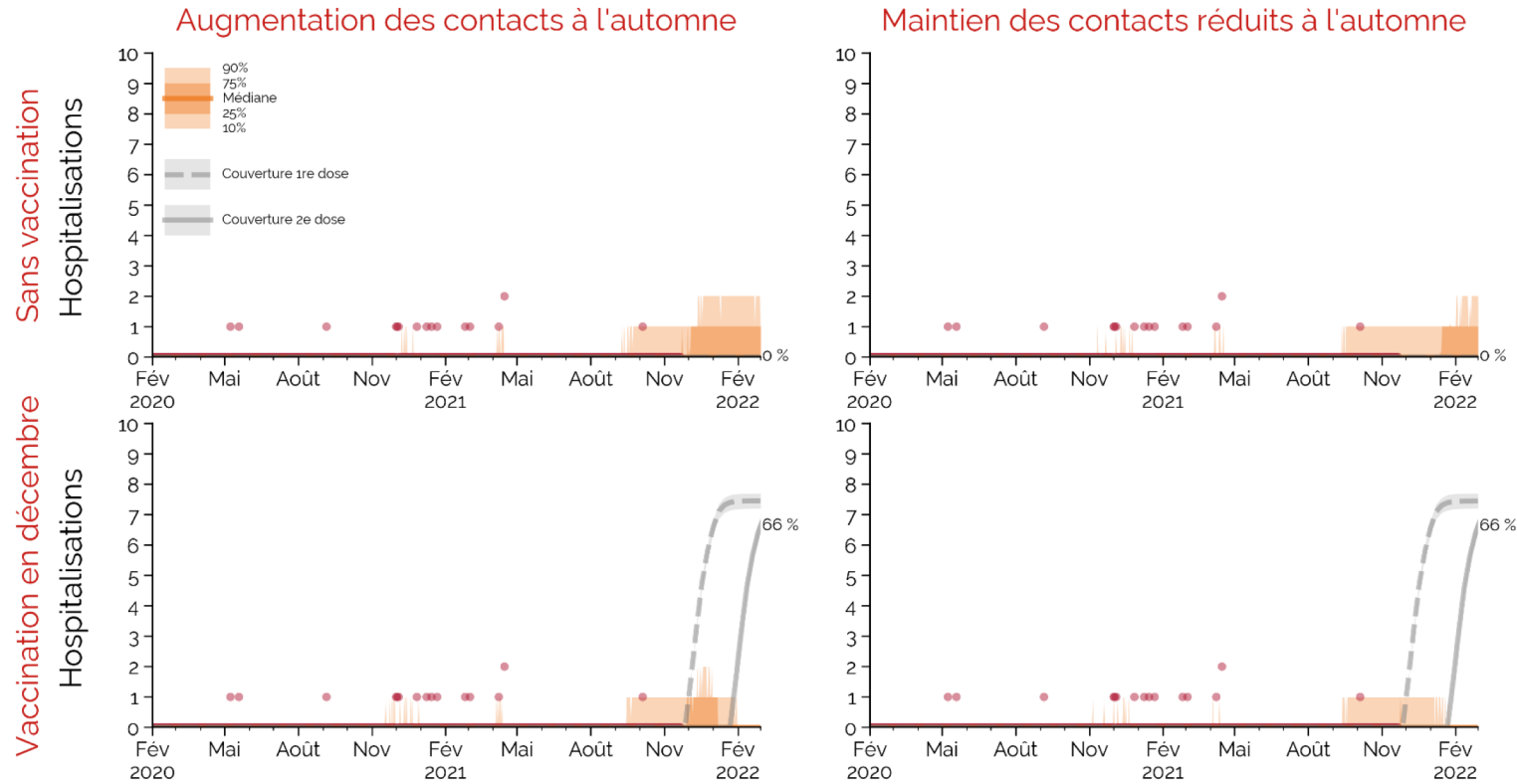
Selon les contacts sociaux et la vaccination des enfants de 5-11 ans



- Étant donné qu'une grande proportion des enfants sont encore susceptibles à l'infection, le potentiel de transmission et d'infection parmi ce groupe d'âge demeure élevé.
- Le modèle prédit que la vaccination des enfants de 5-11 ans pourrait avoir un impact direct important. Toutefois, celui-ci dépendra de la situation épidémiologique au moment de la vaccination.
- **Selon le scénario d'augmentation des contacts à l'automne** (contacts pré-COVID, transmission communautaire soutenue), l'impact direct de la vaccination des enfants serait moindre. Un nombre important d'enfants pourraient alors avoir déjà été infectés avant la période des fêtes.
- **Selon le scénario du maintien des contacts réduits pendant l'automne** (faible transmission communautaire), l'impact direct de la vaccination serait élevé.

Évolution des hospitalisations chez les enfants de 6-11 ans

Selon les contacts sociaux et la vaccination des enfants 5-11 ans



- Le risque d'hospitalisations des enfants de 5-11 ans est faible. La vaccination aurait donc peu d'impact sur les hospitalisations de ce groupe d'âge.

Résumé

Évolution potentielle de la COVID-19 à l'automne 2021 et l'hiver 2022

- Les projections suggèrent qu'il pourrait y avoir une recrudescence des cas et des hospitalisations à l'automne 2021 ou à l'hiver 2022 avec une augmentation des contacts sociaux.
 - Présentement, le nombre de personnes susceptibles à l'infection demeure suffisant pour qu'une augmentation de la transmission/infections et des hospitalisations soit possible malgré une couverture vaccinale élevée.
- L'ampleur et le moment de la recrudescence des cas dépendraient de trois facteurs importants: 1) la couverture vaccinale de la population totale, 2) les contacts sociaux effectifs (mesures sanitaires et/ou comportements préventifs), et 3) la durée de la protection vaccinale.
- Dans la majorité des scénarios examinés sans la vaccination des enfants de 5-11 ans, les pics d'hospitalisations pourraient demeurer inférieurs à ceux de janvier 2021, même avec un retour aux niveaux de contacts pré-COVID.
 - Ceci suppose que l'efficacité vaccinale est maintenue à long terme et qu'il n'y pas de nouveaux variants avec échappement vaccinal.

Résumé

Impact potentiel de la vaccination des enfants de 5-11 ans

- La vaccination des enfants de 5-11 ans pourrait apporter des **bénéfices directs** dans ce groupe d'âge:
 - La vaccination pourrait permettre de réduire les cas parmi les enfants de 5-11 ans. Cependant, elle aurait peu d'impact sur les hospitalisations de ce groupe d'âge étant donné leur faible risque de complications.
 - La vaccination pourrait permettre de réduire les perturbations liées à la gestion des épidémies dans les écoles (ex: isolement des cas, fermetures de classes) et aux mesures sanitaires.
- En augmentant la couverture vaccinale totale de la population, la vaccination des enfants de 5-11 ans pourrait aussi apporter des **bénéfices indirects** parmi toute la population en réduisant la transmission communautaire.
 - La vaccination des enfants lorsque la transmission communautaire est relativement faible pourrait réduire considérablement la possibilité d'avoir une 5^e vague, même avec un retour aux niveaux de contacts pré-COVID.
 - Par contre, si les enfants sont vaccinés alors que les cas sont en augmentation, que la transmission communautaire est soutenue et que la transmission/infections parmi les enfants a percolé vers les adultes, les bénéfices de la vaccination des enfants pour l'ensemble de la population seraient moindres.
 - Finalement, la vaccination des enfants pourrait réduire les conséquences d'une réduction de l'efficacité vaccinale à travers le temps (ex: perte d'efficacité, arrivée d'un variant avec échappement vaccinal partiel).

