



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

Mise à jour du rapport 6



Objectifs

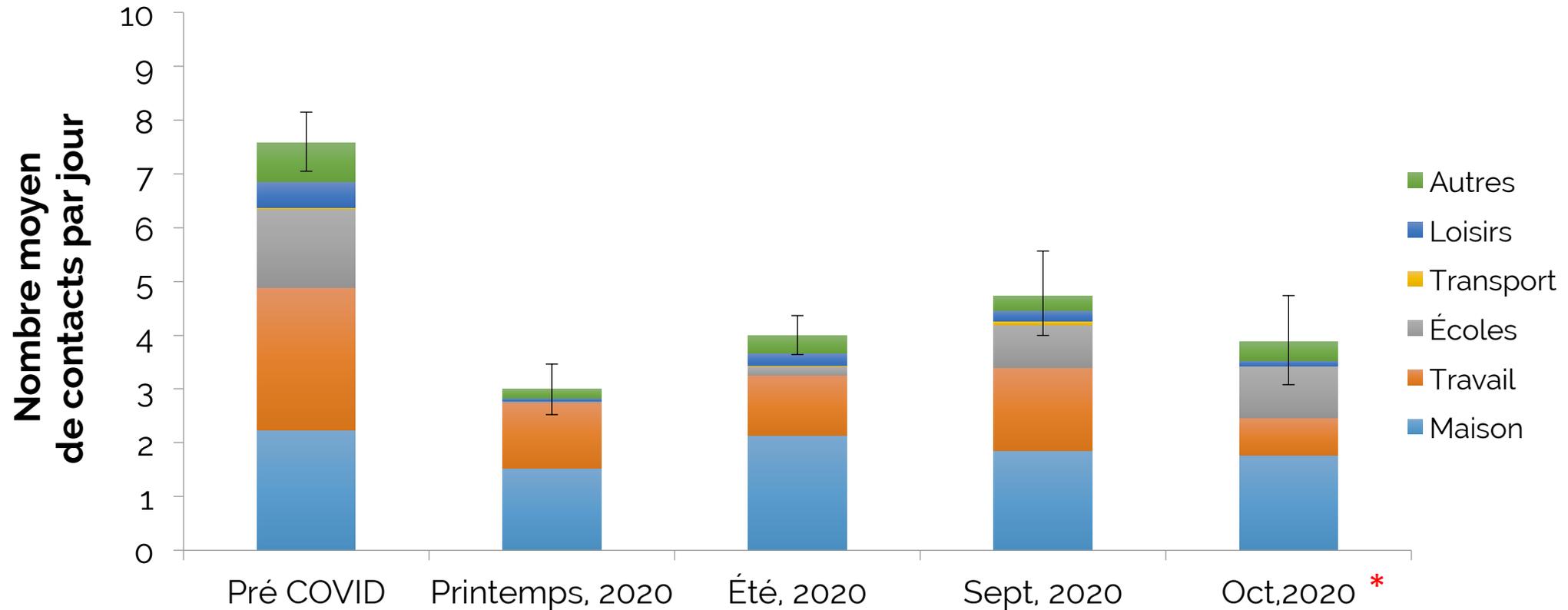
- Prédire l'évolution potentielle de l'épidémie de la COVID-19 au Québec
- Examiner l'impact potentiel de l'amélioration du dépistage, du traçage et de l'isolement des cas sur l'évolution de l'épidémie de la COVID-19

Mise en contexte

Contacts sociaux

Évolution des contacts sociaux dans le temps

Étude CONNECT - Tout le Québec

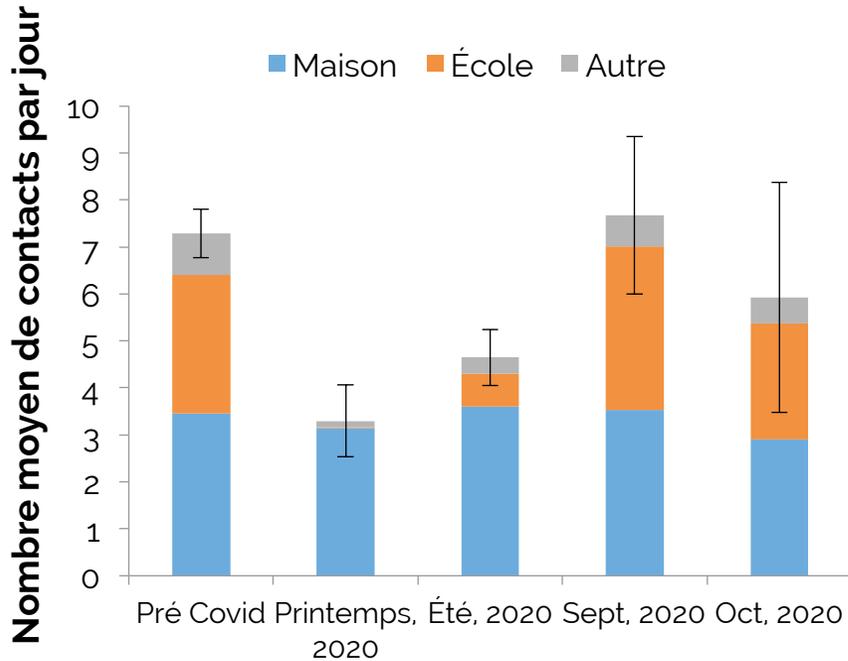


- Augmentation des contacts jusqu'à un pic en septembre:
 - 16% d'augmentation en septembre vs l'été
- Tendance à la diminution des contacts durant les 2 premières semaines d'octobre vs septembre:
 - 18% de diminution (1 contact de moins) durant les 2 premières semaines d'octobre vs septembre

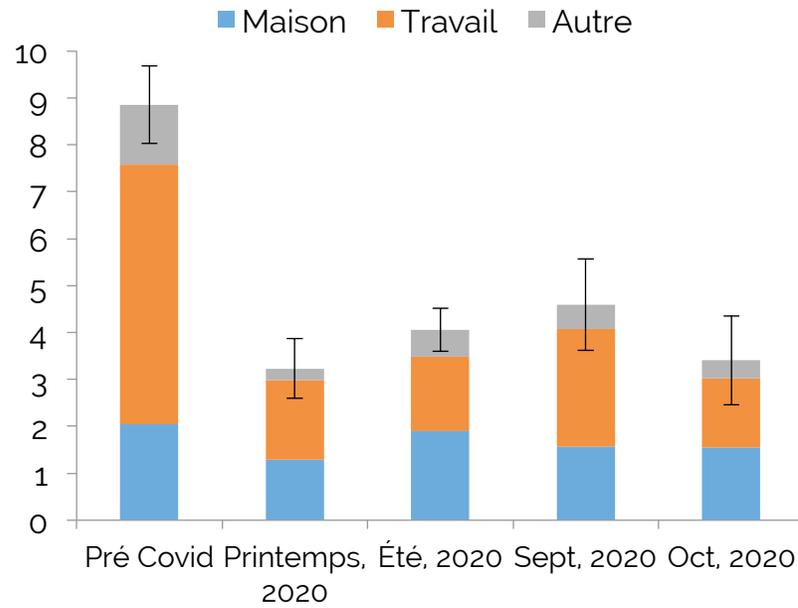
Évolution des contacts sociaux dans le temps

Tout le Québec par âge

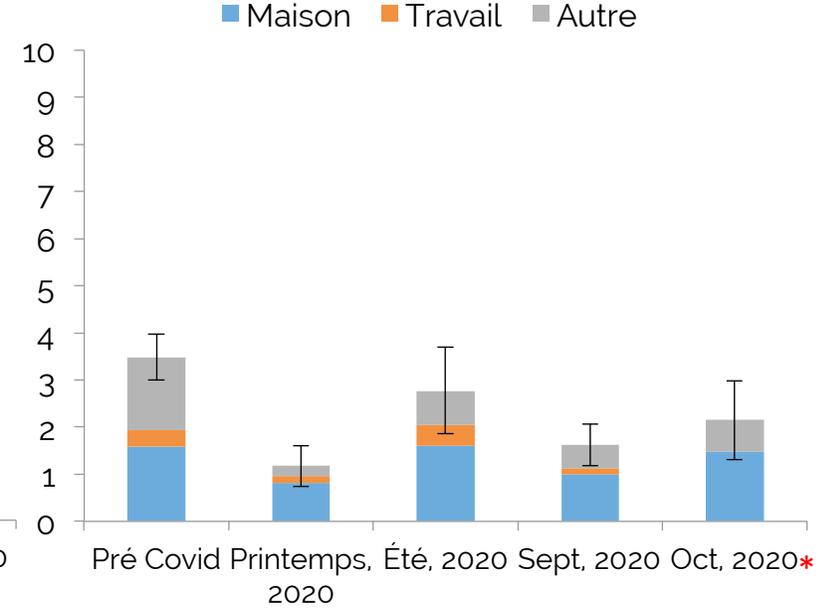
0-17 ans



18-65 ans



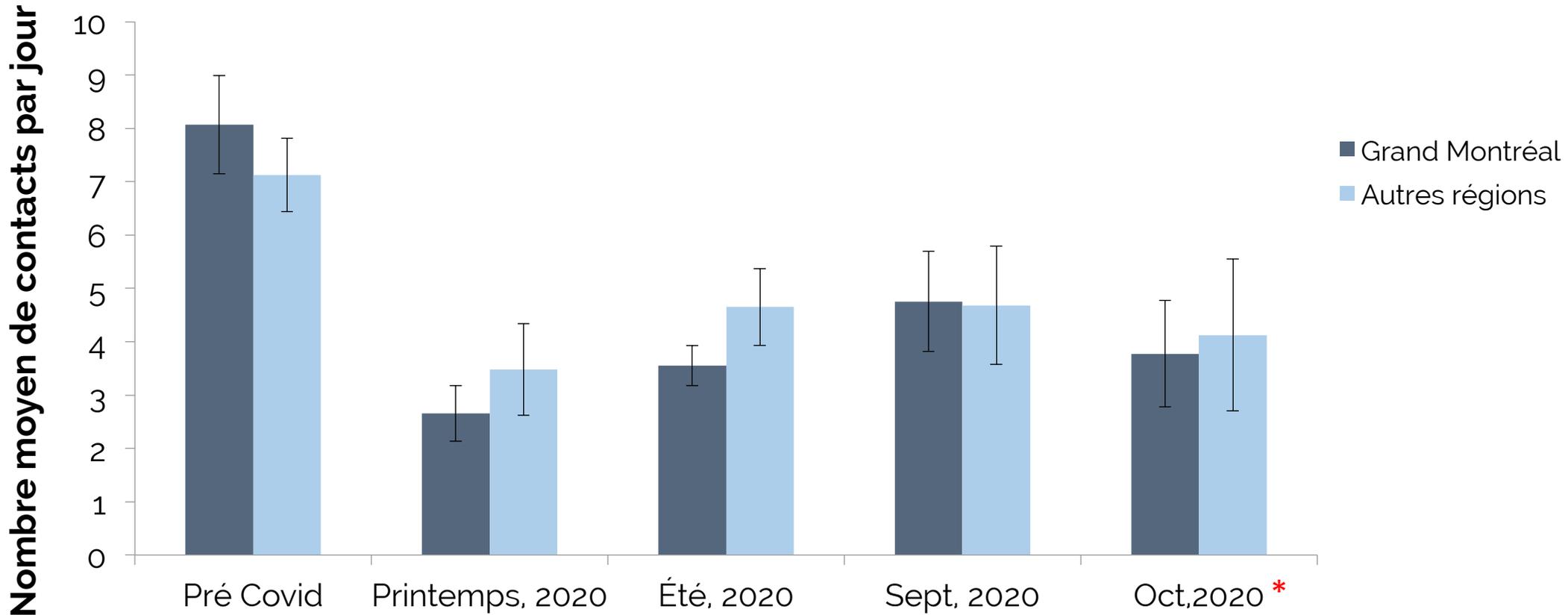
>65 ans



- 0-17 ans: Augmentation significative des contacts en septembre avec le retour à l'école vs l'été
Diminution des contacts en octobre vs septembre
- 18-65 ans: Augmentation des contacts en septembre avec le retour au travail vs l'été
Diminution des contacts en octobre vs septembre
- 0-65 ans: Augmentation significative des contacts en septembre avec le retour à l'école et au travail vs l'été
Diminution significative des contacts en octobre vs septembre
- > 65 ans : Diminution significative des contacts en septembre vs l'été, contacts stables en octobre

Évolution des contacts sociaux dans le temps

Grand Montréal vs Autres régions, contacts totaux



- Après le confinement du printemps, les contacts sociaux ont augmenté plus rapidement dans les Autres régions que dans le Grand Montréal
- En septembre, les nombres de contacts étaient similaires dans le Grand Montréal et les Autres régions
- La tendance à la diminution des contacts durant les 2 premières semaines d'octobre vs septembre est légèrement plus importante pour le Grand Montréal (21%) que pour les Autres régions (12%)

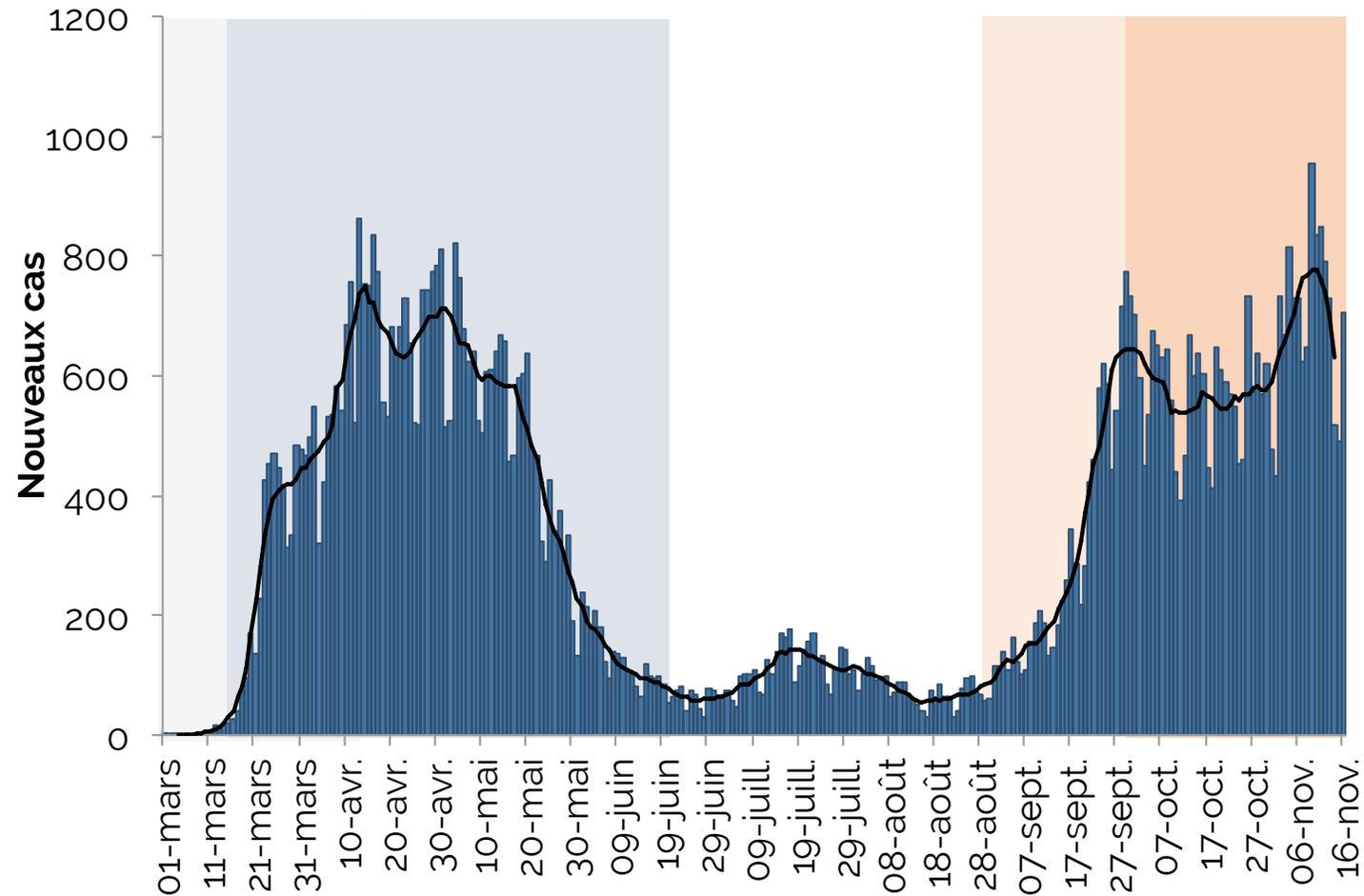
Données de CONNECT1 (Pré-Covid: 2018/2019), CONNECT2 (21 avril-25 mai), CONNECT3 (3 juillet-14 octobre). * Données du 1-14 octobre.

Les contacts au travail sont plafonnés à un maximum de 40 contacts par jour.

