



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

21 janvier, 2021



Table des matières

I. [OBJECTIFS](#)

II. [ÉPIDÉMIOLOGIE](#)

- [Nombre de nouveaux cas par jour, selon l'âge](#)
- [Nombre de nouvelles hospitalisations par jour, selon l'âge](#)

III. [MODÉLISATION MATHÉMATIQUE](#)

- Modélisation des scénarios de contacts sociaux
 - [Grand Montréal](#)
 - [Autres régions](#)
- Prédications de l'évolution de la courbe épidémique
 - [Grand Montréal](#)
 - [Autres régions](#)
 - [Ensemble du Québec](#)
- [Éléments importants pour l'interprétation des résultats](#)
- [Résumé](#)
- [Limites des scénarios et utilisations des projections](#)

IV. ANNEXES

- [Ensemble du Québec - Capacité hospitalière](#)
- [Analyse de sensibilité - Projections par âge](#)
- [Nombre d'infections prévalentes](#)
- [Méthodes - Modélisation](#)
 - [Méthodes mathématiques](#)
 - [Diagrammes de flux](#)
 - [Histoire naturelle](#)
 - [Cas importés](#)
 - [Matrices de contacts](#)
 - [Dépistage](#)
 - [Calibration](#)
 - [Données de calibration](#)
- [Contacts sociaux](#)
 - [Étude CONNECT](#)
 - [Étapes de déconfinement et mesures pour réduire les contacts](#)

V. [RÉFÉRENCES](#)

Objectifs

- Prédire l'évolution potentielle de l'épidémie de la COVID-19 au Québec pour les mois de janvier et février avec et sans les mesures du 8 janvier 2021

Épidémiologie

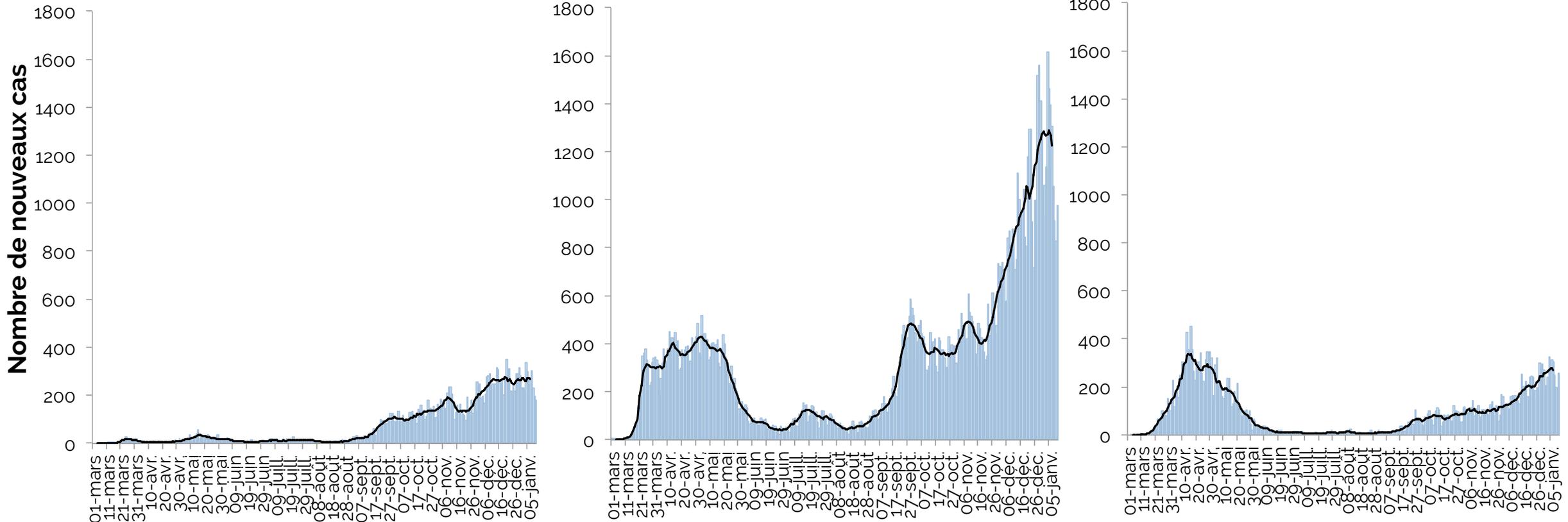
Évolution de l'épidémie de la COVID-19 dans le Grand Montréal

Nombre de nouveaux cas par jour, selon l'âge

0-17 ans

18-65 ans

>65 ans



- Dans le Grand Montréal, entre le 17 novembre et le 1^{er} janvier, les cas ont:
 - doublé chez les 0-17 ans (x 1,9)
 - triplé chez les 18-65 ans (x 3,1) et > 65 ans (x 2,7)

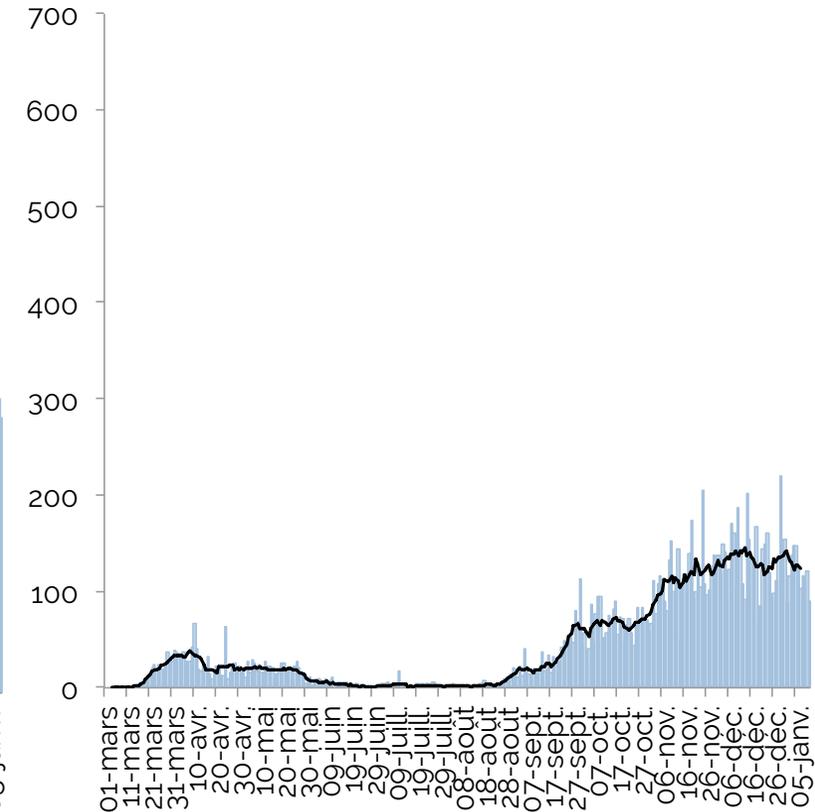
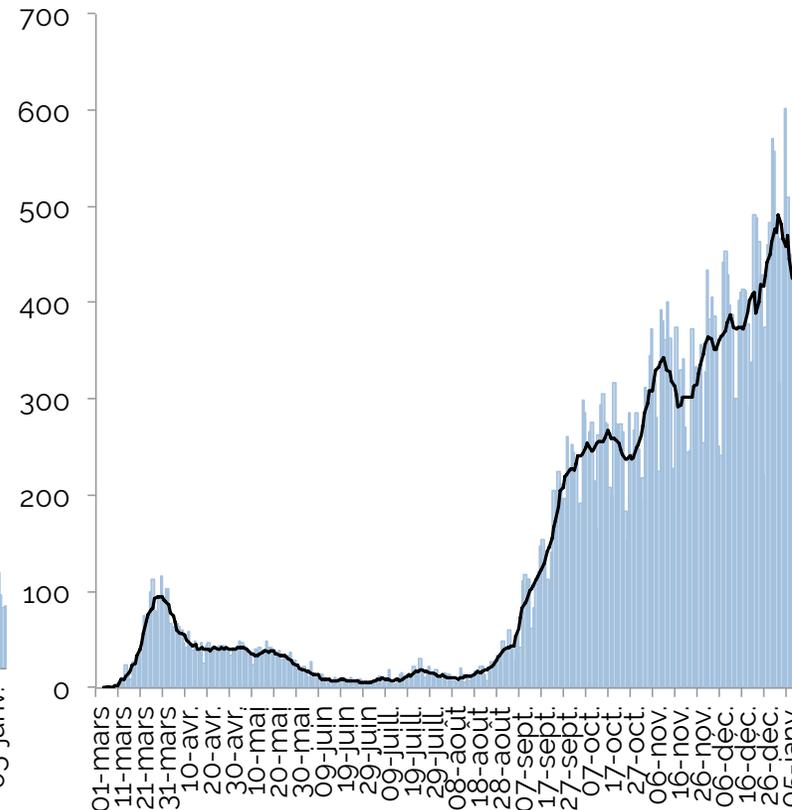
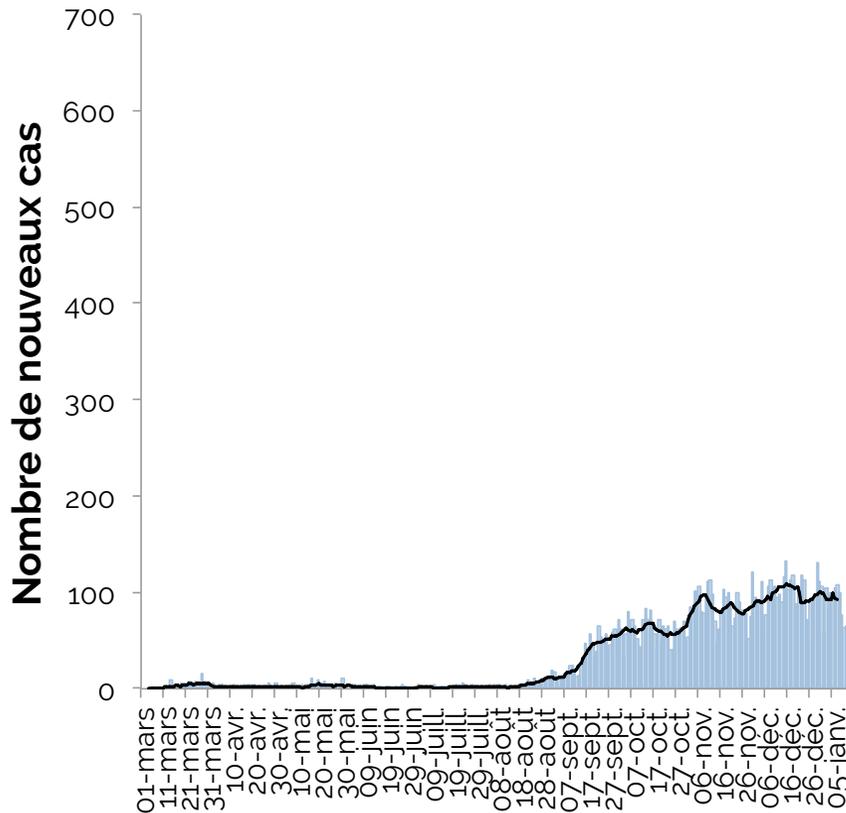
Évolution de l'épidémie de la COVID-19 dans les Autres Régions

Nombre de nouveaux cas par jour, selon l'âge

0-17 ans

18-65 ans

>65 ans

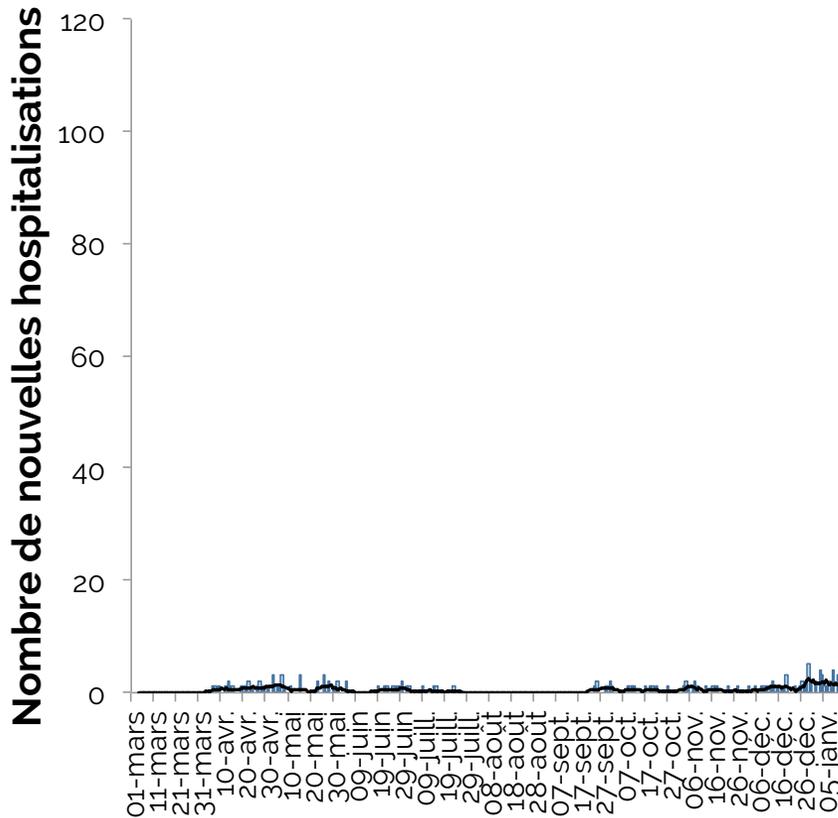


- Dans les Autres Régions, entre le 17 novembre et le 1^{er} janvier, les cas ont augmenté de:
 - 20% chez les 0-17 ans et > 65 ans (x 1,2)
 - 50% chez les 18-65 ans (x 1,5)

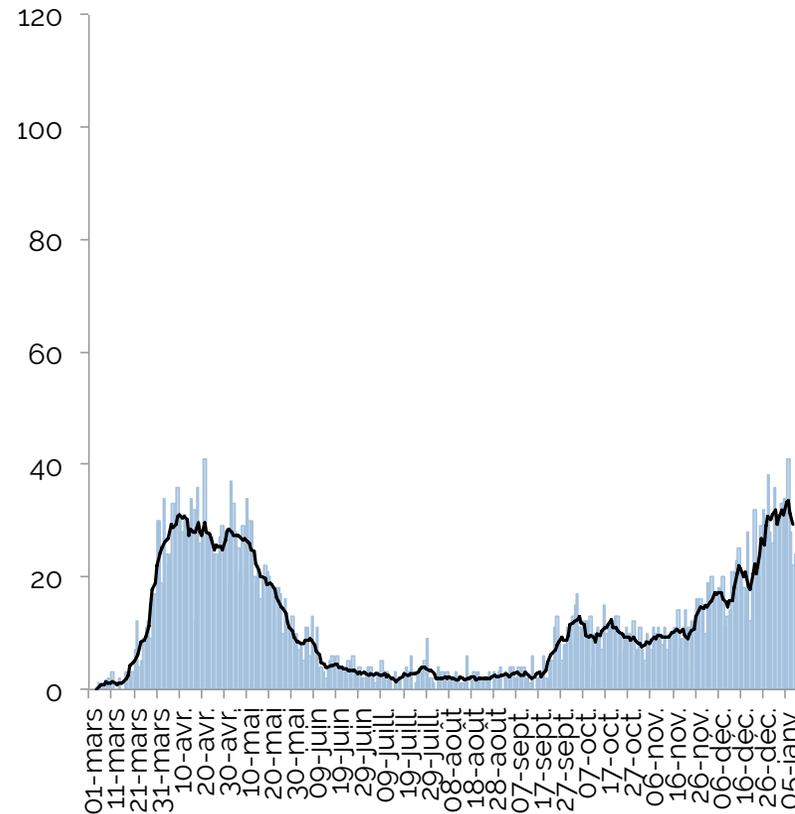
Évolution de l'épidémie de la COVID-19 dans le Grand Montréal