Groupe de recherche en modélisation mathématique des maladies infectieuses

Centre de recherche du CHU de Québec - Université Laval

- Marc Brisson, PhD, directeur
- Guillaume Gingras, PhD, modélisateur principal
- Maxime Hardy, MSc, modélisateur
- Mélanie Drolet, PhD, épidémiologiste
- Jean-François Laprise, PhD, modélisateur

et l'équipe d'épidémiologistes, statisticiens, modélisateurs mathématiques et étudiants :

- Myrto Mondor, MSc
- Caty Blanchette, MSc
- Éric Demers, MSc
- Philippe Lemieux-Mellouki, MSc
- Aurélie Godbout, MD

Collaboratrice Imperial College London

- Marie-Claude Boily, PhD

Collaborateurs Université McGill

- Mathieu Maheu-Giroux, ScD
- David Buckeridge, PhD
- Arnaud Godin, MSc
- Yiqing Xia, MSc

Calcul Canada

- Charles Coulombe

Collaborateur Université de Montréal

- Benoît Mâsse, PhD

Collaborateurs Institut national de santé publique du Québec

- Gaston De Serres, MD, PhD
- Chantal Sauvageau, MD, FRCP(c)
- Rodica Gilca, MD, FRCP(c)
- Élise Fortin, PhD
- Nicholas Brousseau, MD, FRCP(c)
- Christophe Garenc, PhD
- Geneviève Deceuninck, MSc
- Zhou Zhou, PhD
- Rachid Amini, MSc

Annexe

Analyses de sensibilité additionnelles (Grand Montréal)

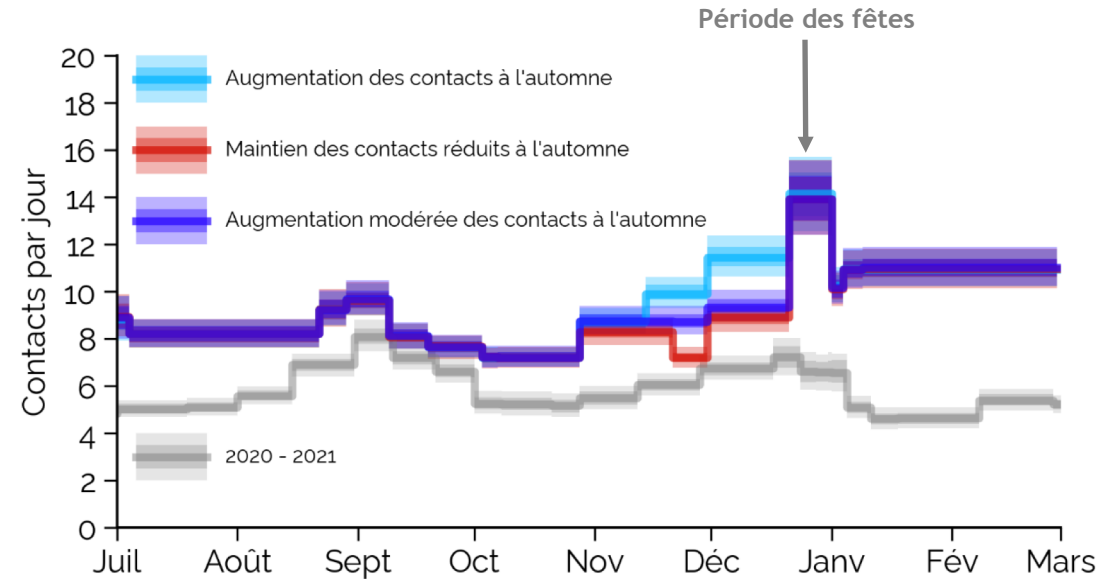
1. Scénario mitoyen d'augmentation des contacts à l'automne
2. Début de la vaccination des enfants de 5-11 ans en janvier
2022

Impact potentiel d'un scénario mitoyen d'augmentation des contacts à l'automne

Scénarios de contacts sociaux

Grand Montréal

- **Augmentation des contacts à l'automne:**
 - Augmentation graduelle des contacts effectifs* en novembre pour atteindre des niveaux de contacts pré-COVID au début décembre
 - Ce scénario peut aussi représenter une situation où la transmissibilité par contact augmente avec plus de contacts à l'intérieur
 - Contacts plus élevés pendant les fêtes (réduits à l'école/travail)
 - Contacts pré-COVID en janvier 2022
- **Maintien des contacts réduits à l'automne:**
 - Maintien du niveau de contacts effectifs* d'octobre jusqu'à la période des fêtes (masques, prévention dans les écoles, maintien de mesures sanitaires).
 - Contacts plus élevés pendant les fêtes (réduits à l'école/travail)
 - Retour aux contacts pré-COVID en janvier 2022
- **Augmentation modérée des contacts à l'automne:**
 - Augmentation graduelle des contacts effectifs* en novembre et décembre mais sous les niveaux de contacts pré-COVID
 - Contacts plus élevés pendant les fêtes (réduits à l'école/travail)
 - Retour aux contacts pré-COVID en janvier 2022



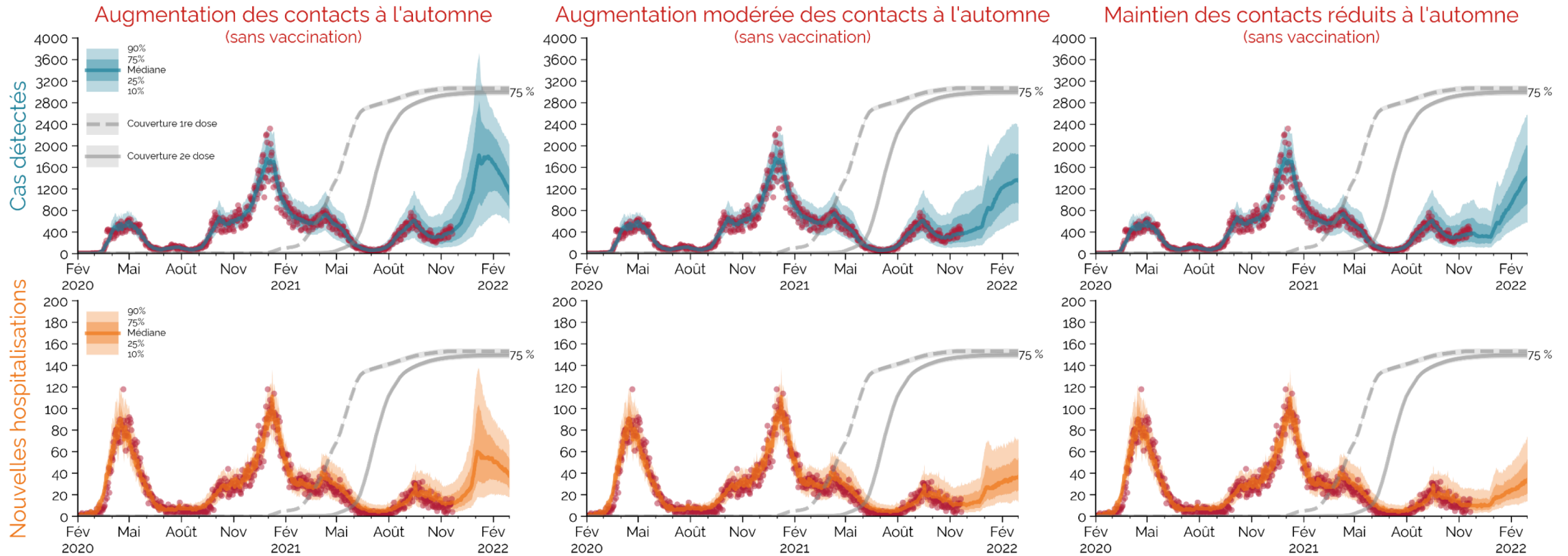
À noter:

- Pour les 3 scénarios nous intégrons 2-4 fois plus de contacts reliés aux rencontres/rassemblements du 22 décembre au 1 janvier que l'an dernier. Ceci représente plus de contacts intergénérationnels.
- Les contacts sont réduits à l'école et au travail du 22 décembre au 4 janvier.

* Contacts effectifs: contacts entre une personne infectée et une personne susceptible menant à l'infection de la personne susceptible.

