



Modélisation de l'évolution de la COVID-19 au Québec

Marc Brisson, Ph. D., directeur

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 4 février



Objectifs

- **Prédire l'évolution potentielle de l'épidémie de la COVID-19 selon différents scénarios d'adhésion aux mesures sanitaires qui seront mises en vigueur le 8 février 2021**

Scénarios pour le 8 février

Pour le Grand Montréal et les Autres régions, nous avons modélisé 3 scénarios de changements des contacts sociaux selon les mesures du 8 février. Les scénarios sont basés sur les contacts sociaux mesurés par l'étude CONNECT depuis le début de la pandémie pour des mesures similaires. Pour tous les scénarios, nous modélisons:

- l'impact de la vaccination dans les RPA et CH selon le calendrier prévu et le contrôle des éclosions dans ces milieux,
- les cours en présentiel 1 jour par semaine au Cégep et à l'université

Grand Montréal - 3 scénarios selon les mesures de la zone rouge:

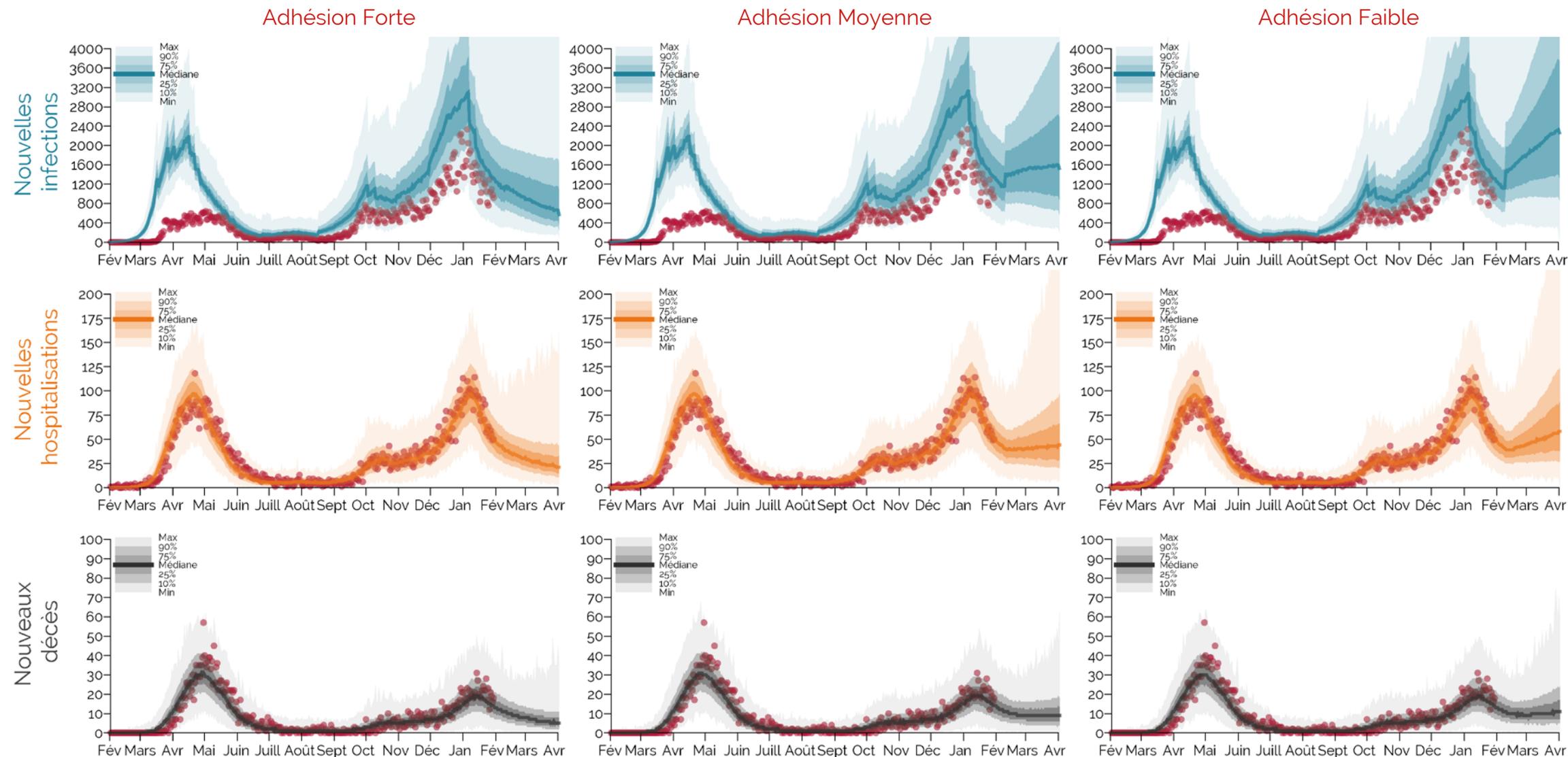
- **Adhésion Forte:** Adhésion forte aux restrictions des visites et peu de contacts dans les commerces, sports et loisirs
 - **Visites/rassemblés à domicile:** Adhésion forte aux restrictions des visites (**100% de réduction des visites**)
 - **Commerces/Restaurants:** Niveau faible de contacts dans les commerces et restaurants fermés (**contacts commerces=octobre**)
 - **Sports/Loisirs:** Restrictions des contacts pour les sports et loisirs (**contacts sports/loisirs=janvier**)
- **Adhésion Moyenne:** Adhésion moyenne aux restrictions des visites et plus de contacts dans les commerces, sports et loisirs
 - **Visites/rassemblés à domicile:** Adhésion moyenne aux restrictions des visites (**50-100% de réduction des visites**)
 - **Commerces/Restaurants:** Niveau plus élevé de contacts dans les commerces et restaurants fermés (**contacts commerces=décembre**)
 - **Sports/Loisirs:** Retour aux sports et loisirs de décembre (**contacts sports/loisirs=décembre**)
- **Adhésion Faible:** Adhésion faible aux restrictions des visites et plus de contacts dans les commerces, sports et loisirs
 - **Visites/rassemblés à domicile:** Adhésion faible aux restrictions des visites (**25-50% de réduction des visites**)
 - **Commerces/Restaurants:** Niveau plus élevé de contacts dans les commerces et restaurants fermés (**contacts commerces=décembre**)
 - **Sports/Loisirs:** Retour aux sports et loisirs de décembre (**contacts sports/loisirs=décembre**)

Autres Régions: Les 3 scénarios pour les Autres Régions sont les mêmes que pour le Grand Montréal, puisque la majorité de la population est en zone rouge (voir l'Annexe pour l'impact potentiel des mesures de zone orange dans les Autres Régions).

Grand Montréal

Évolution de la COVID-19 dans le Grand Montréal

Selon l'adhésion aux mesures du 8 février

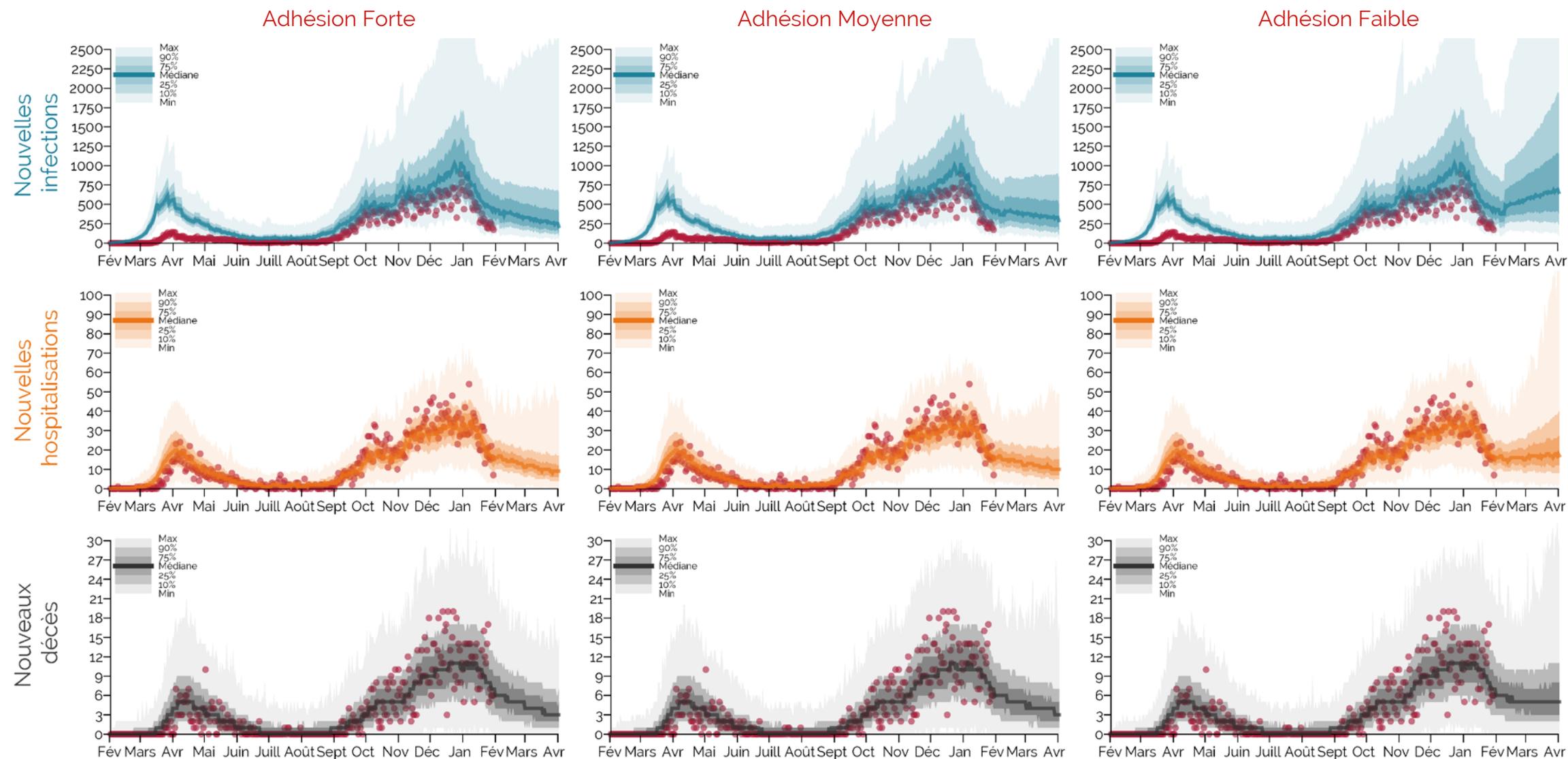


Points rouges. données INSPQ/MSSS. Les résultats représentent la médiane, min-max et les 10^e, 25^e, 75^e et 90^e percentiles des prédictions du modèle. Les prédictions pour les cas totaux représentent **tous les cas (cliniques et sous-cliniques)**; le nombre est plus élevé que les cas détectés (en rouge) et il y a un délai lié aux tests entre les cas infectieux et les cas détectés. Les transferts hospitaliers des CHSLD et décès lors d'écllosion dans les CHSLD sont exclus. **Vaccination:** Nous modélisons l'impact direct de la vaccination avec 90% d'efficacité 14 jours après la première dose. La réduction des éclussions dans les RPA et CH est proportionnelle au taux de vaccination.

Autres Régions

Évolution de la COVID-19 dans les Autres Régions

Selon l'adhésion aux mesures du 8 février

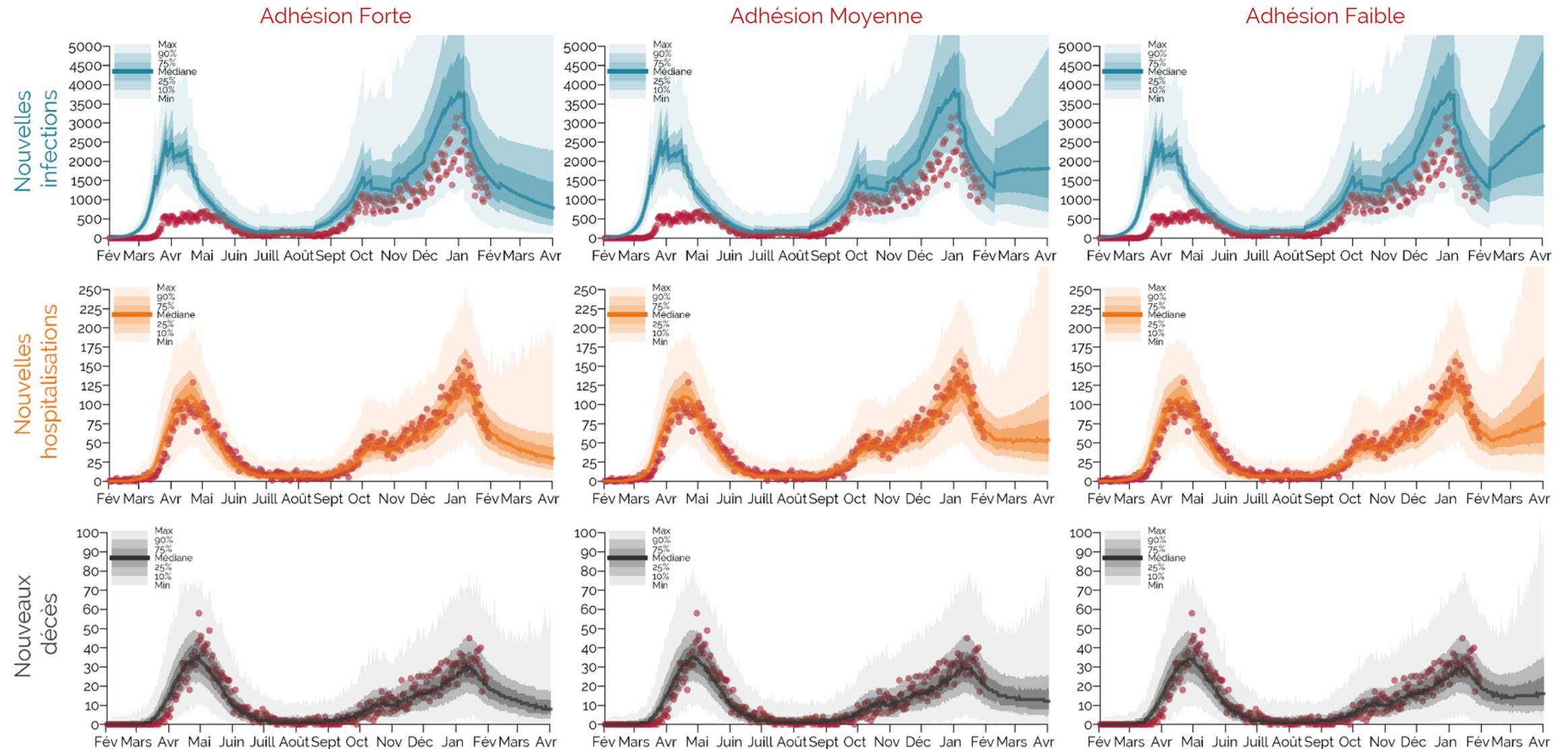


Points rouges. données INSPQ/MSSS. Les résultats représentent la médiane, min-max et les 10^e, 25^e, 75^e et 90^e percentiles des prédictions du modèle. Les prédictions pour les cas totaux représentent **tous les cas (cliniques et sous-cliniques)**; le nombre est plus élevé que les cas détectés (en rouge) et il y a un délai lié aux tests entre les cas infectieux et les cas détectés. Les transferts hospitaliers des CHSLD et décès lors d'écllosion dans les CHSLD sont exclus. **Vaccination:** Nous modélisons l'impact direct de la vaccination avec 90% d'efficacité 14 jours après la première dose. La réduction des éclussions dans les RPA et CH est proportionnelle au taux de vaccination.

Ensemble du Québec

Évolution de la COVID-19 dans l'ensemble du Québec

Selon l'adhésion aux mesures du 8 février



Points rouges. données INSPQ/MSSS. Les résultats représentent la médiane, min-max et les 10^e, 25^e, 75^e et 90^e percentiles des prédictions du modèle. Les prédictions pour les cas totaux représentent **tous les cas (cliniques et sous-cliniques)**; le nombre est plus élevé que les cas détectés (en rouge) et il y a un délai lié aux tests entre les cas infectieux et les cas détectés. Les transferts hospitaliers des CHSLD et décès lors d'écllosion dans les CHSLD sont exclus. **Vaccination:** Nous modélisons l'impact direct de la vaccination avec 90% d'efficacité 14 jours après la première dose. La réduction des éclussions dans les RPA et CH est proportionnelle au taux de vaccination.