Nombre de nouvelles hospitalisations par jour, selon l'âge

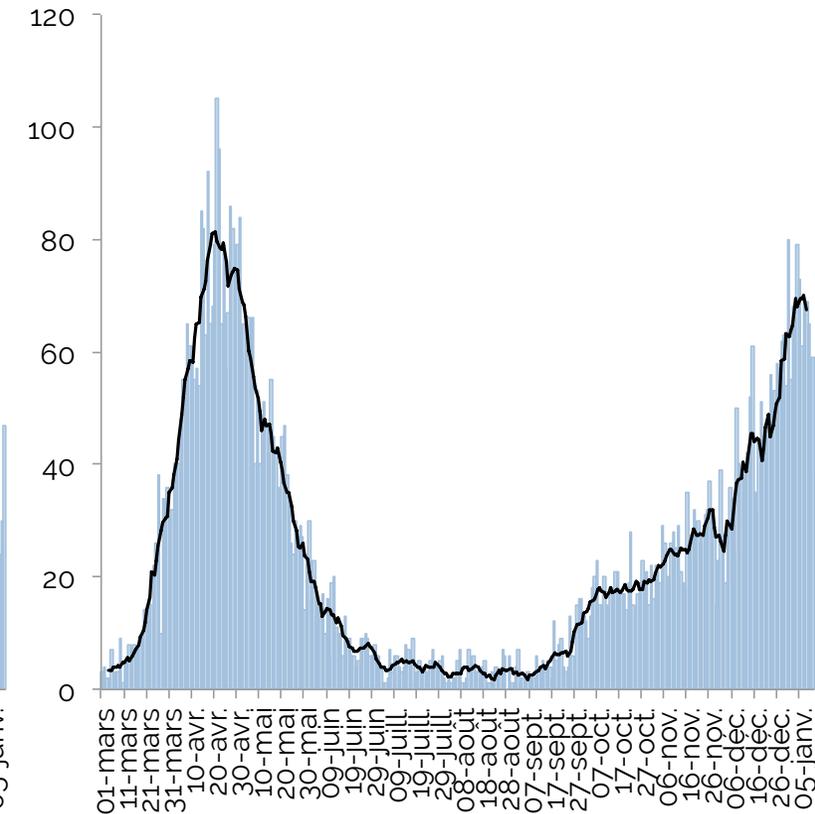
0-17 ans



18-65 ans



>65 ans



- Dans le Grand Montréal, entre le 17 novembre et le 1^{er} janvier, les hospitalisations ont:
 - triplé chez les 18-65 ans (x 3,1) et chez les > 65 ans (x 2,6)

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

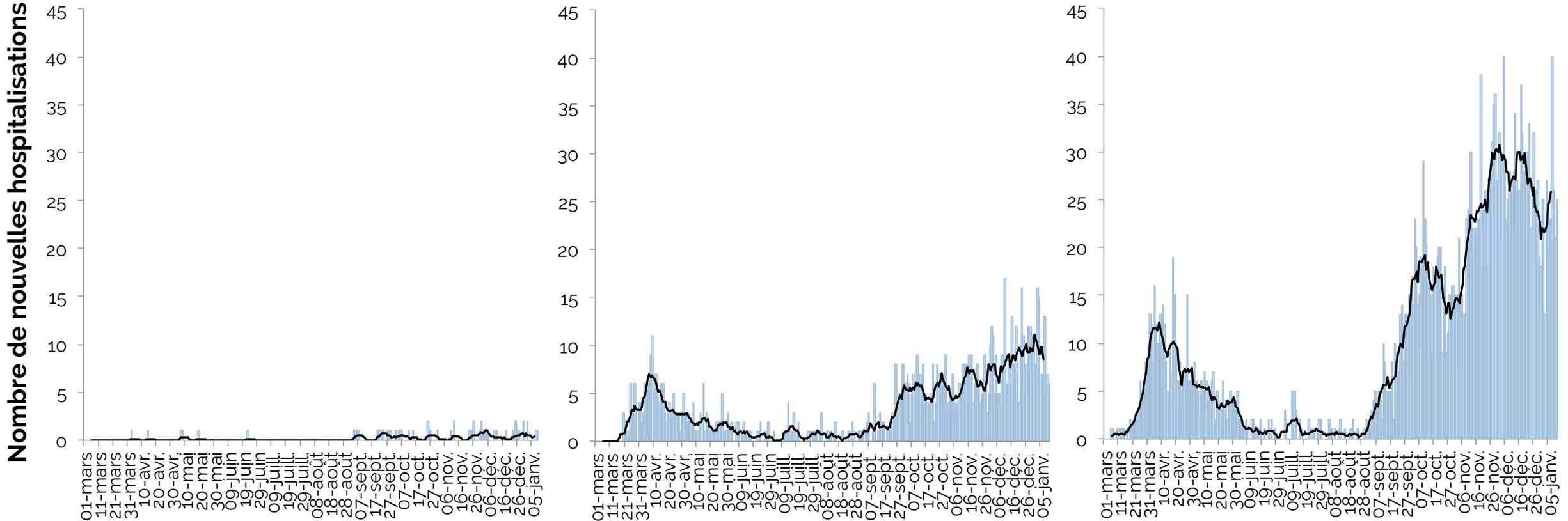
Nombre de nouvelles hospitalisations par jour, selon l'âge

0-17 ans

18-65 ans

>65 ans

Nombre de nouvelles hospitalisations



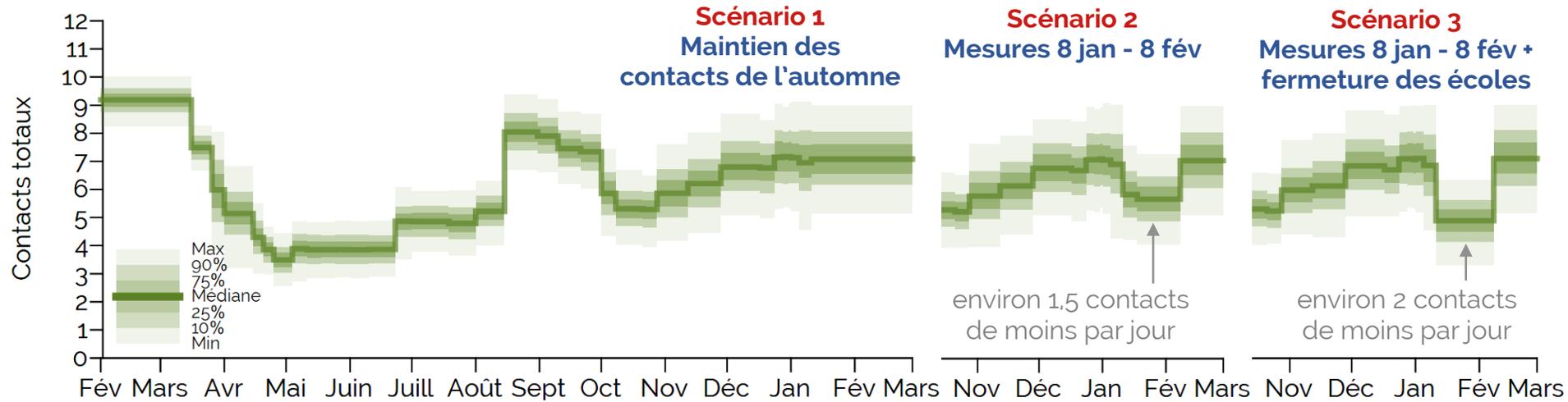
- Dans les Autres Régions, entre le 17 novembre et le 1^{er} janvier, les hospitalisations:
 - ont augmenté de 20% chez les 18-65 ans (x1,2)
 - semblent avoir diminué depuis la mi-décembre chez les >65 ans (avec une possible hausse dans les derniers jours)

Modélisation

Grand Montréal

Modélisation des scénarios de contacts sociaux

Grand Montréal



Scénario 1: Maintien des contacts de l'automne

- Retour à l'école et au travail le 11 janvier
- Retour au niveau de contacts de septembre-décembre à partir du 11 janvier
- Peut représenter un scénario avec très faible adhésion aux mesures

Scénario 2: Mesures du 8 janvier – 8 février

- Réduction des contacts à partir du 5-11 janvier (ex. : diminution des visites, des rassemblements, des activités extérieures)
- 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 2020)
- Retour au niveau de contacts de septembre-décembre à partir du 8 février

Scénario 3: Mesures du 8 janvier – 8 février et fermetures des écoles

- Réduction des contacts à partir du 5-11 janvier
- Retour à l'école le 8 février
- Confinement jusqu'au 8 février (ex: peu/pas de visites, contacts au travail d'avril 2020)
- Retour au niveau de contacts de septembre-décembre à partir du 8 février

Pour tous les scénarios

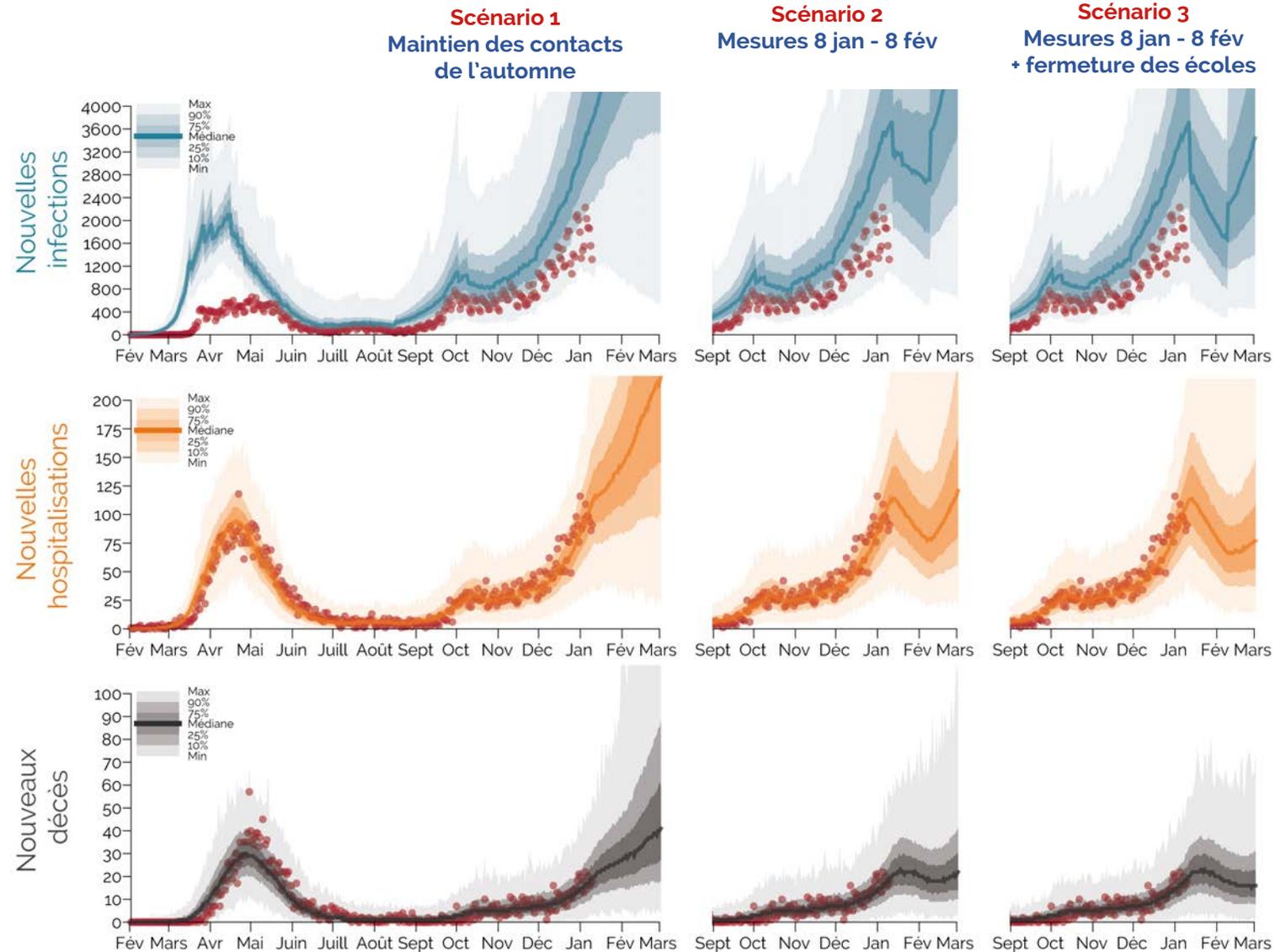
1-16 décembre:

- Augmentation des contacts du 1 au 16 décembre (ex. : magasinage)

17 décembre – 11 janvier:

- 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 pendant tout le temps des fêtes

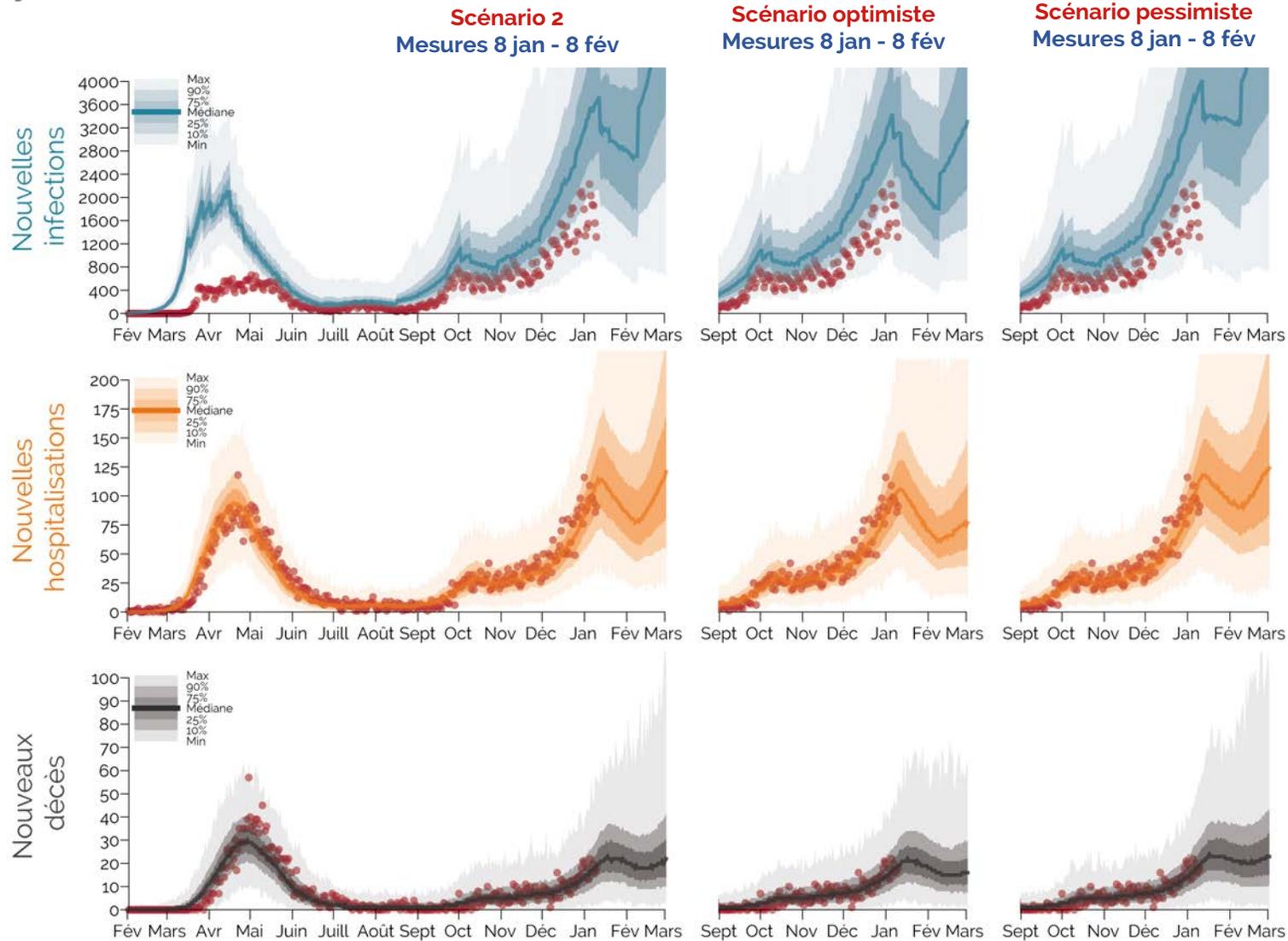
Évolution de la COVID-19 dans le Grand Montréal



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.