Modélisation mathématique de la COVID-19 au Québec

Évolution du nombre de cas

Selon les phases de l'épidémie
ex: Grand Montréal



Confinement: 13 mars au 14 avril

- Fermeture des écoles: 13 mars
- Loi des services essentiels: 26 mars

Déconfinement graduel: 15 avril au 22 juin

- Début: 15 avril
- Rétablissement graduel des contacts selon le calendrier de réouverture

Été: 23 juin au 23 août

- Port du masque obligatoire dans les lieux publics: 19 Juillet

Retour école et travail: 24 août au 30 Sept

- Retour de vacances, achats pour la rentrée scolaire, initiations, etc.: 24 août
- Rentrée scolaire: 28 août

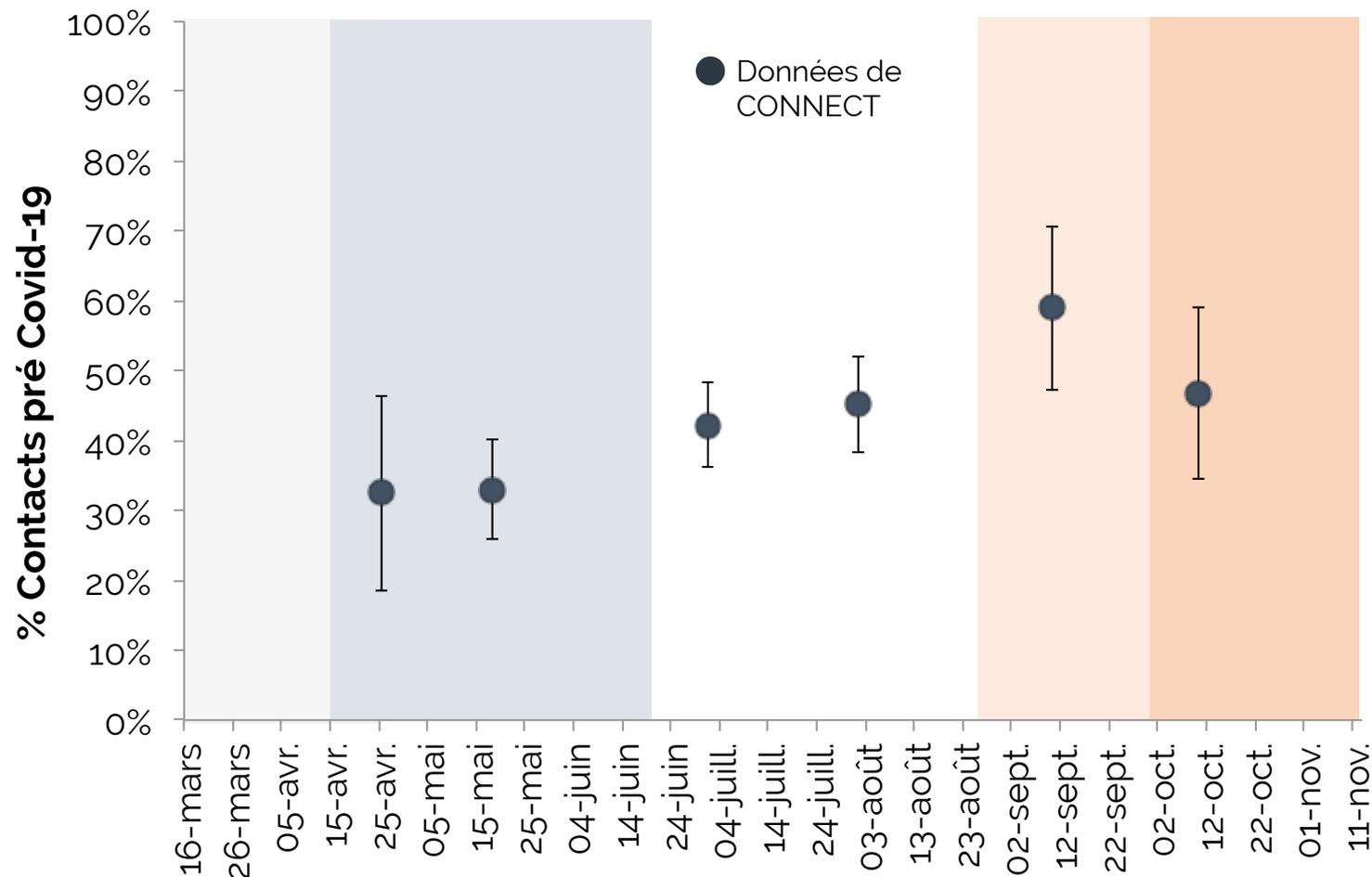
Mesures zone rouge: 1 octobre-

- Réduction des visites, fermeture bars/restos: 1 oct
- Mesures dans les écoles et loisirs: 8 oct

Modélisation des changements de contacts

Selon les phases de l'épidémie et les données de CONNECT

ex: Grand Montréal



Données de CONNECT (20 avril-23 mai, et 3 juillet-14 octobre).

Confinement: 13 mars au 14 avril

- Fermeture des écoles: 13 mars
- Loi des services essentiels: 26 mars

Déconfinement graduel: 15 avril au 22 juin

- Début: 15 avril
- Rétablissement graduel des contacts selon le calendrier de réouverture

Été: 23 juin au 23 août

- Port du masque obligatoire dans les lieux publics: 19 Juillet

Retour école et travail: 24 août au 30 Sept

- Retour de vacances, achats pour la rentrée scolaire, initiations, etc.: 24 août
- Rentrée scolaire: 28 août

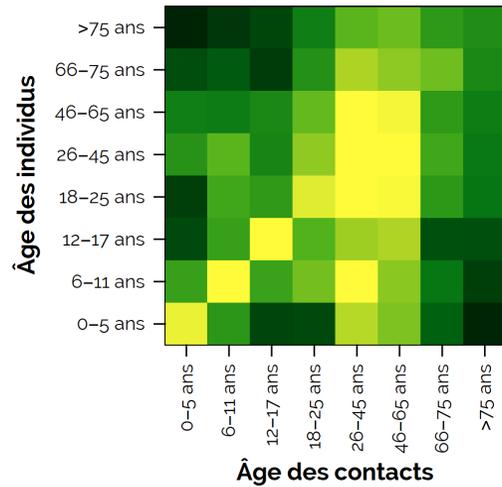
Mesures zone rouge: 1 octobre-

- Réduction des visites, fermeture bars/restos: 1 oct
- Mesures dans les écoles et loisirs: 8 oct

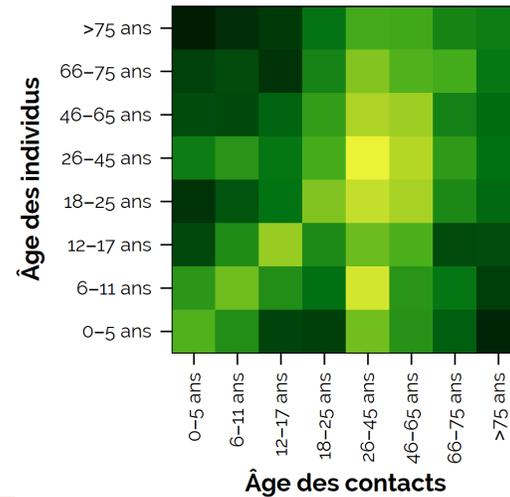
Modélisation des contacts entre les individus selon l'âge

Matrices de contacts à travers le temps ex: Grand Montréal

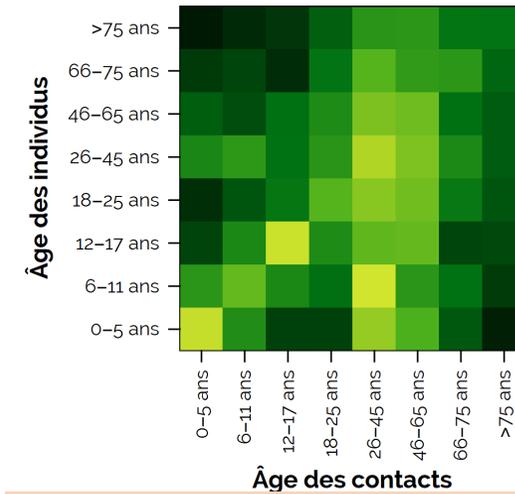
Pré Covid



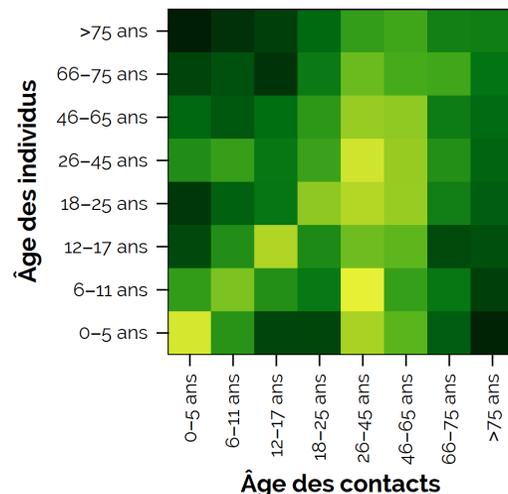
Confinement: 13 mars au 14 avril



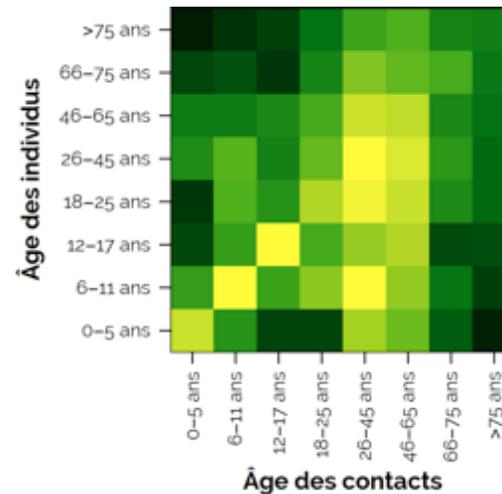
Déconfinement graduel: 15 avril au 22 juin



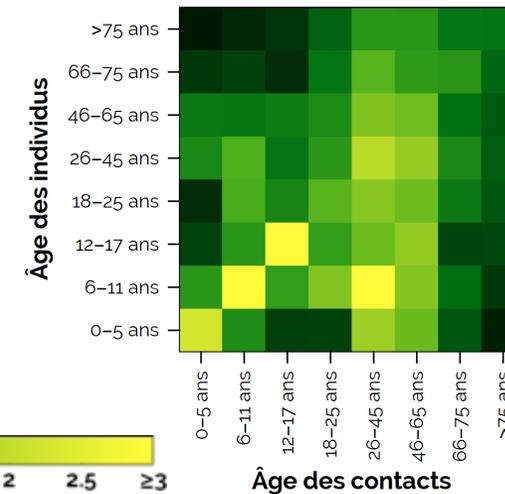
Été: 23 juin au 23 août



Retour école/travail: 24 août au 30 sept



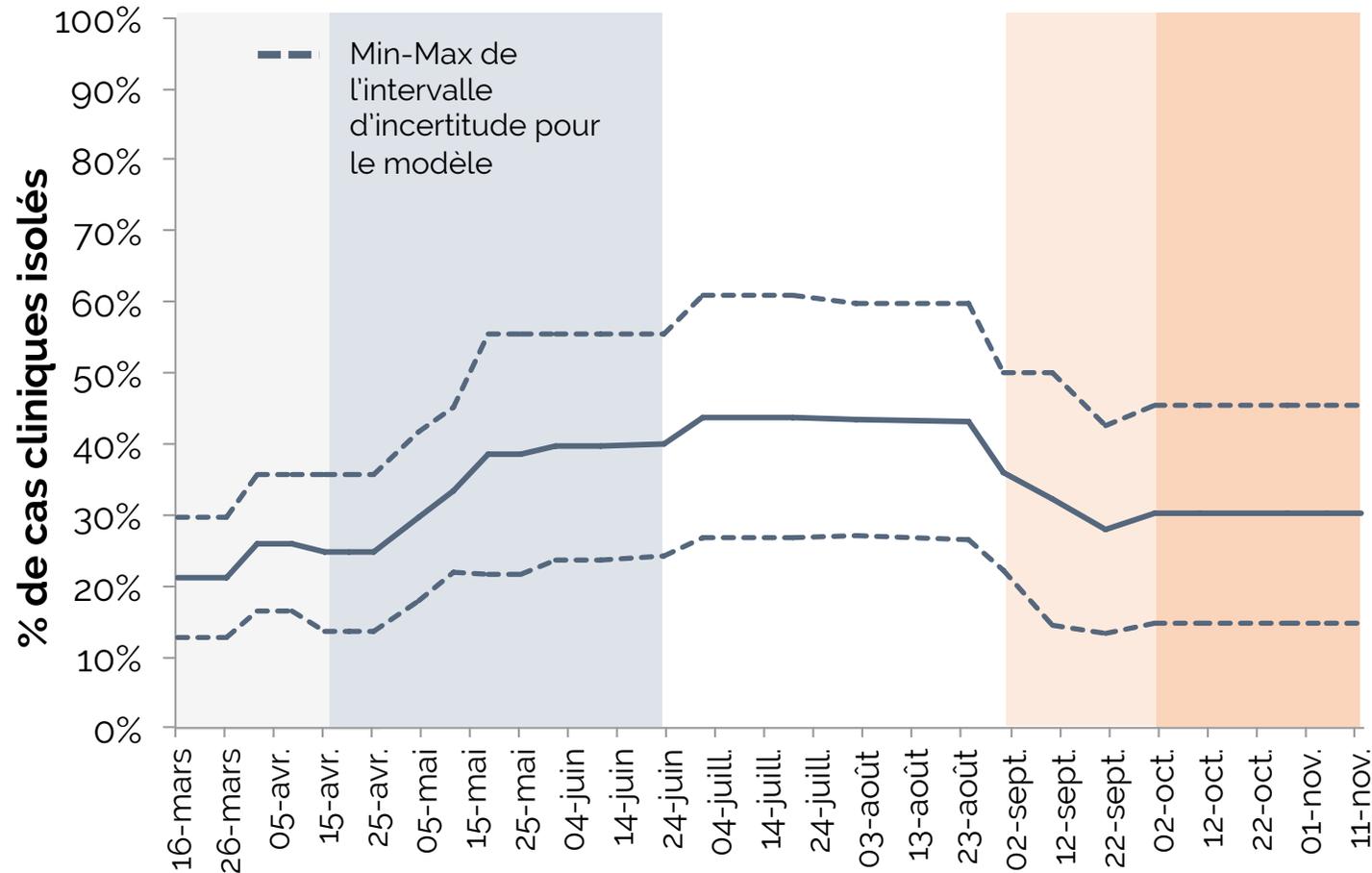
Mesures zone rouge: 1 oct-



Modélisation de l'isolement

Fonction du délai entre les symptômes et l'enquête épidémiologique et % de cas dépistés/isolés

ex: Grand Montréal



Confinement: 13 mars au 14 avril

- Fermeture des écoles: 13 mars
- Loi des services essentiels: 26 mars

Déconfinement graduel: 15 avril au 22 juin

- Début: 15 avril
- Rétablissement graduel des contacts selon le calendrier de réouverture

Été: 23 juin au 23 août

- Port du masque obligatoire dans les lieux publics: 19 Juillet

Retour école et travail: 24 août au 30 sept

- Retour de vacances, achats pour la rentrée scolaire, initiations, etc.: 24 août
- Rentrée scolaire: 28 août

Mesures zone rouge: 1 octobre-

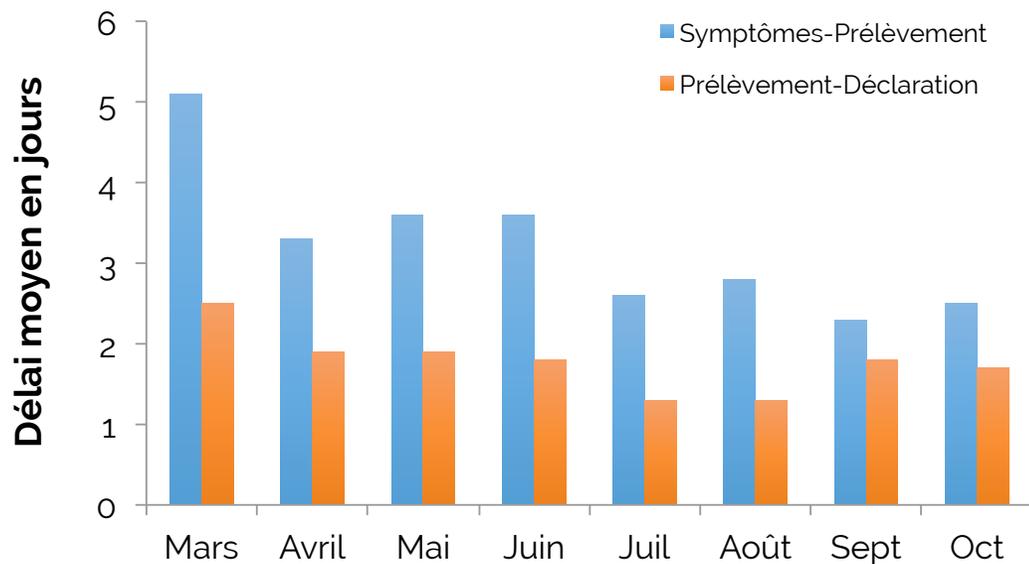
- Réduction des visites, fermeture bars/restos: 1 oct
- Mesures dans les écoles et loisirs: 8 oct

Dépistage

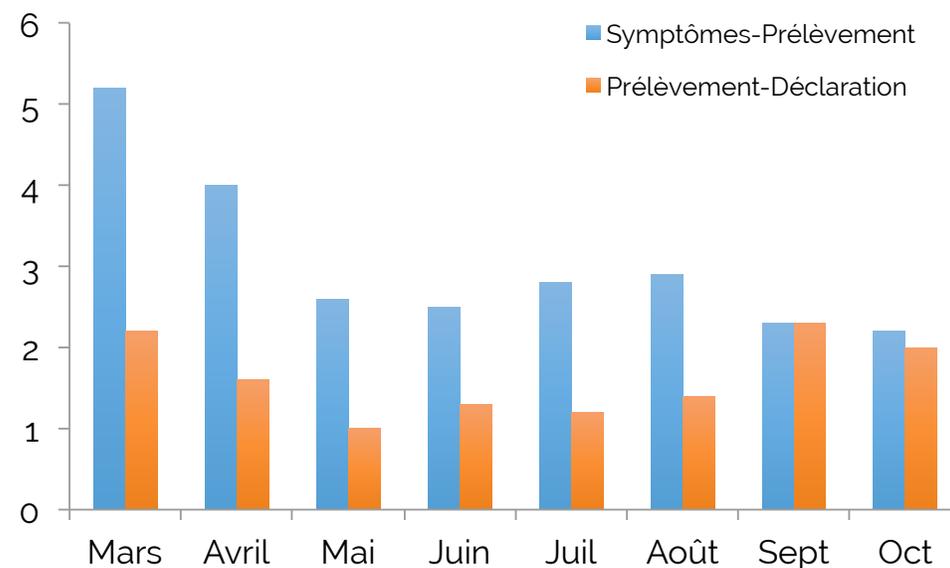
- **Le dépistage a pour objectif de réduire le nombre de contacts d'une personne infectée dans la communauté en augmentant le nombre de jours infectieux isolés**
 - L'amélioration du dépistage, du traçage et de l'isolement pourrait se faire par:
 1. une augmentation de la proportion des cas dépistés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