Évolution des cas détectés dans le Grand Montréal

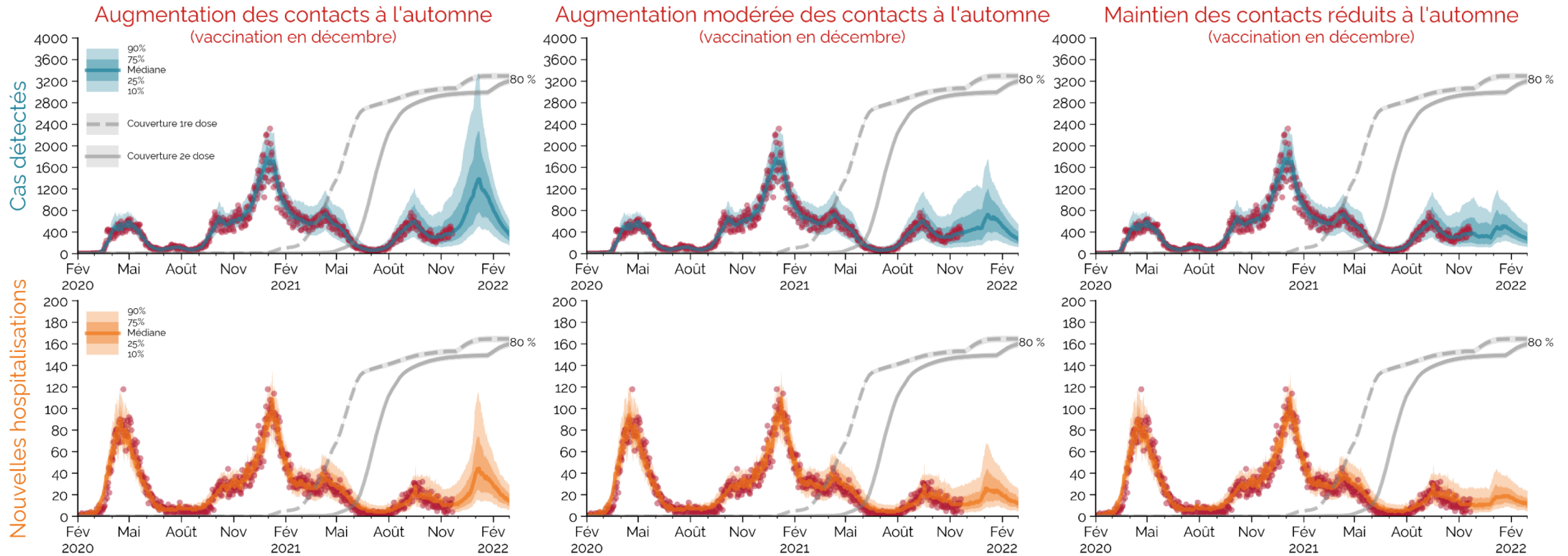
Impact de l'augmentation des contacts à l'automne - sans la vaccination des enfants de 5-11 ans



Points rouges, données INSPQ/MSSS. Les résultats représentent la médiane et les 10^e, 25^e, 75^e et 90^e percentiles des prédictions du modèle. Les transferts hospitaliers des CHSLD et décès lors d'éclats dans les CHSLD sont exclus. 1^{re} vague: 25 février-11 juillet 2020; 2^e vague: 23 août 2020-20 mars 2021; 3^e vague: 21 mars 2021-17 juillet 2021; 4^e vague: 18 juillet 2021-en cours

Évolution des cas détectés dans le Grand Montréal

Impact de l'augmentation des contacts à l'automne - avec la vaccination des enfants de 5-11 ans

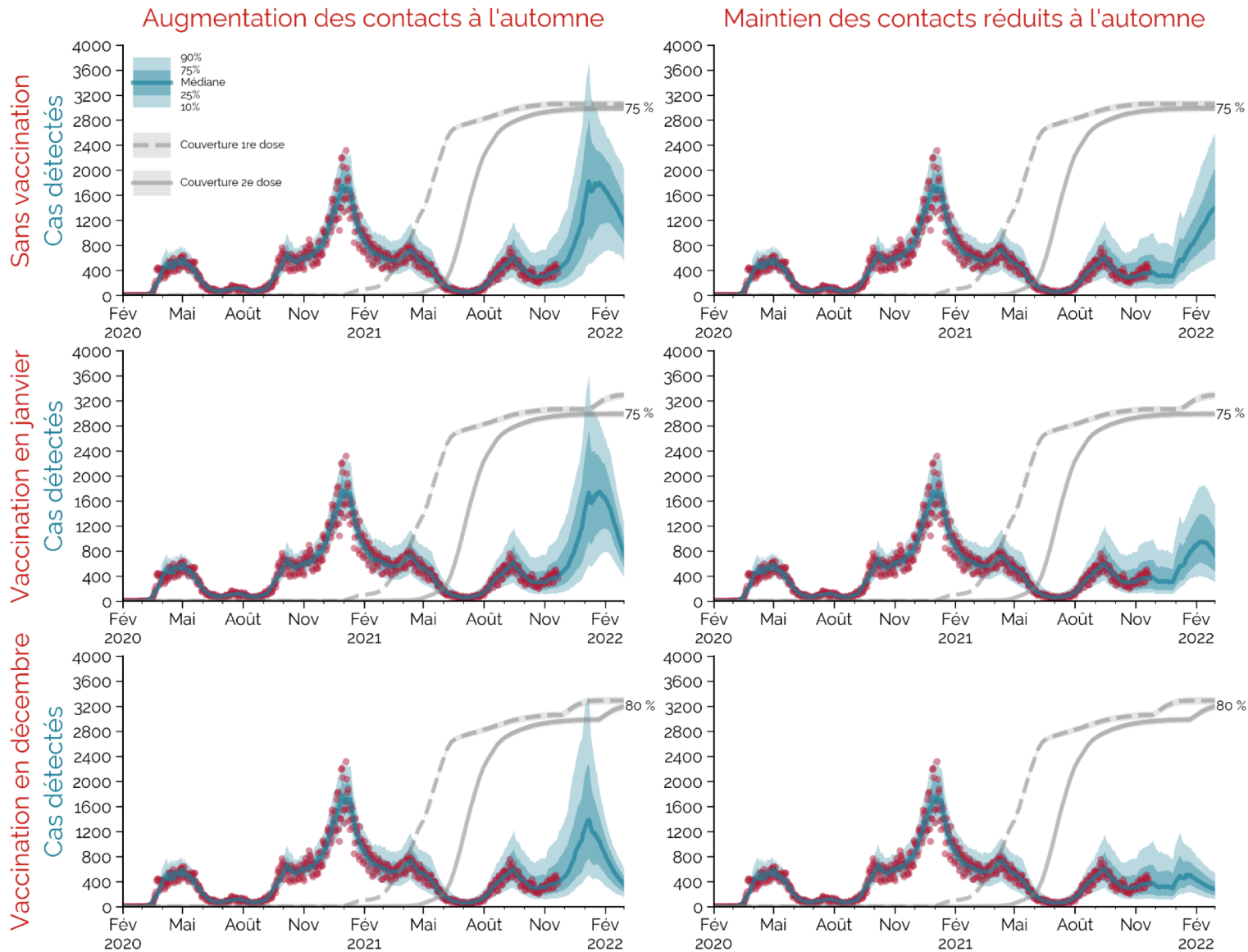


Points rouges, données INSPQ/MSSS. Les résultats représentent la médiane et les 10^e, 25^e, 75^e et 90^e percentiles des prédictions du modèle. Les transferts hospitaliers des CHSLD et décès lors d'éclousions dans les CHSLD sont exclus. 1^{re} vague: 25 février-11 juillet 2020; 2^e vague: 23 août 2020-20 mars 2021; 3^e vague: 21 mars 2021-17 juillet 2021; 4^e vague: 18 juillet 2021-en cours