Résumé

Le modèle prédit une réduction importante des cas, des hospitalisations et des décès jusqu'au 8 février dans l'ensemble du Québec.

Grand Montréal:

- L'impact d'un assouplissement des mesures le 8 février dépend principalement: 1) du maintien de l'adhésion aux mesures limitant les visites dans les domiciles et 2) du nombre de contacts dans les commerces.
 - Avec un retour aux niveaux de contacts de décembre dans les commerces et une faible adhésion aux restrictions des visites dans les domiciles, le nombre de cas, d'hospitalisations et de décès pourrait augmenter, même avec un contrôle des éclosions dans les CH et RPA suite à la vaccination.

Autres Régions:

- Dans les autres régions, le modèle prédit une plus grande marge de manœuvre pour les assouplissements étant donné: 1) la transmission communautaire plus faible au 8 février et 2) le meilleur contrôle des éclosions majeures dans les RPA/CH.

Attention!

- Si un nouveau variant plus transmissible circule au Québec, un assouplissement des mesures ou une baisse d'adhésion pourraient entraîner une augmentation importante et rapide des cas, des hospitalisations et des décès au mois de mars (travaux en cours).
- Les projections sont basées sur l'hypothèse d'un contrôle des éclosions dans les RPA/CH.

Éléments importants pour l'interprétation des résultats

Les prédictions du modèle doivent être interprétées en considérant que des changements importants dans les éléments suivants pourraient augmenter le nombre de cas:

- **Transmissibilité du virus**
 - Arrivée de nouveaux variants du virus potentiellement plus transmissibles
 - Hausse potentielle de la transmissibilité du virus en hiver liée aux conditions météorologiques (ex : basse température, faible ensoleillement) et à un plus grand nombre de contacts à l'intérieur
- **Comportements préventifs et contacts sociaux**
 - Baisse significative de l'adhésion aux mesures sanitaires (ex: fatigue et/ou difficulté à suivre les mesures sanitaires)
 - Baisse significative de l'adhésion à la distanciation physique lors d'activités à l'extérieur. Même si la transmissibilité du virus à l'extérieur pourrait être moindre qu'à l'intérieur, les mesures de distanciation physique et le port du masque/couvre-visage lorsque la distanciation ne peut être maintenue, sont recommandées à l'extérieur comme à l'intérieur.
- **Prévention des éclosions dans les milieux de soins et de vie chez les 65 ans et plus**

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
- Mélanie Drolet, PhD, épidémiologiste
- Jean-François Laprise, PhD, modélisateur

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

- Myrto Mondor, MSc
- Alexandre Bureau, PhD
- Philippe Lemieux-Mellouki, MSc
- Aurélie Godbout, MD
- Caty Blanchette, MSc
- Léa Drolet-Roy
- Kaoutar Ennour-Idrissi, MD, MSc
- Norma Pérez, MSc
- Éric Demers, MSc
- Maxime Hardy, MSc
- Jacques Brisson, DSc
- Alain Fournier, MSc

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

Annexes

Épidémiologie

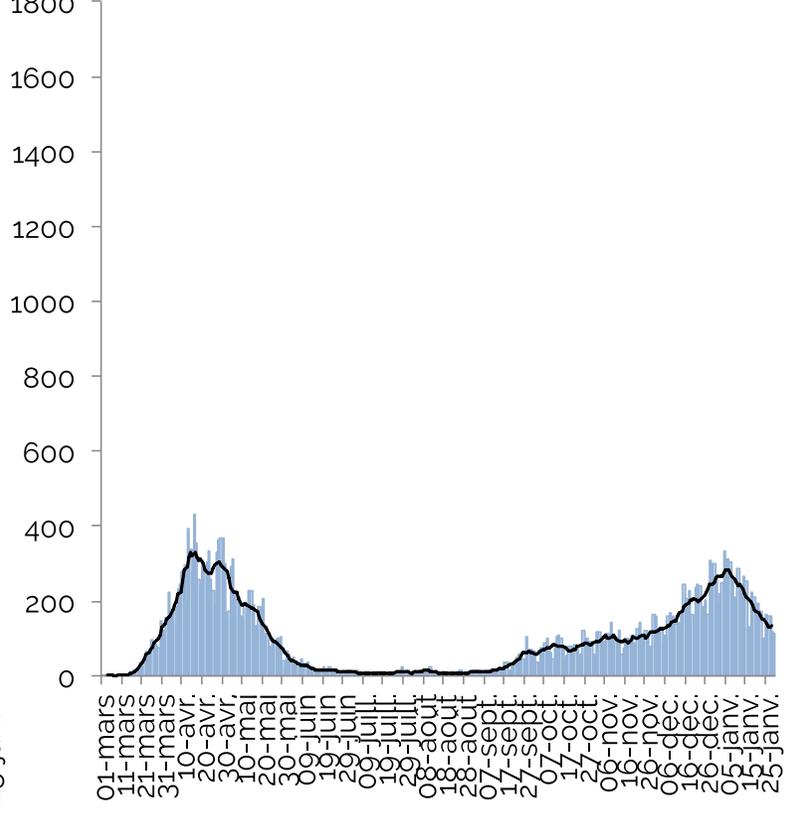
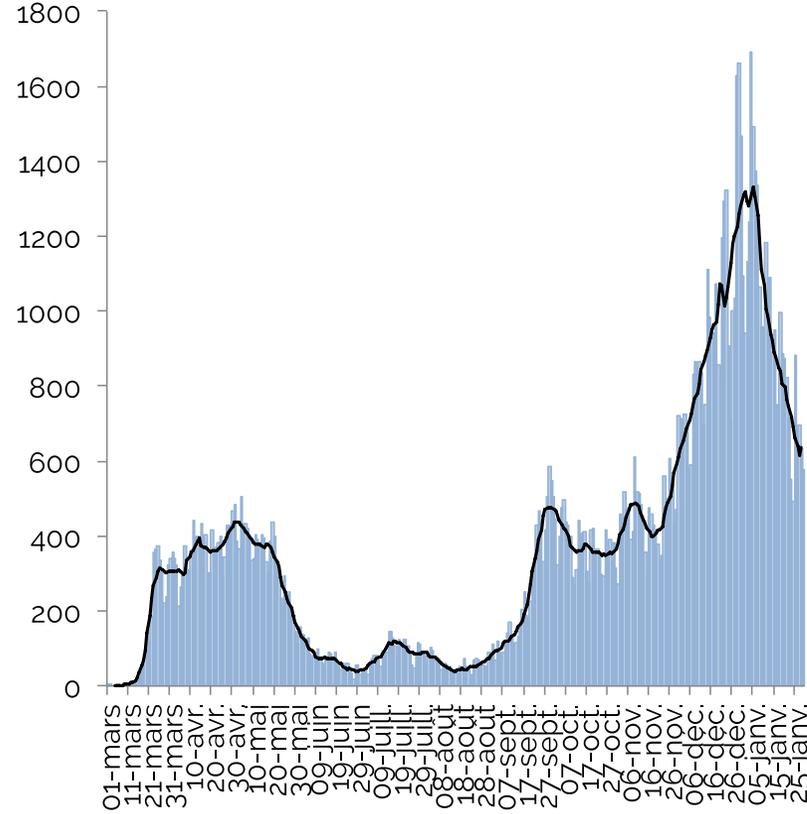
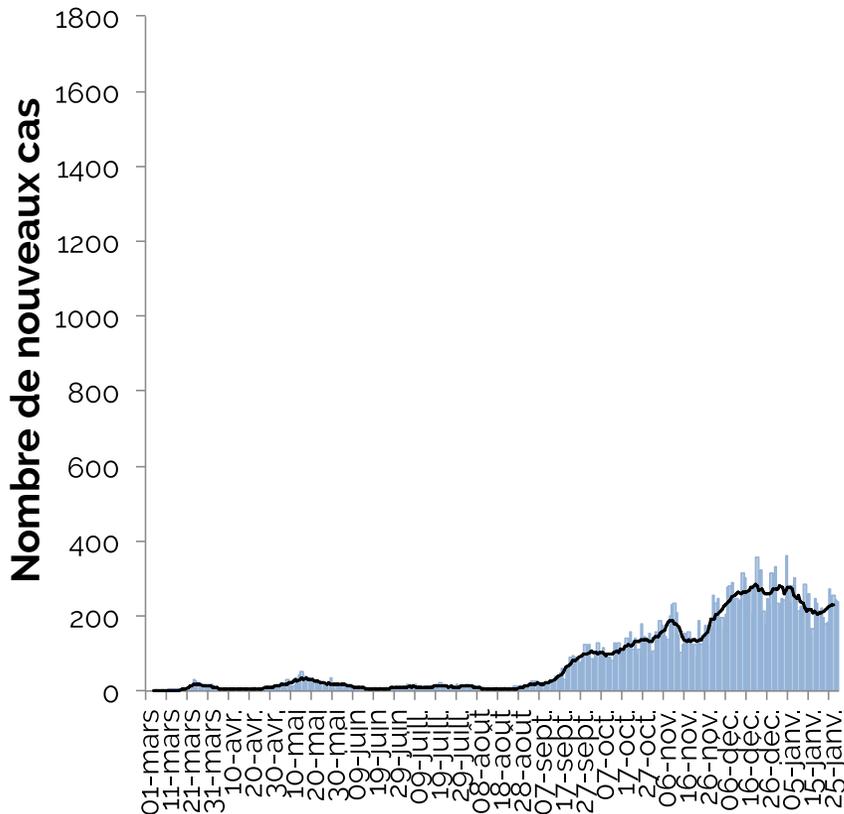
Évolution de l'épidémie de la COVID-19 dans le Grand Montréal

Nombre de nouveaux cas par jour, selon l'âge

0-17 ans

18-65 ans

>65 ans



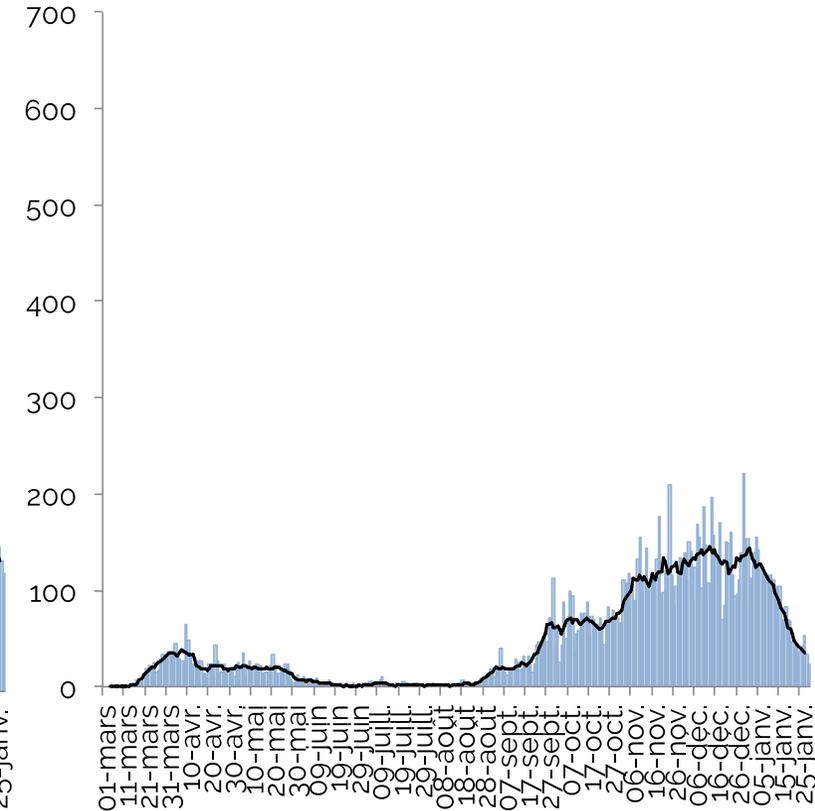
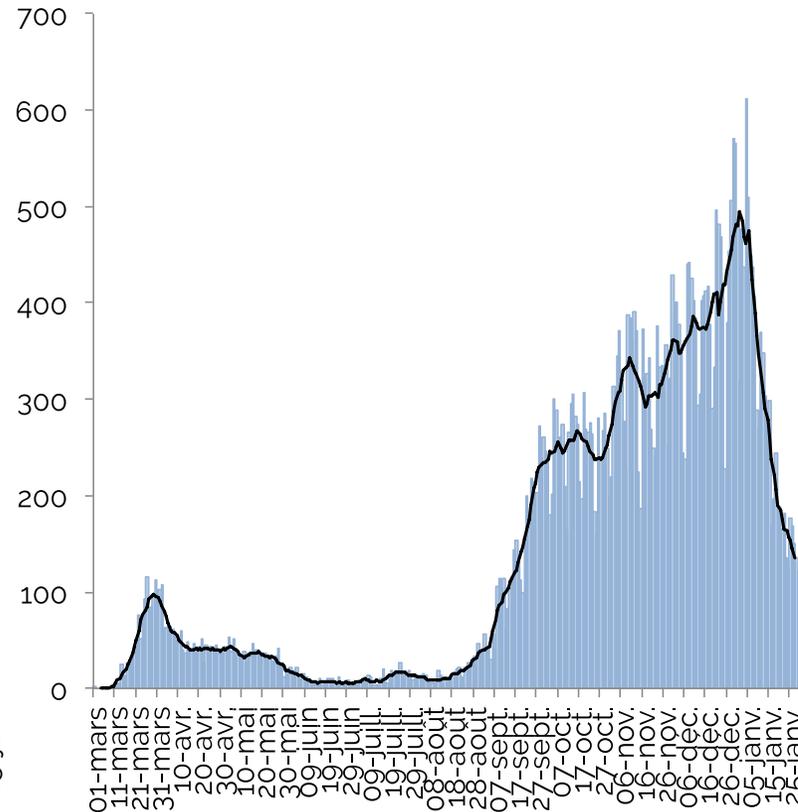
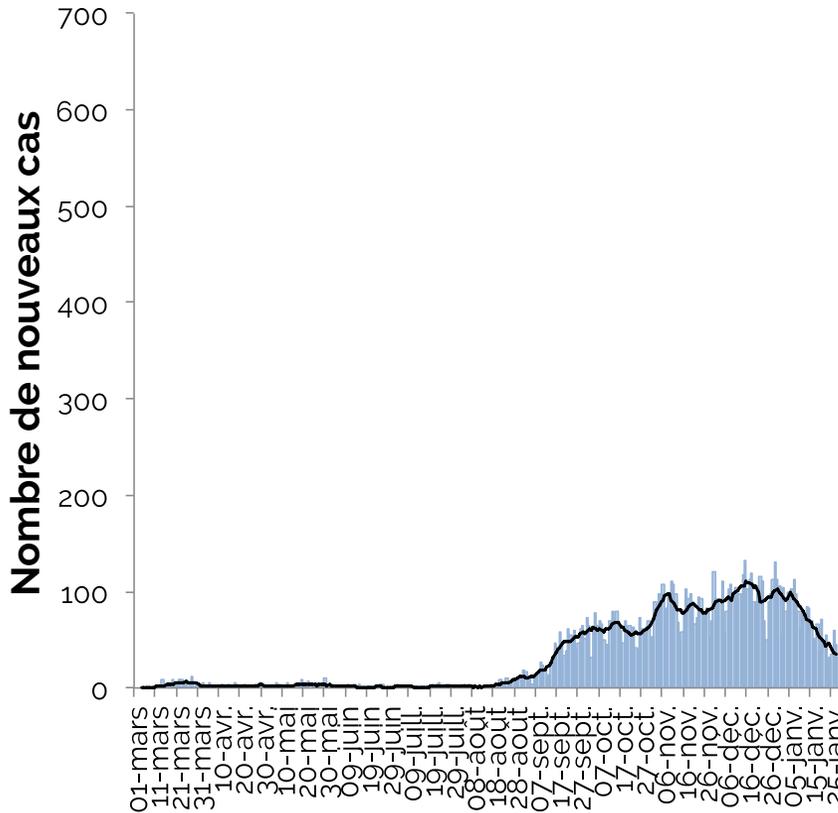
Évolution de l'épidémie de la COVID-19 dans les Autres Régions