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

Grand Montréal



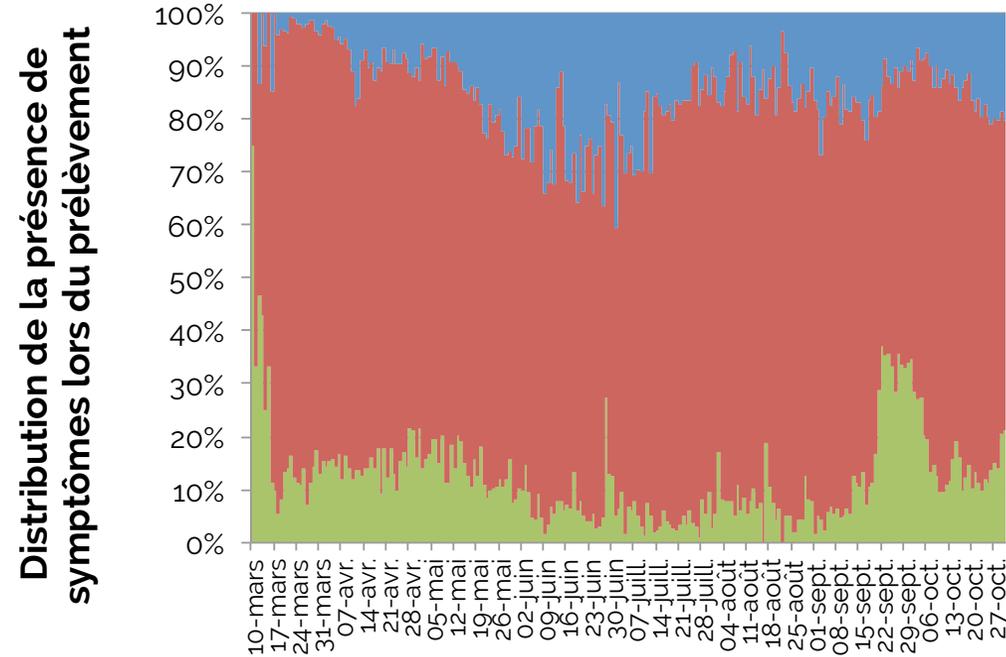
Autres régions



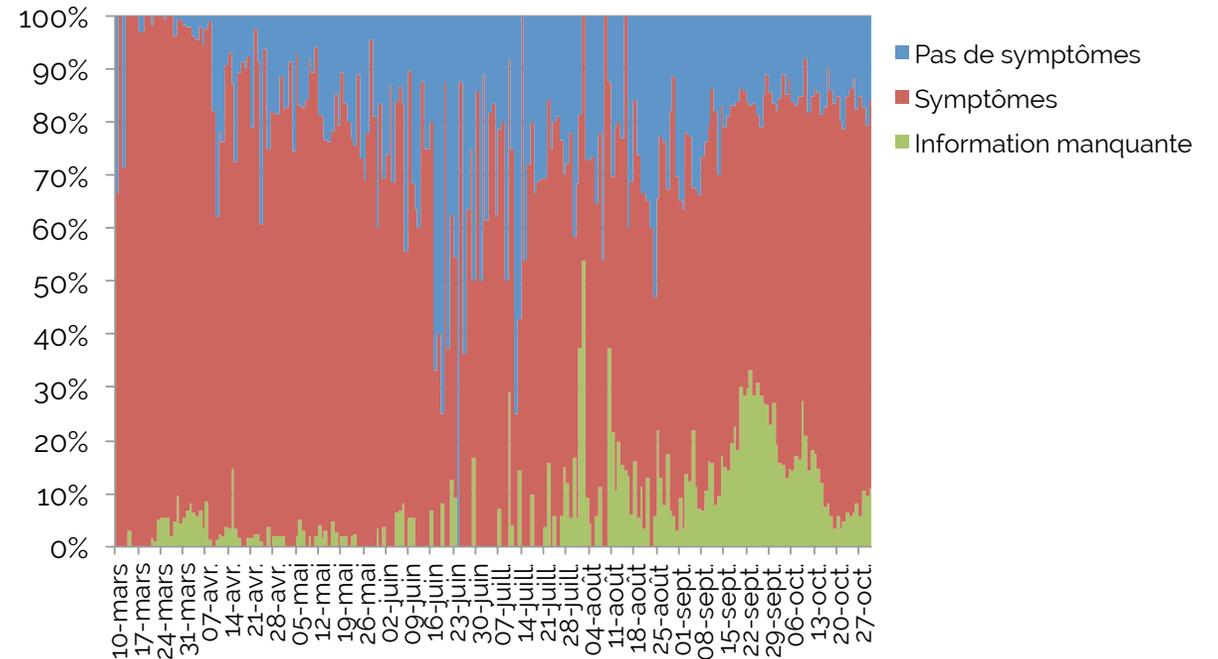
- Le délai le plus court entre le moment du test et la déclaration du résultat était pendant l'été.
- Ce délai moyen a ensuite augmenté en septembre

Évolution de la présence de symptômes au moment du test parmi les cas

Grand Montréal



Autres régions



- Printemps-été: L'augmentation du pourcentage de tests parmi les personnes positives sans symptômes pourrait suggérer une amélioration de la capacité d'enquête (zone bleu)
- Septembre: L'augmentation de la proportion des cas avec information manquante concernant les symptômes pourrait suggérer une perte de capacité du dépistage et traçage (zone verte)

Prédictions de l'évolution de la courbe épidémique

- **Régions**

- Grand Montréal (Montréal, Laval, Laurentides, Lanaudière, Montérégie)
- Autres régions que le Grand Montréal

- **Calibration**

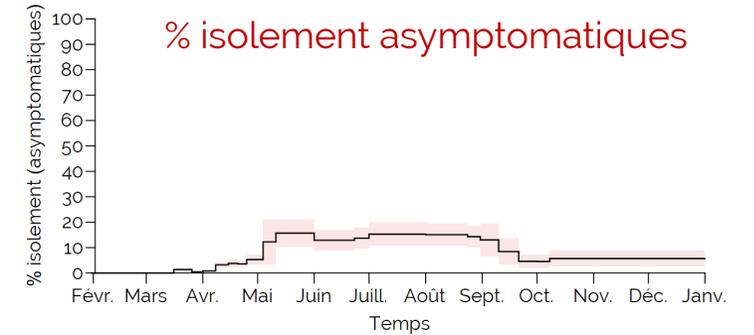
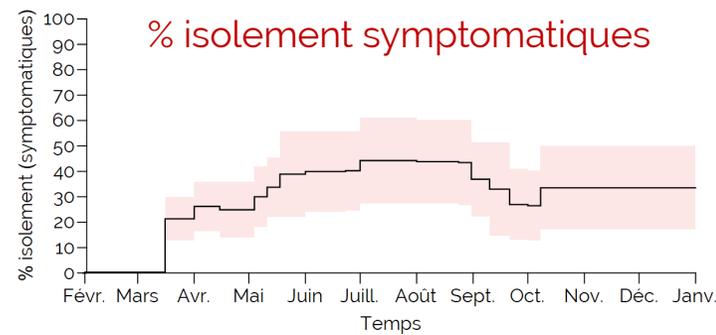
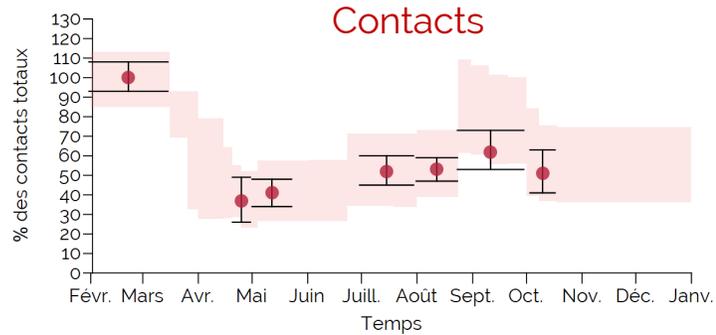
- Nous avons calibré notre modèle aux données jusqu'au 30 octobre
- Pour chaque scénario, nous avons retenu les 500 prédictions qui reproduisent le mieux les données d'hospitalisations, de décès et de séroprévalence pour 8 groupes d'âge (0-5, 6-11, 12-17, 18-25, 26-45, 46-65, 66-75, et >75 ans)
- Voir Annexe pour les valeurs des paramètres

Scenarios

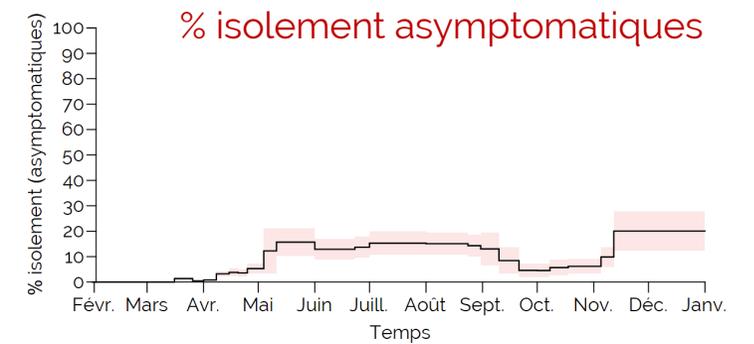
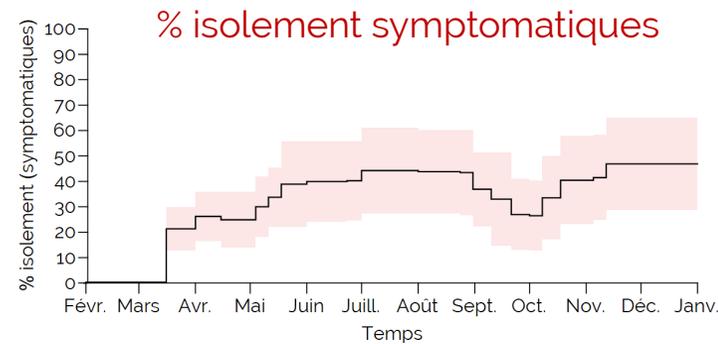
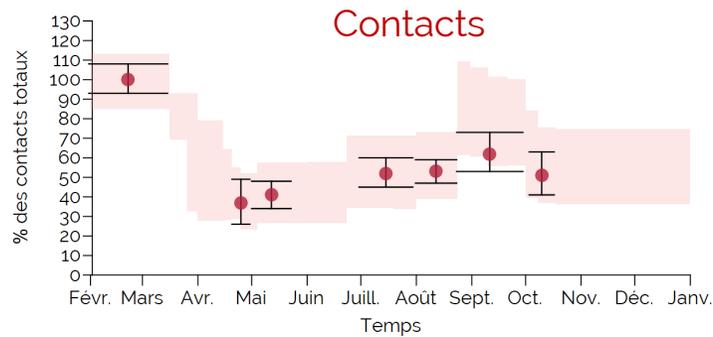
- **Statu quo des mesures + statu quo du dépistage, du traçage et de l'isolement des cas**
 - Mesures et contacts = Statu quo
 - Maintien des restrictions des visites à la maison et fermeture des bars/restos (mesures du 1er octobre)
 - Réduction des contacts à l'école et dans les loisirs (mesures du 8 octobre)
 - Données de CONNECT jusqu'au 14 octobre
 - % d'isolement des cas faible à partir de septembre (perte de capacité de traçage et retards dans les tests). Hypothèses:
 - Cas symptomatiques: 45-70% détectés/isolés
 - Cas asymptomatiques: 10-15% détectés/isolés
 - Temps moyen entre les symptômes-test-début d'enquête épidémiologique = 4-8 jours
- **Statu quo des mesures + amélioration du dépistage, du traçage et de l'isolement des cas**
 - Mesures et contacts = Statu quo
 - % d'isolement selon les meilleurs indicateurs du printemps et de l'été. Hypothèses:
 - Cas symptomatiques: 55-80% détectés/isolés
 - Cas asymptomatiques: 15-35% détectés/isolés
 - Temps moyen entre les symptômes-test-début d'enquête épidémiologique = 3-4 jours

Modélisation des scénarios Grand Montréal

- Statu quo des mesures + statu quo du dépistage de septembre (perte de capacité de dépistage et de traçage vs l'été)



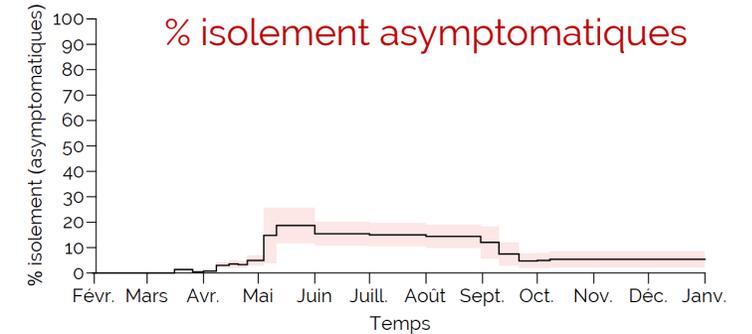
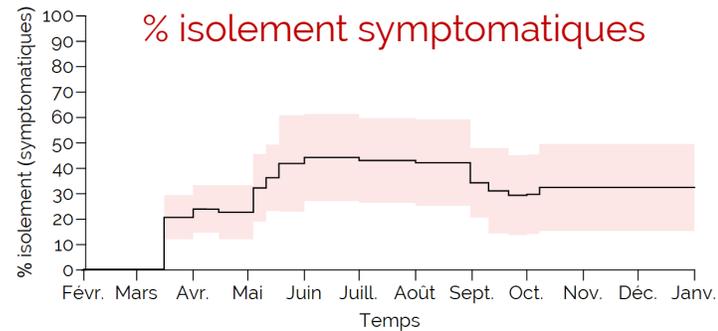
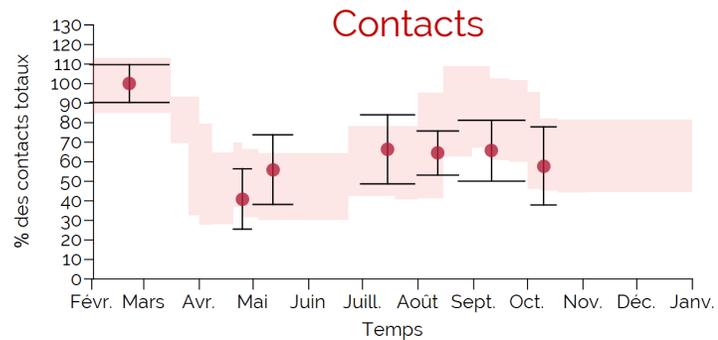
- Statu quo des mesures + amélioration du dépistage, du traçage et de l'isolement des cas



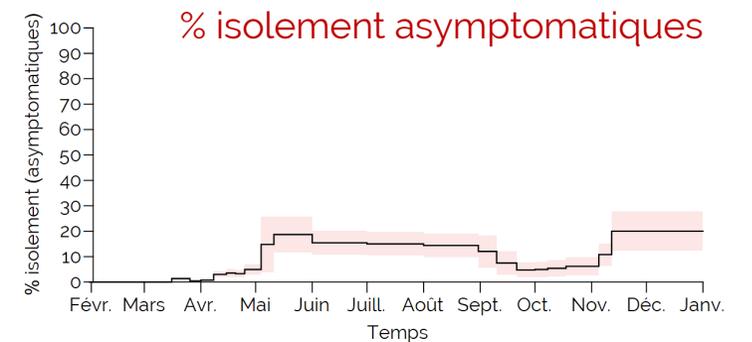
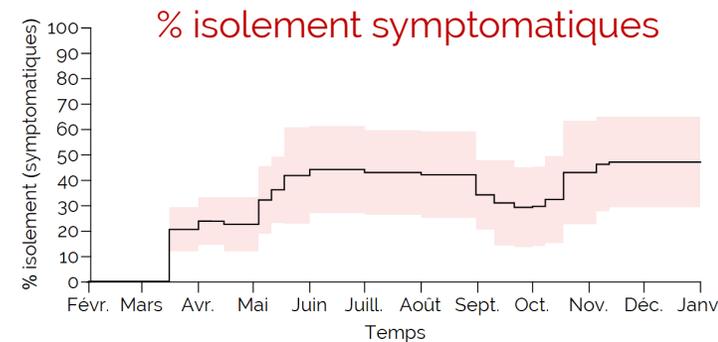
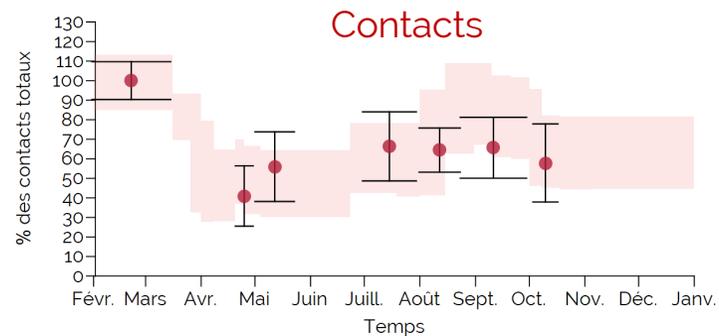
Points rouges: Données de CONNECT (20 avril-23 mai, et 3 juillet-14 octobre). % isolement = % cas qui sont isolés * % des jours infectieux isolés

Modélisation des scénarios Autres régions

- Statu quo des mesures + statu quo du dépistage de septembre (perte de capacité de dépistage et de traçage vs l'été)



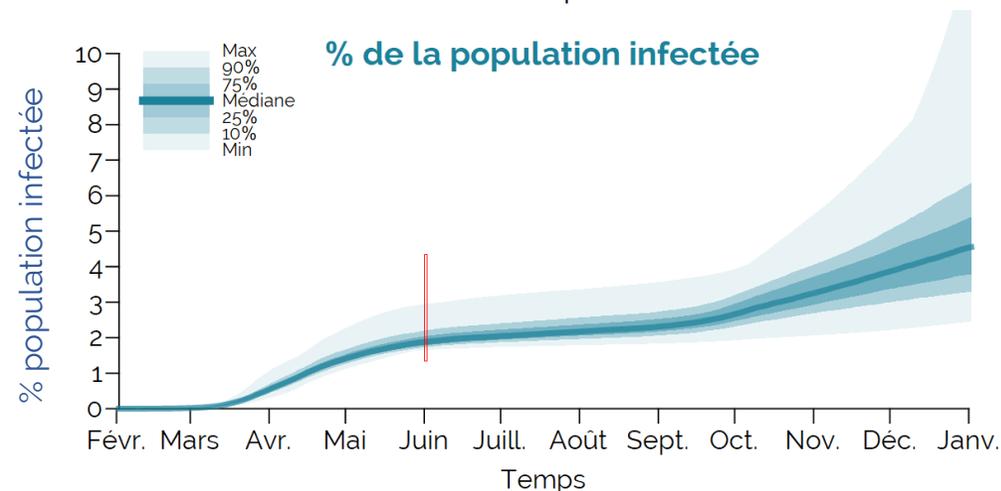
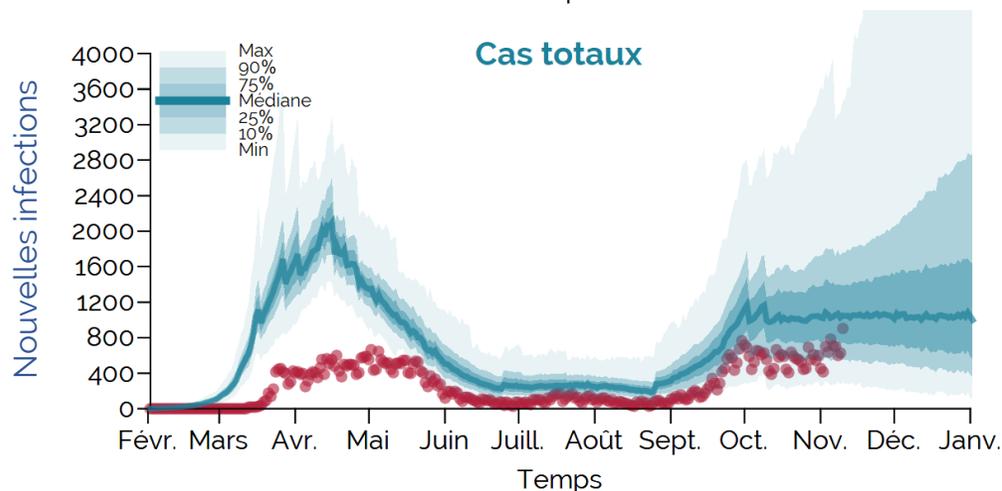
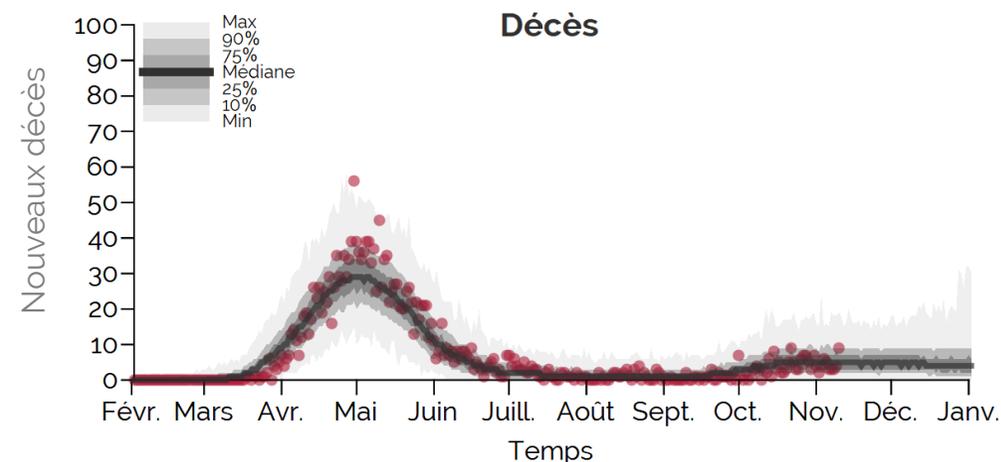
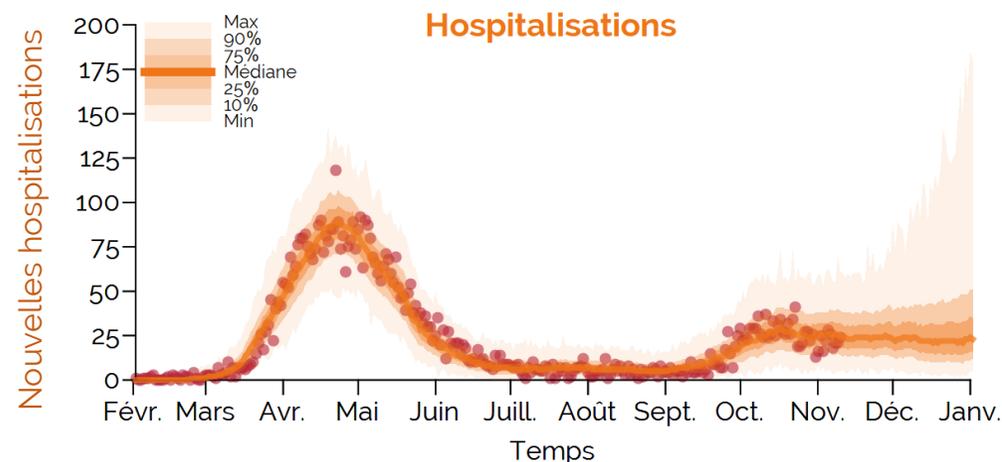
- Statu quo des mesures + amélioration du dépistage, du traçage et de l'isolement des cas