Évolution de la COVID-19 dans le Grand Montréal

Analyse de sensibilité



Scénario 2: Mesures 8 jan - 8 fév

- Contacts minimums = scénario optimiste
- Contacts maximums = scénario pessimiste

Scénario optimiste

- Réduction des contacts à partir du **5 janvier** (ex. : diminution des visites, des rassemblements, des activités extérieures)
- **Adhésion forte** aux restrictions de visites/ rassemblements dans les domiciles (100% de réduction des visites)
- Contacts de septembre-décembre à partir du 8 février

Scénario pessimiste

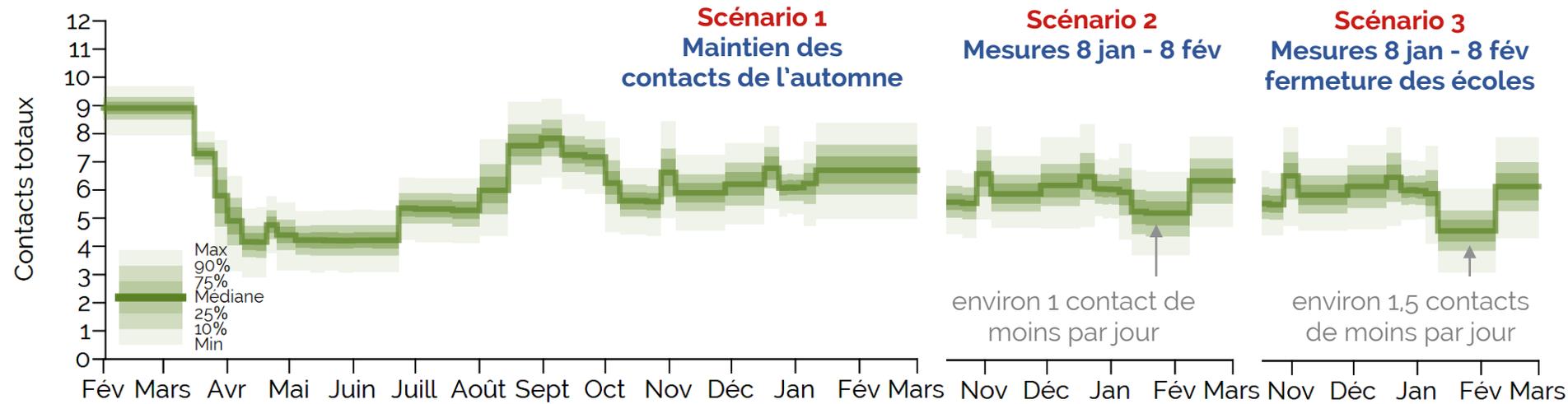
- Réduction des contacts à partir du **11 janvier** (ex. : diminution des visites, des rassemblements, des activités extérieures)
- **Adhésion partielle** aux restrictions de visites/ rassemblements dans les domiciles (50-100% de réduction des visites)
- Contacts de septembre-décembre à partir du 8 février

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

Modélisation des scénarios de contacts sociaux

Autres Régions



Scénario 1: Pas de confinement / Maintien des contacts de l'automne

- Retour à l'école et au travail le 11 janvier
- Retour au niveau de contacts de septembre-décembre à partir du 11 janvier
- Peut représenter un scénario avec très faible adhésion aux mesures

Scénario 2: Mesures du 8 janvier – 8 février

- Réduction des contacts à partir du 5-11 janvier (ex. : diminution des visites, des rassemblements, des activités extérieures)
- 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 2020)
- Retour au niveau de contacts de septembre-décembre à partir du 8 février

Scénario 3: Mesures du 8 janvier – 8 février et fermetures des écoles

- Réduction des contacts à partir du 5-11 janvier
- Retour à l'école le 8 février
- Confinement jusqu'au 8 février (ex: peu/pas de visites, contacts au travail d'avril 2020)
- Retour au niveau de contacts de septembre-décembre à partir du 8 février

Pour tous les scénarios

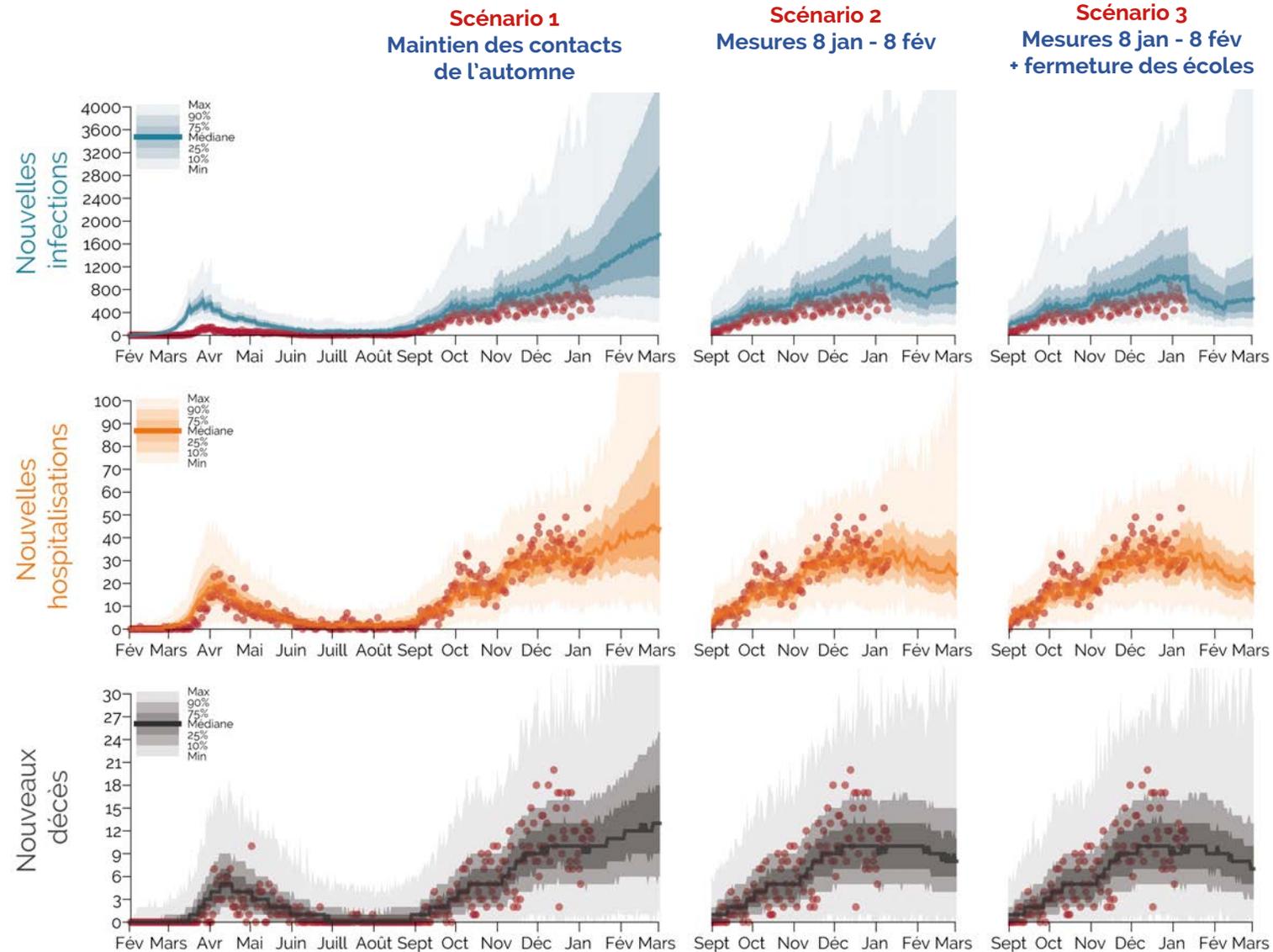
1-16 décembre:

- Augmentation des contacts du 1 au 16 décembre (ex. : magasinage)

17 décembre – 11 janvier:

- 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 pendant tout le temps des fêtes

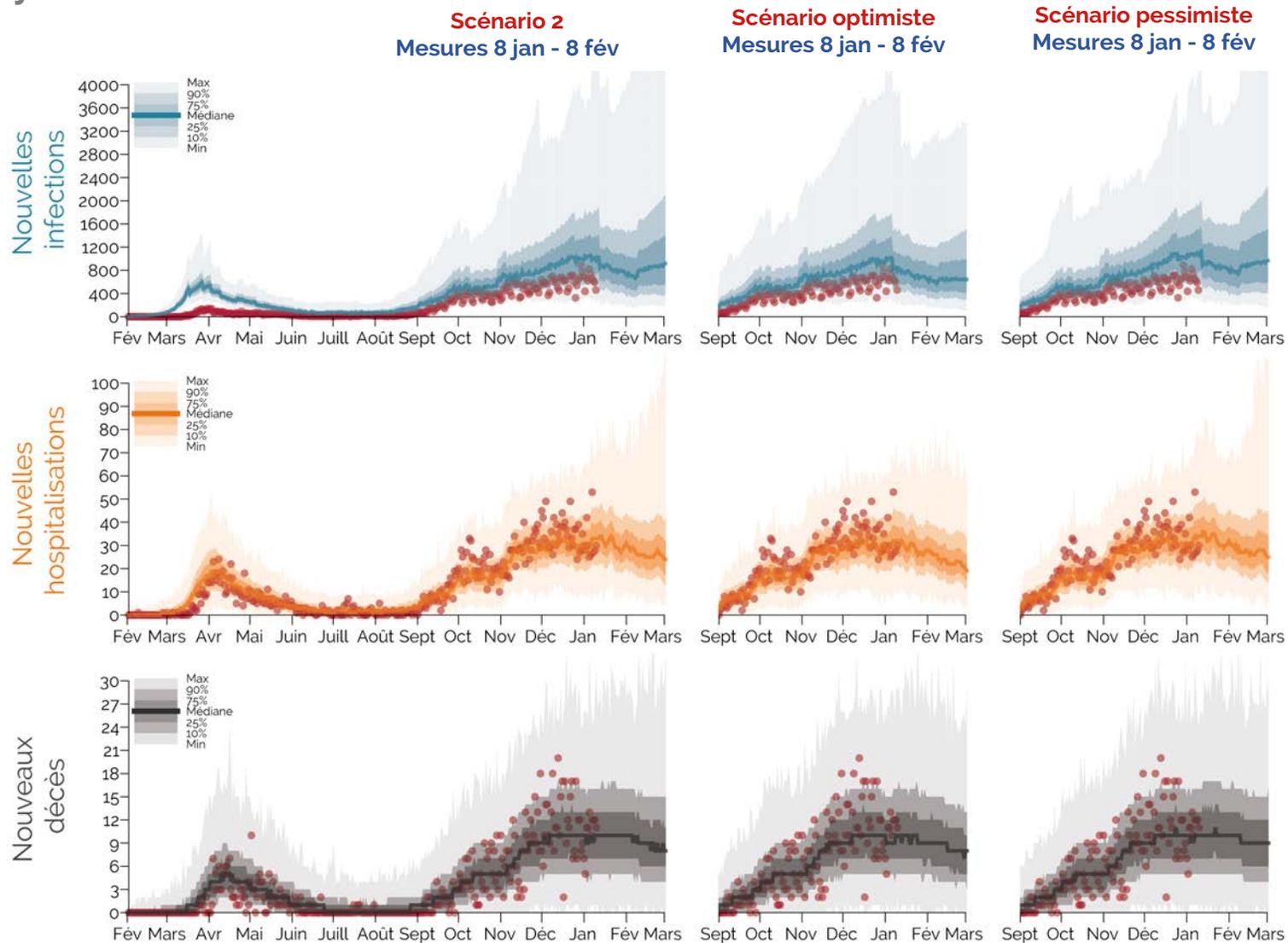
Évolution de la COVID-19 dans les Autres Régions



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^e d'efficacité 14 jours après la première dose. La réduction des éclussions dans les RPA et CH est proportionnelle au taux de vaccination.