Nombre de nouveaux cas par jour, selon l'âge

0-17 ans

18-65 ans

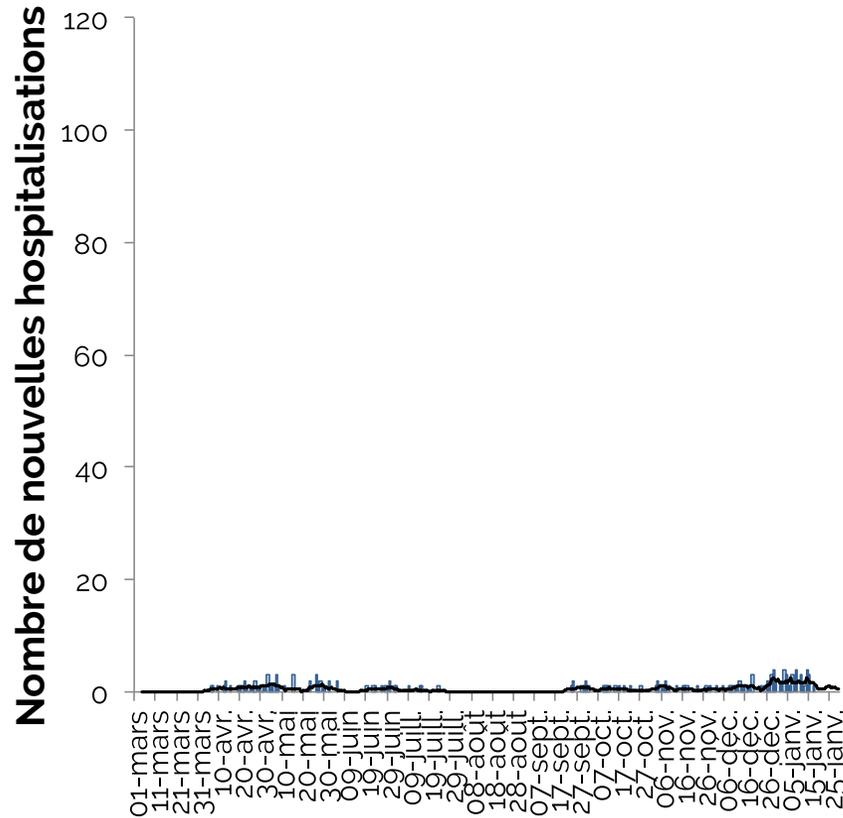
>65 ans



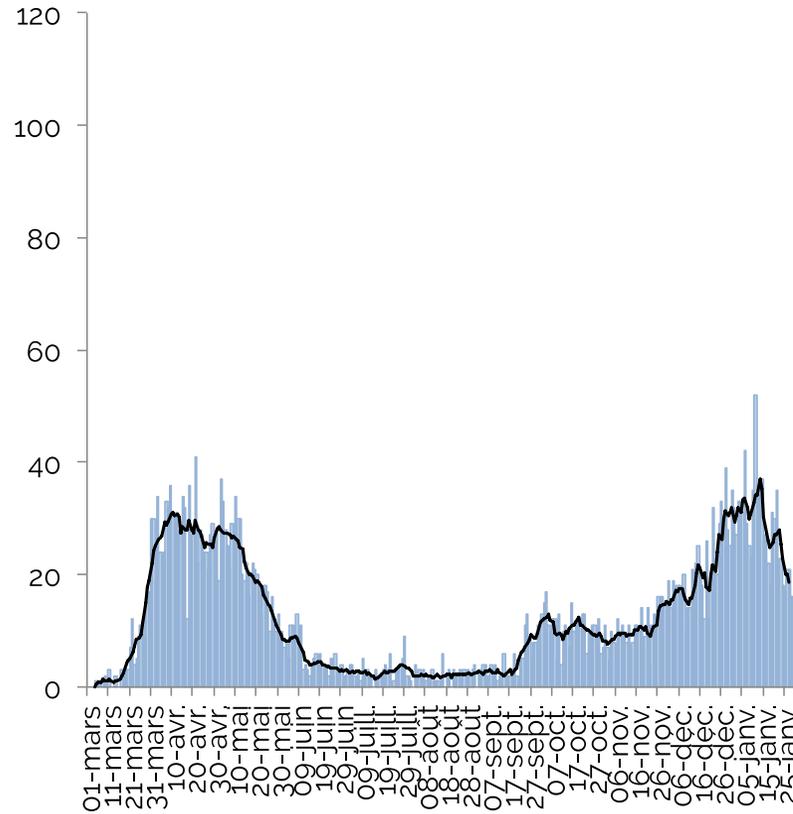
Évolution de l'épidémie de la COVID-19 dans le Grand Montréal

Nombre de nouvelles hospitalisations par jour, selon l'âge

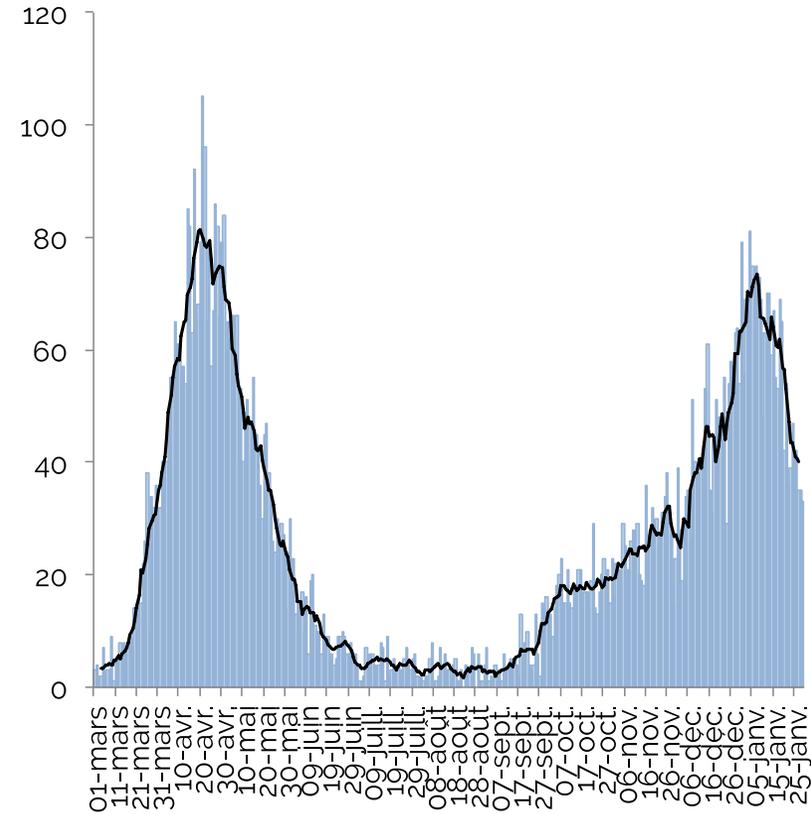
0-17 ans



18-65 ans



>65 ans



Évolution de l'épidémie de la COVID-19 dans les Autres Régions

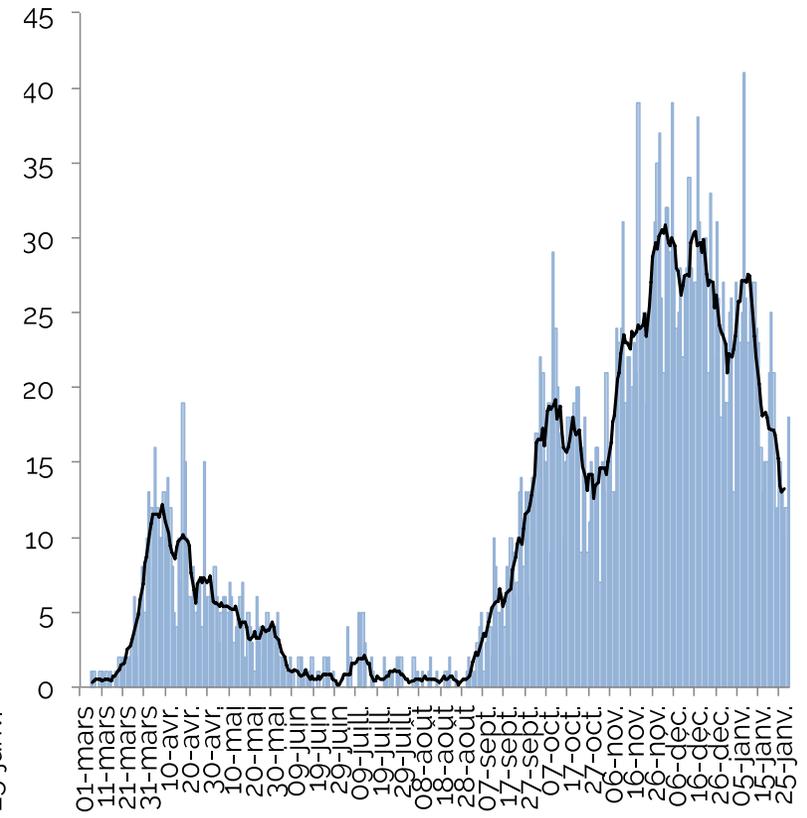
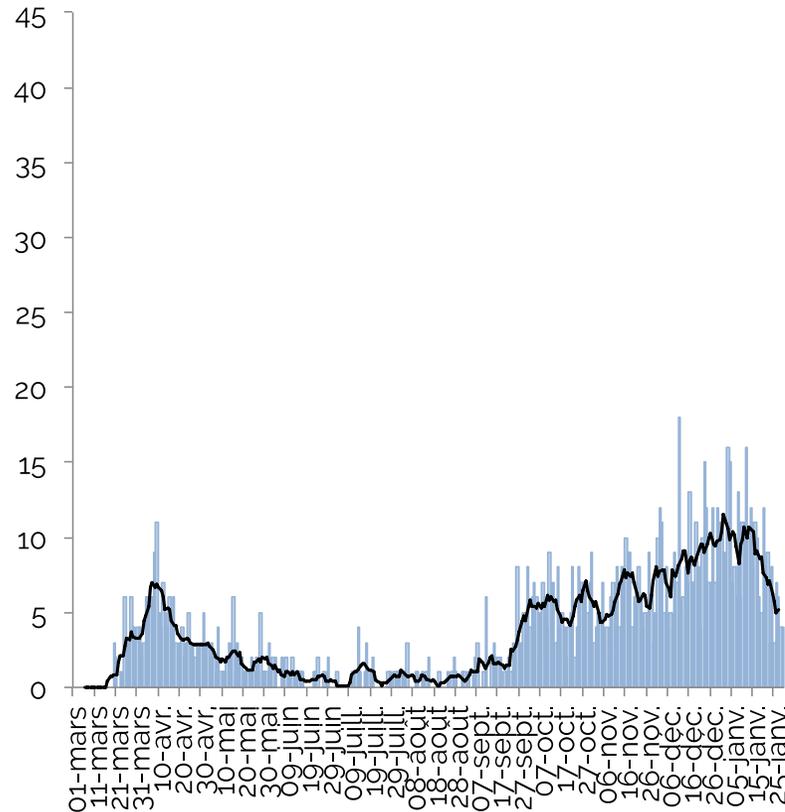
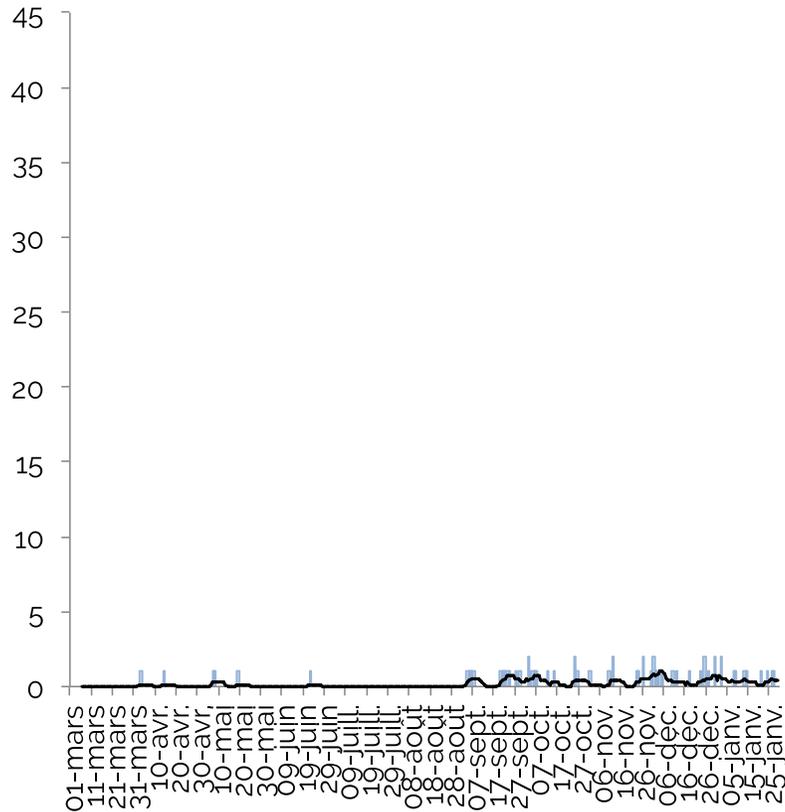
Nombre de nouvelles hospitalisations par jour, selon l'âge

0-17 ans

18-65 ans

>65 ans

Nombre de nouvelles hospitalisations



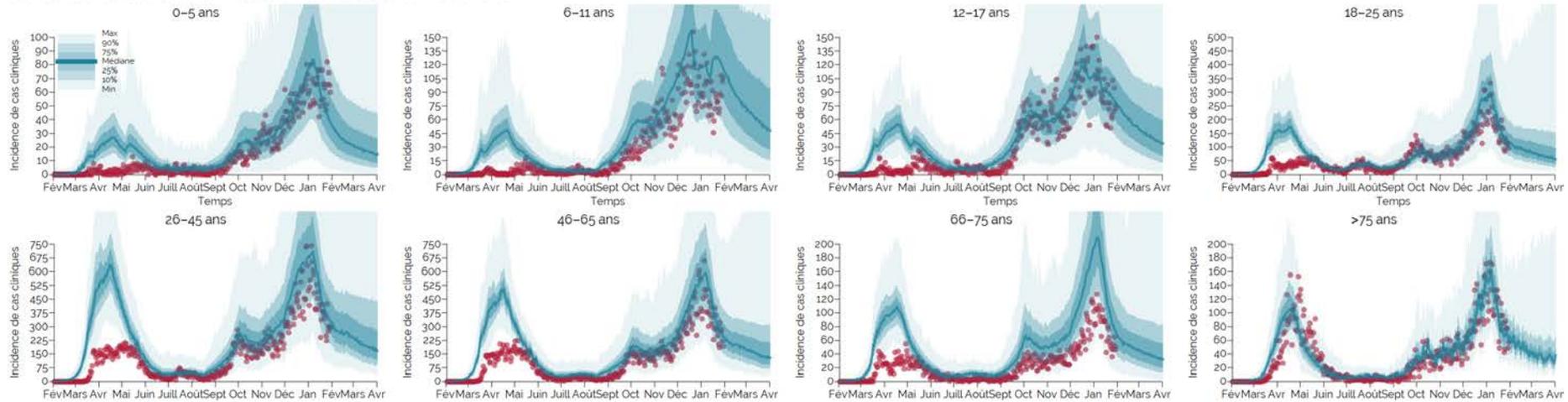
Analyse de sensibilité

Projections par âge

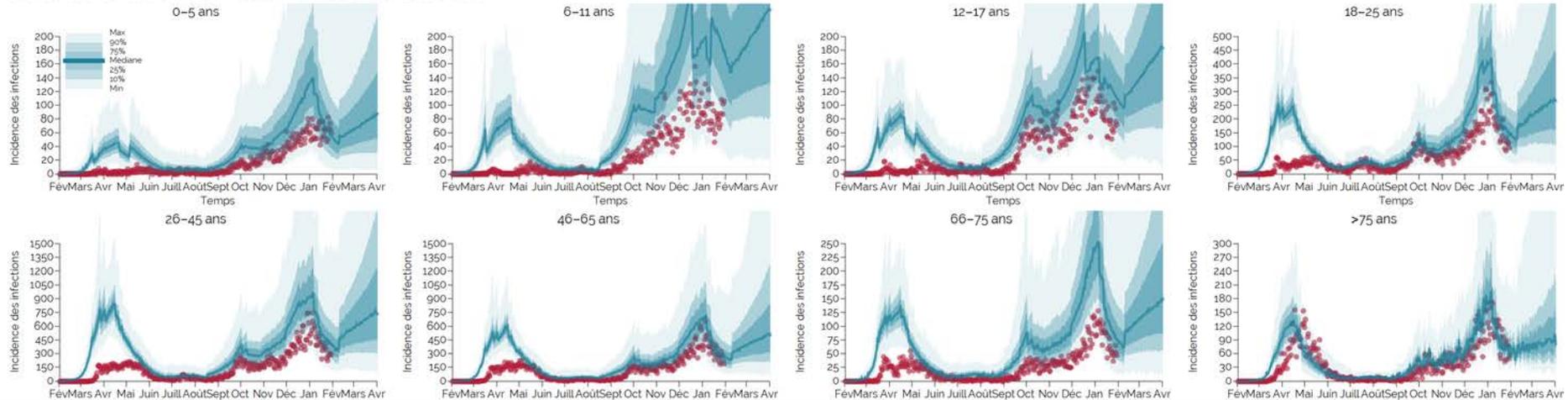
Évolution des cas liés à la COVID-19 par âge