Points rouges: Données de CONNECT (20 avril-23 mai, et 3 juillet-14 octobre). % isolement = % cas qui sont isolés * % des jours infectieux isolés

Évolution de l'épidémie de la COVID-19

Statu quo: mesures d'octobre + contacts sociaux du début octobre maintenus
Grand Montréal

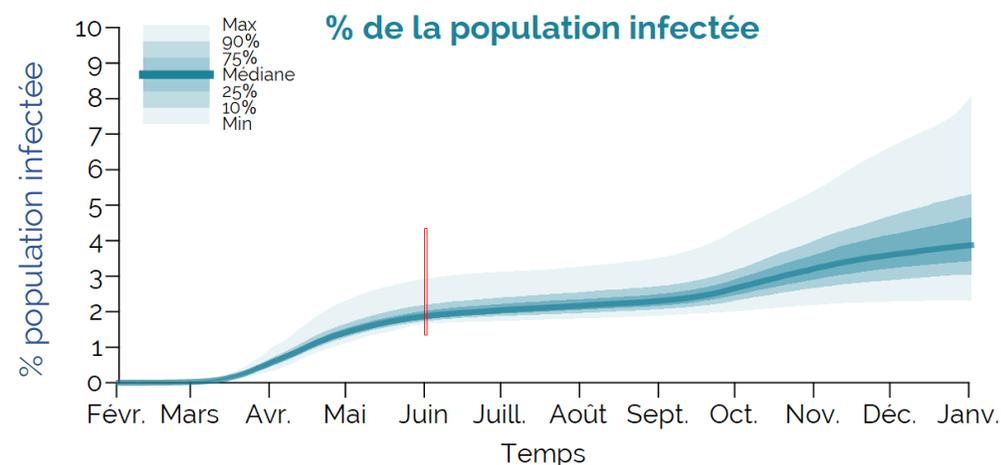
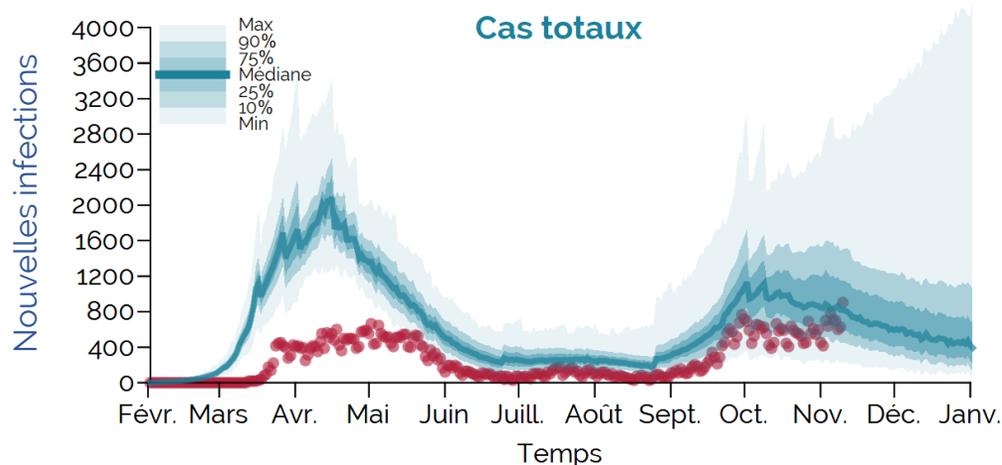
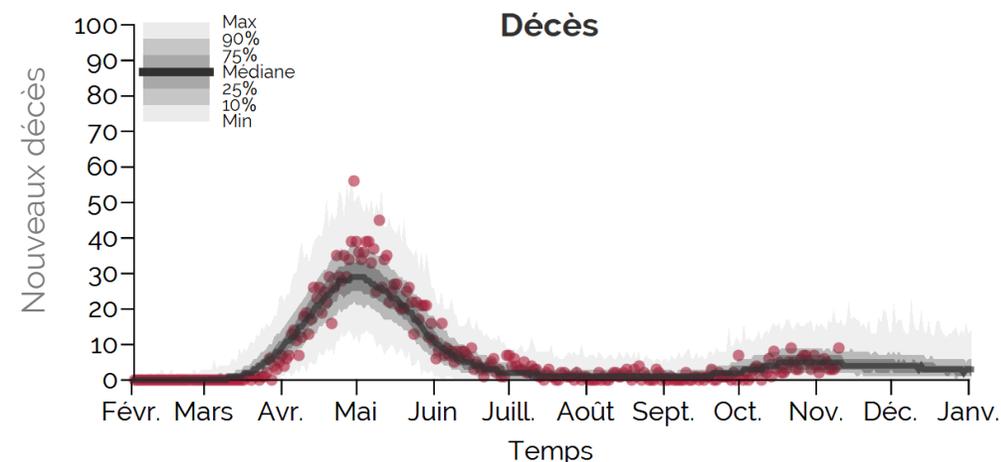
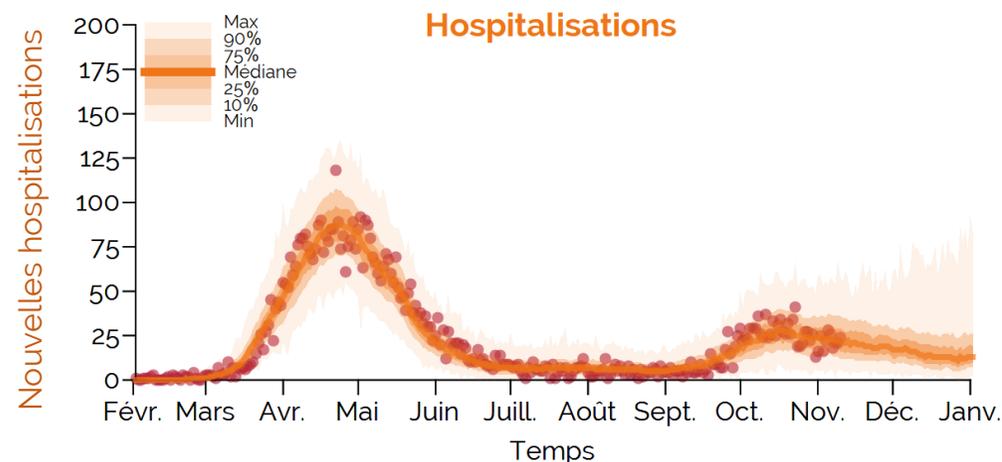


- Le modèle prédit une stabilisation des cas, des hospitalisations et des décès pour le Grand Montréal si l'on maintient les mesures sanitaires et les contacts sociaux du début octobre

Points rouges, données INSPQ/MSSS. et ligne rouge, données HÉMA-Québec. Les résultats représentent la médiane, min-max et les 10^e, 25^e, 75^e et 90^e percentiles des prédictions du modèle. Les transferts hospitaliers des CHSLD et décès lors d'écllosion dans les CHSLD sont exclus. 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.

Évolution de l'épidémie de la COVID-19

Statu quo des mesures + amélioration du dépistage/traçage/isolement des cas
Grand Montréal



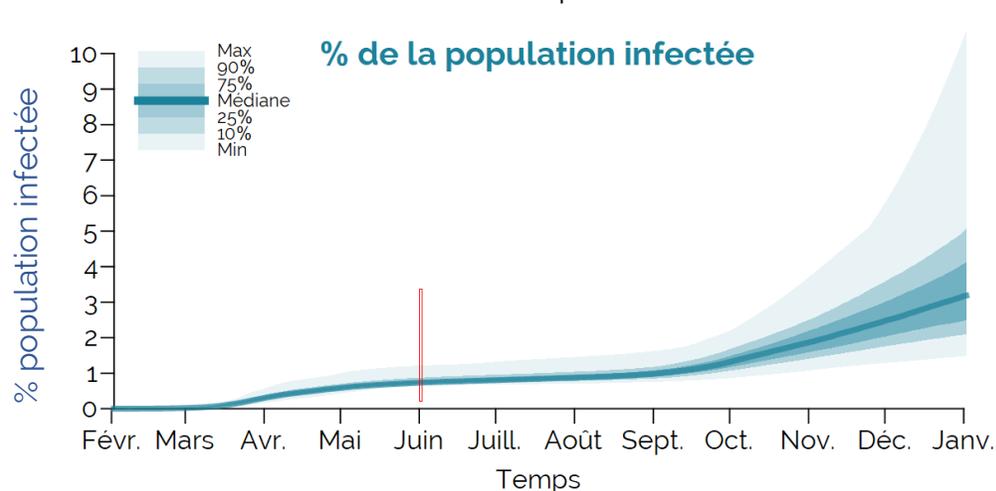
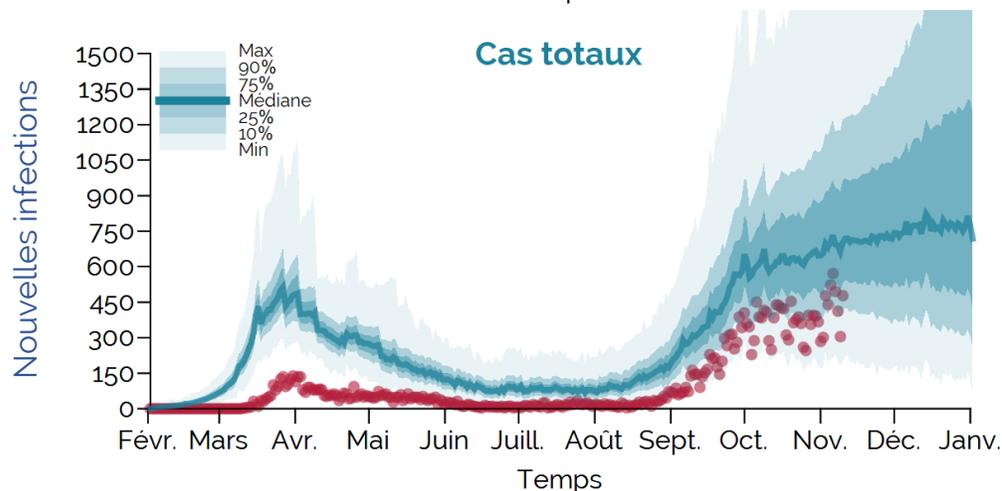
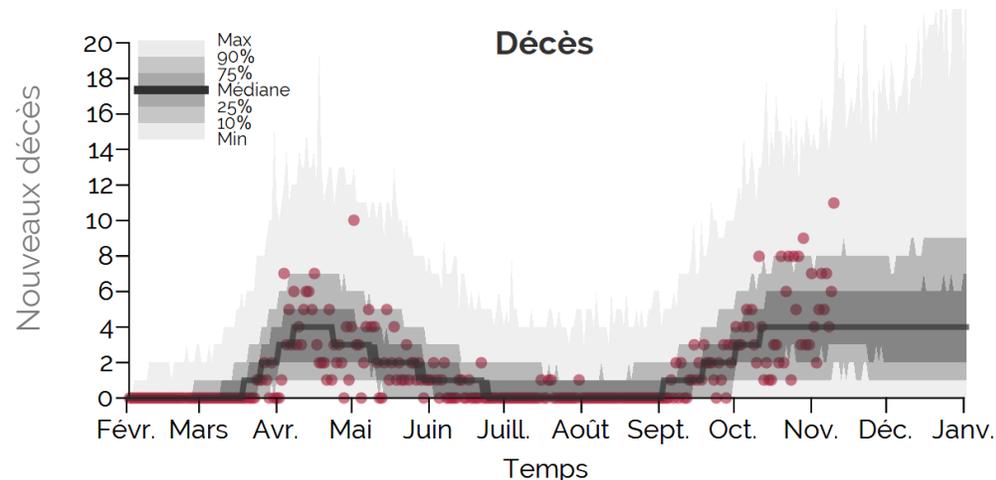
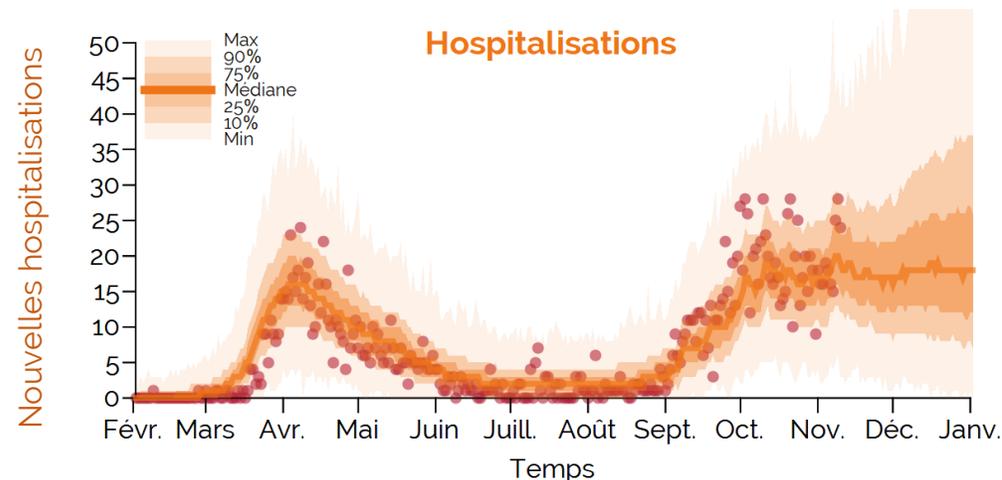
- Si en plus de maintenir les mesures sanitaires et les contacts sociaux du début octobre, on améliore le dépistage, le traçage et l'isolement des cas (indicateurs de l'été), le modèle prédit une décroissance des cas, des hospitalisations et des décès pour le Grand Montréal

Points rouges, données INSPQ/MSSS. et ligne rouge, données HÉMA-Québec. Les résultats représentent la médiane, min-max et les 10^e, 25^e, 75^e et 90^e percentiles des prédictions du modèle. Les transferts hospitaliers des CHSLD et décès lors d'écllosion dans les CHSLD sont exclus. 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.