Évolution de la COVID-19 dans les Autres Régions

Analyse de sensibilité – Scénario 2



Scénario 2: Mesures 8 jan - 8 fév

- Contacts minimums = scénario optimiste
- Contacts maximums = scénario pessimiste

Scénario optimiste

- Réduction des contacts à partir du **5 janvier** (ex. : diminution des visites, des rassemblements, des activités extérieures)
- **Adhésion forte** aux restrictions de visites/ rassemblements dans les domiciles (100% de réduction des visites)
- Contacts de septembre-décembre à partir du 8 février

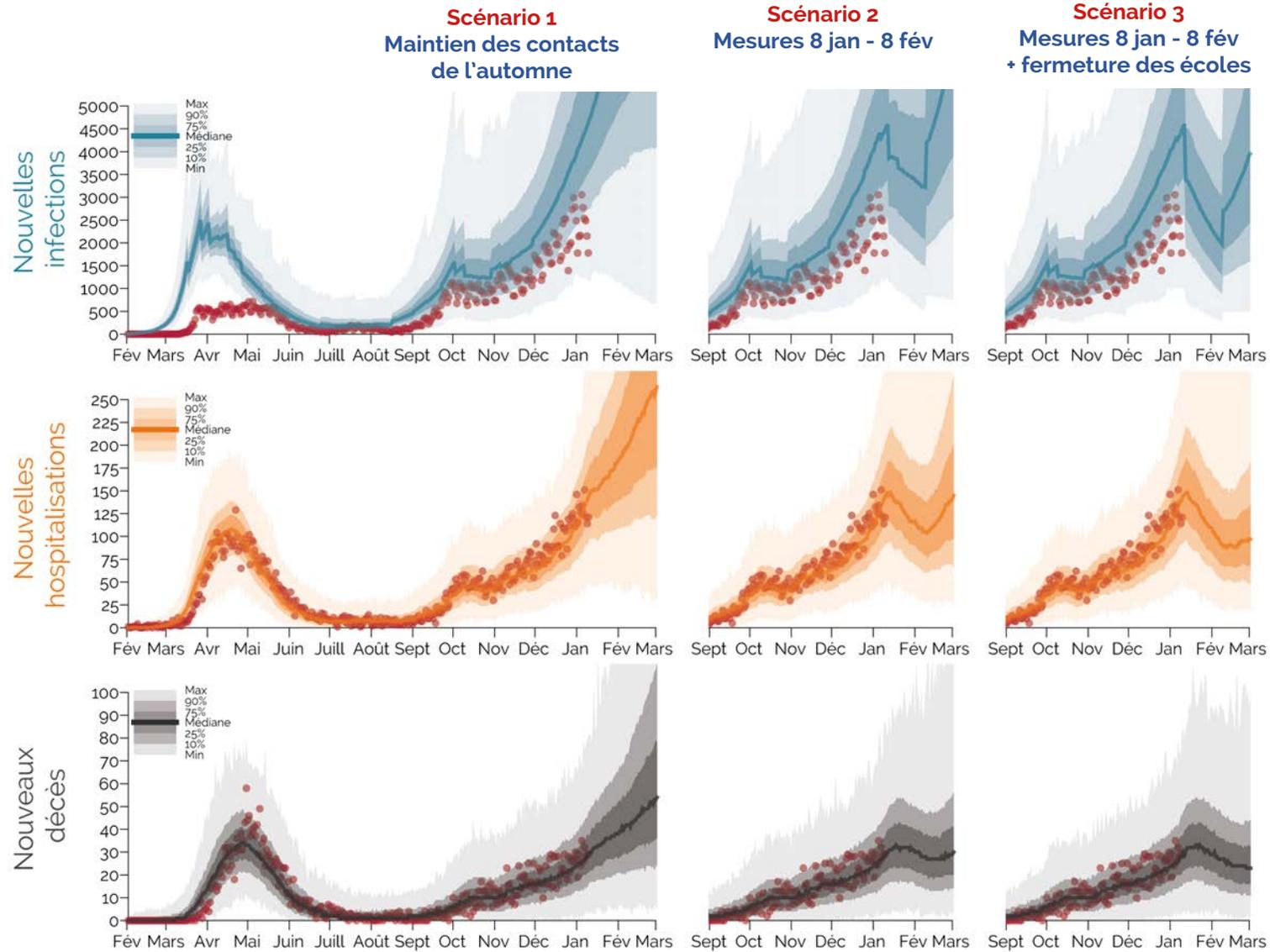
Scénario pessimiste

- Réduction des contacts à partir du **11 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)
- Contacts de septembre-décembre à partir 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

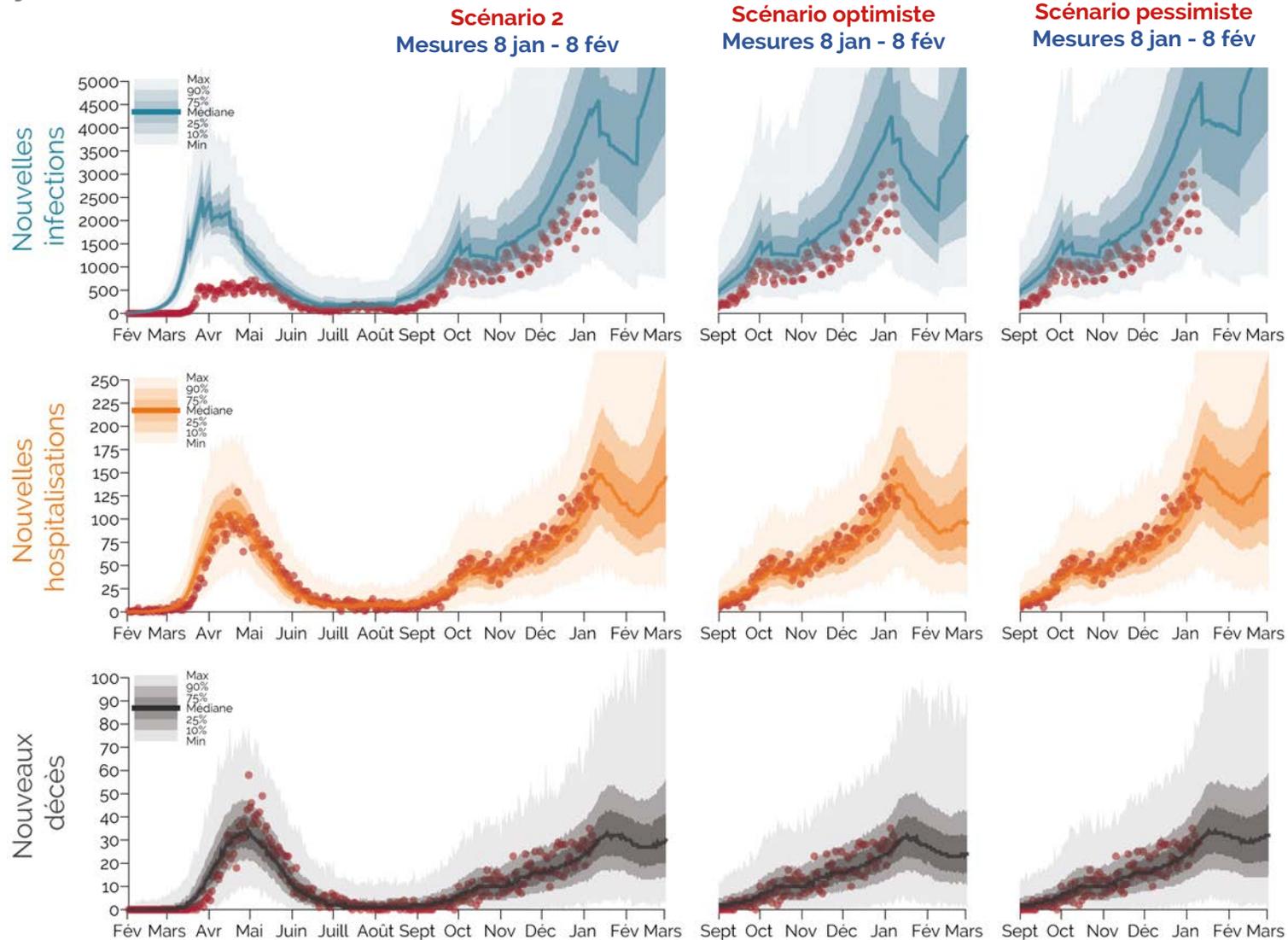
Évolution de la COVID-19 dans l'ensemble du Québec



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.

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

Analyse de sensibilité – Scénario 2



Scénario 2: Mesures 8 jan - 8 fév

- Contacts minimums = scénario optimiste
- Contacts maximums = scénario pessimiste

Scénario optimiste

- Réduction des contacts à partir du **5 janvier** (ex. : diminution des visites, des rassemblements, des activités extérieures)
- **Adhésion forte** aux restrictions de visites/ rassemblements dans les domiciles (100% de réduction des visites)
- Contacts de septembre-décembre à partir du 8 février

Scénario pessimiste

- Réduction des contacts à partir du **11 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)
- Contacts de septembre-décembre à partir 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.

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 recommandés à l'extérieur comme à l'intérieur.
- **Dépistage, traçage et isolement rapide des cas**
 - Baisse dans la capacité de traçage et difficultés de traçage des contacts. Les personnes atteintes de la Covid-19 ne rapportaient pas tous leurs contacts par crainte de sanctions
 - Baisse dans l'adhésion à l'isolement lorsque les personnes sont symptomatiques ou à la suite d'un résultat positif

Résumé

- **Sans réduction des contacts après la période des fêtes** (retour aux contacts de novembre/décembre), les prédictions suggèrent qu'une augmentation substantielle des cas, des hospitalisations et des décès pourrait avoir eu lieu, particulièrement dans le Grand Montréal.
- Le modèle prédit que les **mesures sanitaires du 8 janvier au 8 février** (réduction des visites à la maison, réduction des contacts au travail) pourraient réduire le nombre de cas, d'hospitalisations et de décès en janvier.
 - L'ampleur des réductions dépend de l'adhésion aux mesures
 - Une forte adhésion 1) aux mesures limitant les visites dans les domiciles, 2) à la distanciation physique à l'intérieur et à l'extérieur et 3) au port du masque lorsque la distanciation ne peut être maintenue, permettrait de réduire l'impact de la transmission provenant des milieux de travail ouverts et des écoles.
 - Cette forte adhésion permettrait de réduire les hospitalisations en limitant les opportunités de contacts avec les personnes vulnérables.
 - À noter, une recrudescence des cas et des hospitalisations est prédite à partir du 8 février, avec un retour des contacts de l'automne.
- **Cependant**, la situation demeure fragile, car il y a actuellement un nombre important de personnes infectées à la suite d'une transmission communautaire soutenue pendant la période des fêtes. Un relâchement global de l'adhésion aux mesures sanitaires (distanciation physique, lavage des mains, port du masque) pourrait grandement réduire l'impact des nouvelles mesures du 8 janvier.

Limites des scénarios et utilisations des projections

- Les prédictions de l'évolution de l'épidémie issues des modèles sont plausibles compte tenu des données épidémiologiques et comportementales disponibles à un moment donné. Toutefois, elles peuvent différer de l'évolution réelle future de l'épidémie lorsque de nouvelles interventions (ou des interventions différentes) de santé publique sont mises en place.
- Les prédictions de notre modèle sont particulièrement sensibles:
 - aux **changements dans les comportements préventifs et les contacts**
 - aux potentiels **changements de transmissibilité du virus**
- Données manquantes importantes pour la modélisation:
 - séroprévalence dans la population générale
 - délais entre les résultats des tests et le début de l'enquête épidémiologique ainsi que la proportion des cas positifs pour lesquels il y a une enquête épidémiologique

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

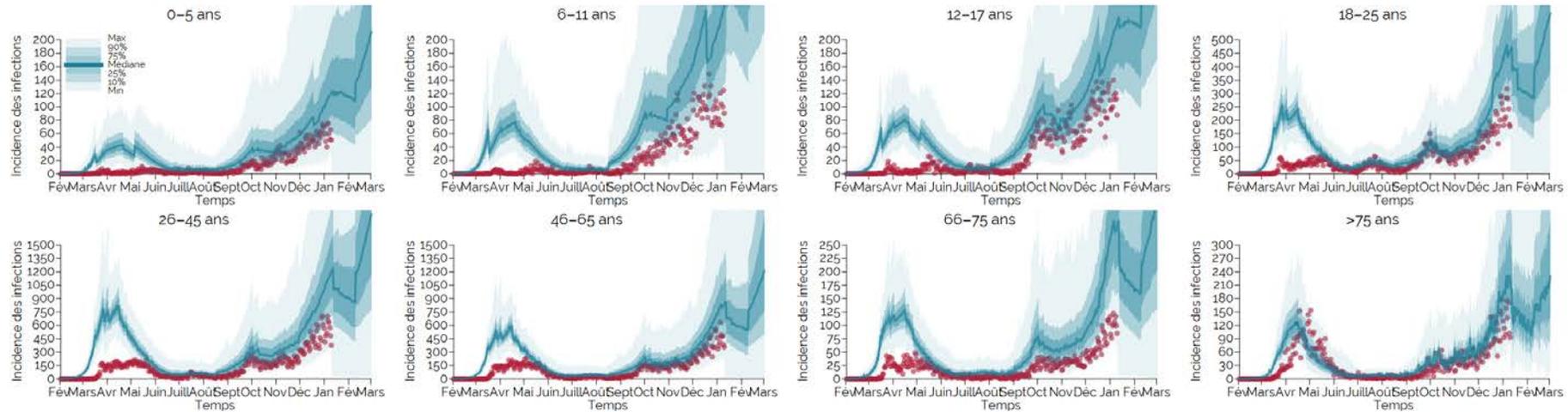
Analyse de sensibilité

Projections par âge

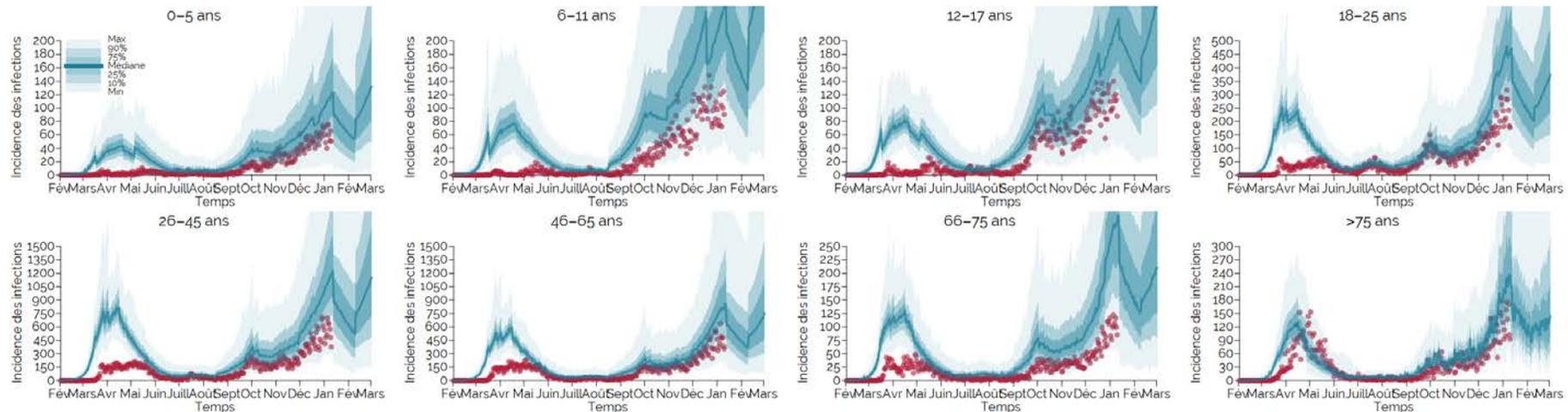
Évolution des cas liés à la COVID-19 par âge

Grand Montréal – nouveaux cas par jour

Scénario 2
Mesures du 8 jan – 8 fév



Scénario 3
Mesures du 8 jan – 8 fév
+
Fermeture des écoles

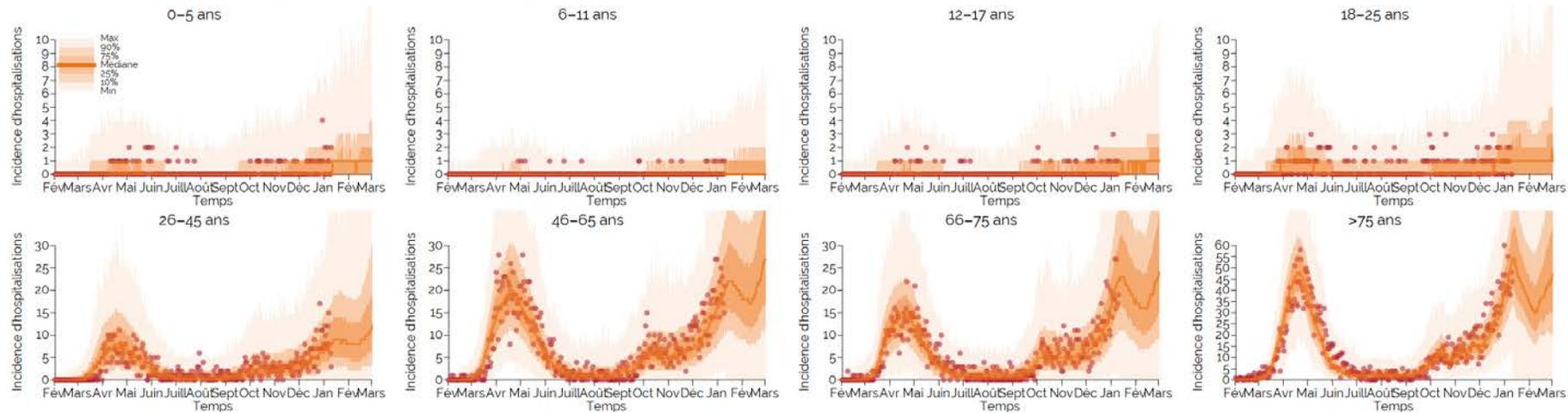


Points rouges, données INSPQ/MSSS. Les résultats représentent la médiane, min-max et les 10^e, 25^e, 75^e et 90^e percentiles des prédictions du modèle. Les prédictions pour les cas totaux représentent **tous les cas (cliniques et sous-cliniques)**; le nombre est plus élevé que les cas détectés (en rouge) 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.