Grand Montréal– nouveaux cas **CLINIQUES** par jour

Adhésion Forte



Adhésion Faible

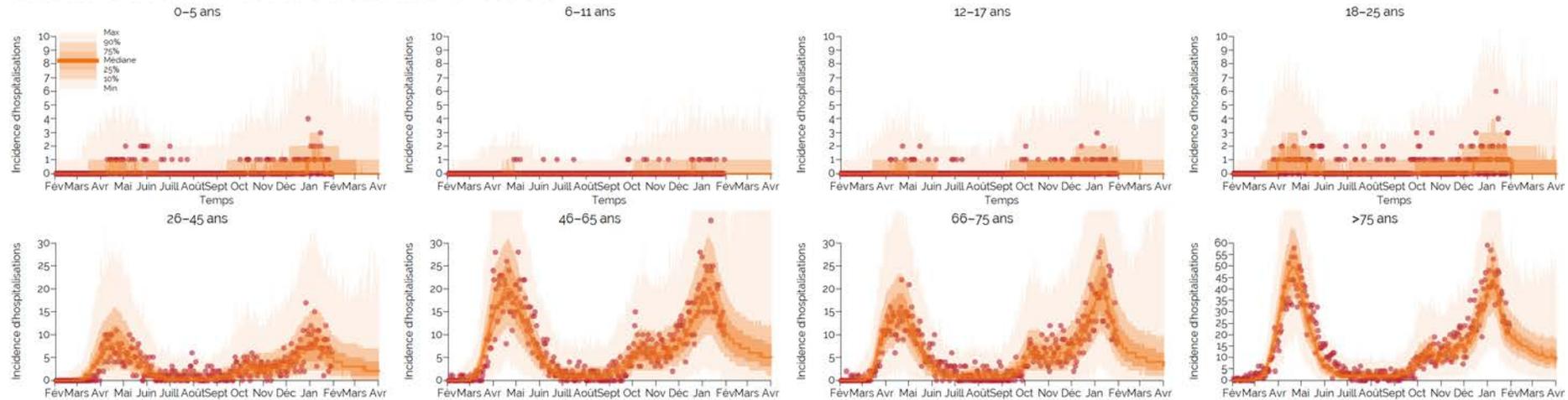


Points rouges, données INSPQ/MSSS. Les résultats représentent la médiane, min-max et les 10^e, 25^e, 75^e et 90^e percentiles des prédictions du modèle. Les prédictions pour les cas totaux représentent **tous les cas cliniques**; le nombre est plus élevé que les cas détectés (en rouge). Les transferts hospitaliers des CHSLD et décès lors d'écllosion dans les CHSLD sont exclus. **Vaccination**: Nous modélisons l'impact direct de la vaccination avec 90% d'efficacité 14 jours après la première dose. La réduction des éclussions dans les RPA et CH est proportionnelle au taux de vaccination.

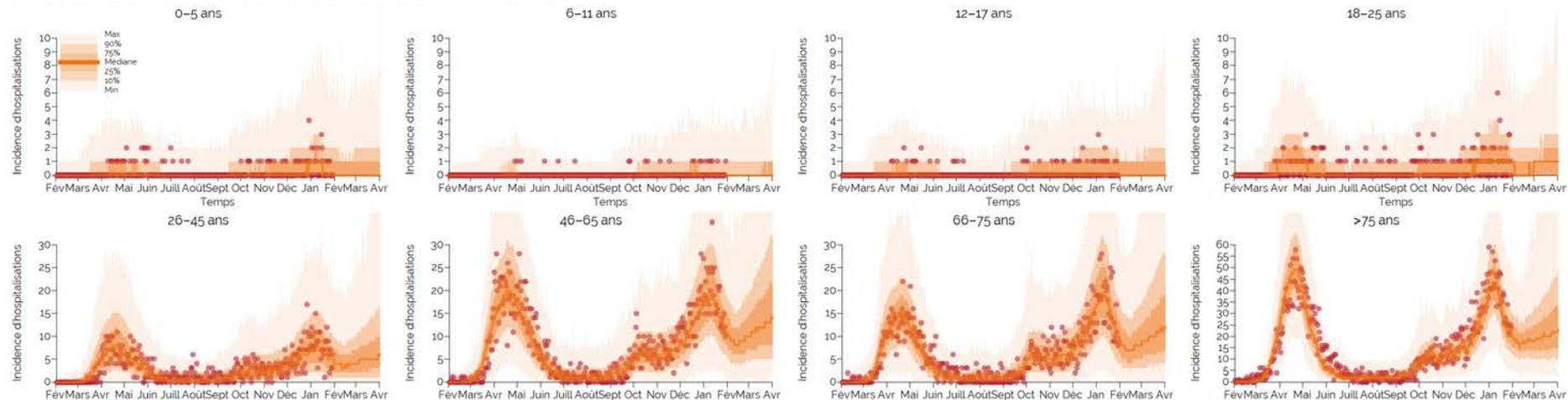
Évolution des hospitalisations liées à la COVID-19 par âge

Grand Montréal – nouvelles hospitalisations par jour

Adhésion Forte



Adhésion Faible



Points rouges, données INSPQ/MSSS. Les résultats représentent la médiane, min-max et les 10^e, 25^e, 75^e et 90^e percentiles des prédictions du modèle. Les prédictions pour les cas totaux représentent **tous les cas (cliniques et sous-cliniques)**; le nombre est plus élevé que les cas détectés (en rouge) et il y a un délai lié aux tests entre les cas infectieux et les cas détectés. Les transferts hospitaliers des CHSLD et décès lors d'écllosion dans les CHSLD sont exclus. **Vaccination**: Nous modélisons l'impact direct de la vaccination avec 90% d'efficacité 14 jours après la première dose. La réduction des éclussions dans les RPA et CH est proportionnelle au taux de vaccination.

Analyse de sensibilité

Autres Régions Mesures de zone orange

Scénarios pour le 8 février – Mesures de zone orange

Pour les Autres régions, nous avons modélisé 3 scénarios de changements des contacts sociaux selon les mesures du 8 février. Les scénarios sont basés sur les contacts sociaux mesurés par l'étude CONNECT depuis le début de la pandémie pour des mesures similaires. Pour tous les scénarios, nous modélisons:

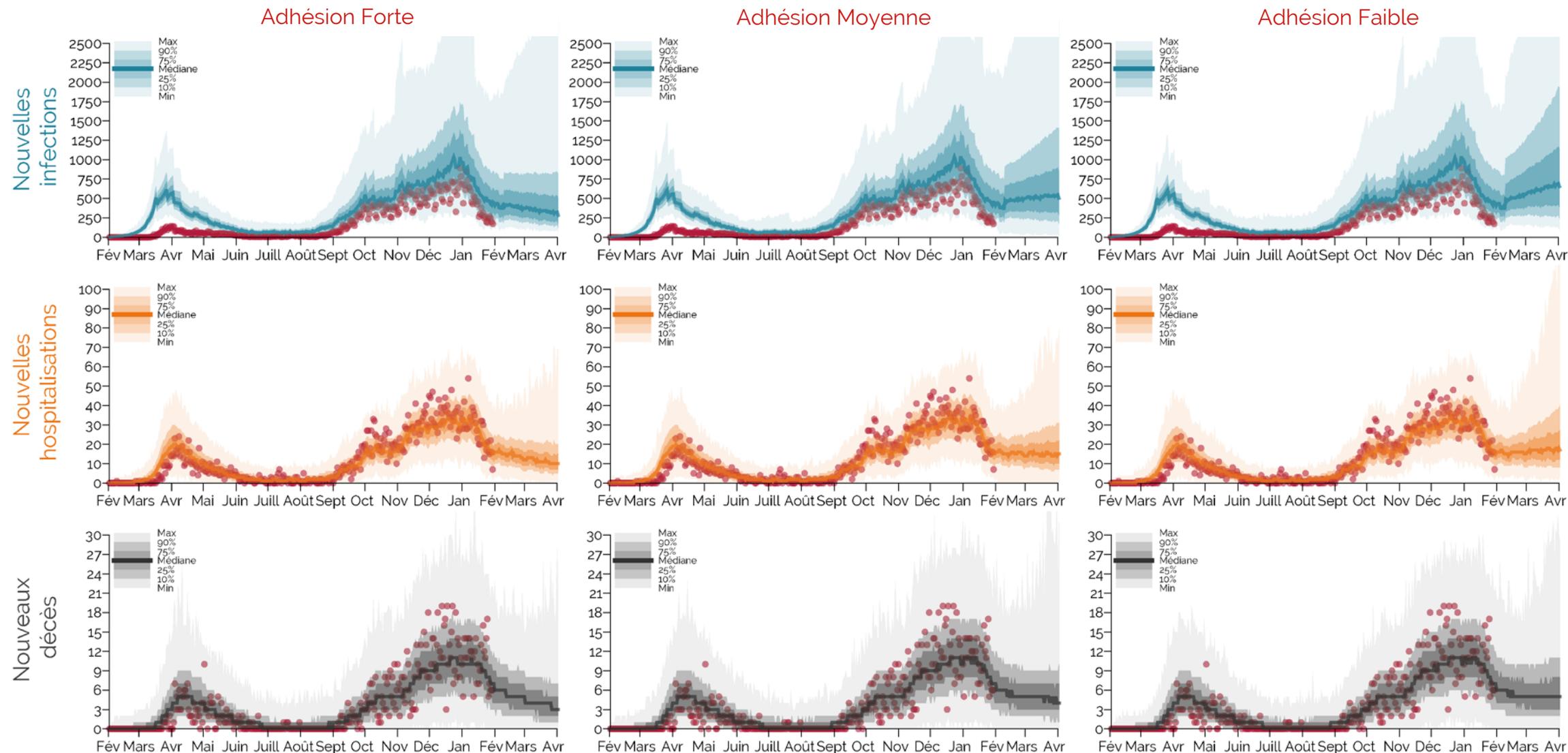
- l'impact de la vaccination dans les RPA et CH selon le calendrier prévu et le contrôle des éclosions dans ces milieux,
- les cours en présentiel 1 jour par semaine au Cégep et à l'université

Autres Régions - 3 scénarios selon les mesures de la zone orange:

- **Adhésion Forte:** Adhésion forte aux restrictions des visites et peu de contacts dans les commerces/restaurants, sports et loisirs
 - **Visites/rassemblements à domicile:** Adhésion forte aux restrictions des visites (**100% de réduction des visites**)
 - **Commerces/Restaurants:** Commerces et restaurants ouverts avec restriction des contacts (**contacts commerces=décembre**)
 - **Sports/Loisirs:** Cinémas, salles de spectacles, sports extérieurs et intérieurs individuels avec restriction des contacts (**contacts sports/loisirs=été**)
- **Adhésion Moyenne:** Adhésion moyenne aux restrictions des visites et plus de contacts dans les commerces/restaurants, sports et loisirs
 - **Visites/rassemblements à domicile:** Adhésion moyenne aux restrictions des visites (**50-100% de réduction des visites**)
 - **Commerces/Restaurants:** Commerces et restaurants ouverts avec plus de contacts (**contacts commerces=septembre**)
 - **Sports/Loisirs:** Cinémas, salles de spectacles, sports extérieurs et intérieurs individuels avec restriction des contacts (**contacts sports/loisirs=été**)
- **Adhésion Faible:** Adhésion faible aux restrictions des visites et plus de contacts dans les commerces/restaurants, sports et loisirs
 - **Visites/rassemblements à domicile:** Adhésion faible aux restrictions des visites (**25-50% de réduction des visites**)
 - **Commerces/Restaurants:** Commerces et restaurants ouverts avec plus de contacts (**contacts commerces=septembre**)
 - **Sports/Loisirs:** Cinémas, salles de spectacles, sports extérieurs et intérieurs individuels avec restriction des contacts (**contacts sports/loisirs=été**)

Évolution de la COVID-19 dans les Autres Régions

Selon l'adhésion aux mesures du 8 février – Mesures zone orange



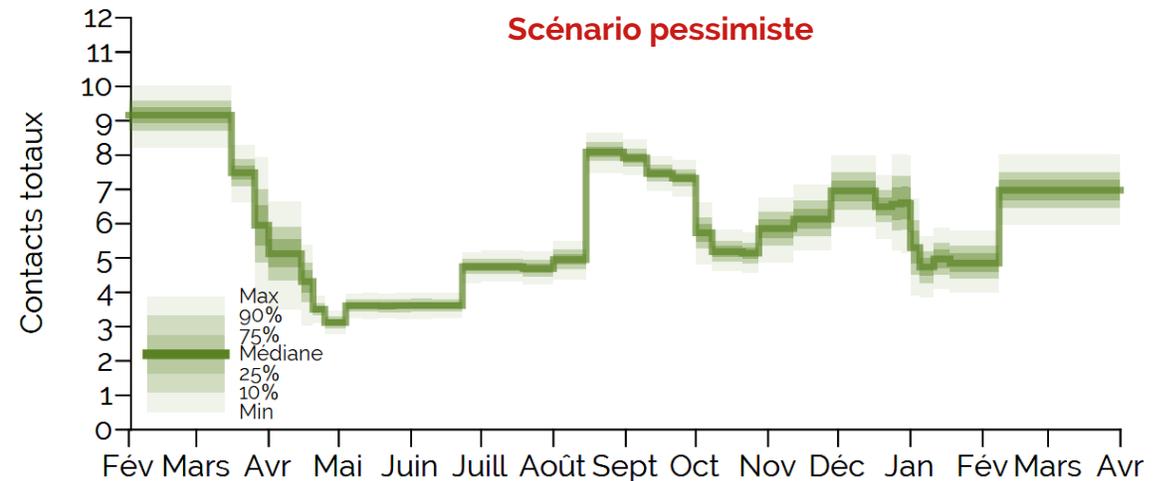
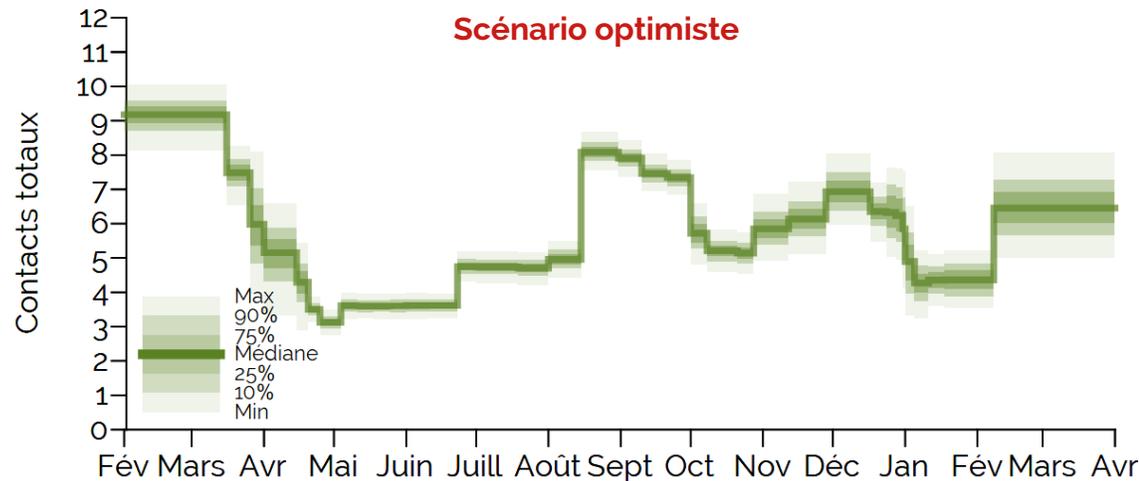
Points rouges. données INSPQ/MSSS. Les résultats représentent la médiane, min-max et les 10^e, 25^e, 75^e et 90^e percentiles des prédictions du modèle. Les prédictions pour les cas totaux représentent **tous les cas (cliniques et sous-cliniques)**; le nombre est plus élevé que les cas détectés (en rouge) et il y a un délai lié aux tests entre les cas infectieux et les cas détectés. Les transferts hospitaliers des CHSLD et décès lors d'écllosion dans les CHSLD sont exclus. **Vaccination:** Nous modélisons l'impact direct de la vaccination avec 90% d'efficacité 14 jours après la première dose. La réduction des éclussions dans les RPA et CH est proportionnelle au taux de vaccination.