Évolution de l'épidémie de la COVID-19

Statu quo: mesures d'octobre + contacts sociaux du début octobre maintenus

Autres régions



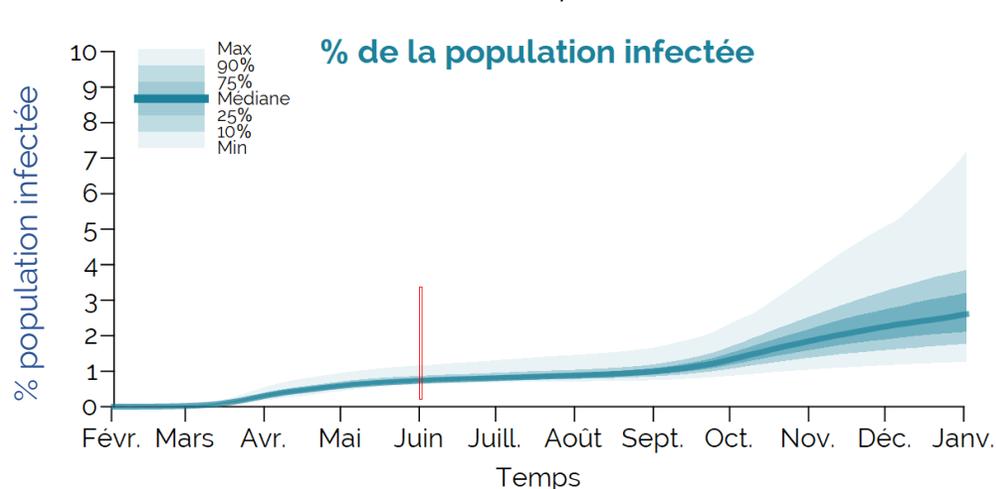
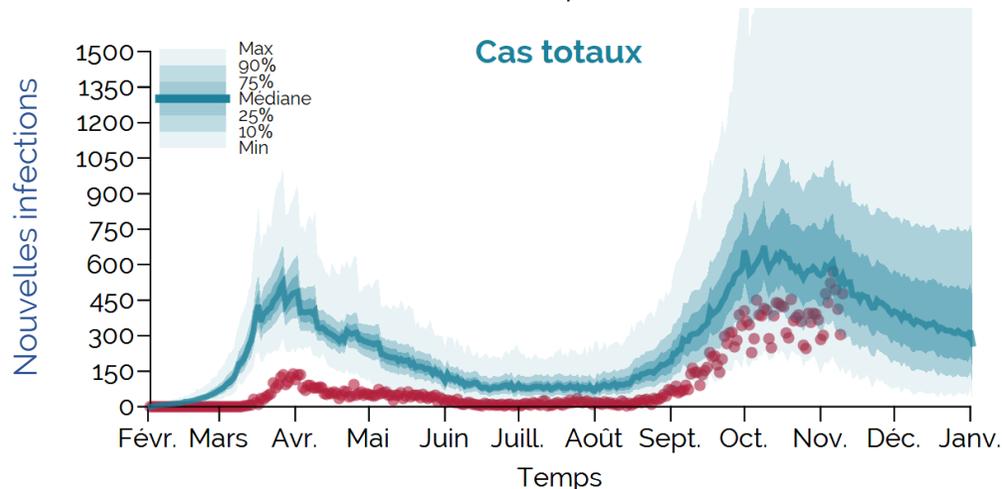
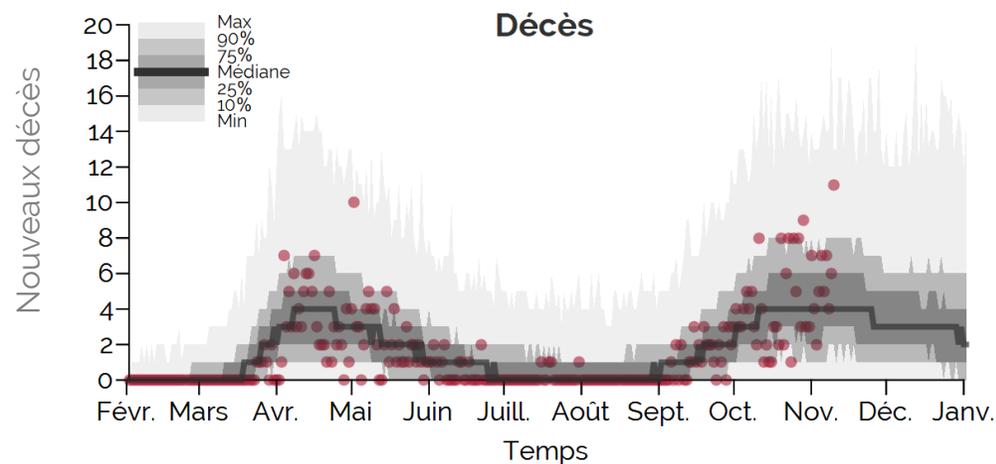
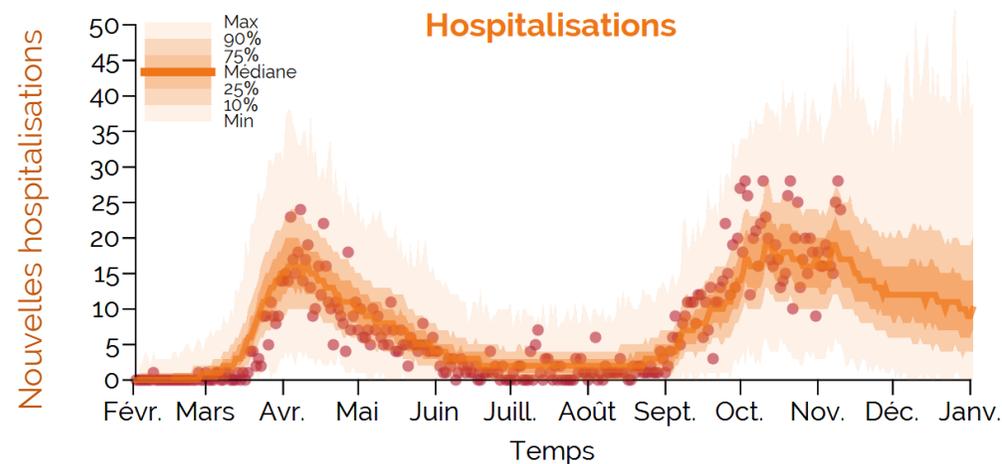
- Environ la moitié des prédictions montrent une augmentation lente des cas, des hospitalisations et des décès.
- Attention: La situation épidémiologique est variable entre les régions à l'extérieur du Grand Montréal. Ceci explique la variabilité des prédictions.

Points rouges, données INSPQ/MSSS. et ligne rouge, données HÉMA-Québec. Les résultats représentent la médiane, min-max et les 10^e, 25^e, 75^e et 90^e percentiles des prédictions du modèle. Les transferts hospitaliers des CHSLD et décès lors d'écllosion dans les CHSLD sont exclus. 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.

Évolution de l'épidémie de la COVID-19

Statu quo des mesures + amélioration du dépistage/traçage/isolement des cas

Autres régions



- Si en plus de maintenir les mesures sanitaires et les contacts sociaux du début octobre, on améliore le dépistage, le traçage et l'isolement des cas (indicateurs de l'été), le modèle prédit une décroissance des cas, des hospitalisations et des décès pour les autres régions.

Points rouges, données INSPQ/MSSS. et ligne rouge, données HÉMA-Québec. Les résultats représentent la médiane, min-max et les 10^e, 25^e, 75^e et 90^e percentiles des prédictions du modèle. Les transferts hospitaliers des CHSLD et décès lors d'écllosion dans les CHSLD sont exclus. 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.

**Comment l'évolution de l'épidémie
depuis le 16 octobre se compare-t-elle
aux prédictions du 16 octobre ?**

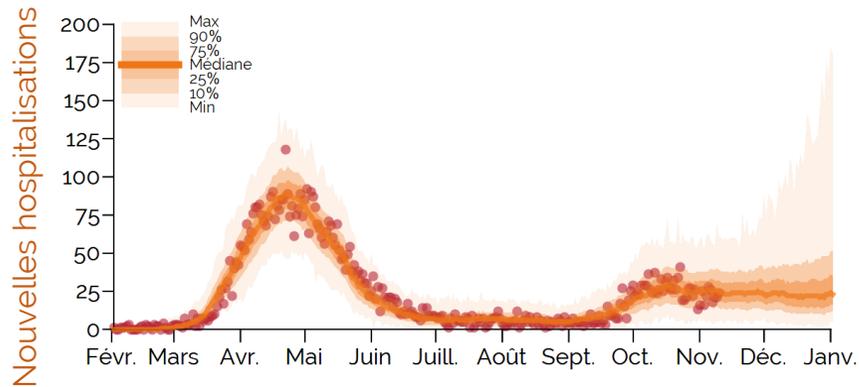
Scenarios du 16 octobre

- **Scénario 1 (S1): Mesures du 1^{er} octobre + réduction des contacts dans les écoles/loisirs**
 - Restriction des visites à la maison et fermeture des bars/restos (mesures du 1er octobre)
 - Réduction des contacts à l'école et dans les loisirs (mesures du 8 octobre)
 - Tous les autres contacts restent au niveau de septembre
 - % d'isolement des cas faible (perte de capacité de traçage et retards dans les tests en comparaison avec l'été)
- **Scénario 2 (S2): Mesures du 1^{er} octobre + réduction des contacts dans les écoles/loisirs + meilleure adhésion à la distanciation**
 - Scénario 1 + 25% d'amélioration de la distanciation physique dans les lieux publics (ex: réduction de 1 contact sur 4)
 - Le scénario peut représenter une situation où il y aurait une augmentation naturelle de la distanciation physique avec la hausse des cas et/ou à la suite d'interventions de sensibilisation (ex: rester à 2 mètres)

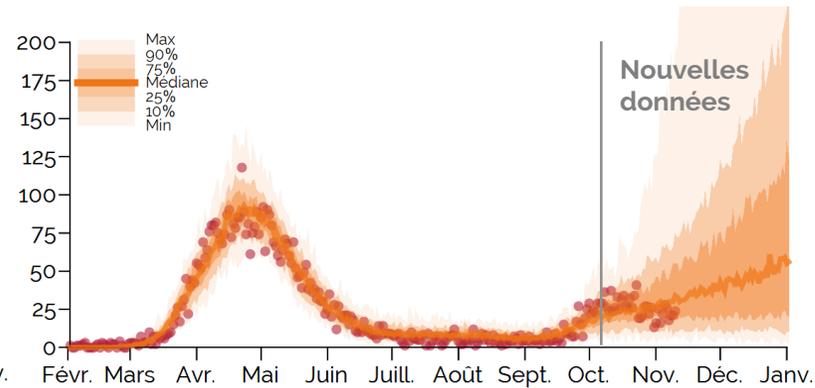
Scénario 1 ou Scénario 2?

Nouvelles projections (statu quo) vs Scénarios 1 et 2 du 16 octobre
Grand Montréal

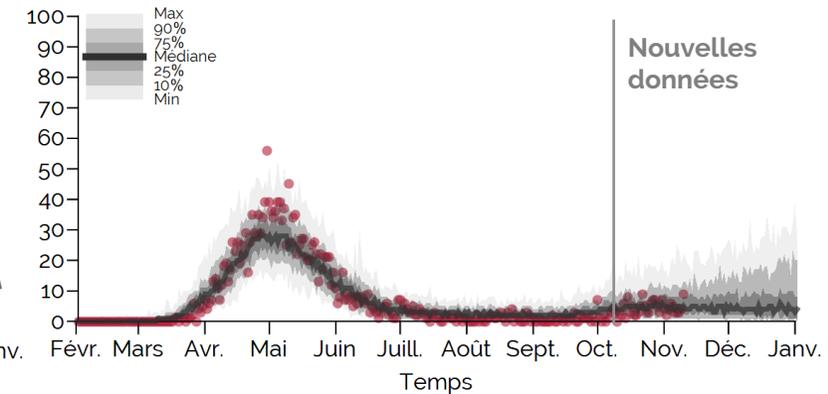
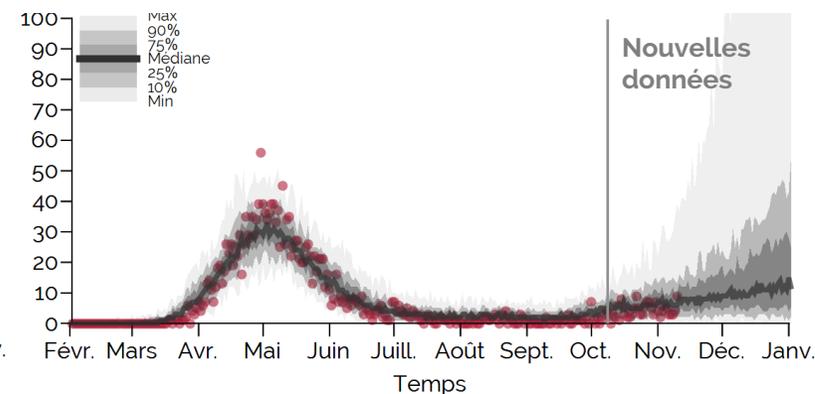
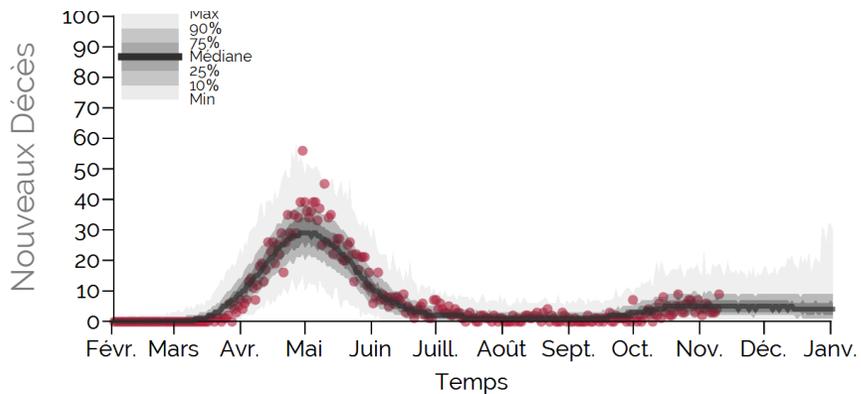
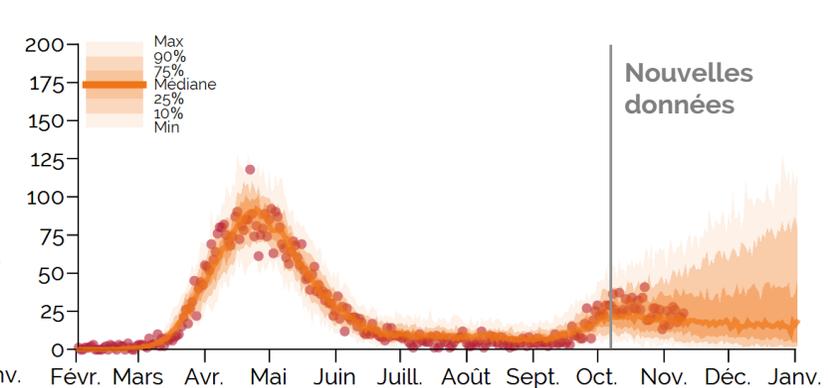
Nouvelles Projections



Scénario 1 – 16 octobre



Scénario 2 – 16 octobre



- Les nouvelles projections ressemblent au scénario 2. Les projections suggèrent qu'en plus des mesures du 1^{er} octobre, il y a eu une amélioration de l'adhésion à la distanciation au début octobre (concorde avec les données de CONNECT et Google).
- Cependant, une réduction de l'adhésion à la distanciation pourrait causer une recrudescence de l'épidémie comme le scénario 1

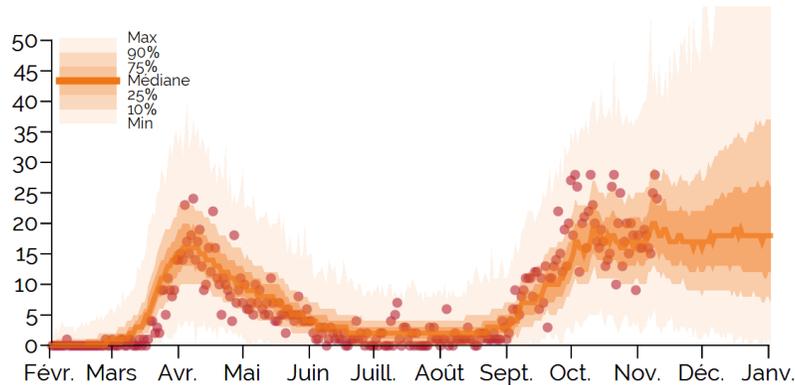
Scénario 1 ou Scénario 2?

Nouvelles projections (statu quo) vs Scénarios 1 et 2 du 16 octobre

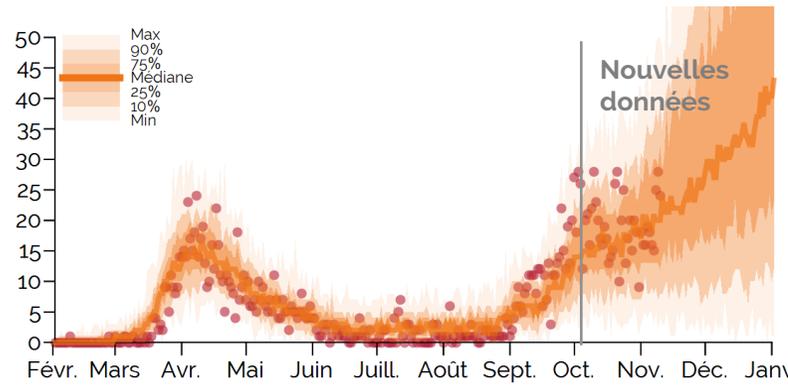
Autres régions

Nouvelles hospitalisations

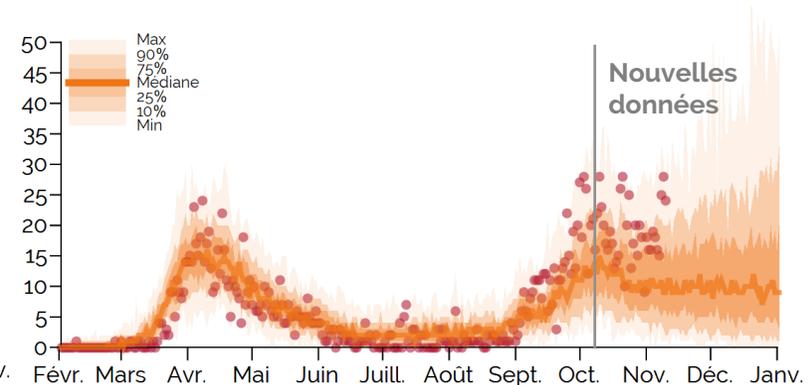
Nouvelles Projections



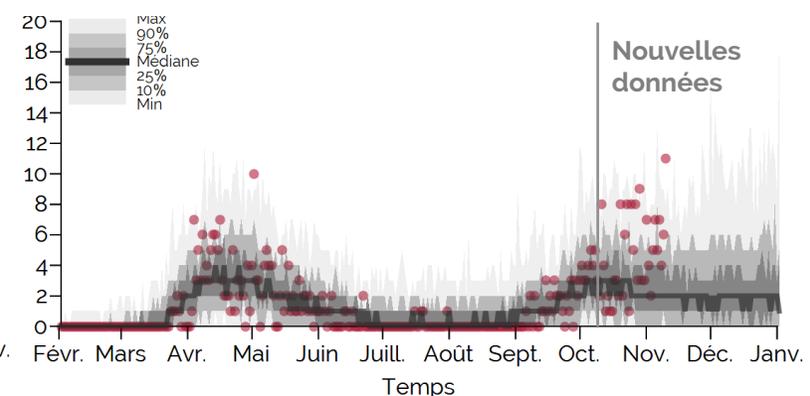
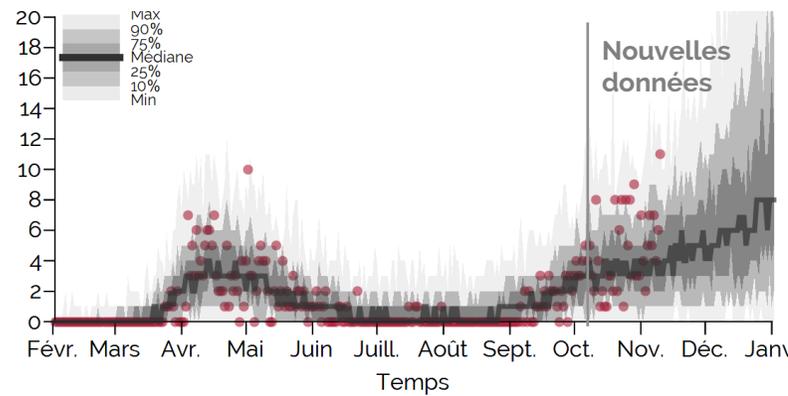
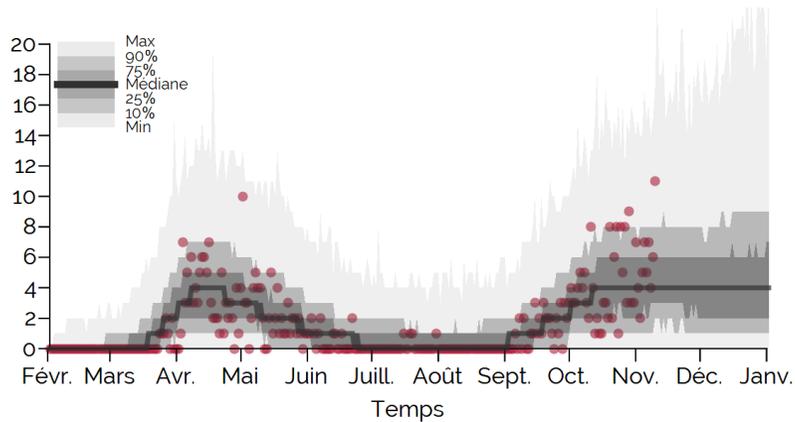
Scénario 1 – 16 octobre



Scénario 2 – 16 octobre



Nouveaux Décès



- Les nouvelles projections se retrouvent entre le scénario 1 et 2. Les projections suggèrent qu'il y aurait eu moins de réduction des contacts dans les autres régions que dans le Grand Montréal en octobre (concorde avec les données de CONNECT et Google).
- À noter, une réduction de l'adhésion à la distanciation pourrait causer une recrudescence de l'épidémie comme le scénario 1

Résumé

Projections du modèle

- Nos projections suggèrent que les mesures d'octobre et une amélioration de l'adhésion de la population à la distanciation ont permis de stabiliser l'épidémie au début octobre
- **Si les mesures et les contacts sociaux du début octobre sont maintenus**, le modèle prédit une **stabilisation** des hospitalisations et des décès pour le Québec
 - Cependant, il est à noter que les résultats sont plus variables pour les autres régions avec un peu plus de 50% des prédictions qui montrent une croissance lente des cas, des hospitalisations et des décès.
- Si en plus de maintenir les mesures et les contacts sociaux du début octobre, **le Québec améliore le dépistage, le traçage et l'isolement des cas** (pour revenir aux indicateurs de l'été), le modèle prédit une **décroissance** de l'épidémie
 - L'amélioration du dépistage, du traçage et de l'isolement pourrait se faire par: 1) des résultats de tests plus rapides, 2) du traçage plus rapide/efficient, et 3) l'augmentation du pourcentage des personnes qui se font tester rapidement lors de symptômes et qui s'isolent selon les directives de la santé publique
 - Cette amélioration de la performance du dépistage pourrait donner une marge de manœuvre pour l'assouplissement de certaines mesures
- **Cependant**, la situation demeure fragile avec une transmission communautaire soutenue. Un relâchement de l'adhésion à la distanciation sans amélioration du dépistage pourrait causer une recrudescence de l'épidémie

Attention

- Pour bien mesurer l'évolution de la performance du dépistage, il est primordial de documenter les délais de dépistage, incluant les délais entre la date de déclaration du cas et l'annonce du résultat à ce cas, ainsi que l'efficacité du traçage des contacts.
- Les milieux clos demeurent à risque d'éclotions tant qu'il y aura de la transmission communautaire. Nos projections font l'hypothèse qu'il n'y aura pas une croissance soutenue d'éclotions majeures dans les CHSLD/RPA/centres hospitaliers.