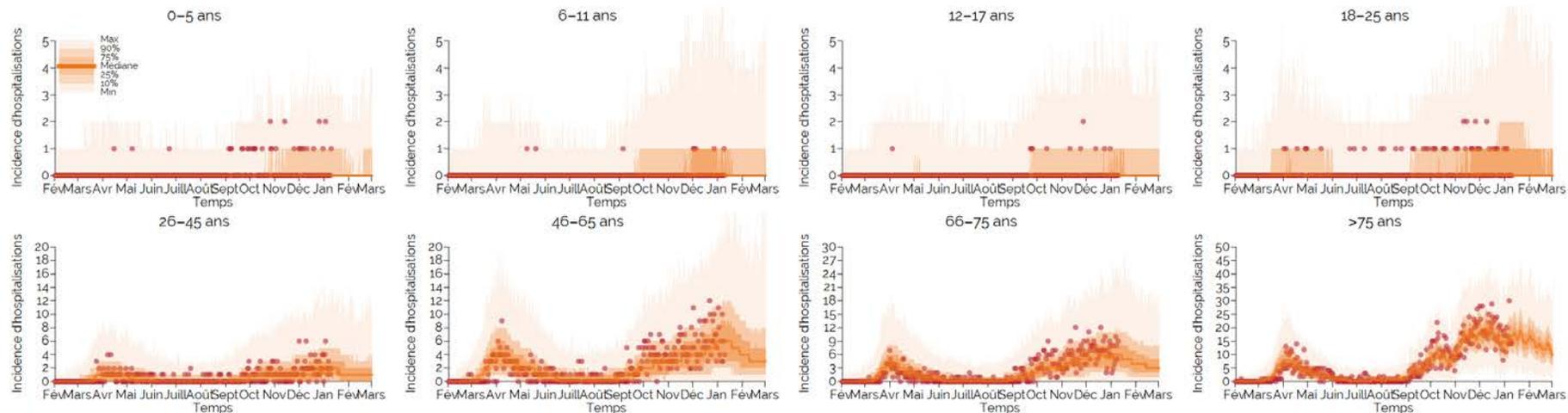
Évolution des hospitalisations liées à la COVID-19 par âge

Grand Montréal – nouvelles hospitalisations par jour

Scénario 2
Mesures du 8 jan – 8 fév



Scénario 3
Mesures du 8 jan – 8 fév
+
Fermeture des écoles

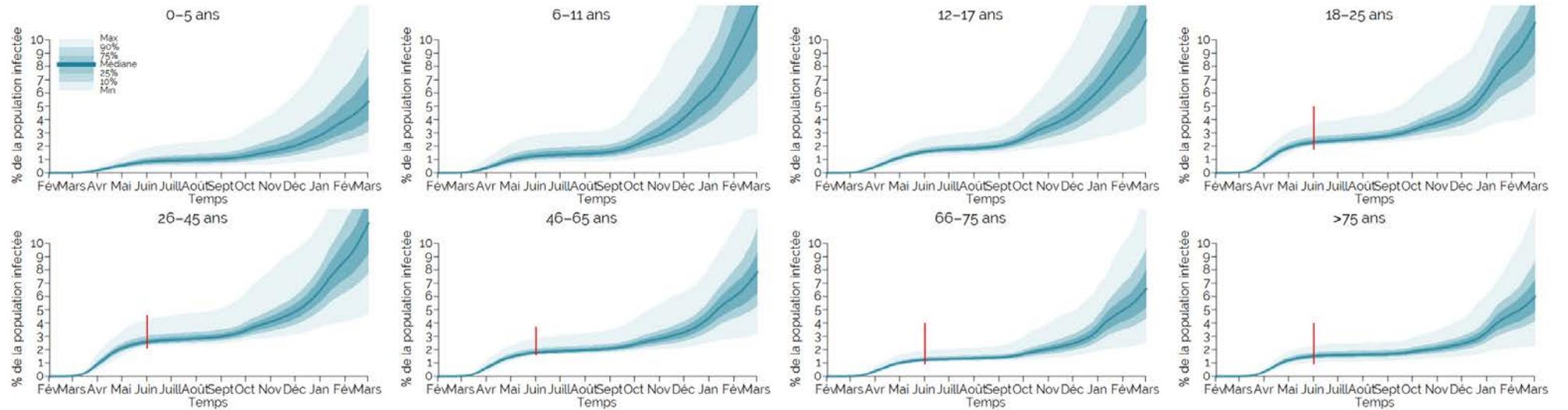


Points rouges. données INSPQ/MSSS. Les résultats représentent la médiane, min-max et les 10^e, 25^e, 75^e et 90^e percentiles des prédictions du modèle. Les prédictions pour les cas totaux représentent **tous les cas (cliniques et sous-cliniques)**; le nombre est plus élevé que les cas détectés (en rouge) 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.

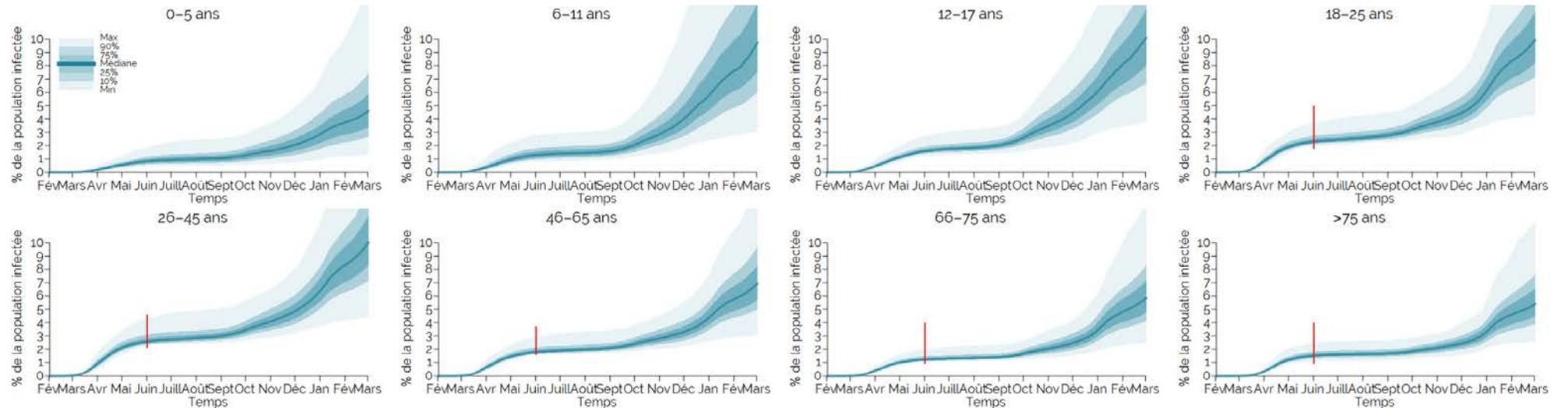
Évolution des infections liées à la COVID-19 par âge

Grand Montréal – % de la population infectée

Scénario 2
Mesures du 8 jan – 8 fév



Scénario 3
Mesures du 8 jan – 8 fév
+
Fermeture des écoles

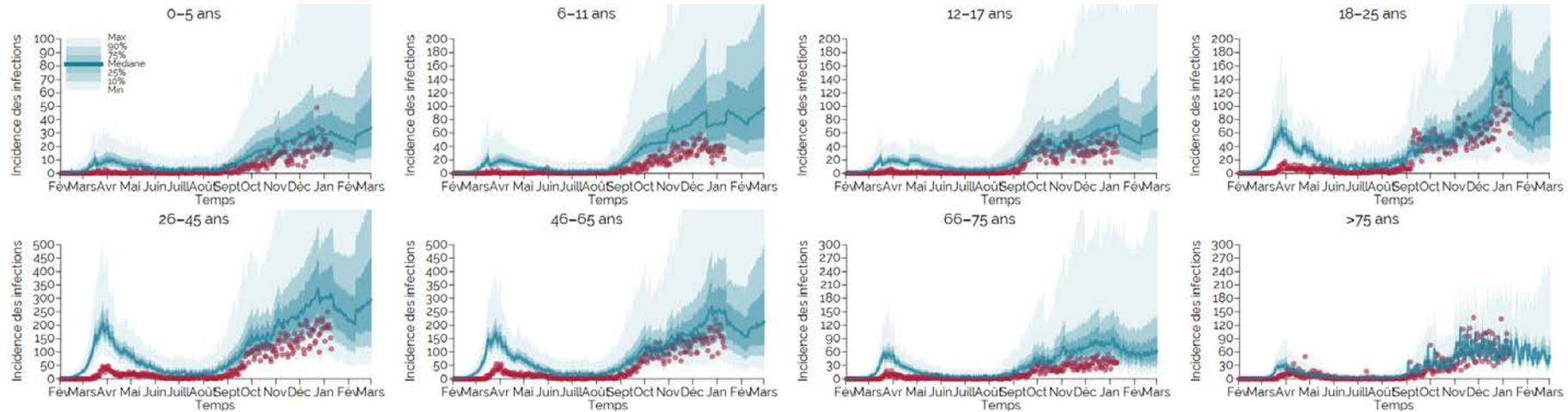


Points rouges. données INSPQ/MSSS. Les résultats représentent la médiane, min-max et les 10^e, 25^e, 75^e et 90^e percentiles des prédictions du modèle. Les prédictions pour les cas totaux représentent **tous les cas (cliniques et sous-cliniques)**; le nombre est plus élevé que les cas détectés (en rouge) 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.

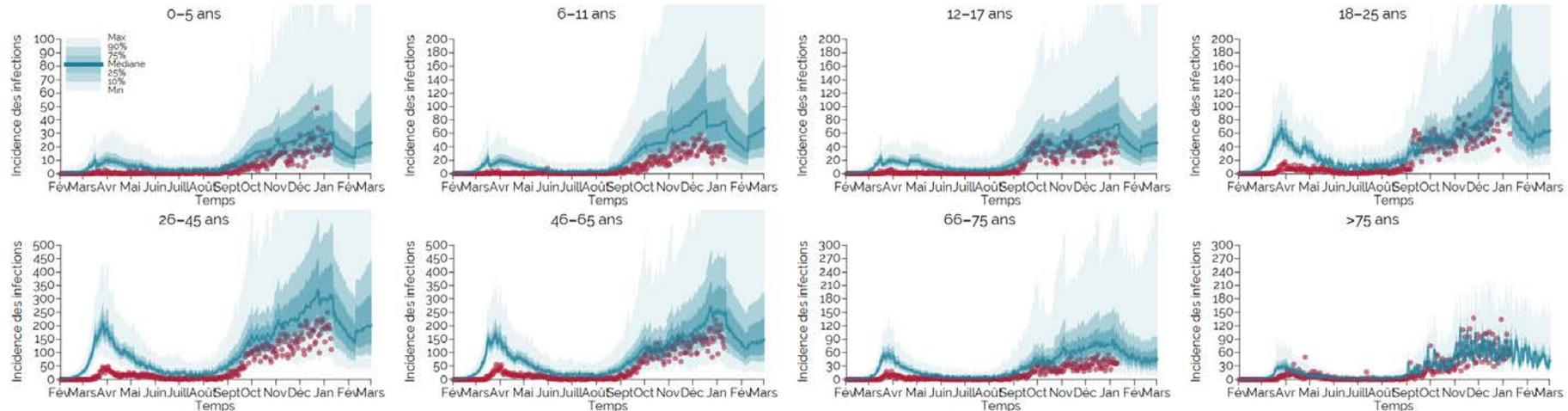
Évolution des cas liés à la COVID-19 par âge

Autres Régions – nouveaux cas par jour

Scénario 2
Mesures du 8 jan – 8 fév



Scénario 3
Mesures du 8 jan – 8 fév
+
Fermeture des écoles

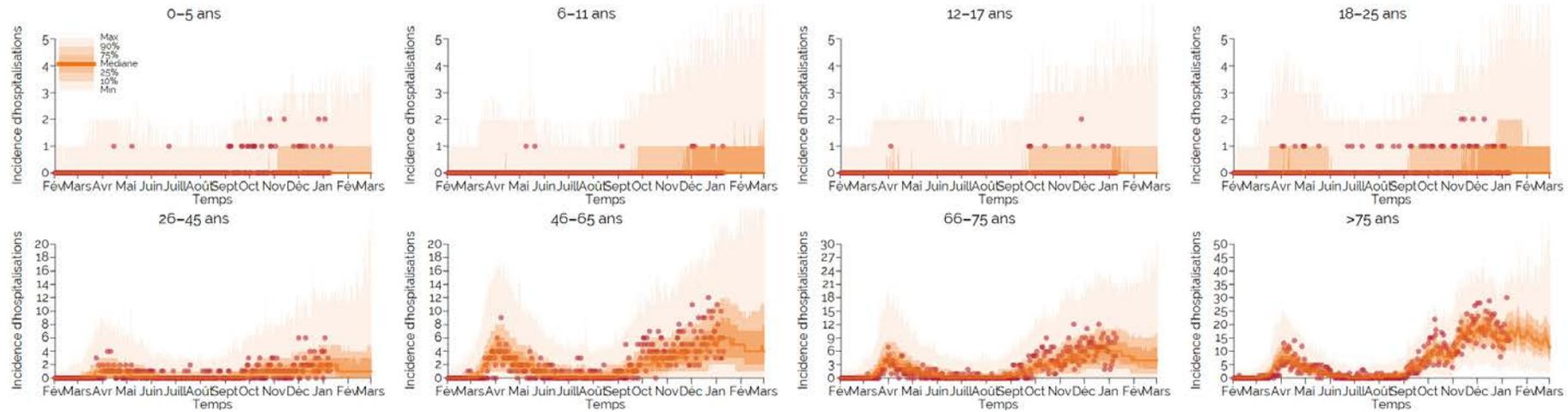


Points rouges. données INSPQ/MSSS. Les résultats représentent la médiane, min-max et les 10^e, 25^e, 75^e et 90^e percentiles des prédictions du modèle. Les prédictions pour les cas totaux représentent **tous les cas (cliniques et sous-cliniques)**; le nombre est plus élevé que les cas détectés (en rouge) 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.