Analyse de sensibilité

**Projections avec un retour aux contacts
d'octobre-décembre à partir du 8 février**

Modélisation des scénarios de contacts sociaux

Grand Montréal



Pour tous les scénarios

1-16 décembre:

- Augmentation des contacts du 1 au 17 décembre (ex. : magasinage)

17 décembre – 28 décembre:

- Fermetures des écoles: contacts des enfants = contacts de l'été
- Travail:
 - Travailleurs de la santé = contacts de décembre
 - Autres travailleurs = contacts uniquement pour les travailleurs essentiels à partir du 24 décembre
- Augmentation des contacts à la maison et à l'extérieur

Retour à l'école et confinement

- Retour à l'école le 11 janvier pour le primaire et 18 janvier pour le secondaire
- Confinement jusqu'au 8 février (ex: peu/pas de visites, contacts au travail d'avril)

Vaccination dans les RPA/CH selon le calendrier du gouvernement

- 90% d'efficacité 14 jours après la première dose

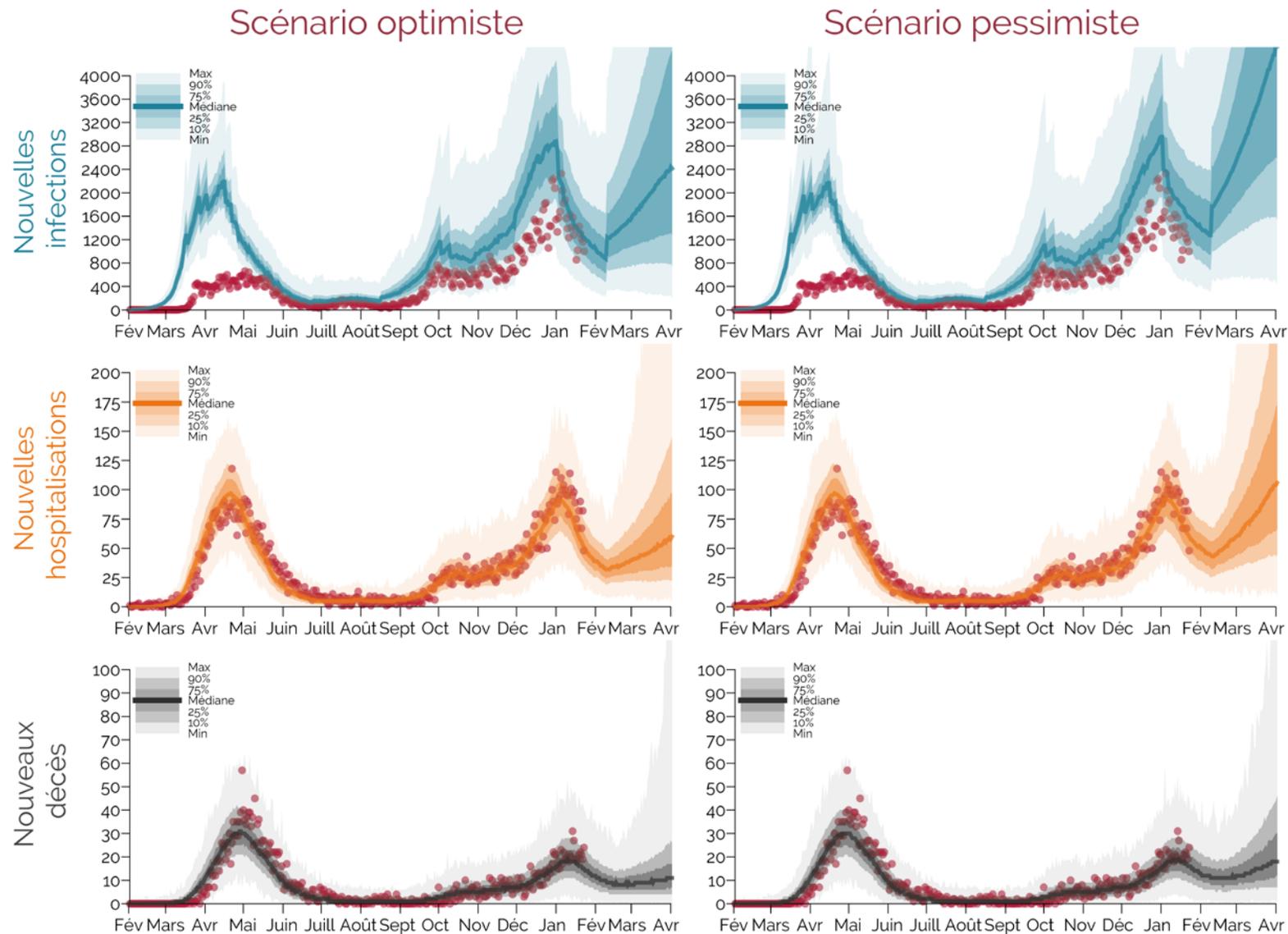
Scénario optimiste

- **Réduction des contacts à partir du 28 décembre** (ex. : diminution des visites, des rassemblements, des activités extérieures)
- **Adhésion parfaite aux restrictions de visites/rassemblements** dans les domiciles (100% de réduction des visites)
- Retour au niveau des **contacts d'octobre-décembre à partir du 8 février**

Scénario pessimiste

- **Réduction des contacts à partir du 1-5 janvier** (ex. : diminution des visites, des rassemblements, des activités extérieures)
- **Adhésion partielle aux restrictions de visites/rassemblements** dans les domiciles (50-100% de réduction des visites)
- Retour au niveau des **contacts de décembre à partir du 8 février**

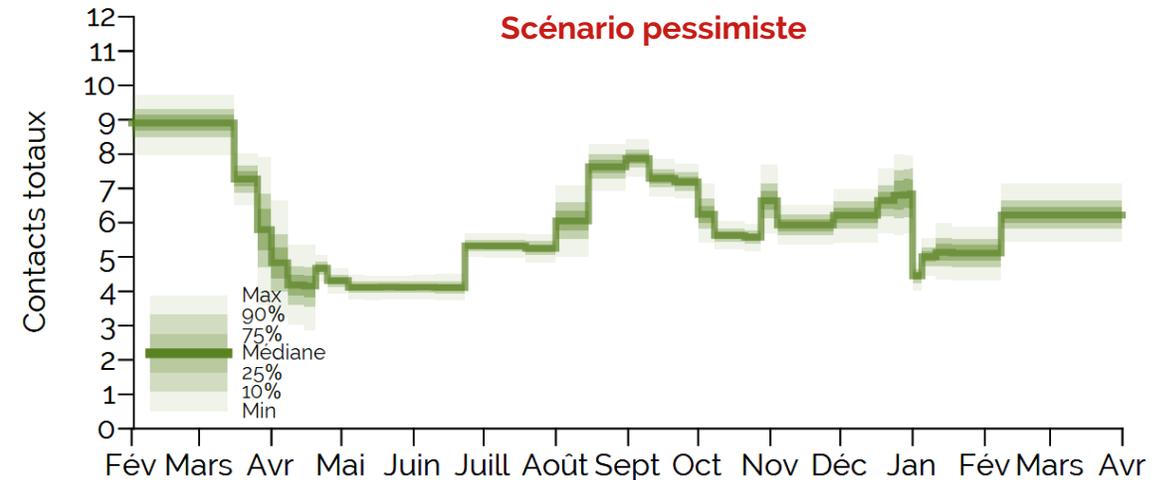
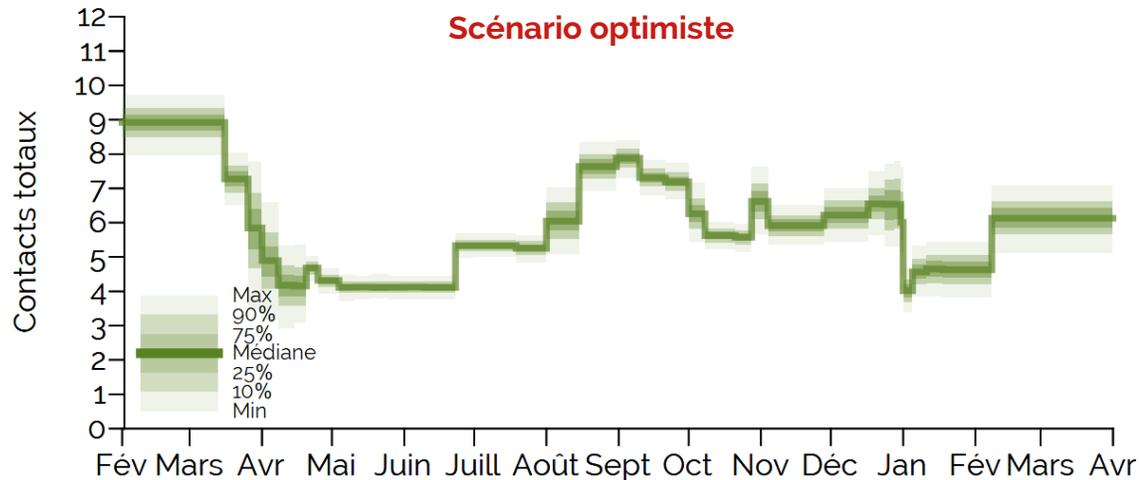
Évolution de la COVID-19 dans le Grand Montréal



Points rouges, données INSPQ/MSSS. Les résultats représentent la médiane, min-max et les 10^e, 25^e, 75^e et 90^e percentiles des prédictions du modèle. Les prédictions pour les cas totaux représentent **tous les cas (cliniques et sous-cliniques)**; le nombre est plus élevé que les cas détectés (en rouge) et il y a un délai lié aux tests entre les cas infectieux et les cas détectés. Les transferts hospitaliers des CHSLD et décès lors d'écllosion dans les CHSLD sont exclus. **Vaccination**: Nous modélisons l'impact direct de la vaccination avec 90% d'efficacité 14 jours après la première dose. La réduction des éclussions dans les RPA et CH est proportionnelle au taux de vaccination.

Modélisation des scénarios de contacts sociaux

Autres Régions



Pour tous les scénarios (mêmes hypothèses que le Grand Montréal)

1-16 décembre:

- Augmentation des contacts du 1 au 17 décembre (ex. : magasinage)

17 décembre – 28 décembre:

- Fermetures des écoles: contacts des enfants = contacts de l'été
- Travail:
 - Travailleurs de la santé = contacts de décembre
 - Autres travailleurs = contacts uniquement pour les travailleurs essentiels à partir du 24 décembre
- Augmentation des contacts à la maison et à l'extérieur

Retour à l'école et confinement

- Retour à l'école le 11 janvier pour le primaire et 18 janvier pour le secondaire
- Confinement jusqu'au 8 février (ex: peu/pas de visites, contacts au travail d'avril)

Vaccination dans les RPA/CH selon le calendrier du gouvernement

- 90% d'efficacité 14 jours après la première dose

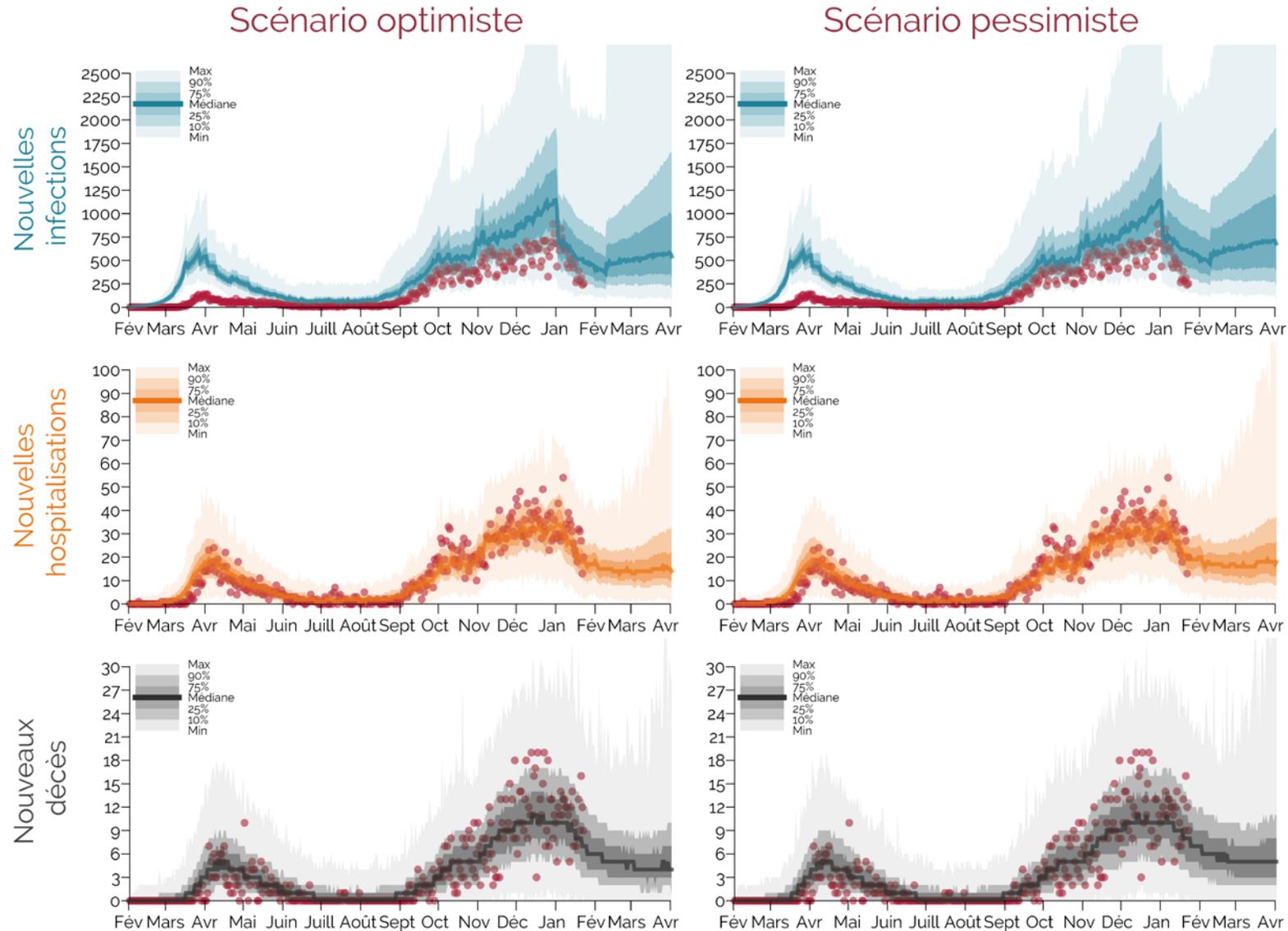
Scénario optimiste

- **Réduction des contacts à partir du 28 décembre** (ex. : diminution des visites, des rassemblements, des activités extérieures)
- **Adhésion parfaite aux restrictions de visites/rassemblements** dans les domiciles (100% de réduction des visites)
- Retour au niveau des **contacts d'octobre-décembre à partir du 8 février**

Scénario pessimiste

- **Réduction des contacts à partir du 1-5 janvier** (ex. : diminution des visites, des rassemblements, des activités extérieures)
- **Adhésion partielle aux restrictions de visites/rassemblements** dans les domiciles (50-100% de réduction des visites)
- Retour au niveau des **contacts de décembre à partir du 8 février**

Évolution de la COVID-19 dans les Autres Régions



Points rouges, données INSPQ/MSSS. Les résultats représentent la médiane, min-max et les 10^e, 25^e, 75^e et 90^e percentiles des prédictions du modèle. Les prédictions pour les cas totaux représentent **tous les cas (cliniques et sous-cliniques)**; le nombre est plus élevé que les cas détectés (en rouge) et il y a un délai lié aux tests entre les cas infectieux et les cas détectés. Les transferts hospitaliers des CHSLD et décès lors d'écllosion dans les CHSLD sont exclus. **Vaccination**: Nous modélisons l'impact direct de la vaccination avec 90% d'efficacité 14 jours après la première dose. La réduction des éclussions dans les RPA et CH est proportionnelle au taux de vaccination.