Début de la vaccination des enfants en janvier

Évolution des cas détectés dans le Grand Montréal

Selon la mois du début de la vaccination des enfants de 5-11 ans

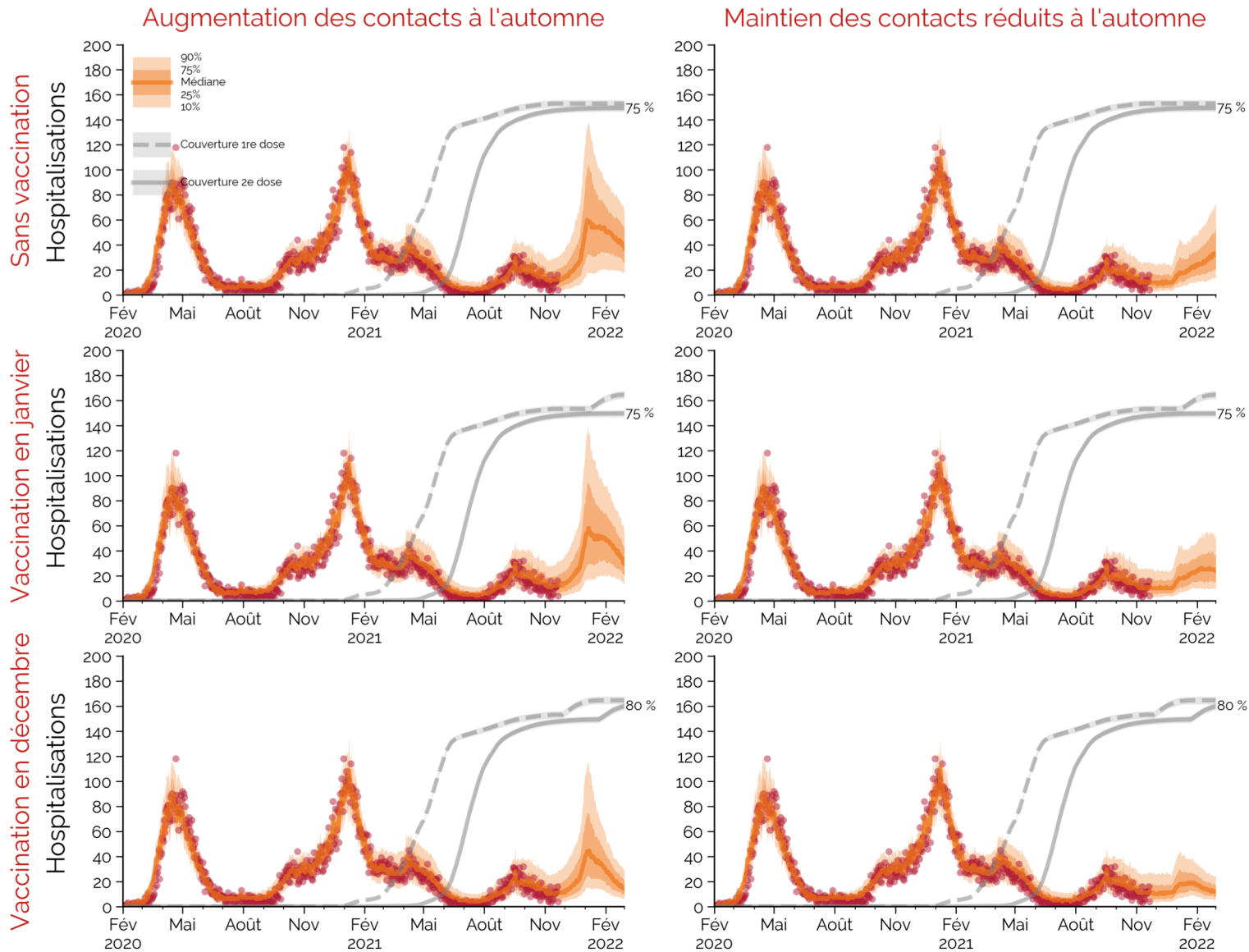


Selon le scénario d'augmentation des contacts à l'automne (retour aux niveaux de contacts pré-COVID), le modèle prédit que la vaccination des enfants de 5-11 ans en janvier aurait peu d'impact sur l'évolution des cas jusqu'en février 2022.

Selon le scénario du maintien des contacts réduits pendant l'automne, la vaccination des enfants en janvier permettrait de réduire le nombre de cas en février 2022, étant donné la faible transmission communautaire pendant l'automne (résultant du maintien des contacts réduits à l'automne).

Évolution des hospitalisations dans le Grand Montréal

Selon la mois du début de la vaccination des enfants de 5-11 ans

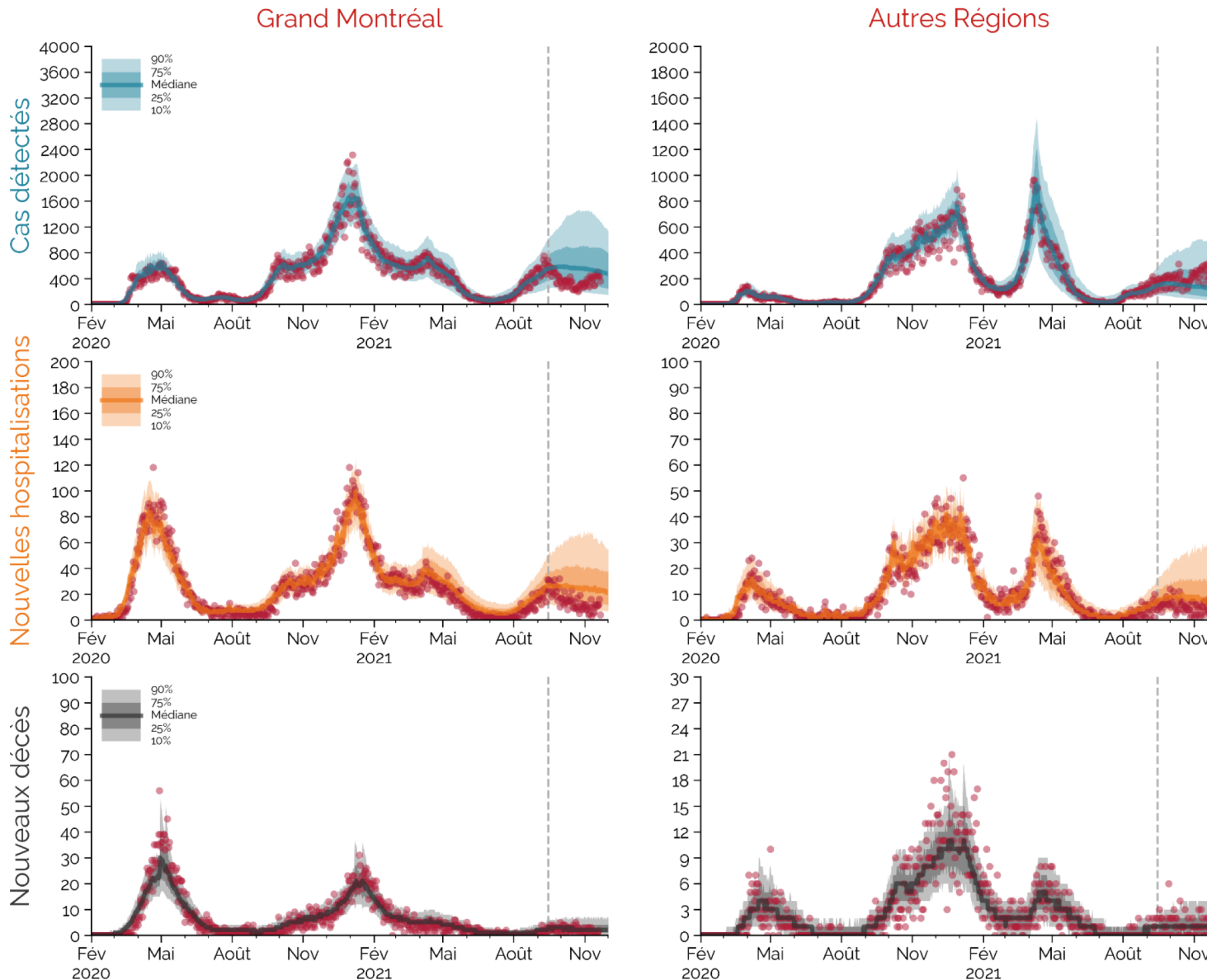


- L'impact indirect de la vaccination des enfants sur les hospitalisations serait d'autant plus élevé:
 - en vaccinant les enfants en décembre, avant la période des fêtes (limitant ainsi la transmission intergénérationnelle et la percolation des infections des enfants vers les adultes).
 - dans un contexte de faible transmission communautaire.

Projections du dernier rapport vs nouvelles données

Évolution de la COVID-19 au Québec

Comparaison des projections du dernier rapport avec les nouvelles données - Contacts Réduits



Les cas et les hospitalisations sont dans l'incertitude des projections du scénario de contacts réduits du rapport du 28 septembre 2021.

Les hospitalisations observées semblent toutefois être un peu plus faibles que ces projections.

