



# Épidémiologie et Modélisation de l'évolution de la COVID-19 au Québec

**Rapport 3**  
28 mai 2020

# Résumé – épidémiologie

---

## Québec

- Depuis la fin avril, les nouvelles hospitalisations et les décès diminuent au Québec.

## CHSLD

- Réduction marquée des décès depuis la fin avril.

## Grand Montréal

- Les nouvelles hospitalisations dans le Grand Montréal diminuent chez les 65 ans et plus, mais restent plutôt stables chez les 65 ans et moins.
- Les décès diminuent depuis le début mai.

## Autres régions

- Faible nombre de nouvelles hospitalisations et décès dans les autres régions.

# Résumé - modélisation

---

## Grand Montréal

- Les prédictions de l'évolution de l'épidémie à la suite du déconfinement varient selon le niveau d'adhésion de la population aux mesures de distanciation et l'isolement des cas.
- Adhésion faible :
  - Un déconfinement dans la situation épidémiologique actuelle pourrait mener à une augmentation des hospitalisations et des décès (90 % des prédictions montrent une augmentation).
- Adhésion forte :
  - 50 % des prédictions montrent qu'il pourrait y avoir des diminutions des hospitalisations et des décès.
  - 50 % des prédictions montrent qu'il pourrait y avoir des augmentations (lentes) des hospitalisations et des décès.

## Autres régions

- À la suite du déconfinement :
- 55 % des prédictions montrent qu'il pourrait y avoir des diminutions (lentes) des hospitalisations et des décès.
- 45 % des prédictions montrent qu'il pourrait y avoir des augmentations (lentes) des hospitalisations et des décès.

## Attention

- Les prédictions ne tiennent pas compte du mouvement entre les régions. Le voyage entre les régions chaudes et les régions froides pourrait avoir des répercussions pour les régions froides.
- Les prédictions incluent seulement les mesures de déconfinement annoncées avant le 20 mai.

# Objectifs du Rapport 3

---

Décrire la situation de l'épidémie de la COVID-19 au Québec.

Prédire l'impact potentiel des stratégies de déconfinement sur l'évolution de l'épidémie de la COVID-19 dans le Grand Montréal et dans les autres régions.

- Évolution des cas, des hospitalisations et des décès pour des stratégies générales de déconfinement.
- Pour le Grand Montréal : Impact du niveau d'adhésion aux mesures de distanciation lors du déconfinement (ex. : 2 mètres, masques, plexiglass, étiquette respiratoire) et augmentation de l'isolement des cas (ex. : plus de tests).