Méthodes

Modélisation

Description du modèle

Méthodes mathématiques - Modèle dynamique stochastique compartimental

- Le modèle utilise des compartiments¹ dans lesquels la population totale de chaque groupe d'âge est divisée dans différents états de santé. Tous les individus d'un compartiment sont homogènes.
- La transmission communautaire est séparée en deux voies de transmission (celle effectuée par les individus symptomatiques et celle effectuée par les individus asymptomatiques). Des matrices de contacts entre les différents groupes d'âge sont utilisées.
- Hypothèses fondamentales
 - Les patients infectés hospitalisés ne causent pas de transmission communautaire.
 - Les individus ne vieillissent pas et la population est constante à travers le temps.
- Le modèle utilise des chaînes de Markov² à temps continu pour lesquelles la progression temporelle de la dynamique stochastique est effectuée selon la méthode de Gillespie³. Le nombre de reproduction de base est calculé selon la méthode de la matrice de prochaine génération⁴. L'échantillonnage des paramètres pour l'histoire naturelle de la maladie ainsi que pour les mesures d'interventions est effectué pour chaque simulation selon la méthode Monte Carlo⁵.

[1] Kermack, W. O. and McKendrick, A. G. (1927), *Proceedings of the Royal Society of London*, series A, vol. 115, no. 772

[2] Markov, A. A. (1906), *Izvestiya Fiziko-matematicheskogo obschestva pri Kazanskom universitete*, 2-ya seriya, tom 15, pp. 135-156.

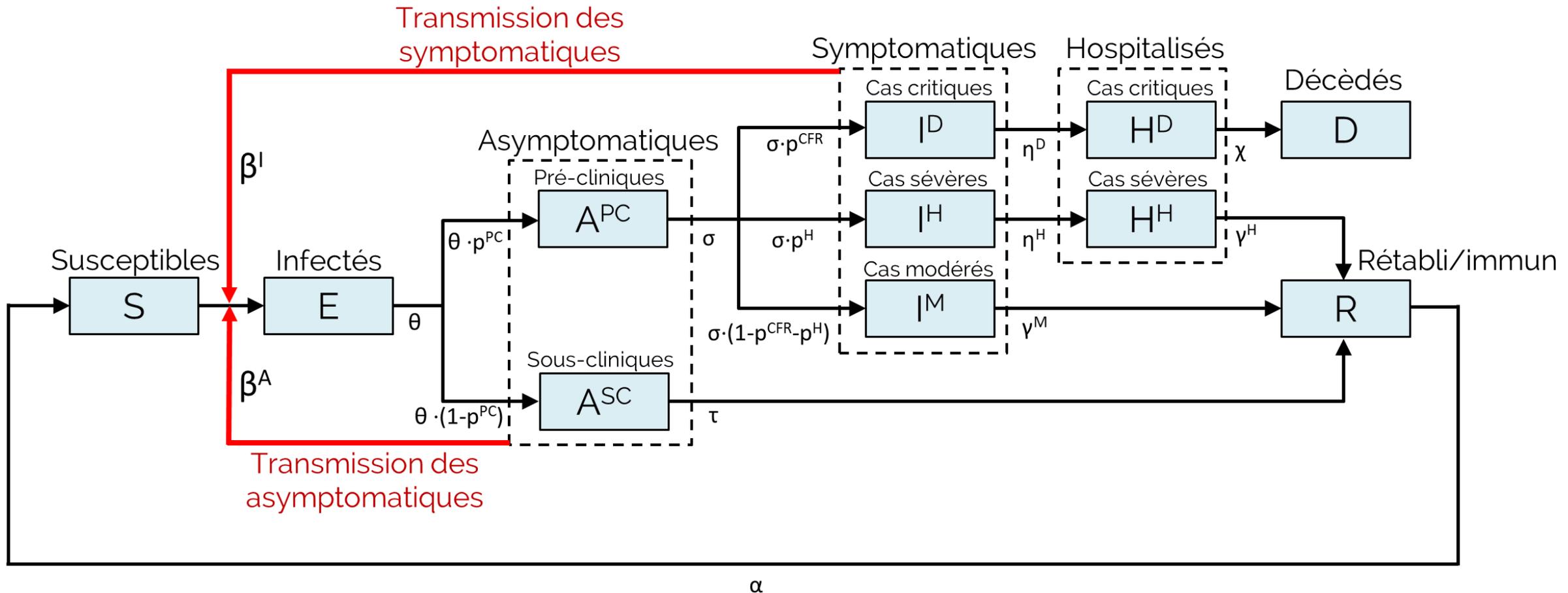
[3] Gillespie, D. T. (1976). *Journal of Computational Physics*. **22** (4): 403-434.

[4] Diekmann, O. and Heesterbeek, J. A. P. and Roberts, M. G. (1990), *Journal of Mathematical Biology*. **28** (4): pp. 365-382

[5] Metropolis, N. and Ulam, S. (1949), *Journal of the American Statistical Association*, **44**(247), pp. 335-341

Description du modèle

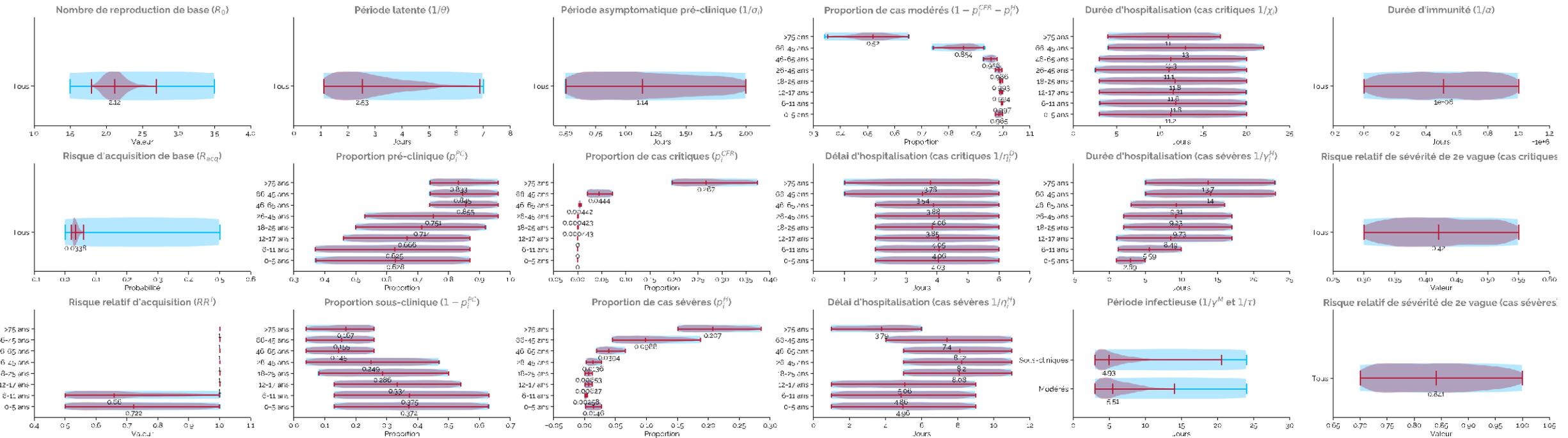
Diagrammes de flux – Modèle dynamique stochastique compartimental



Les boîtes représentent les différents états de santé (infection/maladie) dans lesquels un individu du modèle peut se trouver pour chaque groupe d'âge. Les flèches pleines représentent les transitions entre les états de santé et les flèches rouges représentent les voies de transmission (dans le même groupe d'âge ainsi qu'entre les différents groupes d'âge). La vitesse à laquelle les individus sont infectés est paramétrée par le taux de reproduction de base (R_0 selon les coefficients de transmission β qui dépendent des matrices de contacts), et les autres transitions sont paramétrées par les durées moyennes passées dans chaque état ainsi que par des proportions.

Paramètres – Histoire naturelle

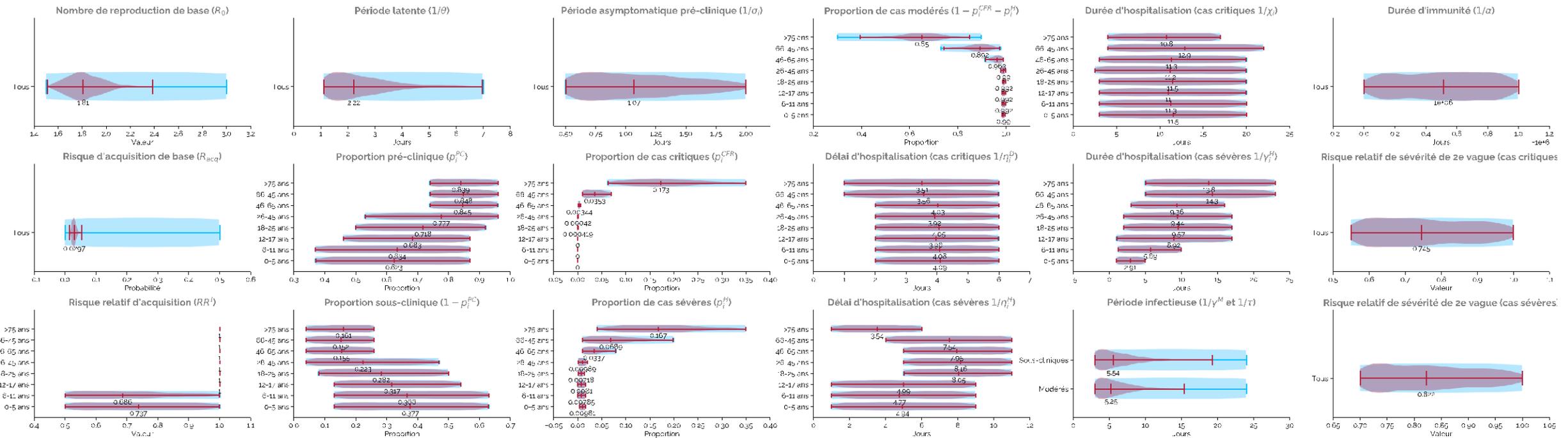
Grand Montréal



Références: 1-5, 13, 17, 20,21,22,V-10/TSP, Med-Echo et PHAC (Agency Modelling Group Report). 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



Références: 1-5, 13, 17, 20,21,22,V-10/TSP, Med-Echo et PHAC (Agency Modelling Group Report). 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 – Cas importés

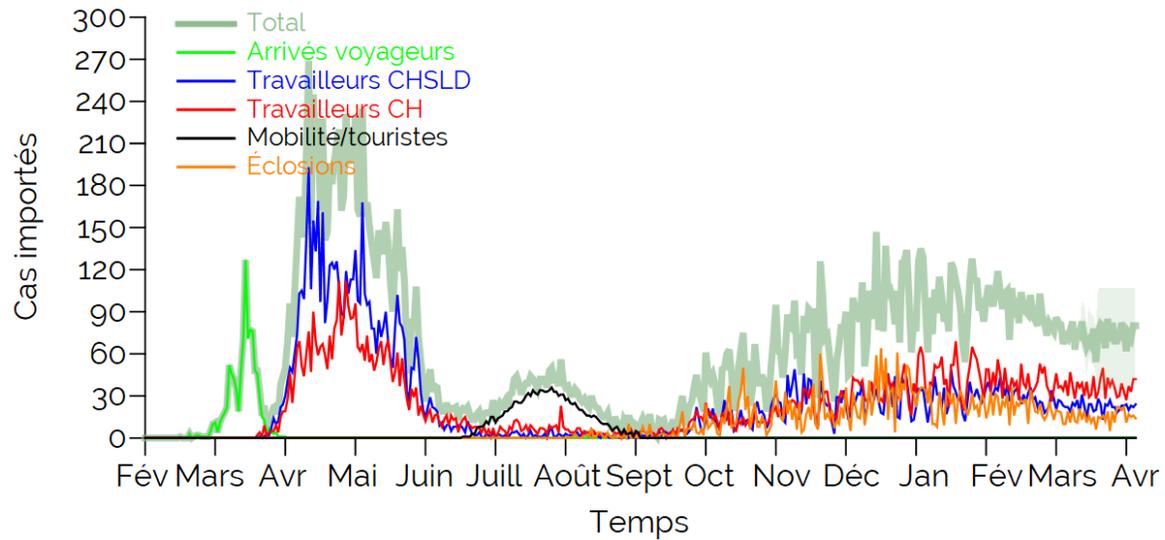
Voyageurs, travailleurs CHSLD/CH, déplacements inter-régionaux, éclosions

Nous intégrons, dans le modèle, des infections acquises à l'extérieur de la population générale (cas importés):

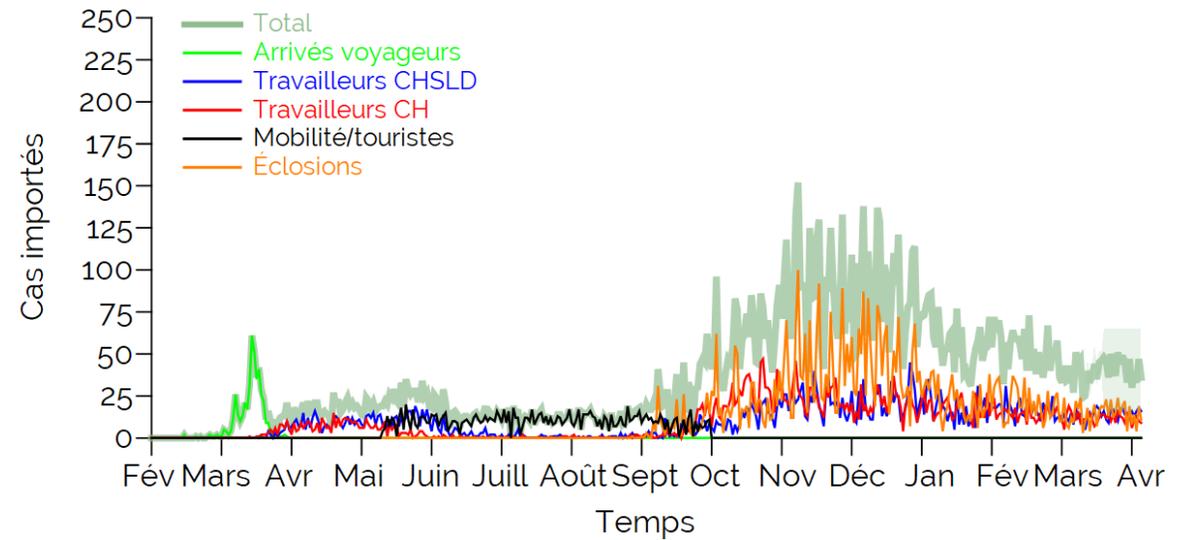
- Données des cas de retour de voyages à l'étranger au début de l'épidémie (mois de mars):
 - Pour amorcer l'épidémie au Québec, nous utilisons les données de cas positifs (dates de retour) lors de retour de voyageurs.
- Cas liés aux déplacements entre les régions pendant les vacances d'été (hypothèses basées sur la prévalence d'infection et statistiques de tourisme) :
 - Cas pouvant être liés aux voyageurs d'une autre région, ou d'un résident de retour de voyage d'une autre région.
- Données d'éclosions importantes (plus de 10 cas) pour la seconde vague:
 - Patients des CH, et résidents RPA.
 - Travailleurs de la santé qui ont acquis l'infection lors d'éclosions dans des centres hospitaliers (CH) ou CHSLD.
 - Nous supposons que les éclosions sont constantes (selon les valeurs observées des 2 dernières semaines) jusqu'au moment du début des opérations de vaccination du groupe considéré. Ensuite, nous intégrons l'effet de la vaccination en supposant que les éclosions sont réduites proportionnellement au taux moyen de vaccination quotidienne (jusqu'à 75% de couverture vaccinale dans chaque groupe (efficacité de 90%)). Nous supposons un délai de 2 semaines pour le développement de l'immunité avec aucune protection.
- Les cas importés sont des cas pré-cliniques qui peuvent ensuite s'isoler, être hospitalisés et/ou décéder.