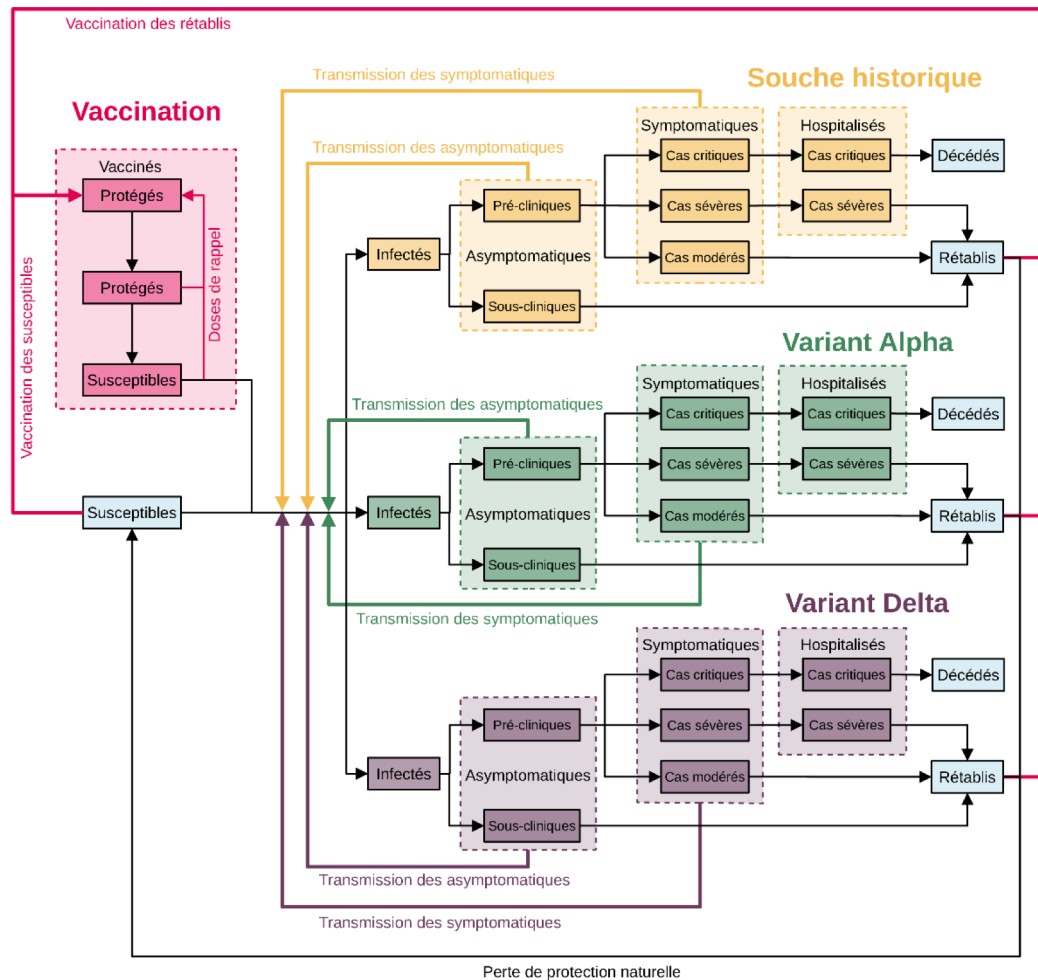
Hypothèses pouvant expliquer la différence:

- Augmentation de la couverture vaccinale durant l'automne, particulièrement chez les jeunes adultes
- Contacts plus faibles que modélisés:
 - Impact plus important du passeport vaccinal chez les jeunes adultes?
 - Moins de transmission dans les écoles (ex: moins de contacts effectifs)?

Méthodes

Description du modèle avec des variants plus transmissibles et la vaccination

Diagramme du modèle dynamique



Hypothèses:

- Les variants et la souche historique ont:
 - la même histoire naturelle
- Le variant Alpha est:
 - 1,2 à 2,0 fois plus transmissible par contact que la souche de base (1)
 - 1,1 à 1,8 fois plus sévère (2)
- Le variant Delta est :
 - 1,3 à 1,7 fois plus transmissible par contact que le variant Alpha (3)
 - 1,3 à 2,2 fois plus sévère que le variant Alpha (3)
- 100% de protection croisée

Les boîtes représentent les différents états de santé (infection/maladie) dans lesquels un individu du modèle peut se retrouver pour chaque groupe d'âge. Les flèches noires représentent les transitions entre les états de santé et les flèches de couleurs représentent les voies de transmission (dans le même groupe d'âge ainsi qu'entre les différents groupes d'âge) ainsi que la vaccination. Le variant alpha représente un ensemble de variants plus transmissibles avec des caractéristiques de transmission et de sévérité similaires.

Références: (1) Davies, Science 2021 (<https://science.sciencemag.org/content/early/2021/03/03/science.abg3055>), (2) <https://www.gov.uk/government/publications/nervtag-paper-on-covid-19-variant-of-concern-b117>, (3) https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/993427/S1289_Imperial_Roadmap_Step_4.pdf

Prédictions de l'évolution de la courbe épidémique

- **Régions**

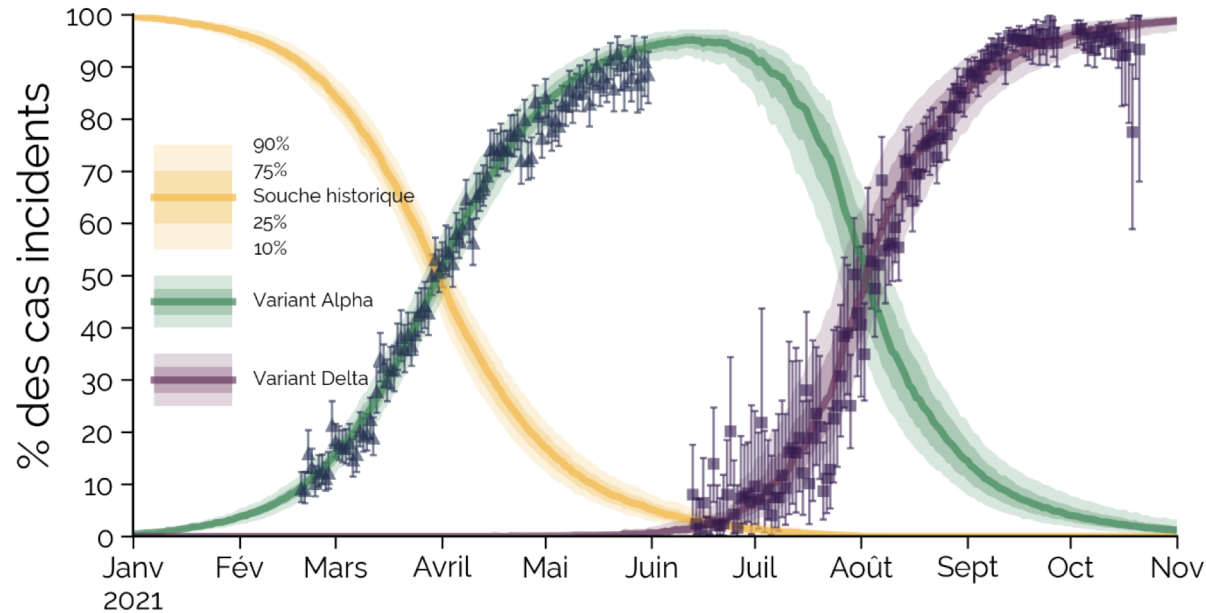
- Grand Montréal (Montréal, Laval, Laurentides, Lanaudière, Montérégie)
- Autres Régions

- **Calibration**

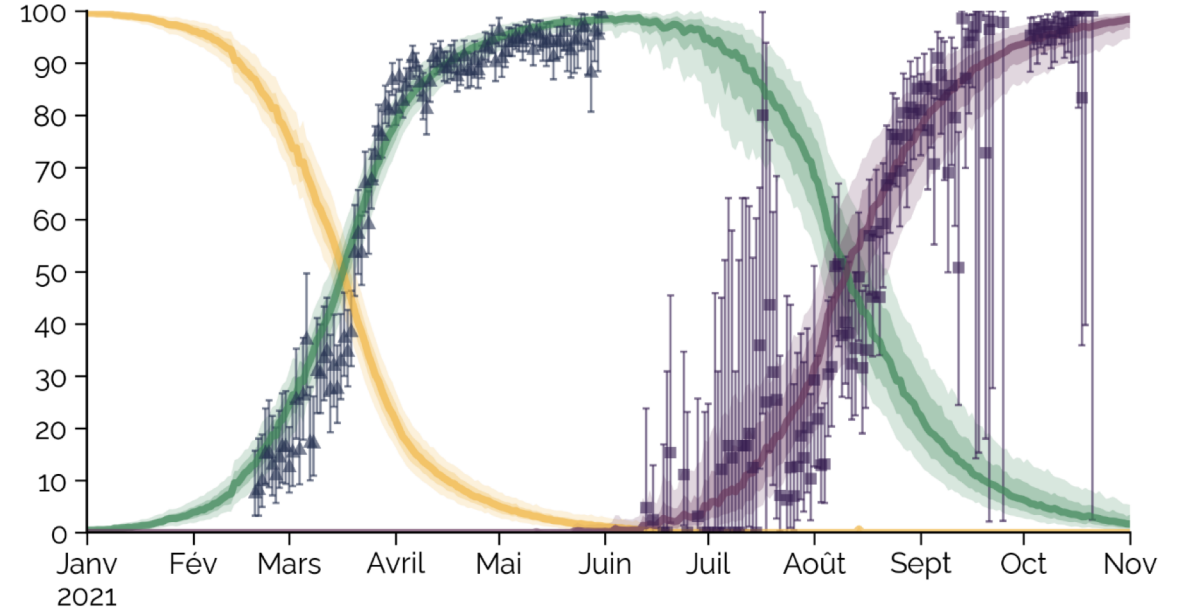
- Nous avons calibré notre modèle aux données jusqu'au **22 novembre**.
- Pour chaque scénario, nous avons retenu les 500 prédictions qui reproduisent le mieux les données d'hospitalisations, de décès et de séroprévalence (étude 1 et étude 2 d'Héma Québec) pour 8 groupes d'âge (0-5, 6-11, 12-17, 18-25, 26-45, 46-65, 66-75, et >75 ans).
- Pour tenir compte du variant, nous avons aussi calibré nos simulations aux données de criblage (% de tous les cas criblés qui sont positifs pour les variants par jour).
- Les cas détectés sont estimés en appliquant un taux de détection aux projections des nouvelles infections (cas cliniques + sous-cliniques). Le taux de détection est obtenu en faisant le ratio moyen sur 30 jours des nouvelles infections projetées et des cas déclarés.