# Changements depuis le rapport du 7 mai

---

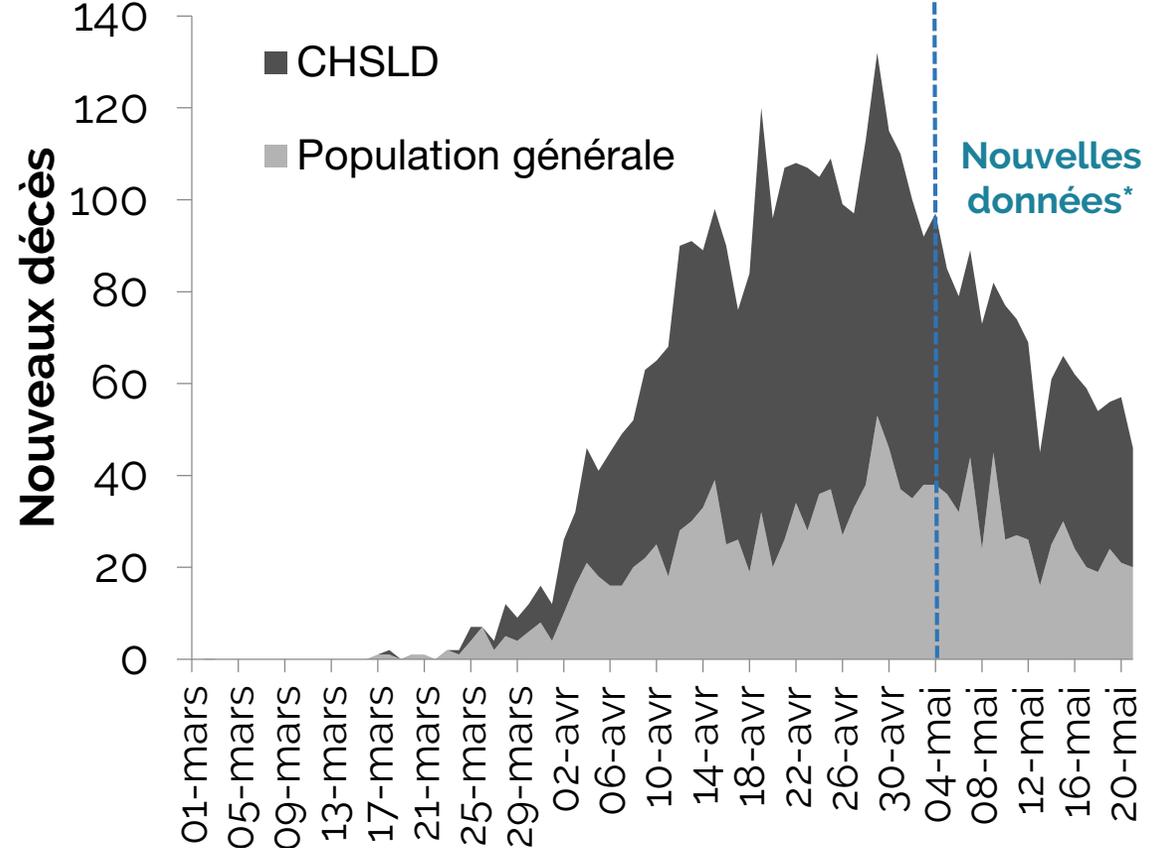
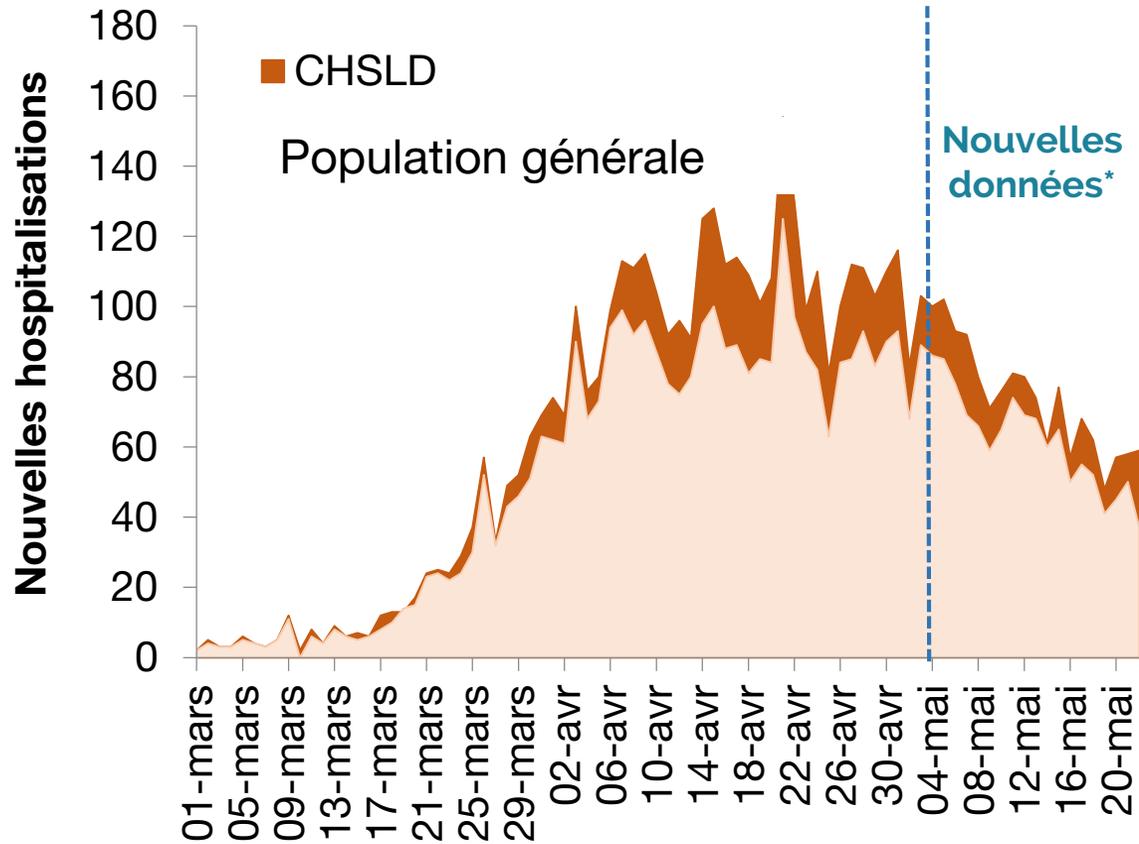
- 2,5 semaines de données épidémiologiques supplémentaires avec réduction marquée des cas, des hospitalisations et des décès :
  - amélioration de l'identification des transferts en provenance des CHSLD vers les hôpitaux;
  - changement dans la définition d'hospitalisation pour tenir compte du changement dans la méthode de calcul utilisée par le gouvernement (annonce du 21 mai).
- Changement du calendrier de déconfinement :
  - écoles du Grand Montréal en septembre (vs 25 mai);
  - commerces de détail du Grand Montréal 25 mai;
  - les nouvelles annonces de déconfinement faites après le 21 mai ne sont pas intégrées à notre modélisation (ex. centres commerciaux).
- Nouvelles données pour les paramètres du modèle (plus spécifiques au Québec) :
  - délais entre l'apparition des symptômes, les hospitalisations et les décès au Québec;
  - données préliminaires de l'étude CONNECT pour estimer les changements de contacts sociaux durant le confinement.
- Adhésion aux mesures de distanciation lors du déconfinement :
  - le déconfinement va nécessairement mener à plus de contacts sociaux (donc plus d'opportunités de transmission)
  - il est présentement difficile de prédire à quel point les Québécois et les entreprises/commerces du Québec pourront adhérer aux mesures de distanciation pour réduire le risque de transmission: distance de 2 mètres, étiquette respiratoire, isolement lors de symptômes, mesures de protection dans les commerces et industries
  - nous avons modélisé 2 scénarios pour 1) examiner la sensibilité de nos prédictions au niveau d'adhésion de la population aux mesures de distanciation et 2) prédire l'impact que ceci pourrait avoir sur l'épidémie à la suite du déconfinement.