Limites des scénarios et utilisations des projections

Limites des prédictions

- 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 des interventions de santé publique sont mises en place.
- Les prédictions des modèles sont sensibles:
 - aux **éclosions majeures dans les CHLSD/RPA/centres hospitaliers/milieus de travail**
 - aux **contacts sociaux futurs des québécois** et aux **changements dans la capacité de dépistage et de traçage de la santé publique**
 - adhésion aux mesures sanitaires
 - changements de comportements lorsque les cas, les hospitalisations et les décès augmentent
 - changements dans la capacité de dépistage
 - **à la qualité et à l'exhaustivité des données** liées à la COVID-19 et aux délais du dépistage
 - **à l'absence de données sérologiques pour les enfants**

Forces

- Le modèle **peut examiner des stratégies spécifiques** de confinement et de déconfinement
- Il est **calibré** pour s'assurer qu'il reproduise les données épidémiologiques par âge au Québec
- Il **tient compte de l'incertitude** concernant l'histoire naturelle de la Covid-19

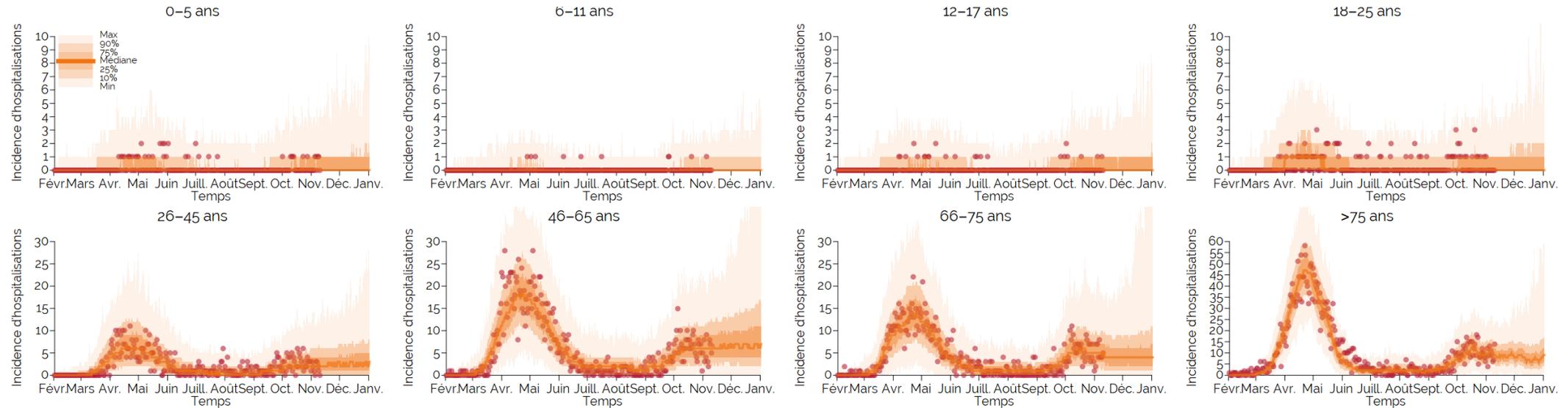
Annexe

Résultats

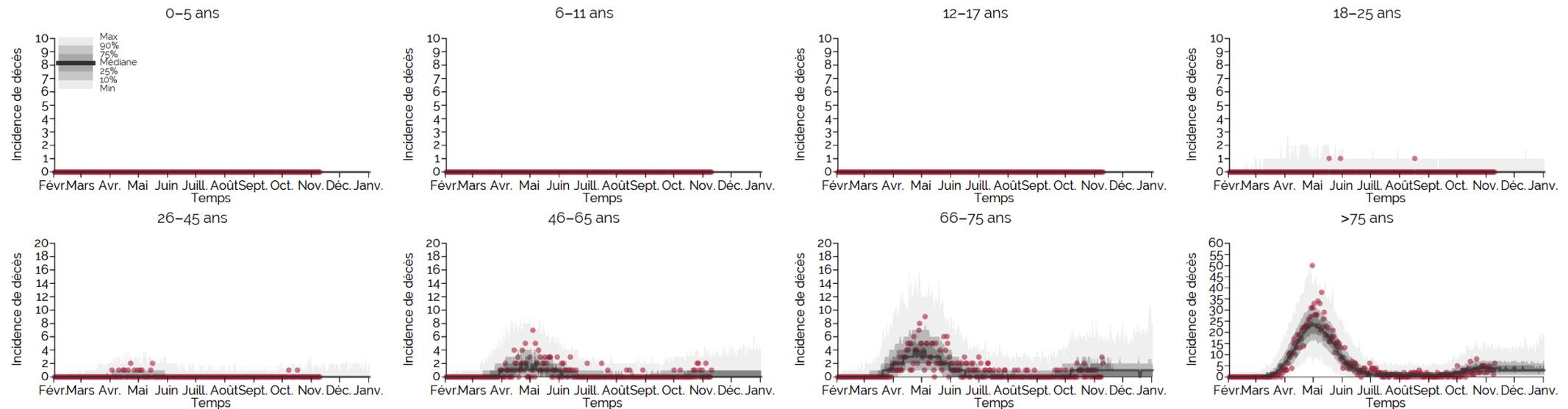
Statu quo (mesures d'octobre + contacts sociaux d'octobre maintenu)

Hospitalisations et décès par âge

Grand Montréal



Points rouges, données INSPQ/MSSS. Les résultats représentent la médiane, min-max, et les 10e, 25e, 75e et 90e percentiles des prédictions du modèle.

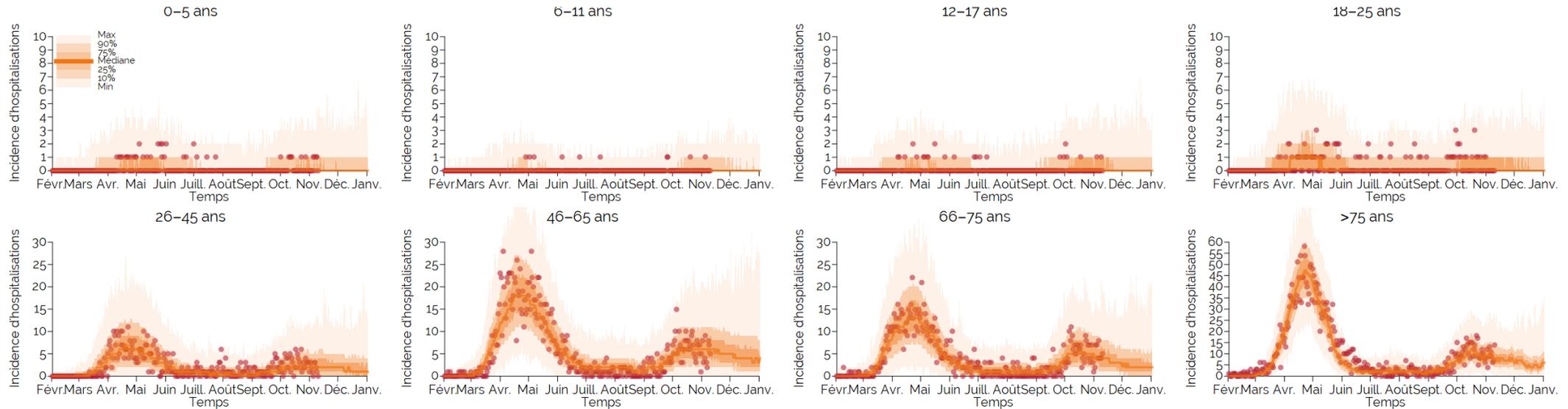


Points rouges, données INSPQ/MSSS. Les résultats représentent la médiane, min-max, et les 10e, 25e, 75e et 90e percentiles des prédictions du modèle.

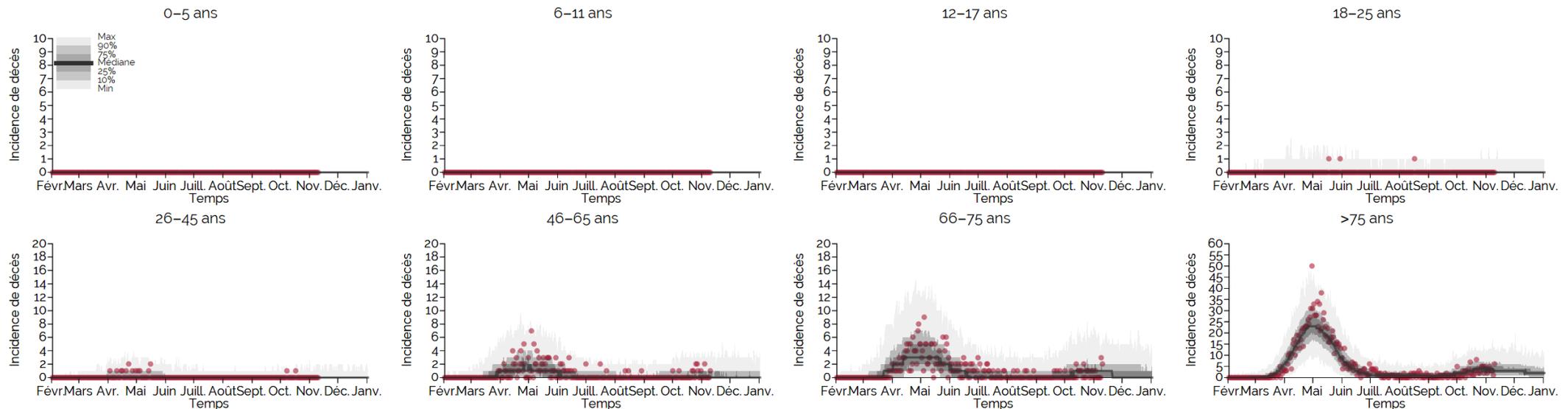
Statu quo + amélioration dépistage/traçage/isolement des cas

Hospitalisations et décès par âge

Grand Montréal



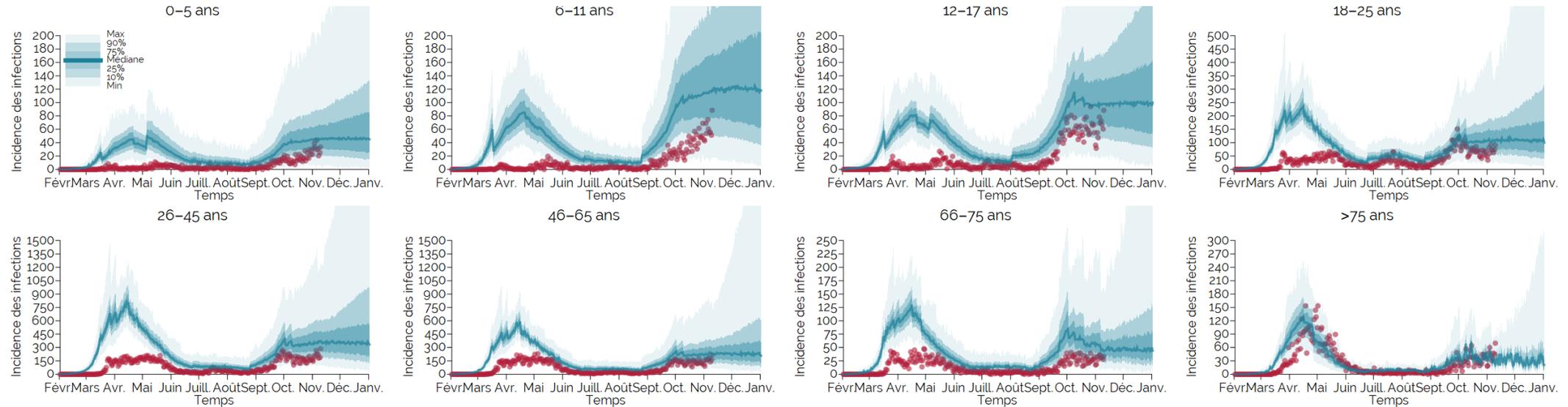
Points rouges, données INSPQ/MSSS. Les résultats représentent la médiane, min-max, et les 10e, 25e, 75e et 90e percentiles des prédictions du modèle.



Points rouges, données INSPQ/MSSS. Les résultats représentent la médiane, min-max, et les 10e, 25e, 75e et 90e percentiles des prédictions du modèle.

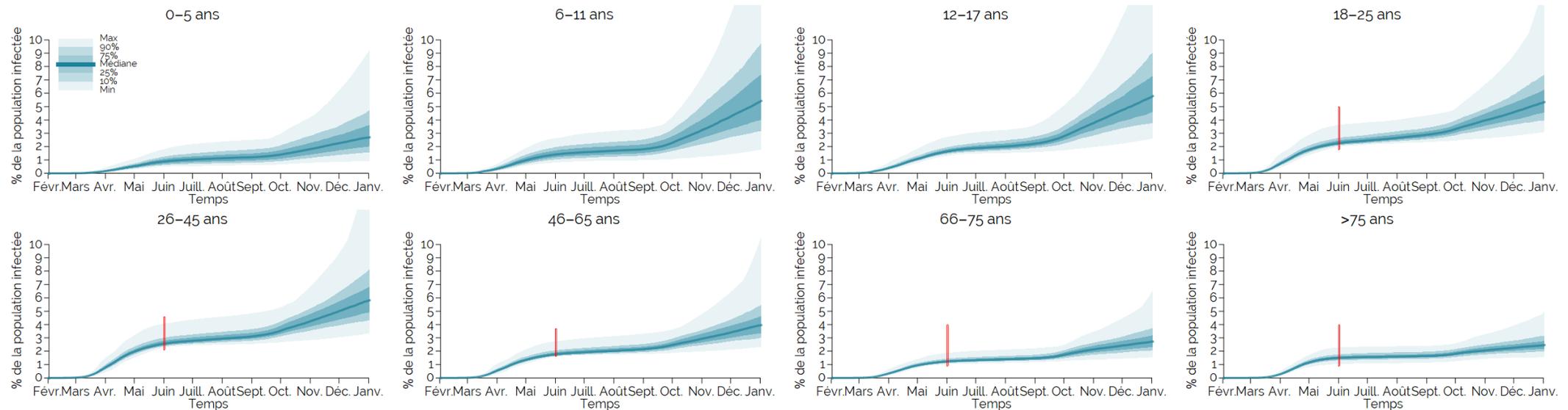
Statu quo (mesures d'octobre + contacts sociaux d'octobre maintenu)

Infections par âge Grand Montréal



Points rouges, données INSPQ/MSSS (cas confirmés). Les résultats représentent la médiane, min-max et les 10e, 25e, 75e et 90e percentiles des prédictions du modèle.

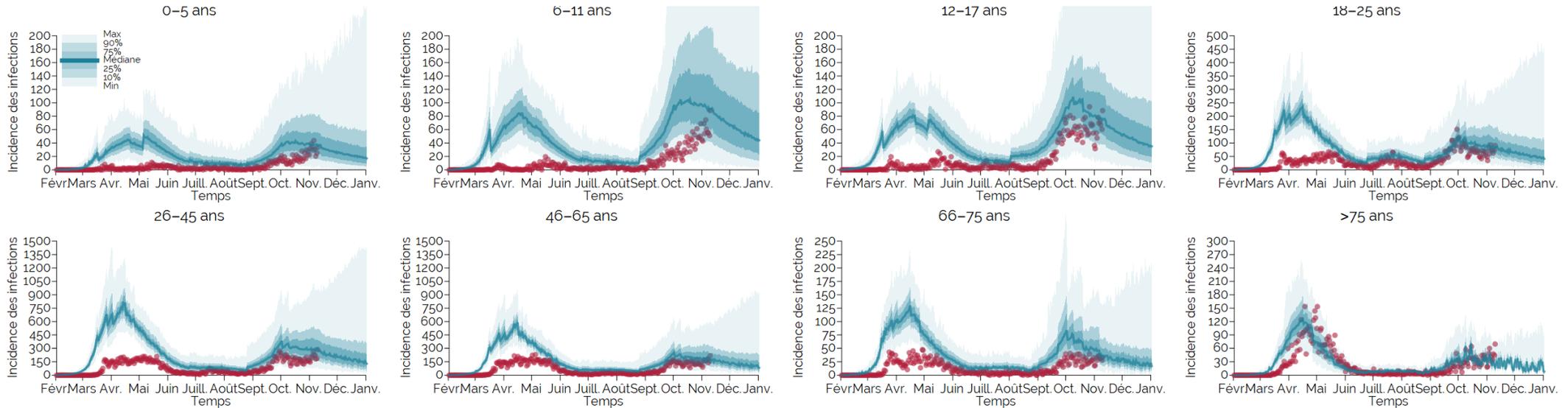
Note : Ce sont les prédictions de tous les cas (cliniques et sous-cliniques); le nombre est plus élevé que les cas détectés et il y a un délai lié aux tests entre les cas infectés et les cas détectés.



Lignes rouges, données de séroprévalence d'Héma-Québec (données pour les 18 ans et plus, aucune donnée pour les moins de 18 ans).