Calibration Proportion des cas incidents de la COVID-19 reliés aux variants

Grand Montréal

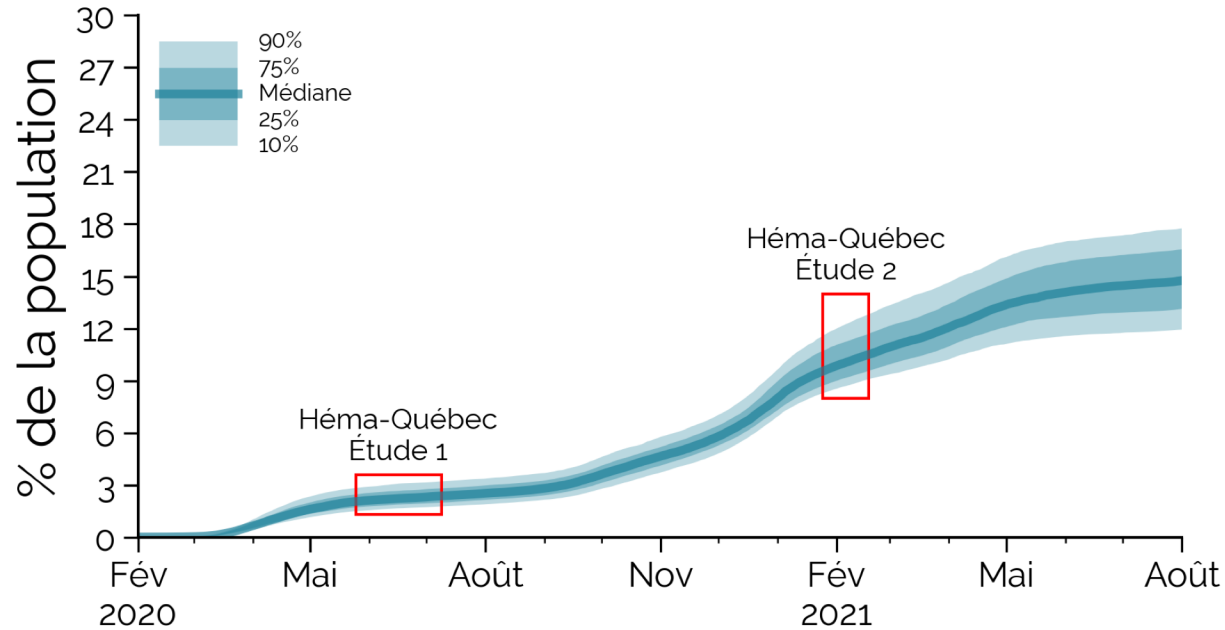


Autres Régions

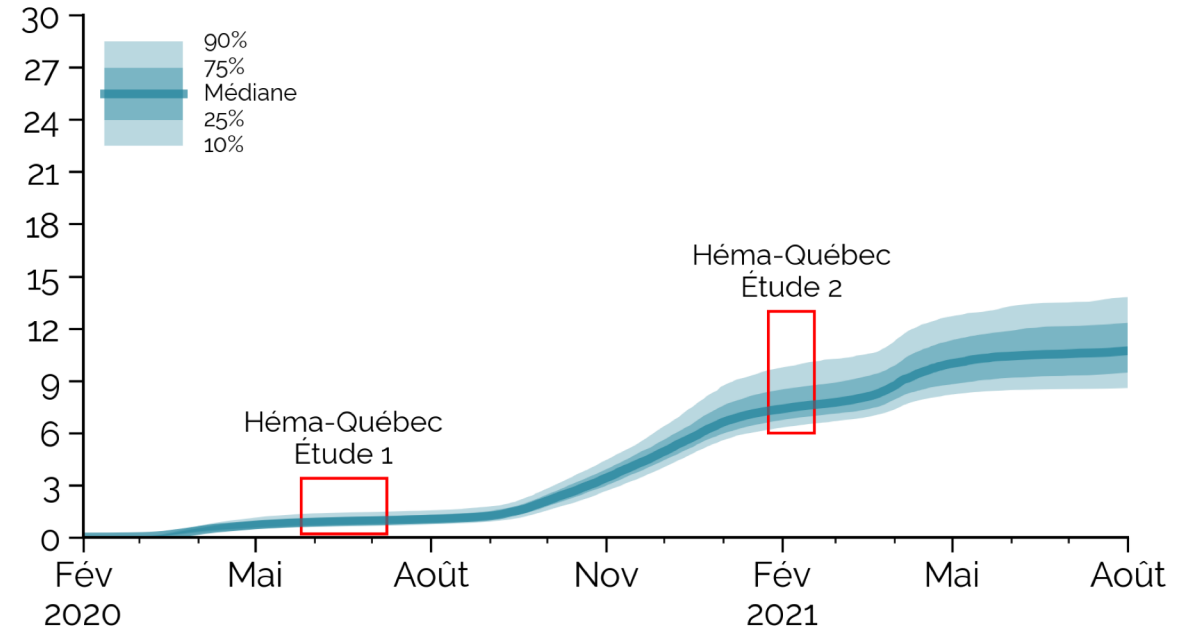


Calibration Séroprévalence des études de Héma-Québec

Grand Montréal

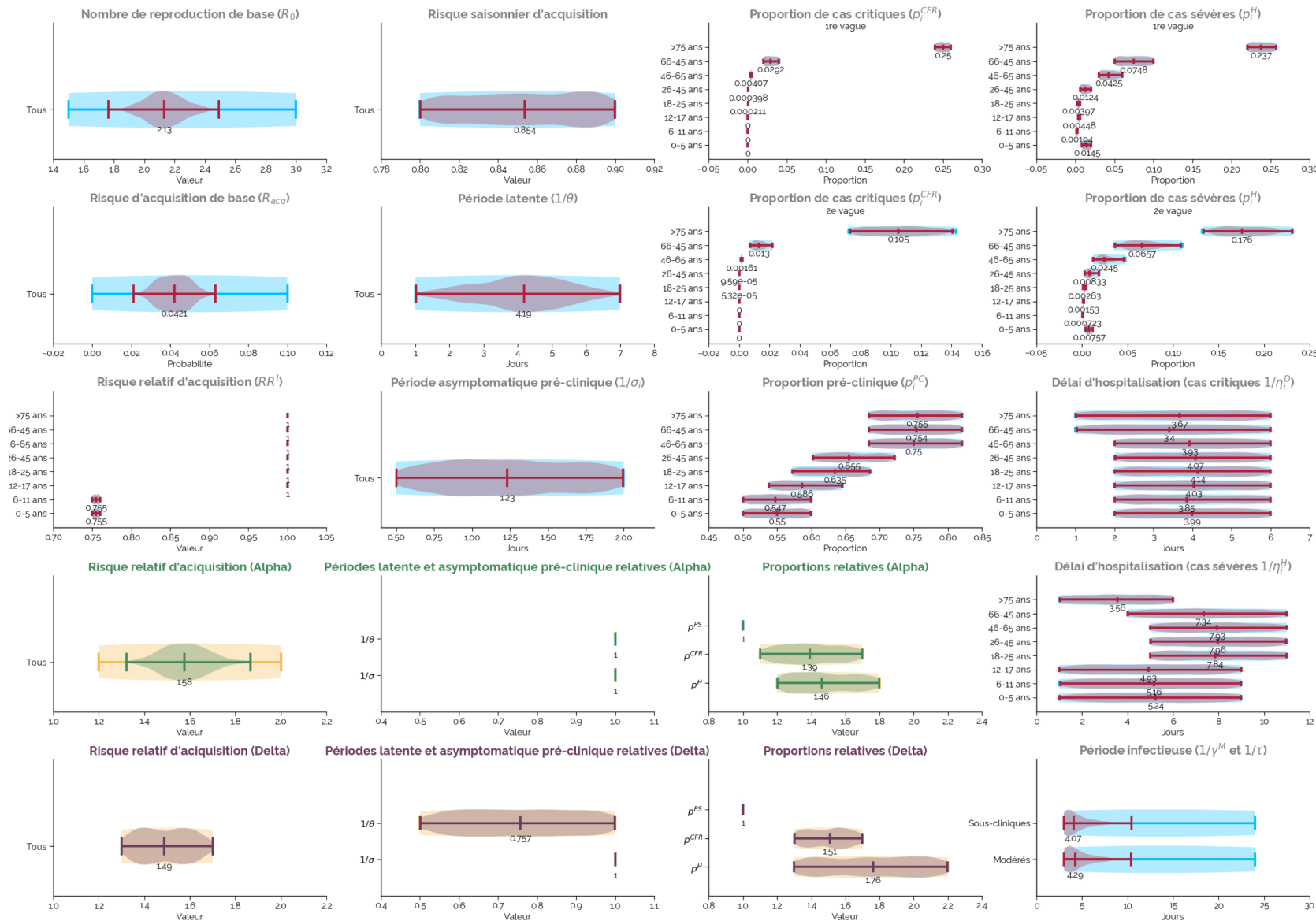


Autres Régions



Paramètres - Histoire naturelle

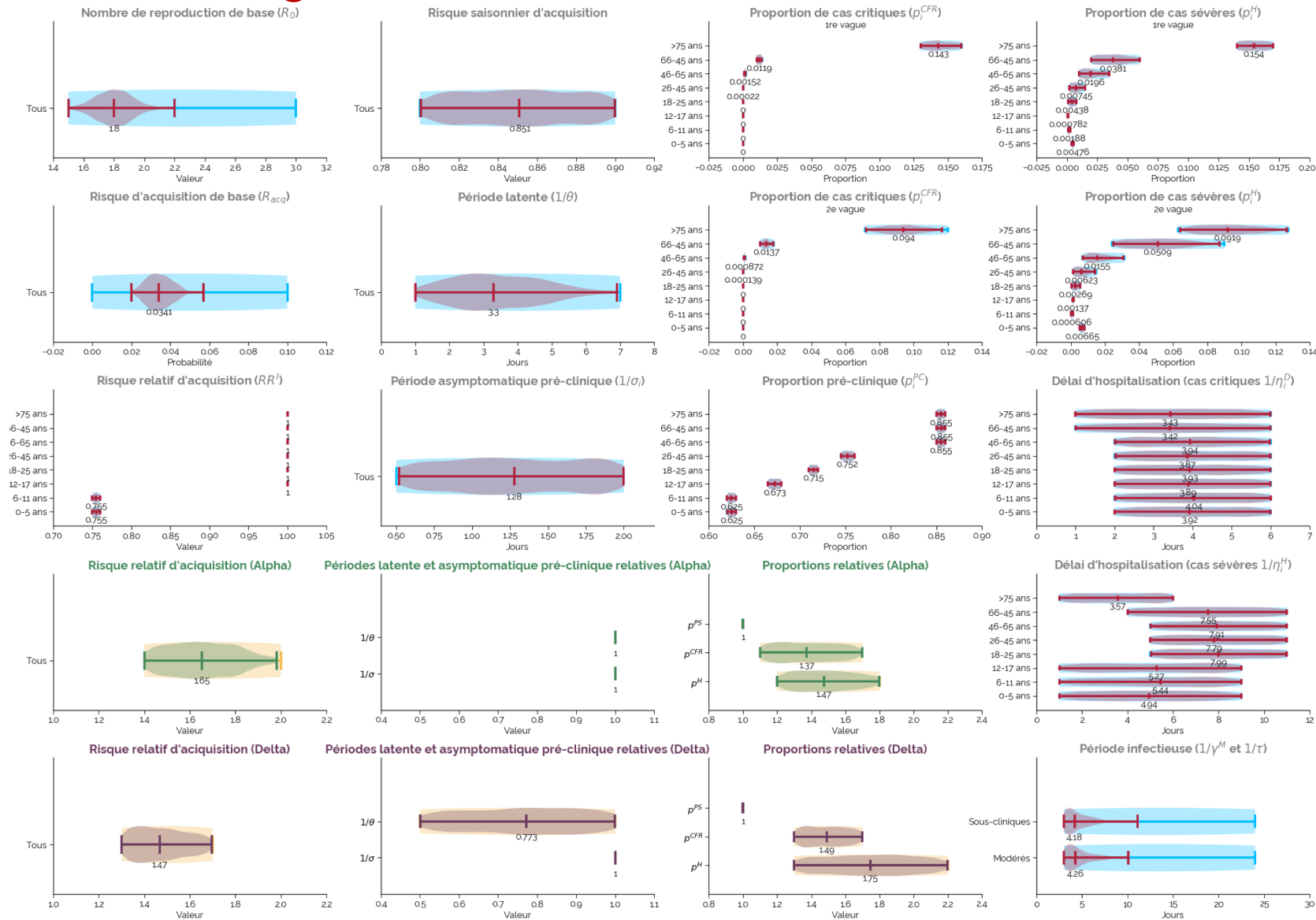
Grand Montréal avec variants



Références: 1-5, 13, 17, 20,21,22,V-10/TSP, Med-Echo et PHAC (Agency Modelling Group Report), Davies (Estimated transmissibility and impact of SARS-CoV-2 Variant of Concern 202012/01 in England, preprint), <https://www.gov.uk/government/publication/s/nervtag-paper-on-covid-19-variant-of-concern-b117>. Les zones bleues montrent les distributions d'échantillonnage uniformes (distribution a