Modélisation des scénarios d'éclotions majeures en milieu de soins

Grand Montréal

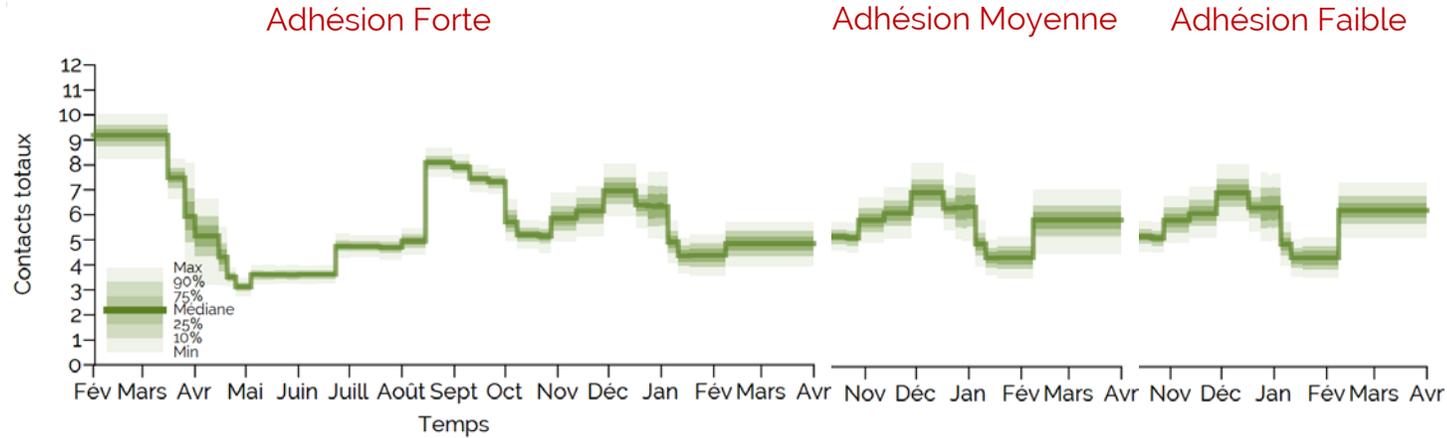


Autres régions

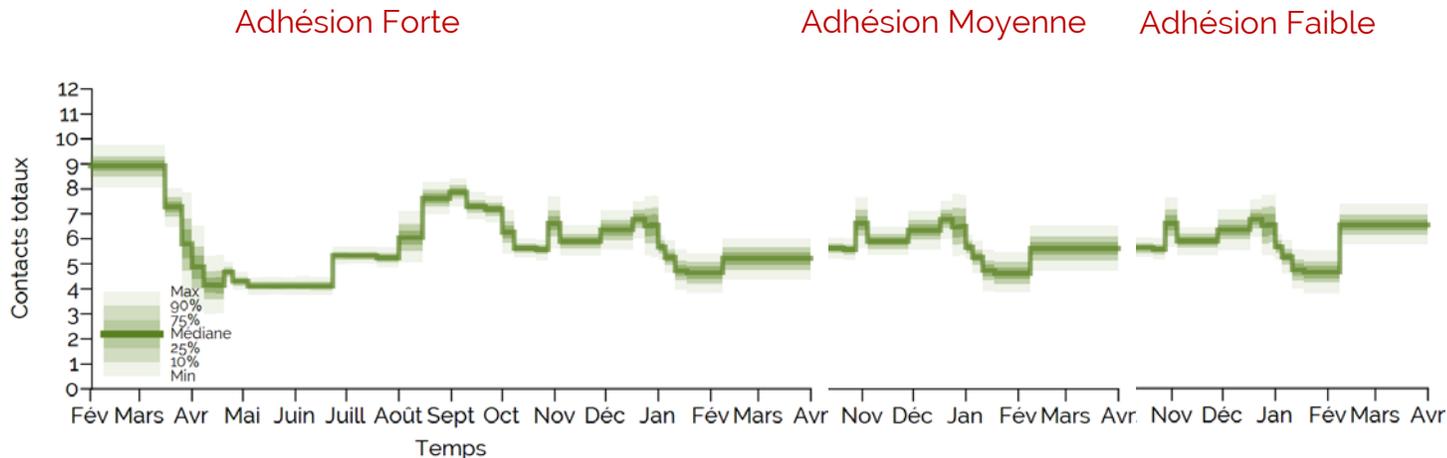


Modélisation des contacts sociaux

- **Grand Montréal**



- **Autres Régions**

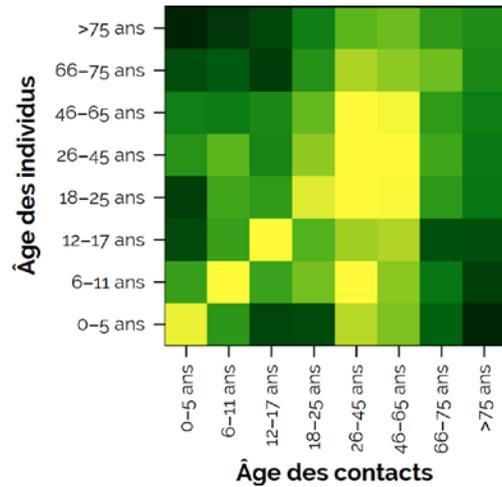


Contact social: Parler avec quelqu'un en sa présence physique et à une distance inférieure à 2 mètres. Un contact peut aussi être physique: toucher la peau de l'autre personne (ex : se donner ou se serrer la main, s'embrasser, se donner l'accolade, dormir ensemble, etc.).

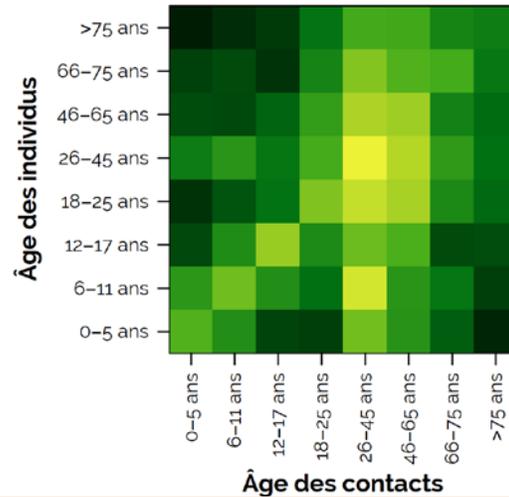
Modélisation des contacts entre les individus selon l'âge

Matrices de contacts à travers le temps ex: Grand Montréal

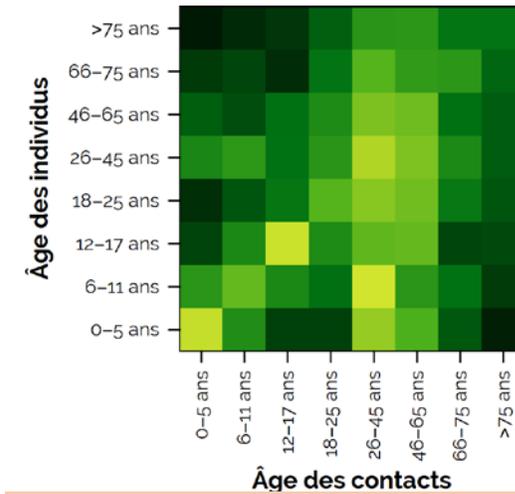
Pré-Covid



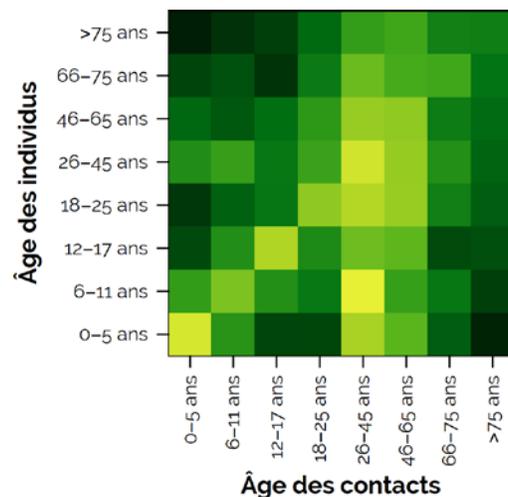
Confinement: 13 mars au 14 avril



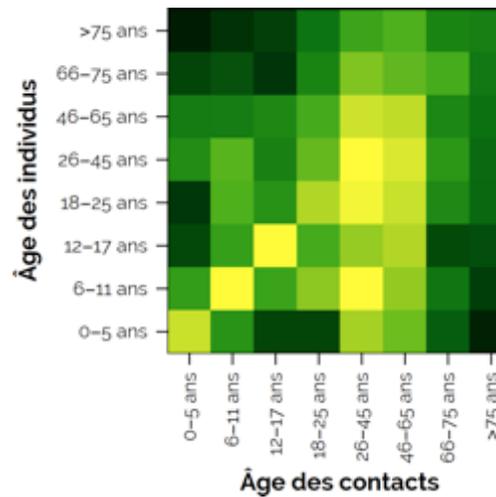
Déconfinement graduel: 15 avril au 22 juin



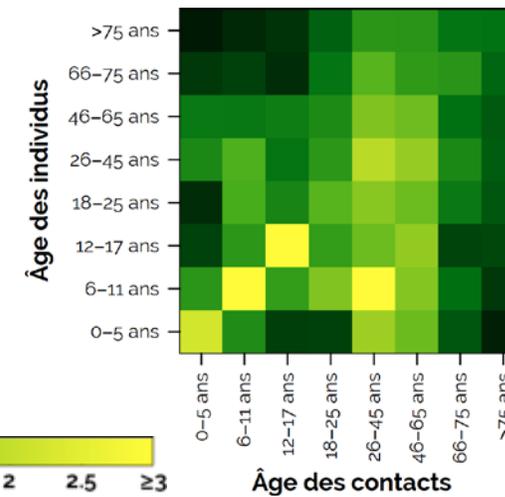
Été: 23 juin au 23 août



Retour école/travail: 24 août au 30 sept



Mesures zone rouge: 1 oct-28 Oct

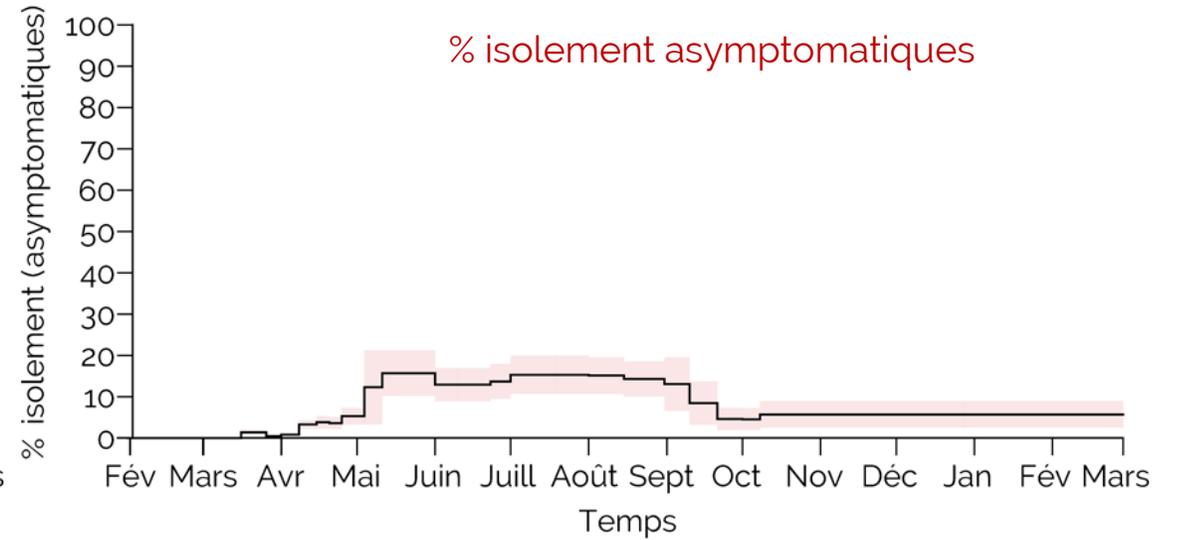
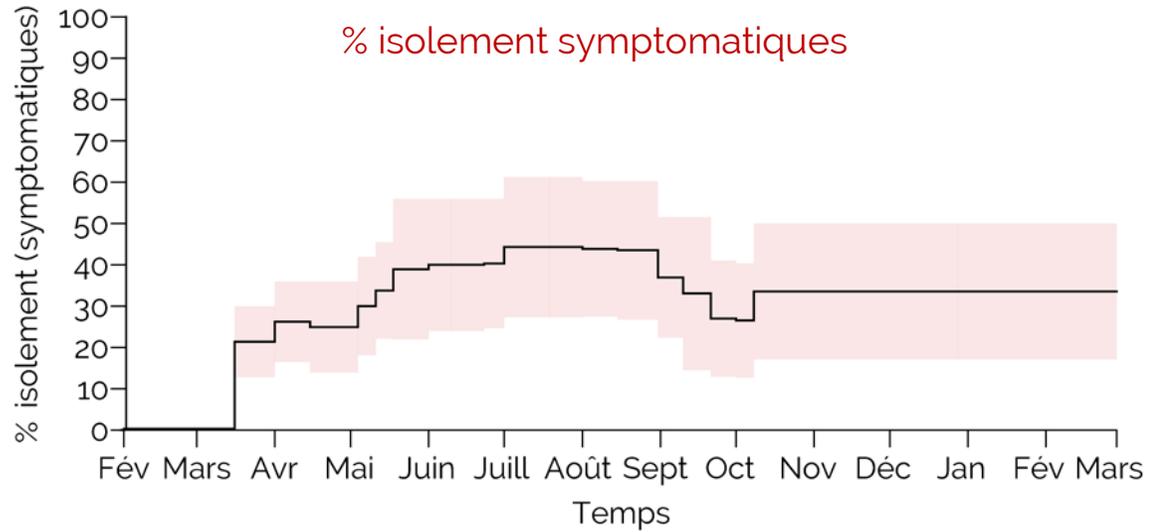


Dépistage

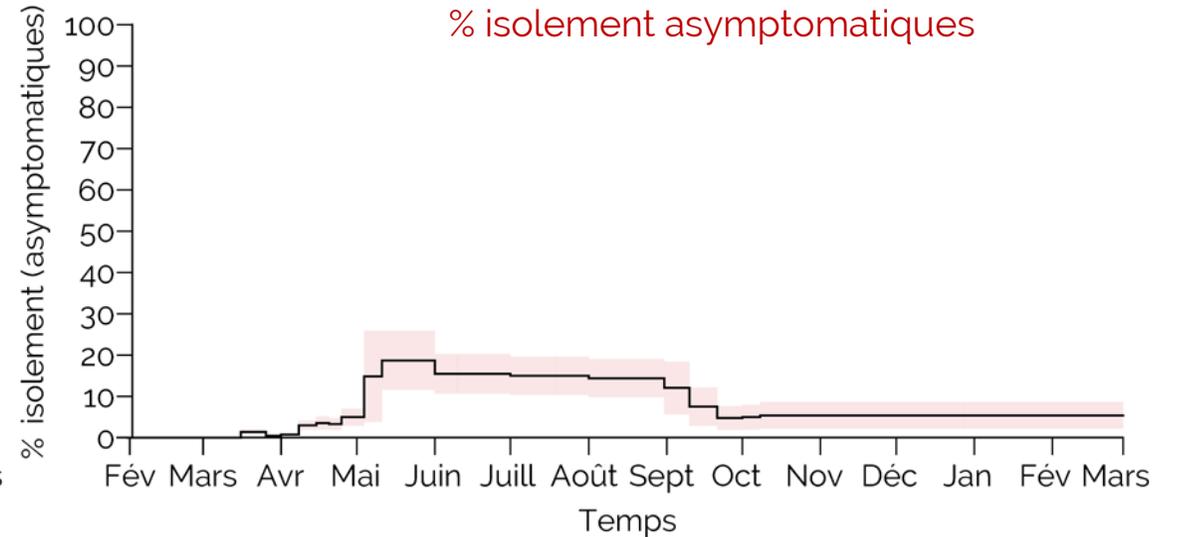
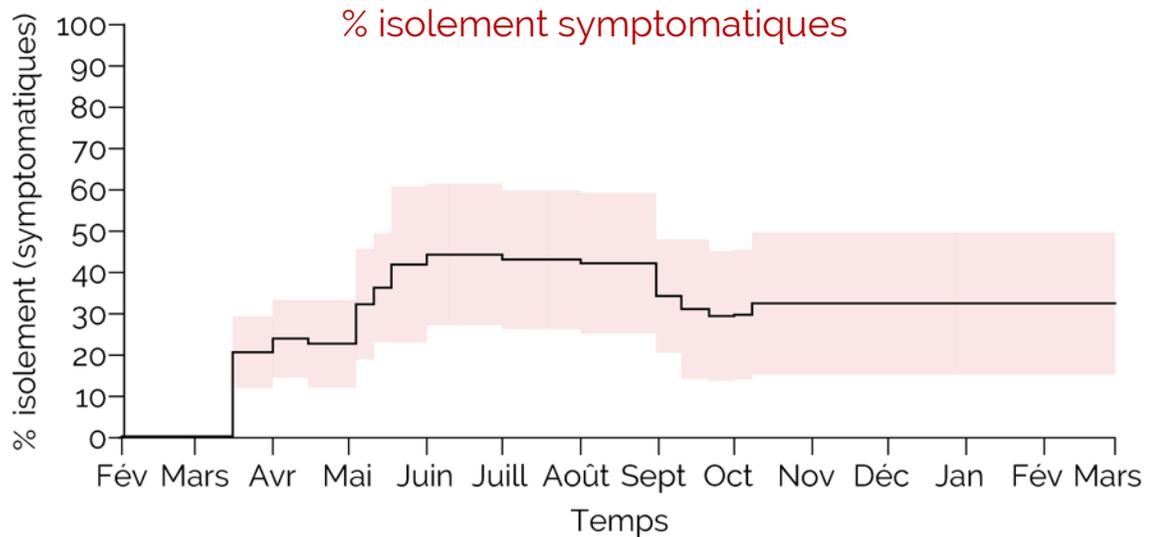
- **Le dépistage a pour objectif de réduire le nombre de contacts d'une personne infectée dans la communauté en augmentant le nombre de jours infectieux isolés**
 - L'amélioration du dépistage, du traçage et de l'isolement pourrait se faire par:
 1. une augmentation de la proportion des cas dépistés
 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