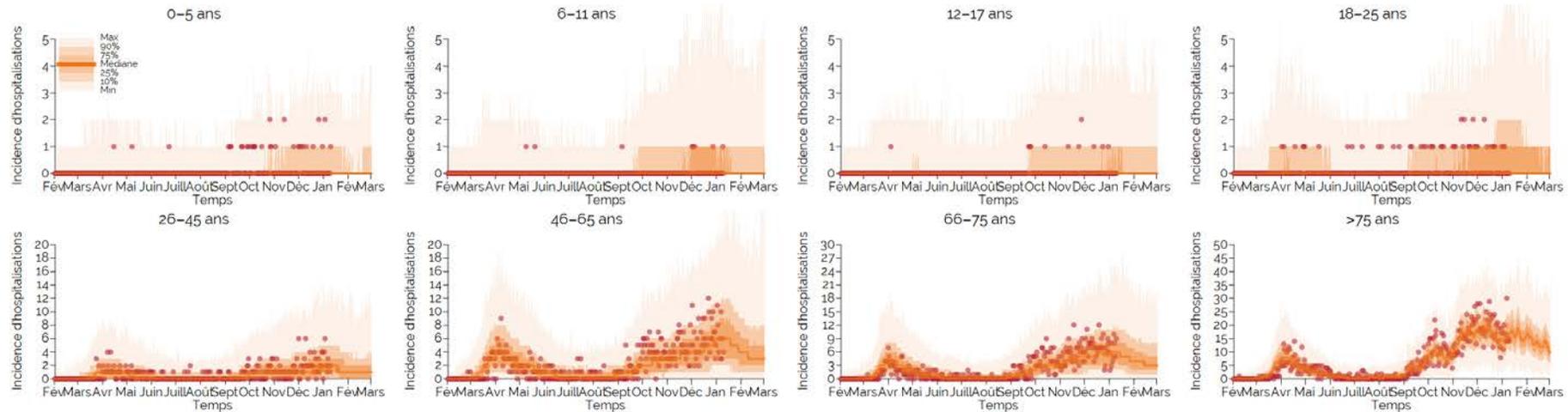
Évolution des hospitalisations liées à la COVID-19 par âge

Autres Régions – nouvelles hospitalisations par jour

Scénario 2
Mesures du 8 jan – 8 fév



Scénario 3
Mesures du 8 jan – 8 fév
+
Fermeture des écoles

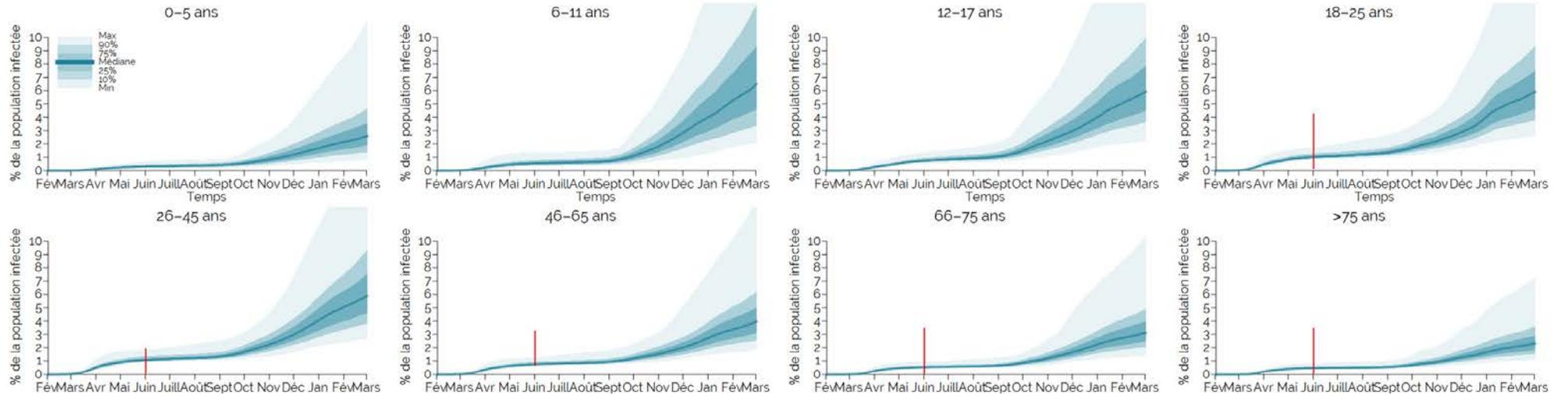


Points rouges, données INSPQ/MSSS. Les résultats représentent la médiane, min-max et les 10^e, 25^e, 75^e et 90^e percentiles des prédictions du modèle. Les prédictions pour les cas totaux représentent **tous les cas (cliniques et sous-cliniques)**; le nombre est plus élevé que les cas détectés (en rouge) 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.

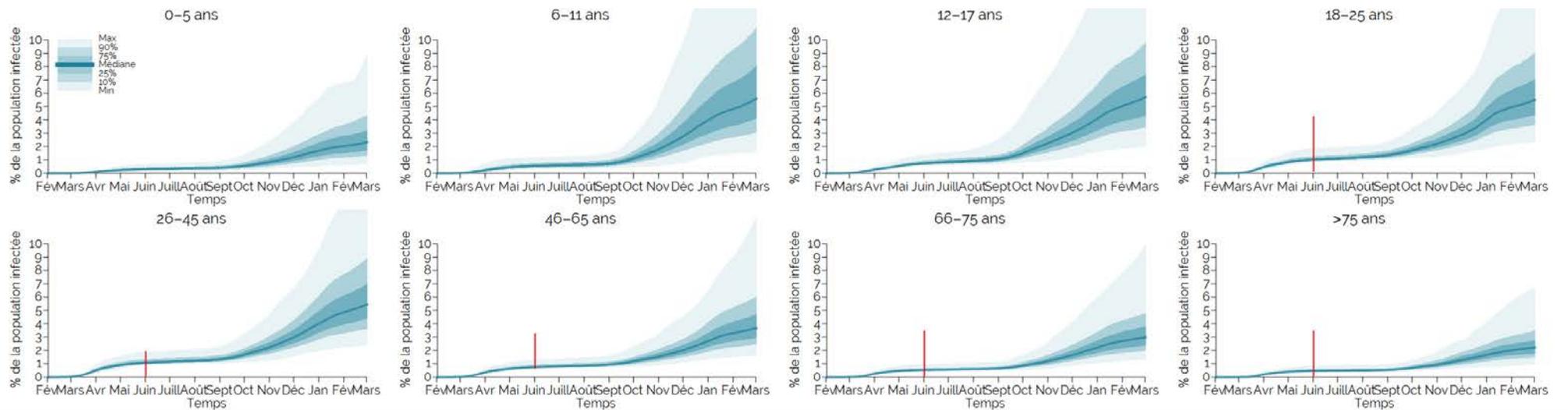
Évolution des infections liées à la COVID-19 par âge

Autres Régions – % de la population infectée

Scénario 2
Mesures du 8 jan – 8 fév



Scénario 3
Mesures du 8 jan – 8 fév
+
Fermeture des écoles

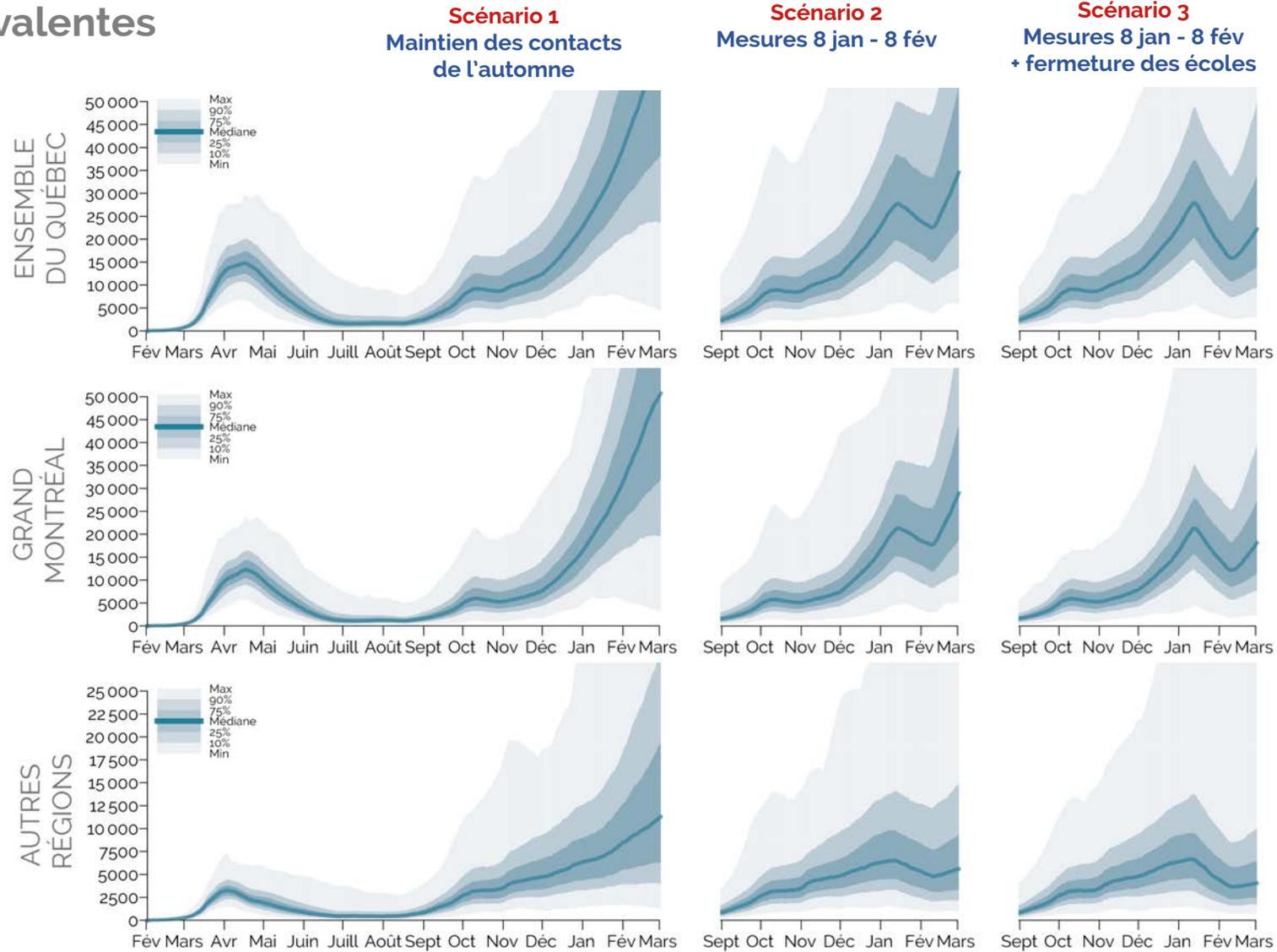


Points rouges. données INSPQ/MSSS. Les résultats représentent la médiane, min-max et les 10^e, 25^e, 75^e et 90^e percentiles des prédictions du modèle. Les prédictions pour les cas totaux représentent **tous les cas (cliniques et sous-cliniques)**; le nombre est plus élevé que les cas détectés (en rouge) 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.

Nombre d'infections prévalentes

Évolution de la COVID-19

Infections prévalentes



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.

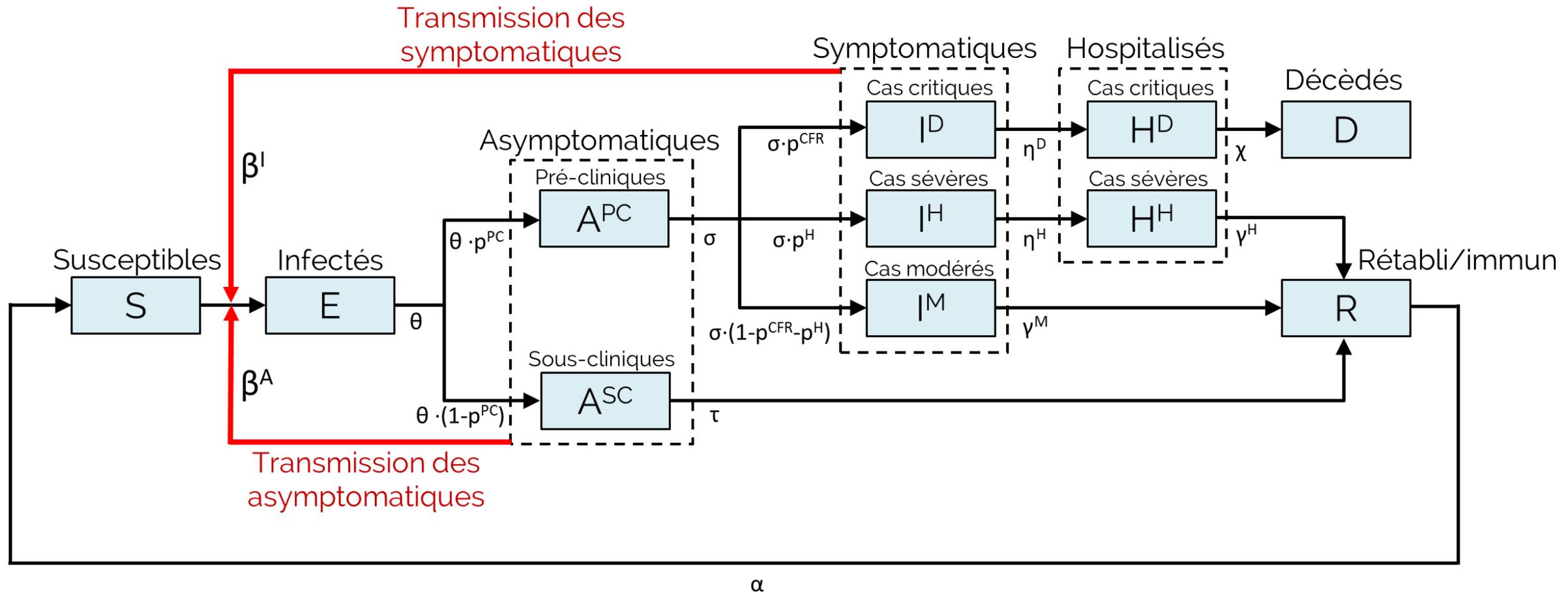
[3] Gillespie, D. T. (1976). *Journal of Computational Physics*. **22** (4): 403–434.