priori) tandis que les zones rouges montrent les distributions résultantes (distributions a posteriori) de toutes les simulations calibrées.

Paramètres - Histoire naturelle

Autres Régions avec variants



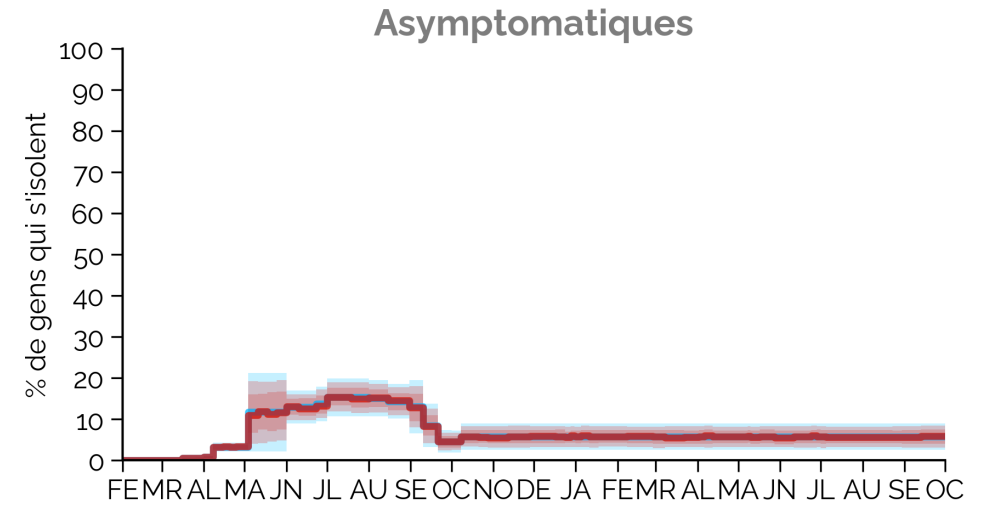
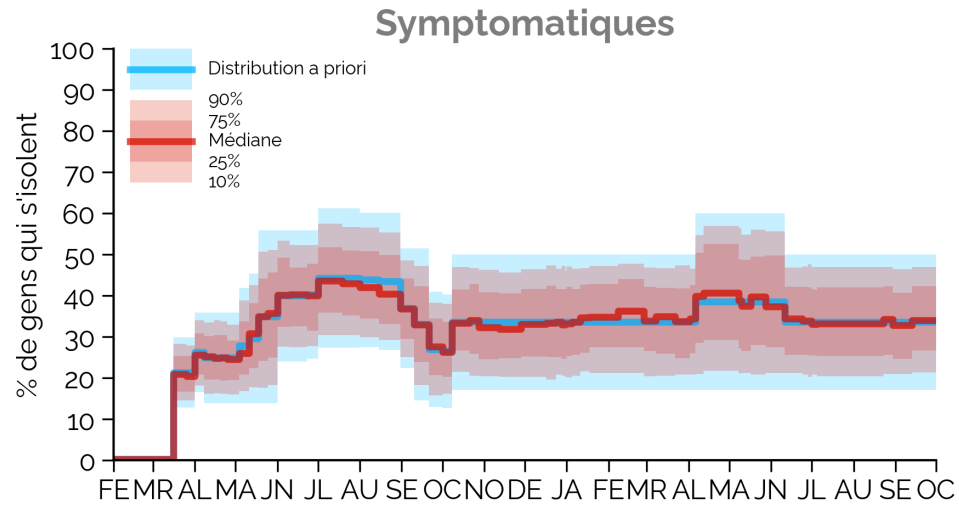
Références: 1-5, 13, 17, 20,21,22,V-10/TSP, Med-Echo et PHAC (Agency Modelling Group Report), Davies (Estimated transmissibility and impact of SARS-CoV-2 Variant of Concern 202012/01 in England, preprint), <https://www.gov.uk/government/publication/s/nervtag-paper-on-covid-19-variant-of-concern-b117>. Les zones bleues montrent les distributions d'échantillonnage uniformes (distribution a priori) tandis que les zones rouges montrent les distributions résultantes (distributions a posteriori) de toutes les simulations calibrées.