- **Grand Montréal**

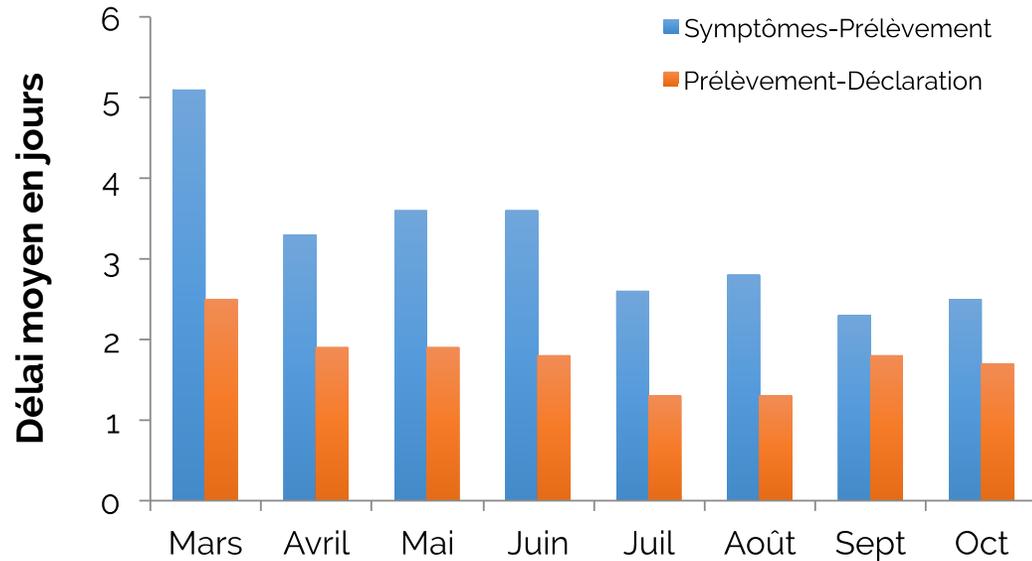


- **Autres Régions**

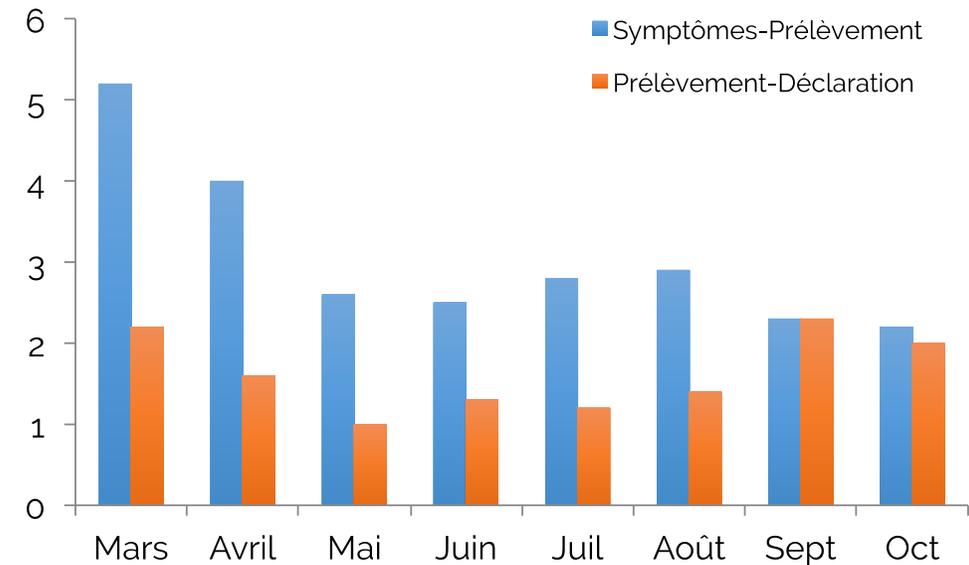


Délais entre le début des symptômes, le test et la déclaration du résultat

Grand Montréal



Autres régions



- Le délai le plus court entre le moment du test et la déclaration du résultat était pendant l'été.
- Ce délai moyen a ensuite augmenté en septembre

Calibration

par région

- Des distributions uniformes sont définies pour chaque paramètre du modèle
 - On détermine les valeurs minimales et maximales des paramètres à partir d'une revue de la littérature
- En utilisant les superordinateurs de Calcul Canada, on roule des dizaines de millions de combinaisons de paramètres, échantillonnées aléatoirement parmi les distributions uniformes de paramètres
- On sélectionne les meilleures combinaisons de paramètres qui reproduisent le mieux les données empiriques de **séroprévalence**, et de **décès** et **d'hospitalisations** par âge liés à la Covid-19 au Québec
 - Ces combinaisons sont celles qui minimisent la somme des carrés des écarts entre les prédictions du modèle et les données empiriques de décès et d'hospitalisations par groupe d'âge (méthode des moindres carrés)

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 »
- CONNECT_{2, 3} et 4 - 2020:
 - Même méthodologie que CONNECT₁
 - CONNECT₂ (21 avril – 25 mai)
 - CONNECT₃ (3 juillet – 14 octobre 2020)
 - CONNECT₄ (début novembre – fin janvier 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

Survol des 4 phases de CONNECT

	CONNECT 1 Pré-pandémie	CONNECT 2 Confinement	CONNECT 3 Déconfinement / reconfinement partiel	CONNECT 4 Reconfinement partiel
Période de collecte de données	1 février 2018 - 17 mars 2019	21 avril - 25 mai 2020	3 juillet – 14 octobre 2020	3 novembre – fin janvier 2021
Financement	CIRN (Canadian Immunization Research Network)	Subvention de fondation des IRSC de Marc Brisson	INSPQ (Institut National de Santé Publique du Qc)	INSPQ (Institut National de Santé Publique du Qc)
Nombre de participants Provinces	N= 5493 À travers le Canada (n=1291 Québec)	N = 1012 Québec et Ontario (n= 534 Québec)	N = 1569 Québec	N prévu = 1500 Québec

Recrutement et collecte de données

- Toutes les phases de CONNECT sont réalisées avec la même méthodologie
- Recrutement:
 - Recrutement par composition téléphonique aléatoire (# de lignes terrestres et cellulaires)
 - 1 personne par ménage est sélectionnée pour participer à CONNECT
 - 3 catégories de participants recrutés:
 - Enfants: 0-11 ans
 - Adolescents: 12-17 ans
 - Adultes: ≥ 18 ans
 - Dans les analyses, les participants sont pondérés pour l'âge et le sexe afin d'être représentatifs du Québec
- Collecte de données
 - Questionnaire web autoadministré, divisé en 2 sections
 - Caractéristiques sociodémographiques et santé générale
 - Journal des contacts sociaux pour 2 jours (1 jour de semaine et 1 jour de fin de semaine), basé sur le journal des contacts sociaux de Polymod¹

¹ Polymod: Mossong J, Hens N, Jit M, et al. Social Contacts and Mixing Patterns Relevant to the Spread of Infectious Diseases. *PLoS Medicine* 2008; 5(3):e71

Définition d'un contact social

- Qu'est-ce qu'un contact social?
 - Un contact social veut dire parler avec quelqu'un en sa présence physique et à une distance inférieure à 2 mètres.
 - Un contact peut aussi être physique: toucher la peau de l'autre personne (ex : se donner ou se serrer la main, s'embrasser, se donner l'accolade, dormir ensemble, etc.).
- Qu'est-ce qui n'est pas un contact social?
 - Les contacts faits exclusivement par téléphone, cellulaire ou internet sont exclus.
 - Les conversations à une distance de plus de 2 mètres sont exclues.
 - Les contacts avec les animaux sont exclus.
 - Depuis CONNECT2: Les contacts faits à travers un panneau de plexiglas ou une fenêtre sont exclus.
- Dans nos analyses, le nombre de contacts représente le nombre de personnes différentes avec qui le participant a ≥ 1 contact par jour

Contacts sociaux professionnels

- Les participants qui rapportent >20 contacts professionnels par jour (ex. : enseignants, caissiers, professionnels de la santé) n'ont pas à rapporter chacun de leurs contacts professionnels dans le journal
- On leur pose plutôt des questions générales concernant leurs contacts professionnels
 - Nombre de contacts professionnels
 - Groupes d'âge de la majorité de leurs contacts
 - Durée moyenne de leurs contacts
 - Contacts physiques ou non
 - Depuis CONNECT3 : Pourcentage de ces contacts qui sont protégés (masque, plexiglass)
- Dans nos résultats, les contacts professionnels sont plafonnés à un maximum de 40 par jour afin d'éviter les valeurs extrêmes qui auraient trop d'influence sur la moyenne (et d'éliminer des contacts avec peu de risque de transmission)

Variables ajoutées lors de CONNECT 2,3

- Depuis CONNECT 2
 - Port du masque
 - Télé-travail
- Depuis CONNECT 3
 - Déplacements interrégionaux durant l'été (régions visitées)
 - Mesures mises en place dans les écoles/lieux de travail (ex: nombre réduit d'enfants / clients, plexiglas, distance de 2 m entre les postes de travail / aires de repos, utilisation masque/visière, indications au sol du 2 mètres, installation postes de lavage des mains, prise température/symptômes au début du quart de travail)

Étapes de déconfinement et mesures pour réduire les contacts

Secteurs économiques, sports et loisirs

Date Extérieur Mtl / Mtl	Secteurs déconfinés	Exemple de mesures pour réduire les contacts
Principaux secteurs économiques		
15 avril	Garages, mines, paysagement	<ul style="list-style-type: none">• distanciation physique de 2 mètres• port du masque et/ou visière si le 2 mètres ne peut pas être respecté• barrières physiques aux caisses (ex: plexiglass)• paiement sans contact• lavage fréquent des mains des clients et employés• nombre limité de clients dans les commerces• signalisation et corridor unidirectionnel pour éviter les croisements• mesures d'hygiène pour le nettoyage des outils, des équipements et des surfaces fréquemment touchées• mise en quarantaine ou nettoyage des objets touchés par les clients
20 avril	Construction résidentielle	
4 mai / 25 mai	Commerce détail avec porte extérieure	
11 mai	Construction autre que résidentielle	
11 mai	Manufacturier	
1 juin / 15 juin	Soins personnels et thérapeutiques	
1 juin / 19 juin	Centres commerciaux	
15 juin / 22 juin	Restaurants	
1 ^{er} au 19 juin	Activités touristiques et hébergement	
Sports et loisirs		
8 juin	Activités sportives et plein air	<ul style="list-style-type: none">• format entraînement seulement au début, match (22 juin)
22 juin	Arénas, piscines, gym	

Étapes de déconfinement et mesures pour réduire les contacts

Éducation et rassemblements

Date Extérieur Mtl / Mtl	Secteurs déconfinés	Exemples de mesures pour réduire les contacts
Éducation		
11 mai / 1 juin	Services de garde	<ul style="list-style-type: none">• distanciation physique de 2 mètres (1 mètre entre enfants, 22 juin)• port du masque et/ou visière pour le personnel si le 2 mètres ne peut pas être respecté• nombre limité d'enfants et réaménagement des locaux• augmentation graduelle du nombre d'enfants• lavage fréquent des mains• récréation et déplacements en alternance entre les groupes• partage d'objets limités• activités extérieures privilégiées (camps de jour)• nettoyage et désinfection des locaux et du matériel
11 mai / septembre	Écoles primaires	
22 juin	Camps de jour	
Rassemblements		
Pour tous les rassemblements: <ul style="list-style-type: none">• distanciation physique de 2 mètres (1,5 mètre si peu de circulation)• port du masque si le 2 mètres ne peut pas être respecté		
22 mai	Rassemblements extérieurs	<ul style="list-style-type: none">• maximum de 10 personnes, de 3 ménages• maximum ensuite augmentés à 50 personnes
15 juin / 22 juin	Rassemblements privés intérieurs	<ul style="list-style-type: none">• maximum de 10 personnes, de 3 ménages
22 juin	Rassemblements intérieurs lieux publics	<ul style="list-style-type: none">• maximum de 50 personnes

Références

1. Backer JA, Klinkenberg D, Wallinga J. *Euro Surveill* 2020;25(5):pii=2000062.
2. Ferguson NM, Laydon D, Nedjati-Gilani G, et al. Imperial College COVID-19 Response Team. Mars 2020. doi: <https://doi.org/10.25561/77482>
3. Linton NM, Kobayashi T, Yang Y et al. *J Clin Med*. 2020;9(2):538. doi: <https://doi.org/10.3390/jcm9020538>
4. Li Q, Guan X, Wu P, et al. *N Engl J Med*. 2020;382(13):1199-1207
5. Tindale LC, Coombe M, Stockdale JE, et al. MedRxiv. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.03.03.20029983>
6. Verity R, Okell LC, Dorigatti I, et al. MedRxiv. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.03.09.20033357>
7. Gaythorpe K, Imai N, Cuomo-Dannenburg G, et al. Report 8: Symptom progression of COVID-19. Imperial College COVID-19 Response Team. doi: <https://doi.org/10.25561/77344>
8. Wu JT, Leung K, Bushman M, et al. Estimating clinical severity of COVID-19 from the transmission dynamics in Wuhan, China. *Nature Med*. <https://www.nature.com/articles/s41591-020-0822-7#Sec6>
9. Muniz-Rodriguez K, Fung ICH, Ferdosi SR, et al. MedRxiv doi: <https://doi.org/10.1101/2020.03.08.20030643>
10. Zhang L, Wan K, Chen J, Lu C, et al. MedRxiv. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.02.16.20023804>;
11. Mossong J, Hens N, Jit M, et al. Social Contacts and Mixing Patterns Relevant to the Spread of Infectious Diseases. *PLoS Medicine* 2008; 5(3):e71
12. Jarvis C, van Zandvoort K, Gimma A, Quantifying the impact of physical distance measures on the transmission of COVID-19 in the UK, <https://cmmid.github.io/topics/covid19/current-patterns-transmission/reports/LSHTM-CMMID-20200401-CoMix-social-contacts.pdf>
13. Sanche S, Lin YT, Xu C, et al. MedRxiv <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.02.07.20021154v1.full.pdf>
14. Perceptions et comportements de la population québécoise en lien avec la pandémie de COVID-19 (INSPQ, Faits saillant du sondage du 31 mars 2020)
15. Réduction du mouvement au Québec . Google (https://www.gstatic.com/covid19/mobility/2020-03-29_CA_Mobility_Report_en.pdf)
16. Étude CONNECT(<http://connect.marc-brisson.net>)
17. Byrne AW, McEvoy D, Collins ÁB, et al. MedRxiv, doi: <https://doi.org/10.1101/2020.04.25.20079889>
18. Sanche S, Lin YT, Xu C, et al High Contagiousness and Rapid Spread of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2, *EID* 26:&, July 2020
19. Bertozzi AL, Franco E, Mohler G t al. The challenges of modeling and forecasting the spread of COVID-19. *PNAS* July 21, 2020 117 (29) 16732-16738
20. Dong Y, Mo X, Hu Y et al. Epidemiology of COVID-19 Among Children in China, *Pediatrics* June 2020, 145 (6) e20200702;
21. Hu Z, Song C, Xu C, et al. Clinical characteristics of 24 asymptomatic infections with COVID-19 screened among close contacts in Nanjing, *Science China Life Sciences*. 2020.
22. Paquette D, Bell C, Roy M et al. COVID-19 in children and youth Canada, January 15–April 27, 2020, *CCDR* vol 46-5, May 2020.