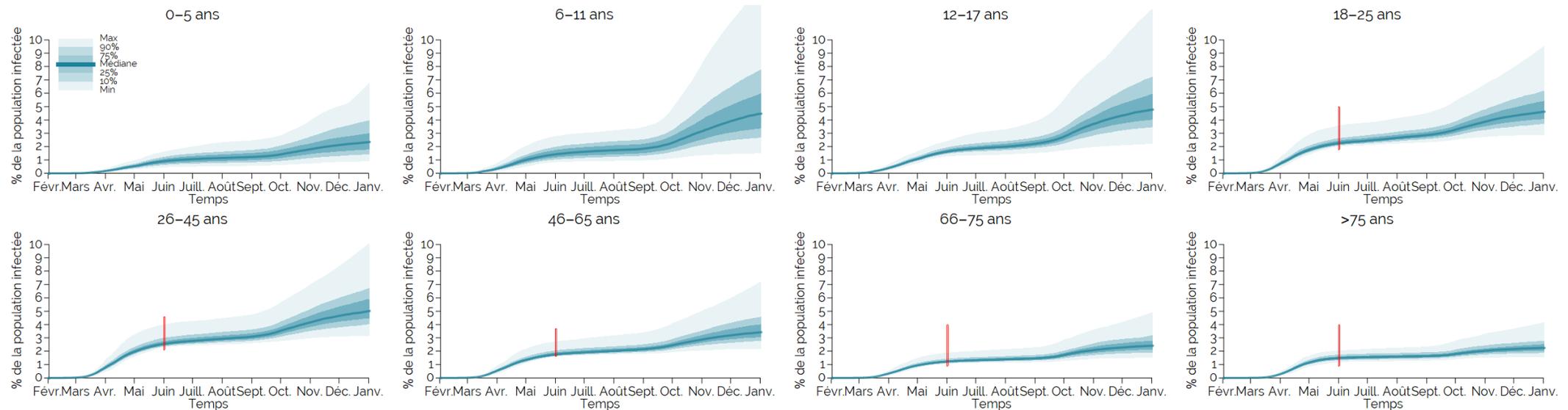
Statu quo + amélioration dépistage/traçage/isolément des cas

Infections par âge Grand Montréal



Points rouges, données INSPQ/MSSS (cas confirmés). Les résultats représentent la médiane, min-max et les 10e, 25e, 75e et 90e percentiles des prédictions du modèle.

Note : Ce sont les prédictions de tous les cas (cliniques et sous-cliniques); le nombre est plus élevé que les cas détectés et il y a un délai lié aux tests entre les cas infectés et les cas détectés.

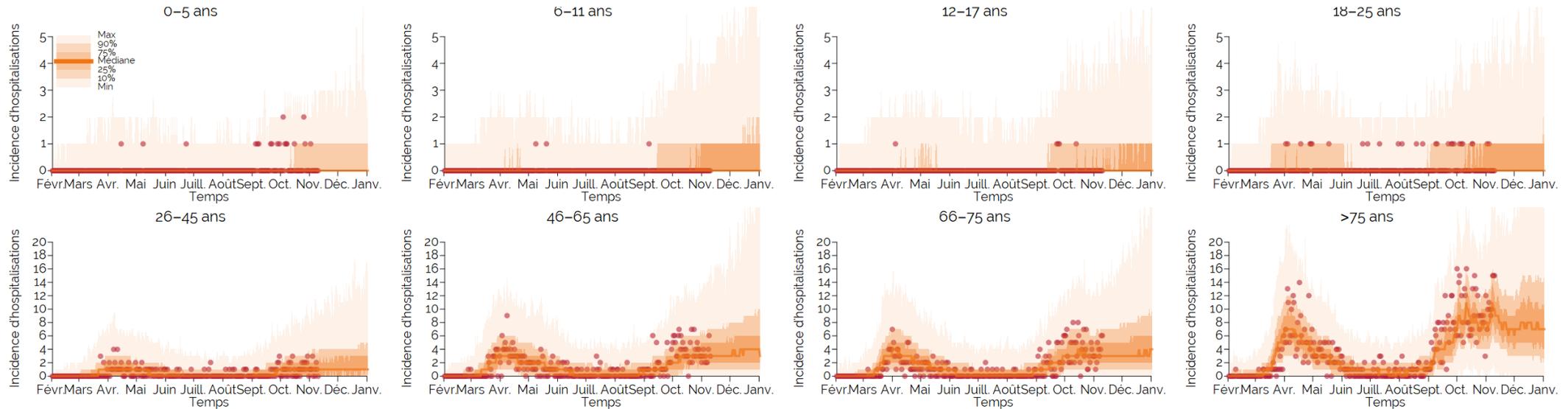


Lignes rouges, données de séroprévalence d'Héma-Québec (données pour les 18 ans et plus, aucune donnée pour les moins de 18 ans).

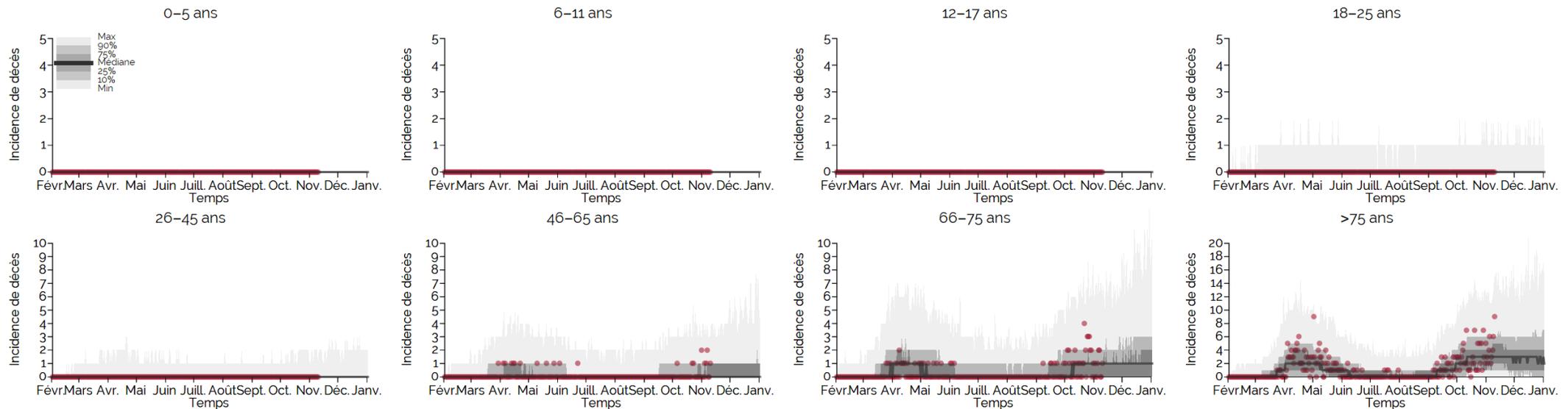
Statu quo (mesures d'octobre + contacts sociaux d'octobre maintenu)

Hospitalisations et décès par âge

Autres régions



Points rouges, données INSPQ/MSSS. Les résultats représentent la médiane, min-max, et les 10e, 25e, 75e et 90e percentiles des prédictions du modèle.

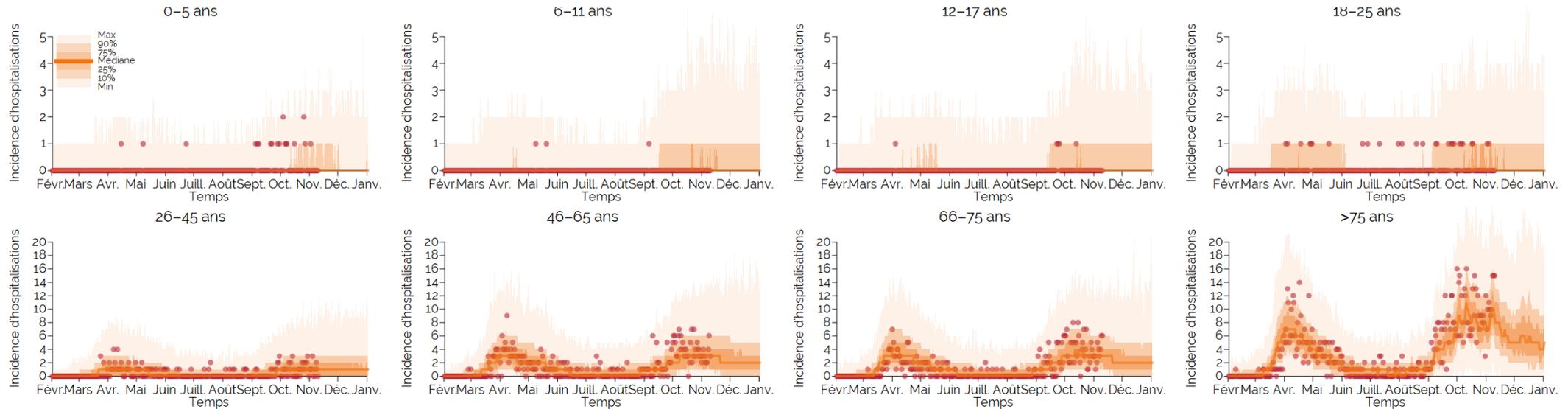


Points rouges, données INSPQ/MSSS. Les résultats représentent la médiane, min-max, et les 10e, 25e, 75e et 90e percentiles des prédictions du modèle.

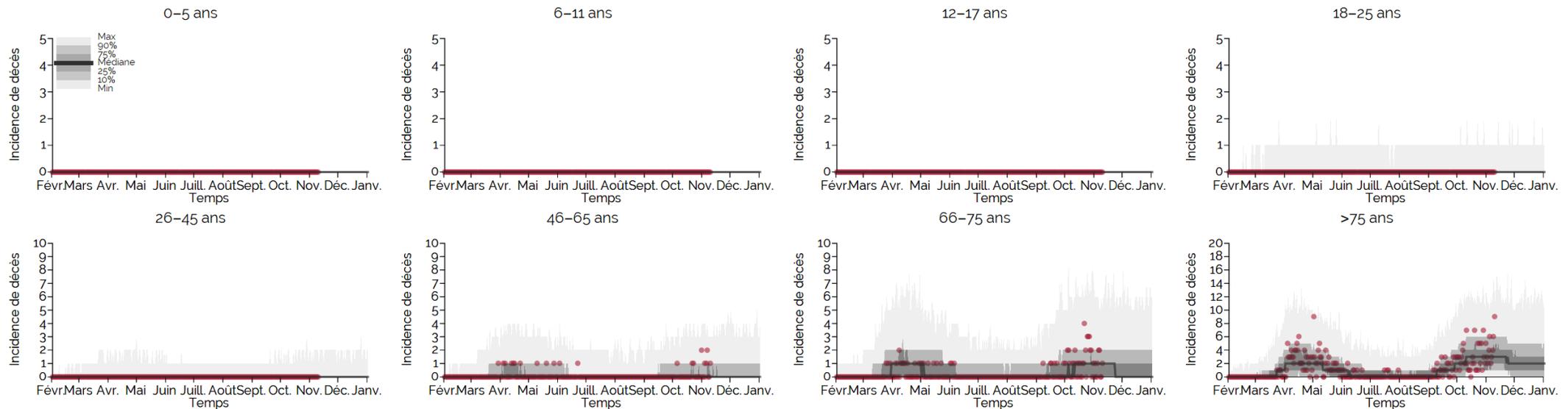
Statu quo + amélioration dépistage/traçage/isolement des cas

Hospitalisations et décès par âge

Autres régions



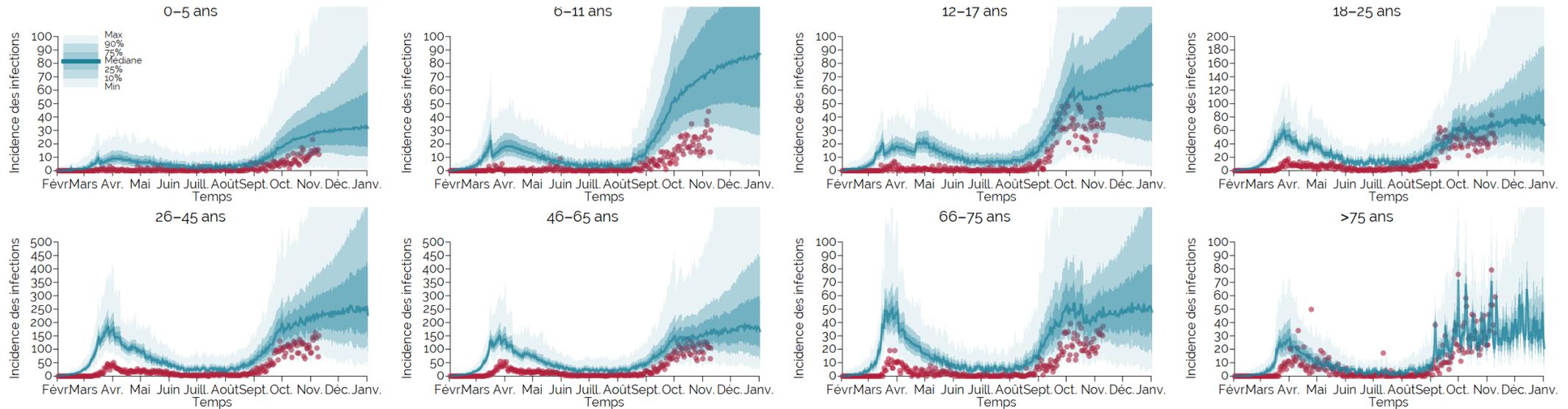
Points rouges, données INSPQ/MSSS. Les résultats représentent la médiane, min-max, et les 10e, 25e, 75e et 90e percentiles des prédictions du modèle.



Points rouges, données INSPQ/MSSS. Les résultats représentent la médiane, min-max, et les 10e, 25e, 75e et 90e percentiles des prédictions du modèle.

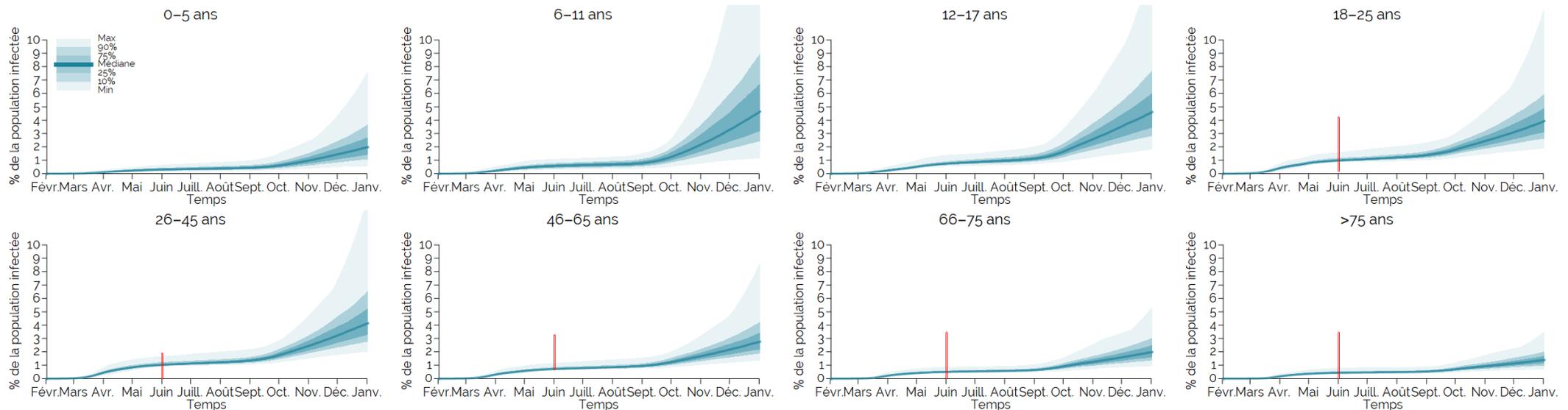
Statu quo (mesures d'octobre + contacts sociaux d'octobre maintenu)

Infections par âge Autres régions



Points rouges, données INSPQ/MSSS (cas confirmés). Les résultats représentent la médiane, min-max et les 10e, 25e, 75e et 90e percentiles des prédictions du modèle.

Note : Ce sont les prédictions de tous les cas (cliniques et sous-cliniques); le nombre est plus élevé que les cas détectés et il y a un délai lié aux tests entre les cas infectés et les cas détectés.

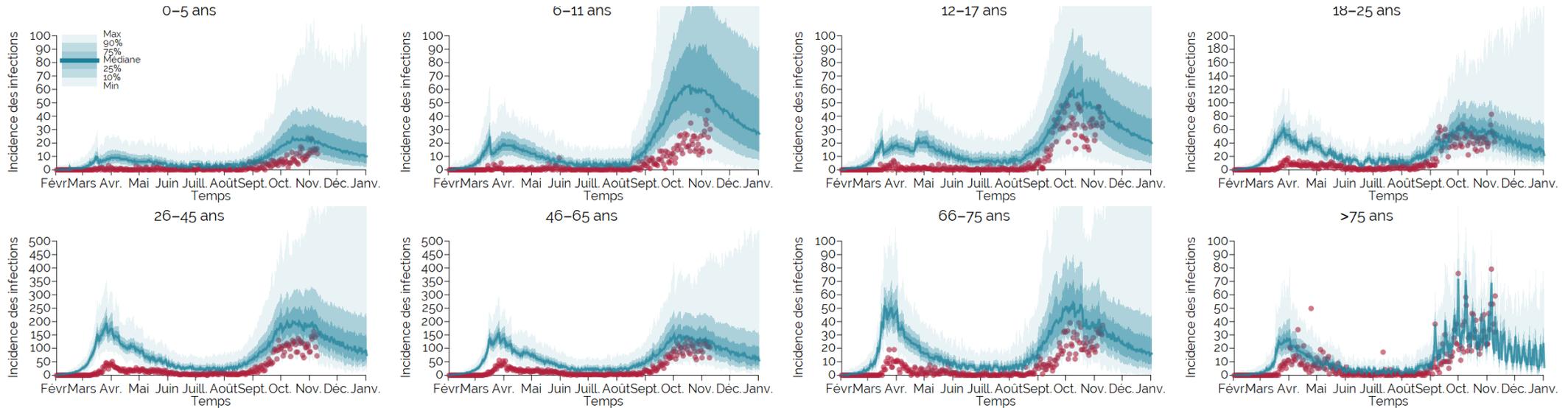


Lignes rouges, données de séroprévalence d'Héma-Québec (données pour les 18 ans et plus, aucune donnée pour les moins de 18 ans).