[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

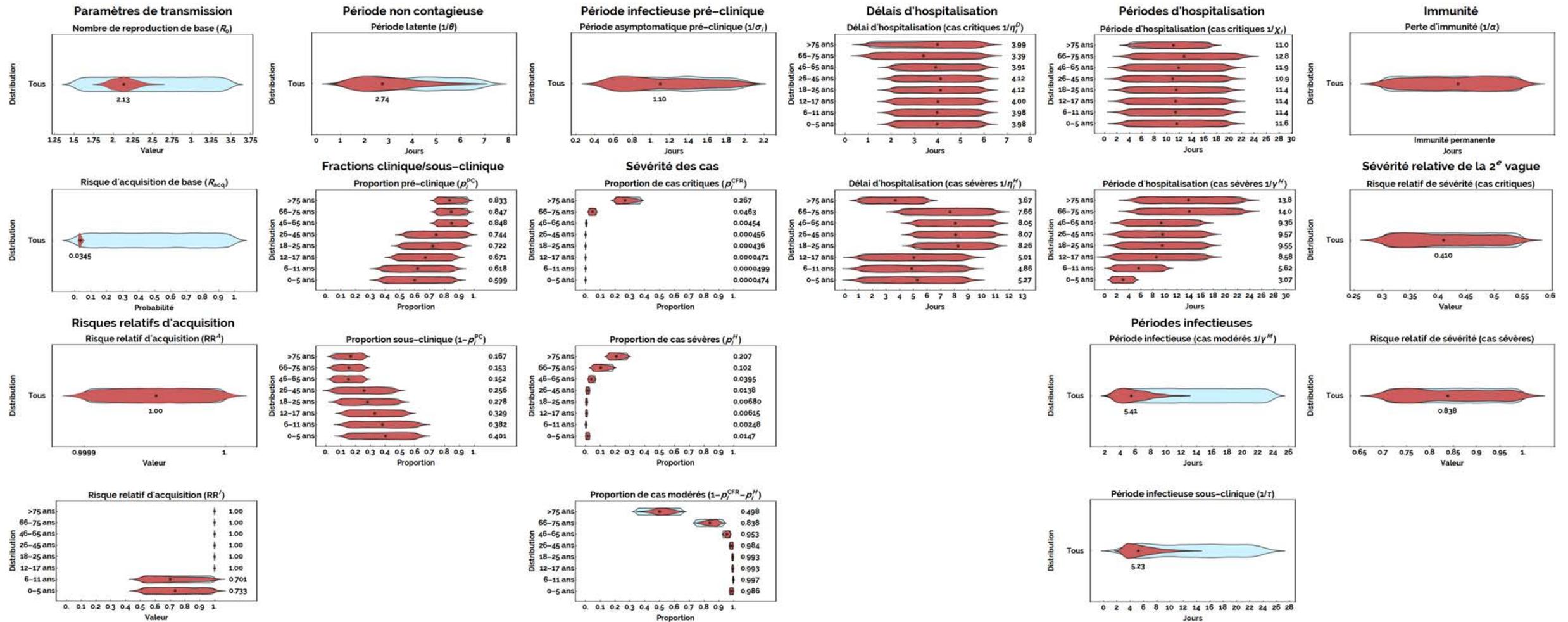
Diagrammes de flux – Modèle dynamique stochastique compartimental



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

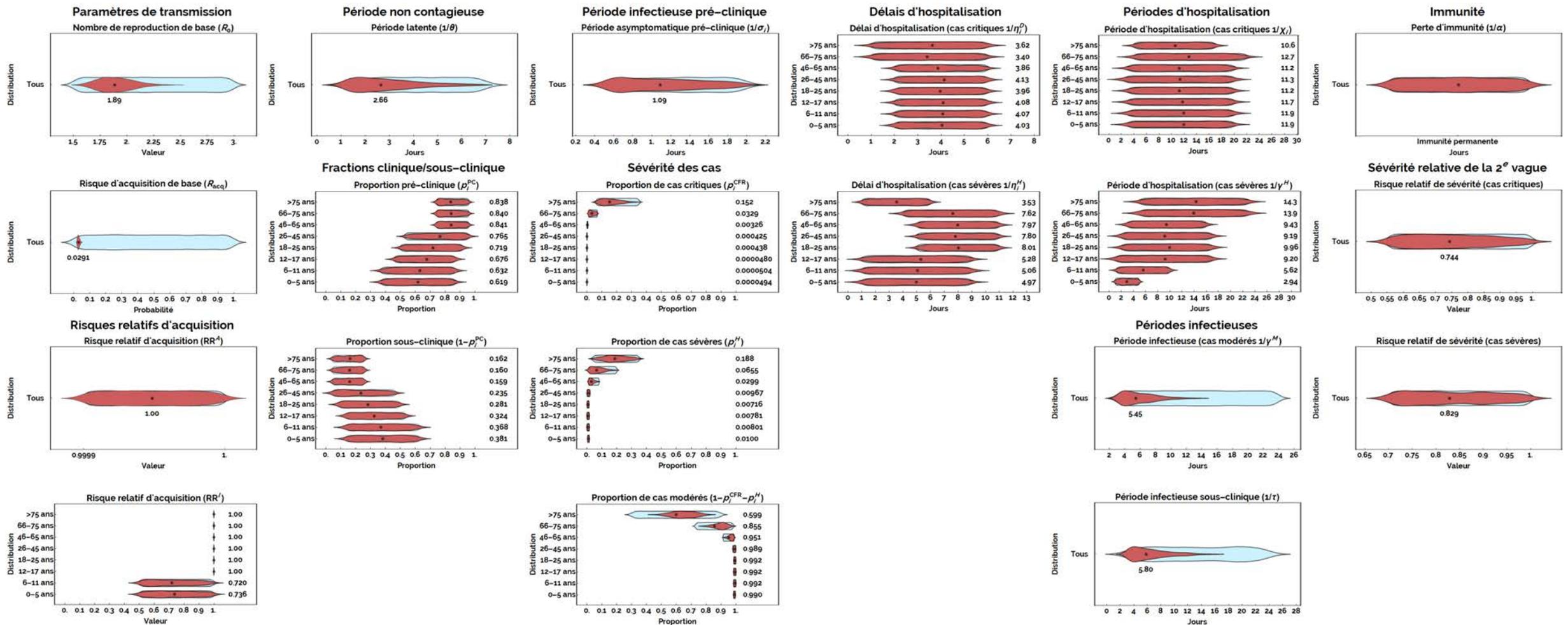
Grand Montréal



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 (distributions 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 (distributions a priori) tandis que les zones rouges montrent les distributions résultantes (distributions a posteriori) de toutes les simulations calibrées.

Paramètres – Cas importés

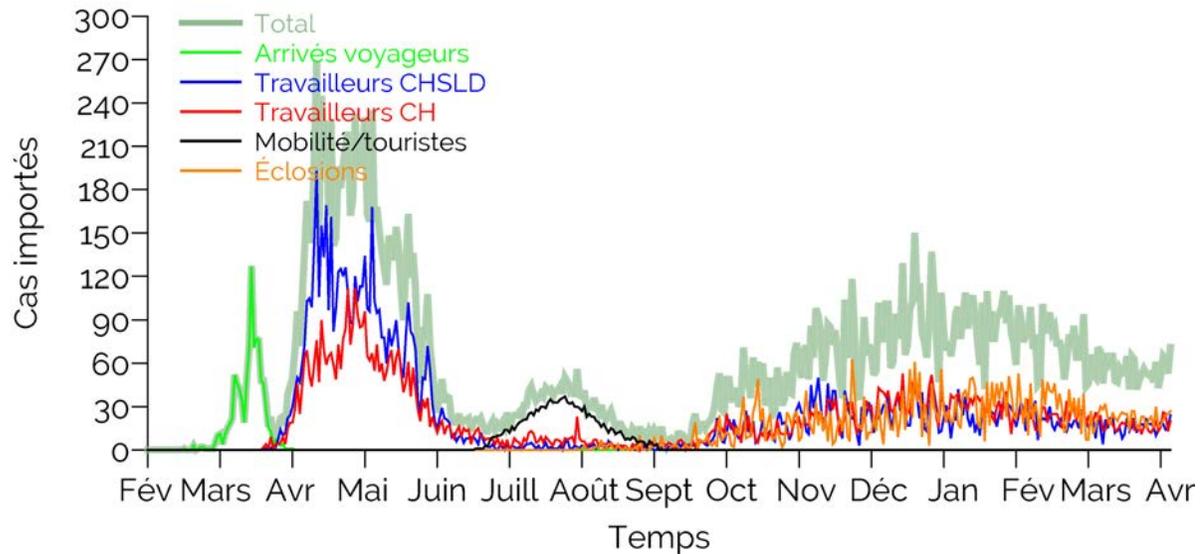
Voyageurs, travailleurs CHSLD/CH, déplacements inter-régionaux, éclosions

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

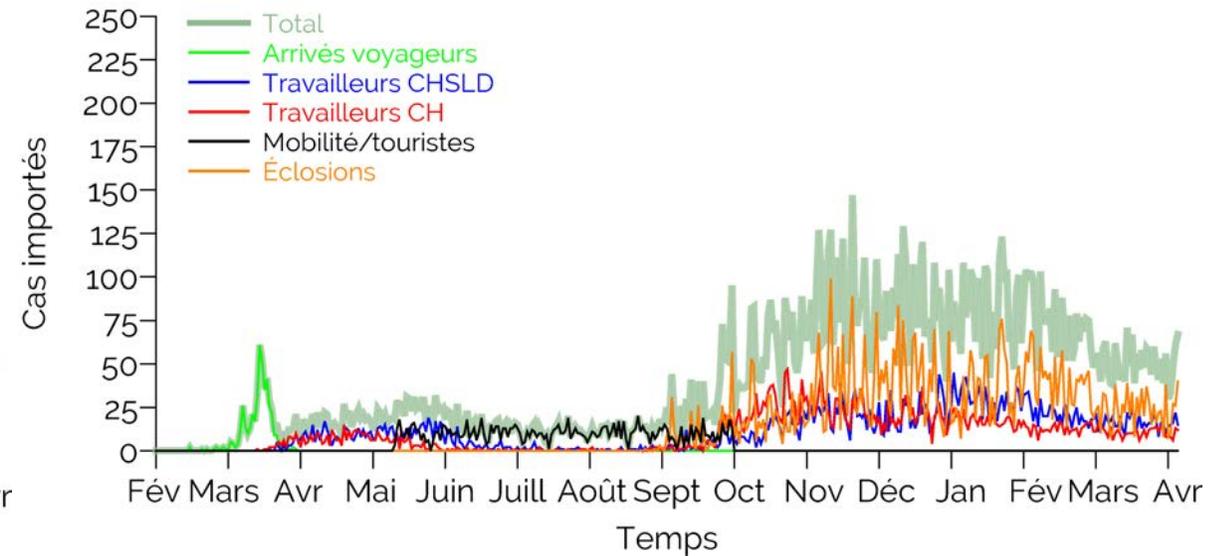
- Données des cas de retour de voyages à l'étranger au début de l'épidémie (mois de mars):
 - Pour amorcer l'épidémie au Québec, nous utilisons les données de cas positifs (dates de retour) lors de retour de voyageurs.
- Cas liés aux déplacements entre les régions pendant les vacances d'été (hypothèses 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 quotidien moyen de vaccination quotidienne (jusqu'à 75% de couverture vaccinale dans chaque groupe (efficacité de 90%)). Nous supposons un délai de 2 semaines pendant lequel il n'y a aucune (le temps de développer l'immunité).
- Les cas importés sont des cas précliniques qui peuvent ensuite s'isoler, être hospitalisés et/ou décéder.

Modélisation des scénarios d'éclotions majeures en milieu de soins

Grand Montréal



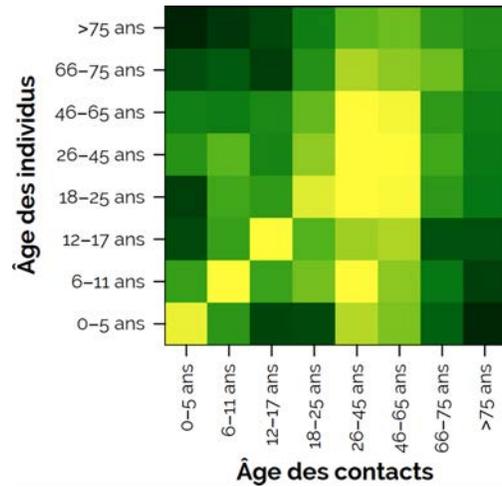
Autres régions



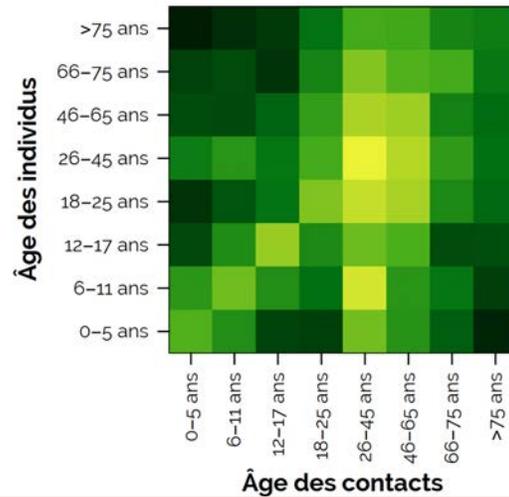
Modélisation des contacts entre les individus selon l'âge

Matrices de contacts à travers le temps ex: Grand Montréal

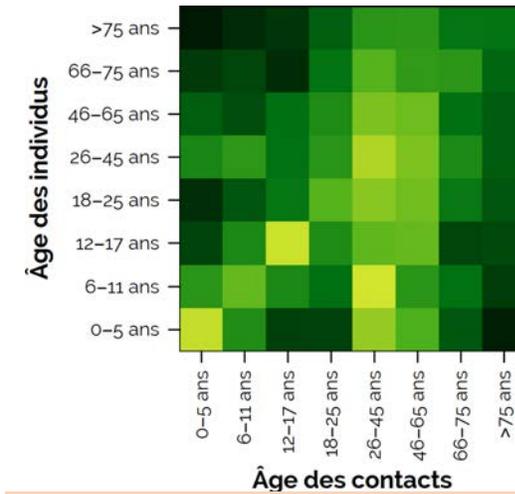
Pré-Covid



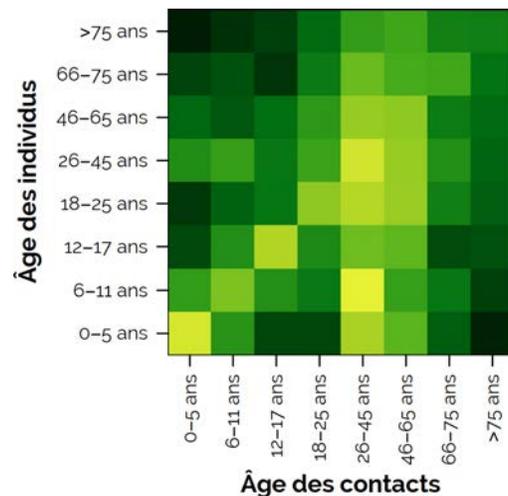
Confinement: 13 mars au 14 avril



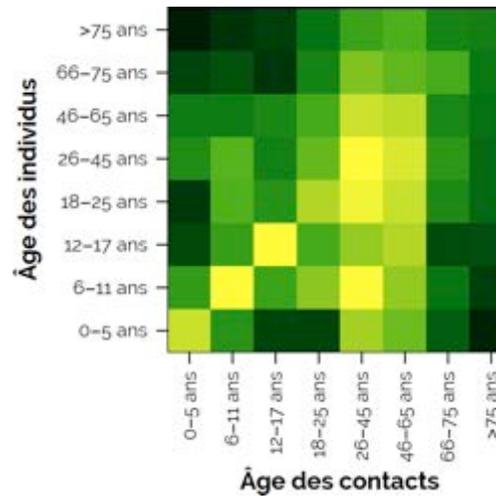
Déconfinement graduel: 15 avril au 22 juin