Dépistage

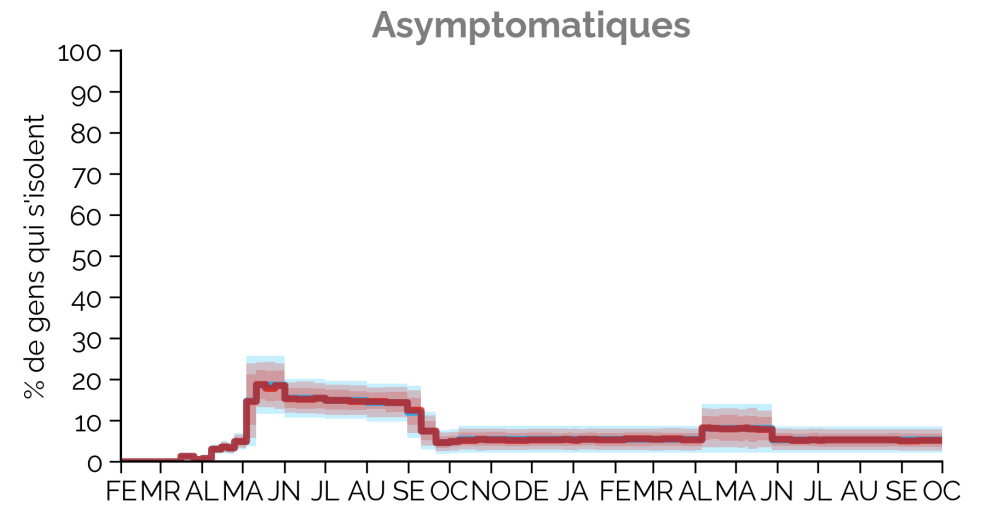
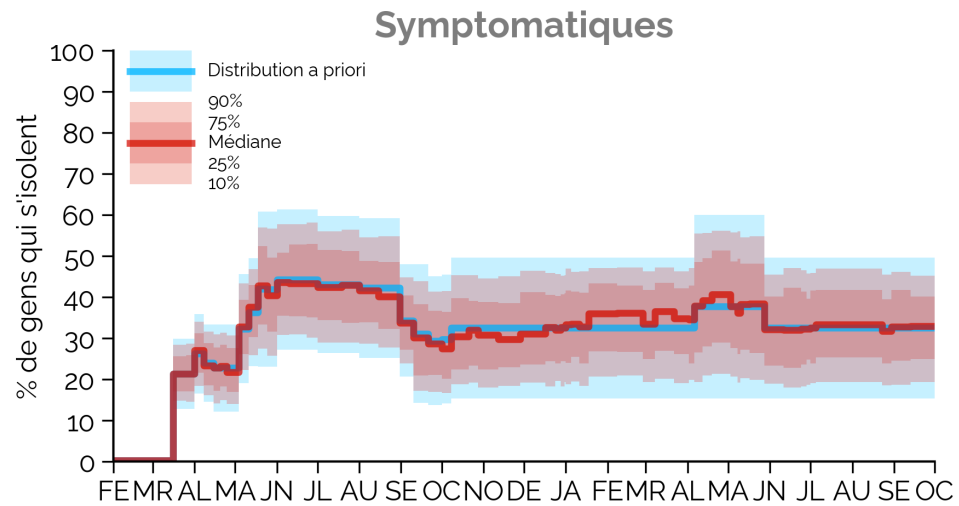
- **Le dépistage a pour objectif de réduire le nombre de contacts d'une personne infectée dans la communauté en augmentant le nombre de jours infectieux isolés**
 - L'amélioration du dépistage, du traçage et de l'isolement pourrait se faire par:
 1. une augmentation de la proportion des cas dépistés
 2. un délai plus court entre les symptômes, le test et l'isolement, et une bonne adhésion à l'isolement
 3. des résultats de tests plus rapides
 4. du traçage plus rapide et efficient
- **La modélisation du dépistage est basée sur les indicateurs disponibles et certaines hypothèses**
 - Indicateurs disponibles :
 - délais entre le début des symptômes, le test (prélèvement) et la déclaration du résultat
 - information concernant la présence de symptômes au moment du test (indicateur de la capacité de dépistage/traçage)
 - % des personnes qui iraient passer un test si elles avaient des symptômes (auto-rapporté)
 - % des cas qui se font tester (fonction de la séroprévalence et du nombre de tests positifs)
 - Hypothèses (en l'absence de données):
 - moment à partir duquel une personne s'isole (min=moment du test, max=moment de l'annonce du résultat)
 - En combinant les indicateurs disponibles et nos hypothèses, nous modélisons:
 - la proportion de cas symptomatiques et asymptomatiques isolés
 - le nombre de jours infectieux isolés pour les cas symptomatiques et asymptomatiques

Dépistage - % isolement

- Grand Montréal



- Autres Régions



Données calibration du modèle

Données	Stratifications	Sources de données
Séroprévalence	<ul style="list-style-type: none">• Âge• Région	<ul style="list-style-type: none">• Étude Héma Québec
Hospitalisations	<ul style="list-style-type: none">• Âge• Région• Provenance (maison, CHSLD)• Date d'admission	<ul style="list-style-type: none">• Banques de données GESTRED et Med-Écho• Banque de données Évolution cas CHSLD, RPA, RI-RTF, et autres milieux de vie, INSPQ (n'est plus disponible)• Données COVID-19 au Québec (Infocentre de santé publique du Québec, MSSS, disponible à: https://www.inspq.qc.ca/covid-19/donnees)
Décès	<ul style="list-style-type: none">• Âge• Région• Lieu du décès (hôpital, CHSLD, maison)• Date du décès	<ul style="list-style-type: none">• Banque de données ASPC-V10, TSP• Banque de données Évolution cas CHSLD, RPA, RI-RTF, et autres milieux de vie, INSPQ (n'est plus disponible)• Données COVID-19 au Québec (Infocentre de santé publique du Québec, MSSS, disponible à: https://www.inspq.qc.ca/covid-19/donnees)

Paramètres Matrices de contacts sociaux avant et durant l'épidémie de COVID-19 au Québec

- CONNECT1 - 2018/19¹⁶:
 - Seule étude canadienne qui a documenté les contacts sociaux de la population générale en temps « normal »
- CONNECT2, 3, 4, 5 et 6 - 2020-2021:
 - Même méthodologie que CONNECT1
 - CONNECT2 (21 avril - 25 mai 2020)
 - CONNECT3 (3 juillet - 14 octobre 2020)
 - CONNECT4 (6 novembre 2020 - 4 janvier 2021)
 - CONNECT5 (5 janvier - 31 mars 2021)
 - CONNECT6 (1^{er} avril - 4 juillet 2021)
- La comparaison des données des phases de CONNECT permet de:
 - Mesurer les changements de contacts de la population par lieu de façon objective
 - Prédire l'évolution de l'épidémie de la COVID-19 en considérant les changements de contacts sociaux de la population québécoise