Statu quo + amélioration dépistage/traçage/isolément des cas

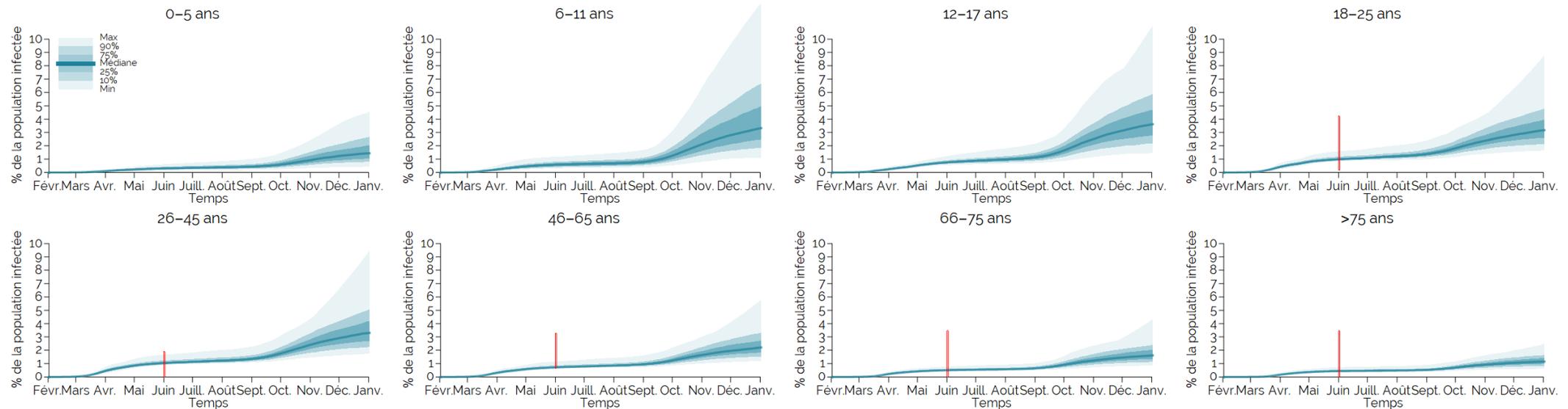
Infections par âge

Autres régions



Points rouges, données INSPQ/MSSS (cas confirmés). Les résultats représentent la médiane, min-max et les 10e, 25e, 75e et 90e percentiles des prédictions du modèle.

Note : Ce sont les prédictions de tous les cas (cliniques et sous-cliniques); le nombre est plus élevé que les cas détectés et il y a un délai lié aux tests entre les cas infectés et les cas détectés.



Lignes rouges, données de séroprévalence d'Héma-Québec (données pour les 18 ans et plus, aucune donnée pour les moins de 18 ans).

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'âges 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 lesquels 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 sont effectués 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.

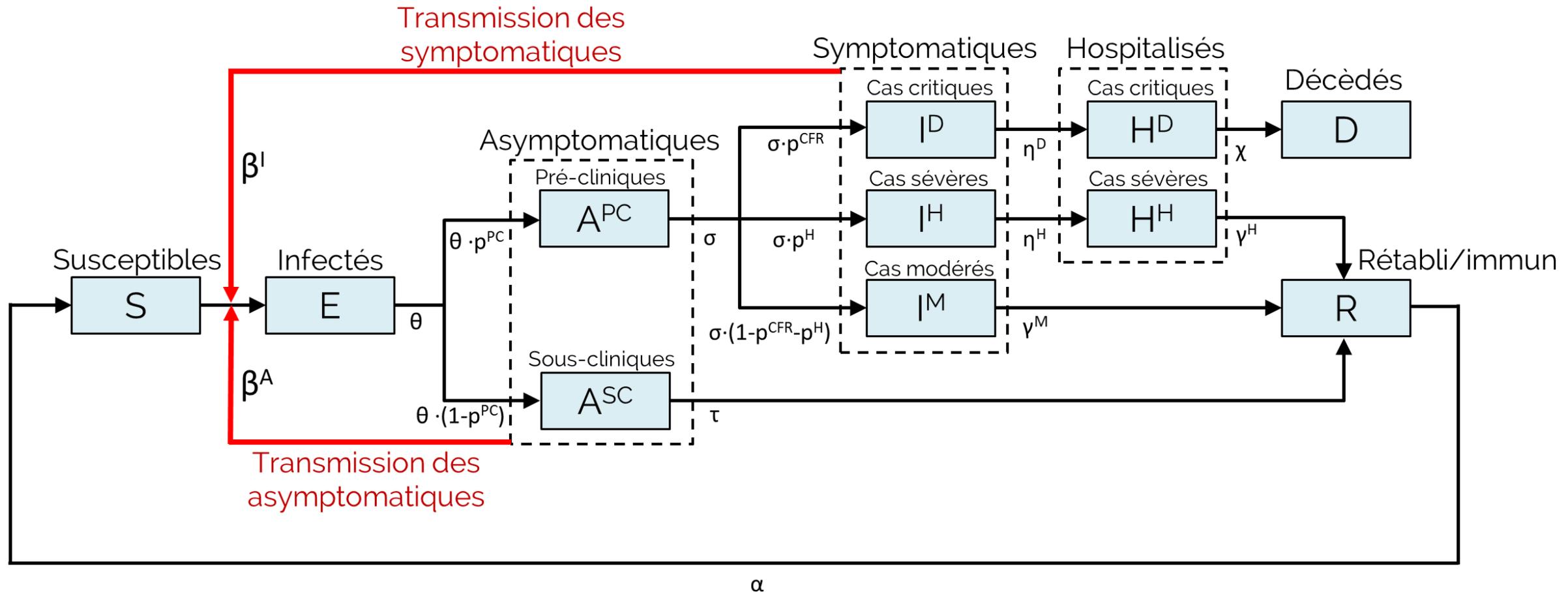
[3] Gillespie, D. T. (1976). *Journal of Computational Physics*. **22** (4): 403–434.

[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

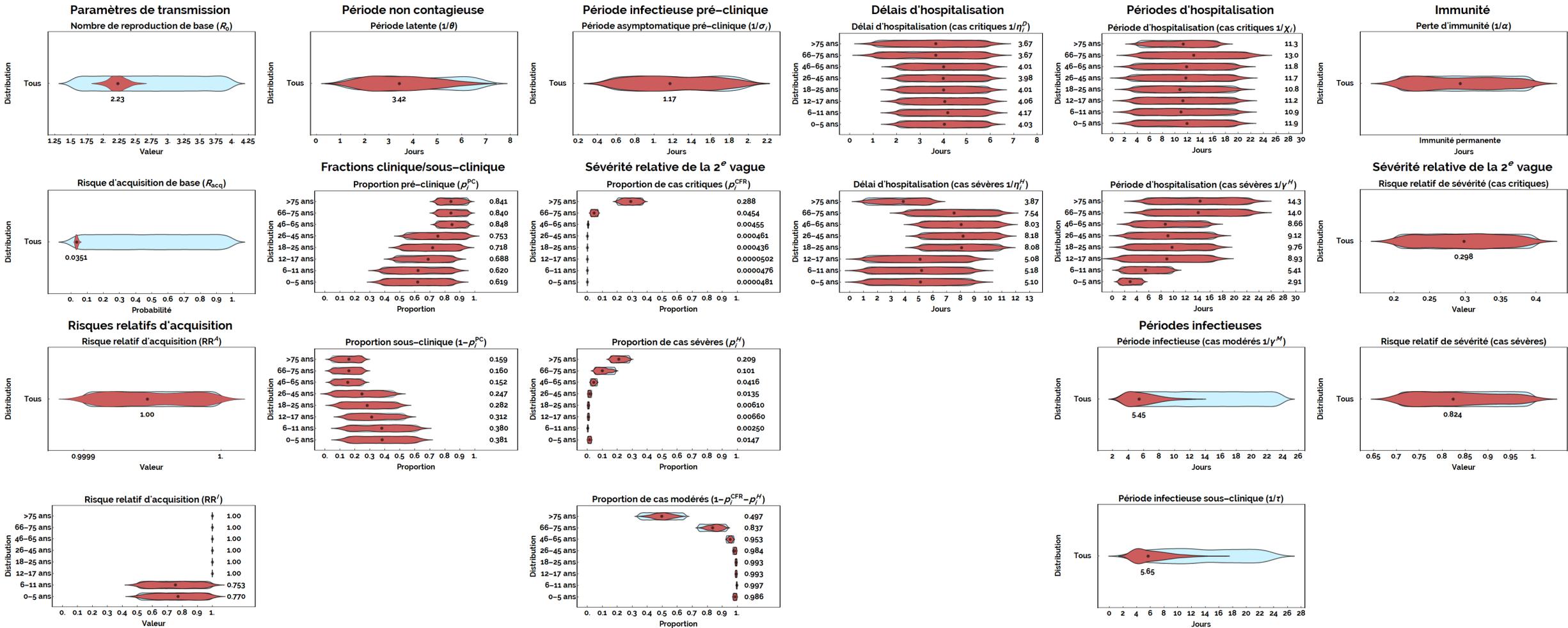
Diagrammes de flux – Modèle dynamique stochastique compartimental



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 la flèche rouge représente 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

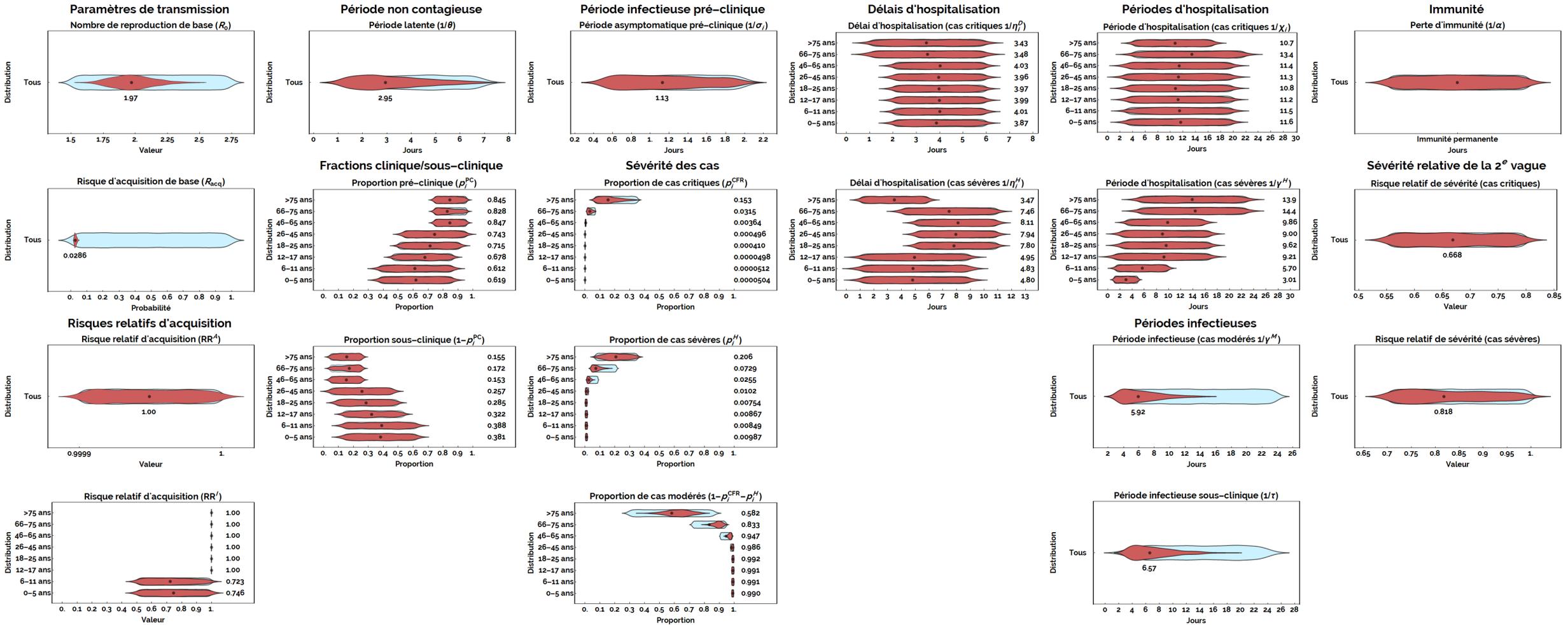
Grand Montréal



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 zone rouges montrent les distributions résultantes (distributions a posteriori) de toutes les simulations calibrées.

Paramètres – Histoire naturelle

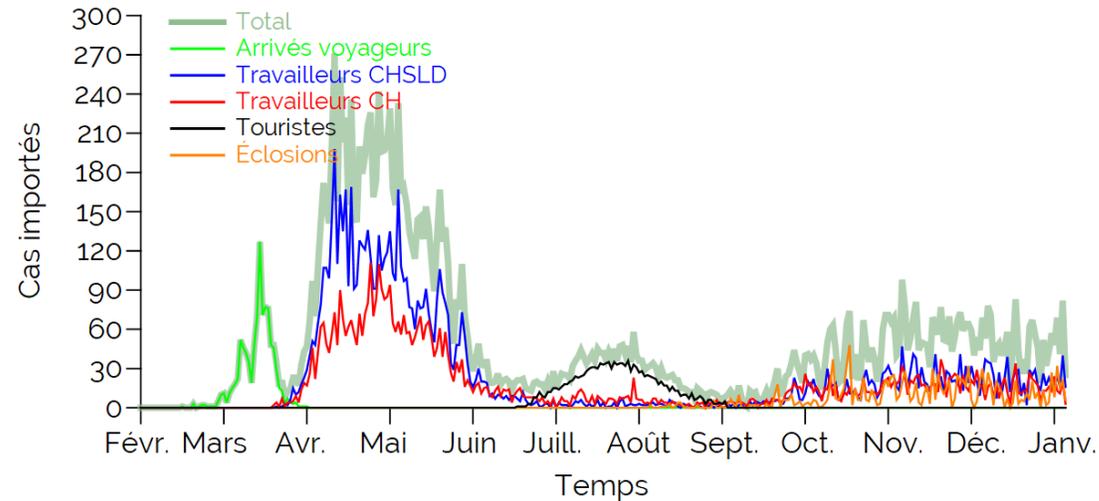
Autres régions



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 zone rouges montrent les distributions résultantes (distributions a posteriori) de toutes les simulations calibrées.

Paramètres – Cas importés

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



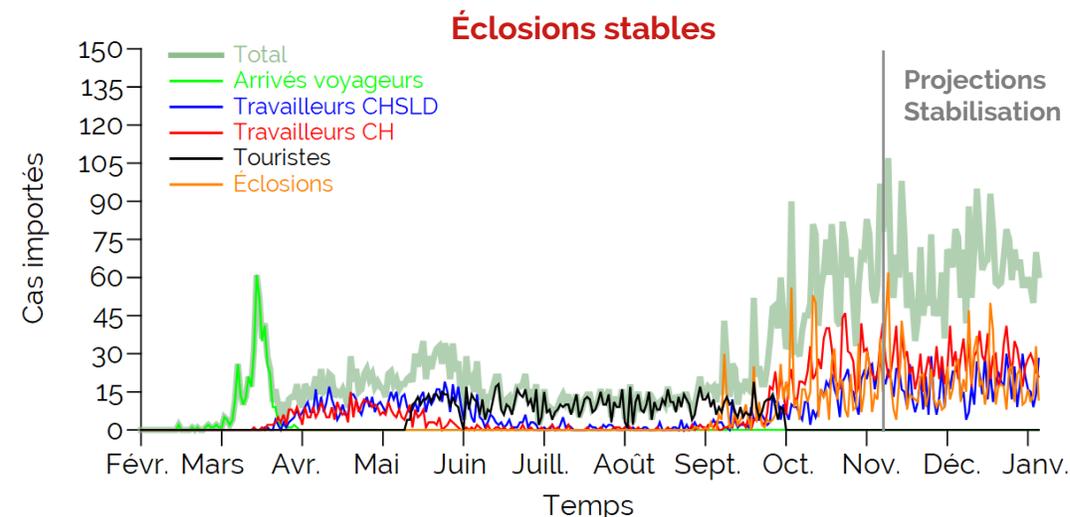
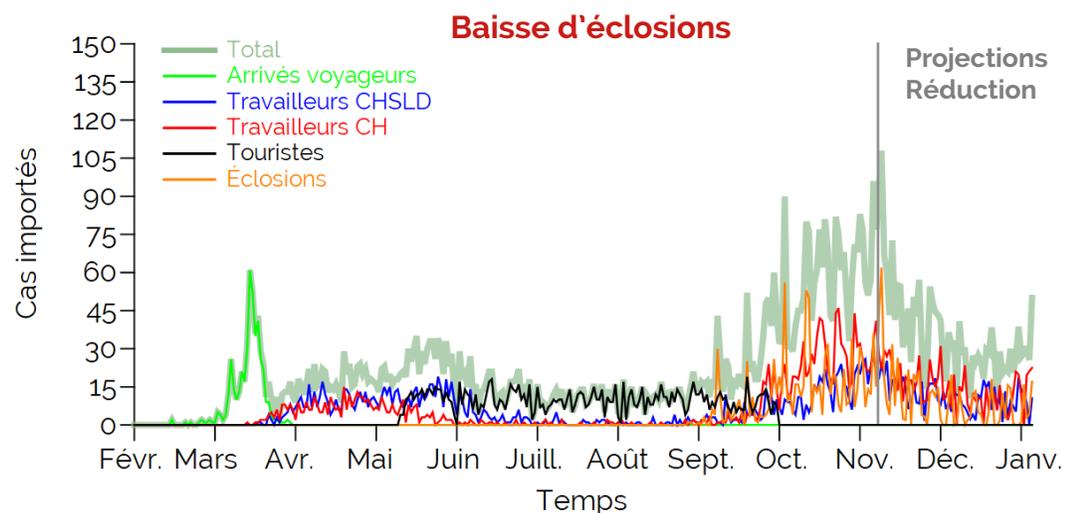
Nous intégrons, dans le modèle, des infections acquises à l'extérieur de la population générale (cas importés):

- Données des cas de retour de voyages à l'étranger au début de l'épidémie (mois de mars):
 - Pour débiter l'épidémie au Québec, nous utilisons les données de cas positifs (dates de retour) lors de retour de voyageurs.
- Travailleurs de la santé qui ont acquis l'infection lors d'éclosions dans des centres hospitaliers (CH) ou CHSLD
- Données d'éclosions importantes (plus de 20 cas):
 - Patients des CH, et résidents CHSLD/RPA (nous assumons que les éclosions sont constantes (valeur médiane de la 2e vague) à partir de novembre)
- 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.
- Les cas importés sont des cas pré-cliniques qui peuvent ensuite s'isoler, être hospitalisés et/ou décéder.
- Pour les simulations du Grand Montréal, nous avons fait l'hypothèse que les cas importés restaient stables à partir de novembre.

Paramètres – Cas importés

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

Autre régions



Étant donné l'impact important des éclosions sur l'épidémie de la COVID-19 dans les autres régions, 50% des simulations font l'hypothèse que les éclosions dans les RPA/CH et les cas chez les travailleurs de la santé diminuent, 50% des simulations font l'hypothèse que ces cas restent constants.

Projections: Les projections des cas importés sont faites à partir de modèles autorégressifs à moyenne mobile (ARMA) pour les travailleurs de la santé et des modèles saisonniers autorégressifs à moyenne mobile intégrée (SARIMA) pour les éclosions.

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 représentatif du Québec
- Collecte de données
 - Questionnaire web auto-administré, 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 demande plutôt des questions générales concernant leurs contacts professionnels
 - Nombre de contacts professionnels
 - Groupes d'âges de la majorité de leurs contacts
 - Durée moyenne de leurs contacts
 - Contacts physique 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 inter-régionaux 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 de 2 mètres, installation postes de lavage des mains, prise température/symptômes au début du quart de travail)

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 super-ordinateurs de Calcul Canada, on roule des centaines de milliers 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 (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)

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 mètre 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	Centre commerciaux	
15 juin / 22 juin	Restaurants	
1 ^{er} au 19 juin	Activités touristiques et hébergement	
Sports et loisirs		
8 juin	Activités sportive 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 gardes	<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 mètre 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 limité • 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 augmenté à 50 personnes
15 juin / 22 juin	Rassemblements privés intérieur	<ul style="list-style-type: none"> • maximum de 10 personnes, de 3 ménages
22 juin	Rassemblement 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
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,