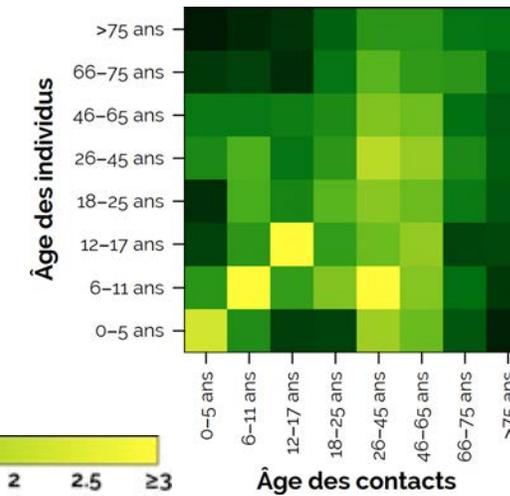
Été: 23 juin au 23 août



Retour école/travail: 24 août au 30 sept



Mesures zone rouge: 1 oct-28 Oct

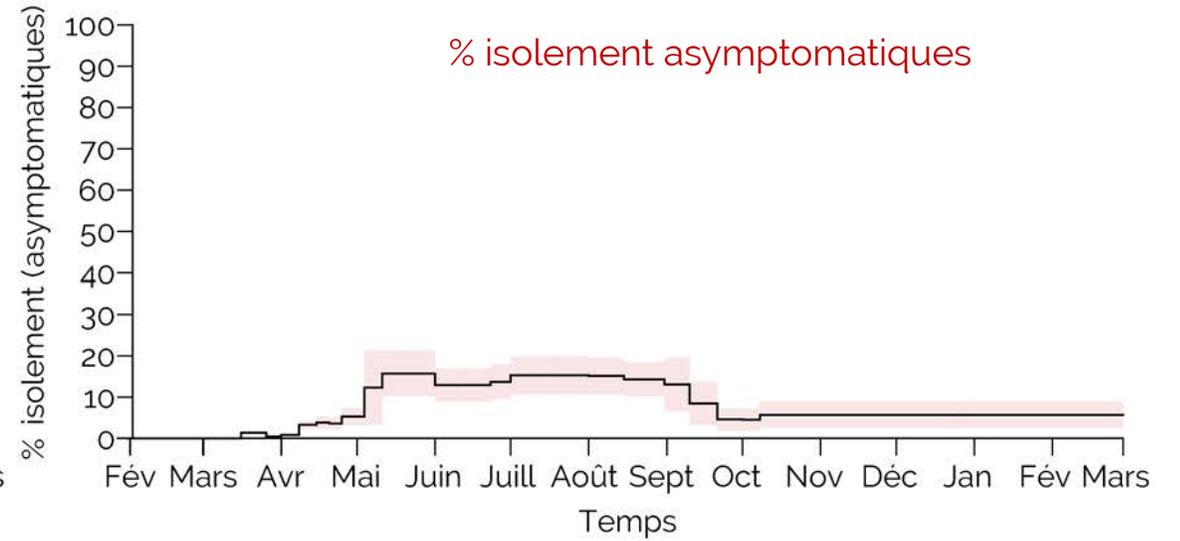
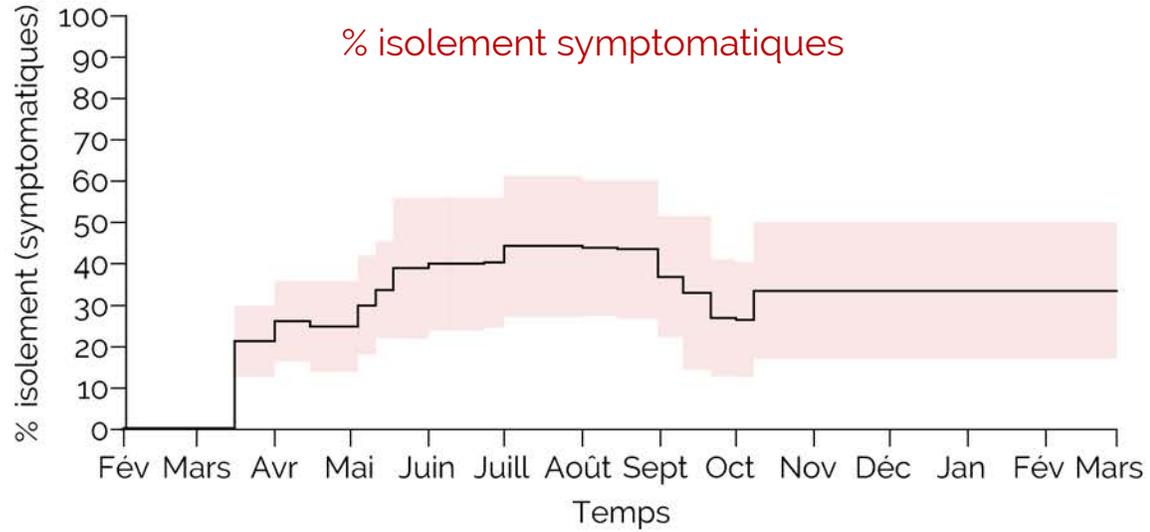


Dépistage

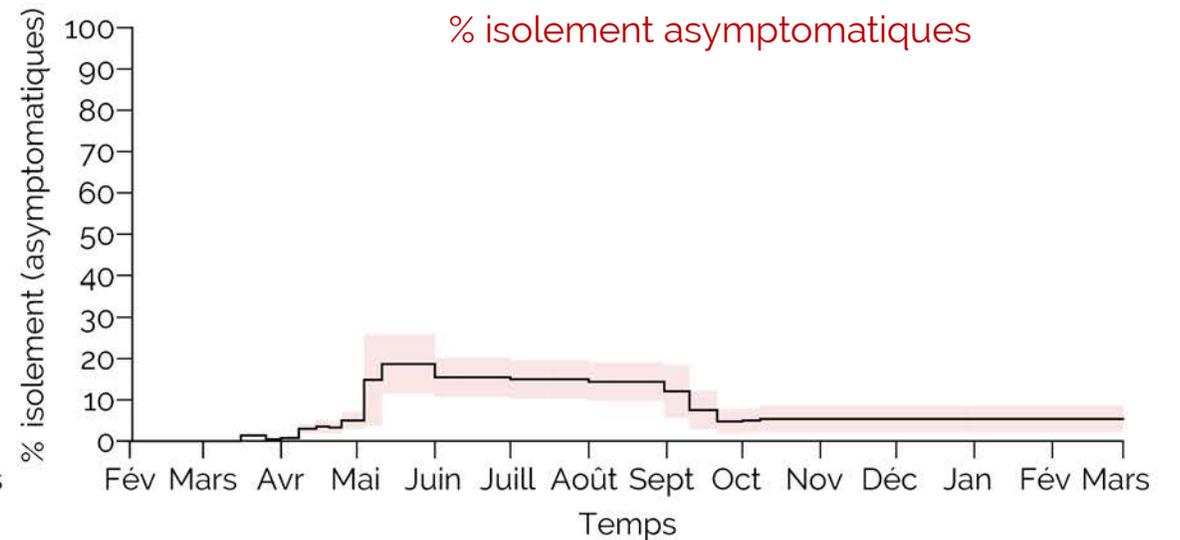
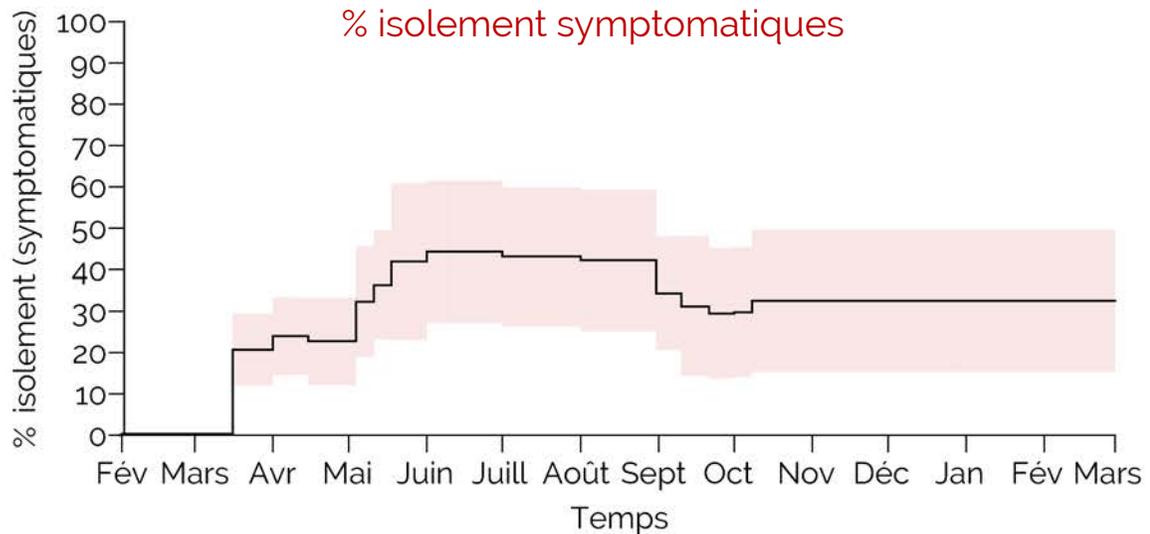
- **Le dépistage a pour objectif de réduire le nombre de contacts d'une personne infectée dans la communauté en augmentant le nombre de jours infectieux isolés**
 - L'amélioration du dépistage, du traçage et de l'isolement pourrait se faire par:
 1. une augmentation de la proportion des cas dépistés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

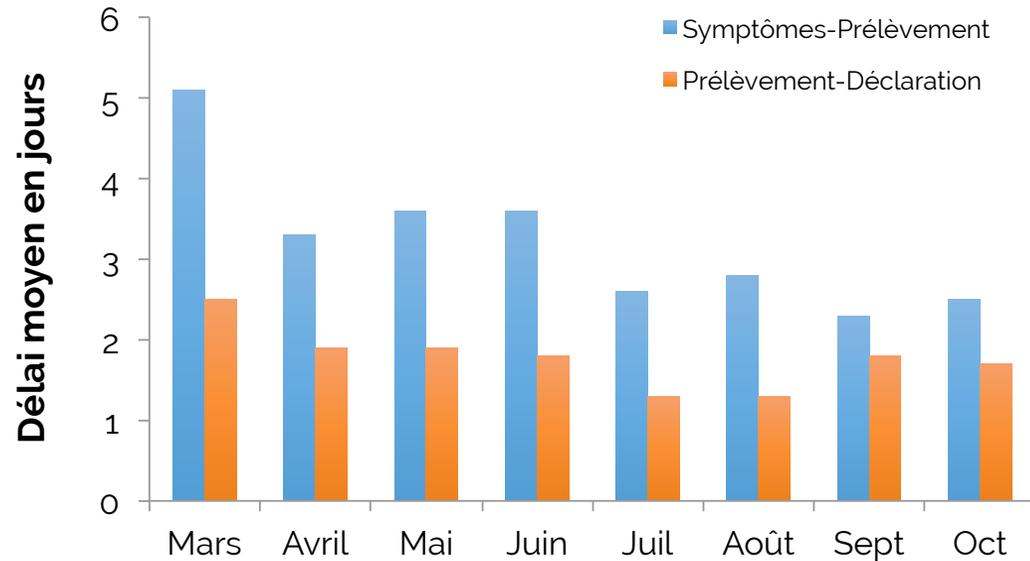


- **Autres Régions**

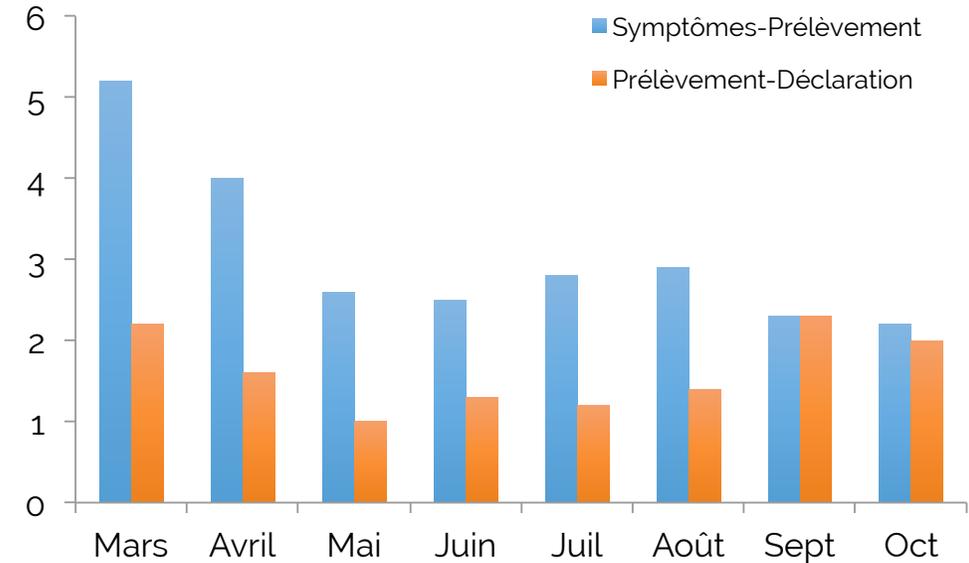


Délais entre le début des symptômes, le test et la déclaration du résultat

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 »
- CONNECT₂, 3 et 4 - 2020:
 - Même méthodologie que CONNECT₁
 - CONNECT₂ (21 avril – 25 mai)
 - CONNECT₃ (3 juillet – 31 octobre 2020)
 - CONNECT₄ (6 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 – 31 octobre 2020	6 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
 - Télétravail
- 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	Mêmes mesures que les secteurs économiques
22 juin	Arénas, piscines, gym	<ul style="list-style-type: none">• format entraînement seulement au début, match (22 juin)

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 visièrre 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,