# 1. Épidémiologie de la COVID-19 au Québec



# Évolution de l'épidémie de la COVID-19 au Québec

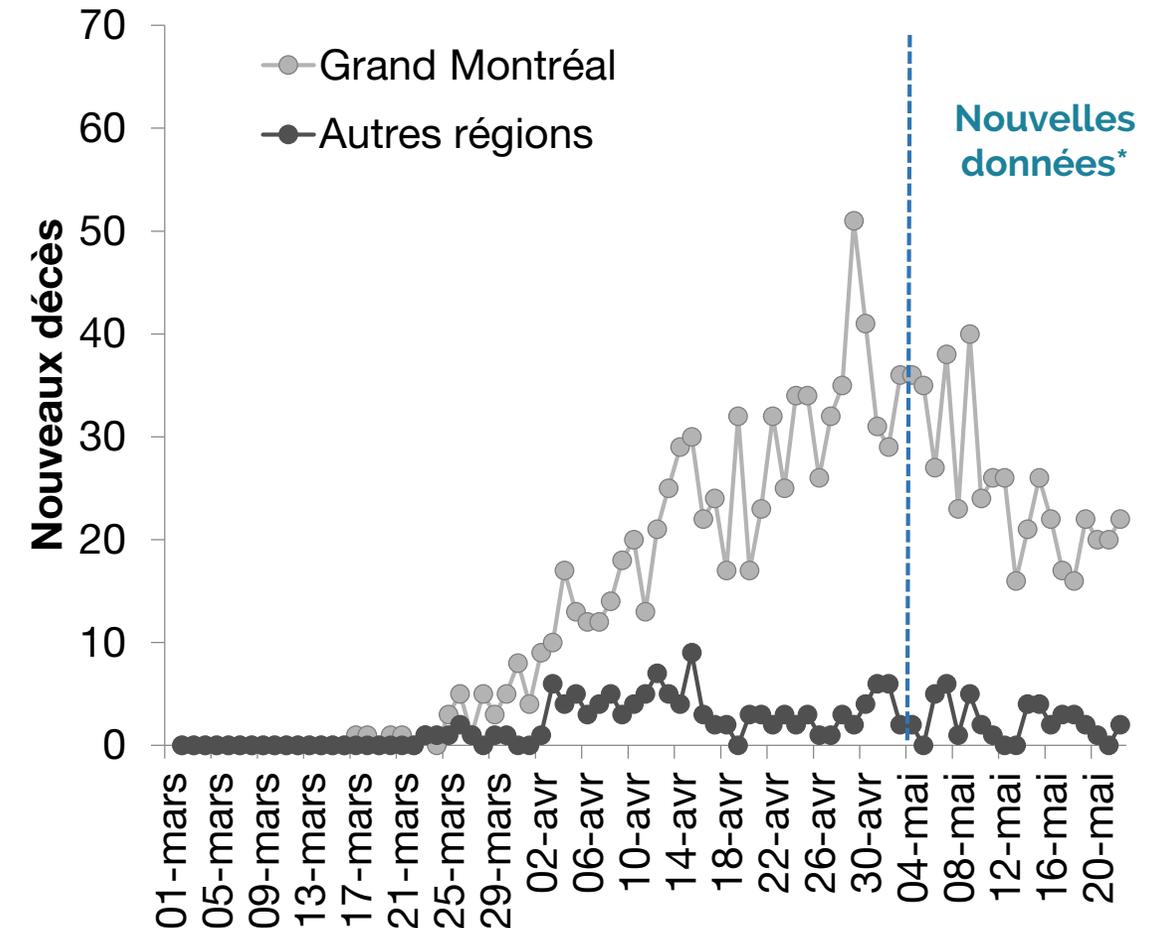
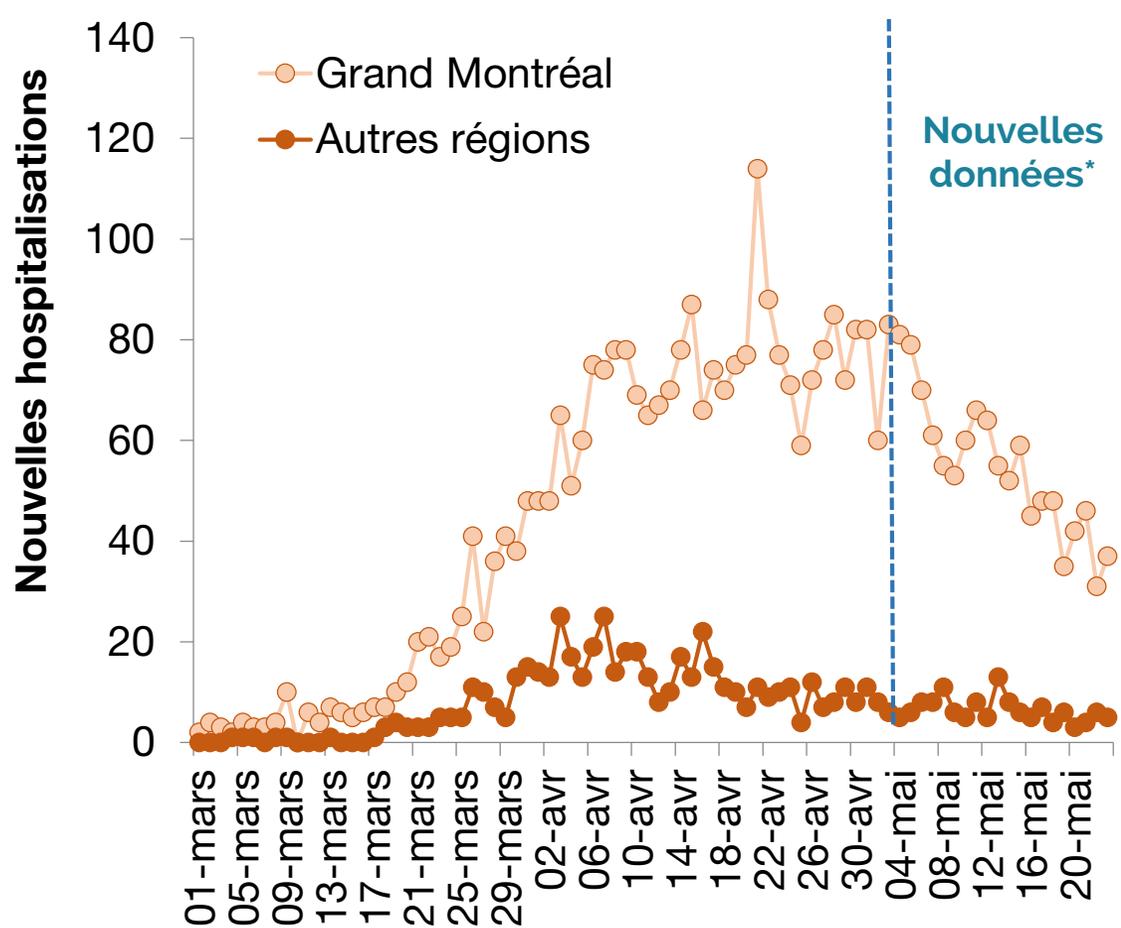
Population totale : CHSLD et population générale



- Population totale : les hospitalisations et les décès diminuent au Québec depuis la fin avril.
- CHSLD : les transferts vers les centres hospitaliers et les décès diminuent.
- Population générale : les hospitalisations et les décès diminuent.

# Évolution de l'épidémie de la COVID-19

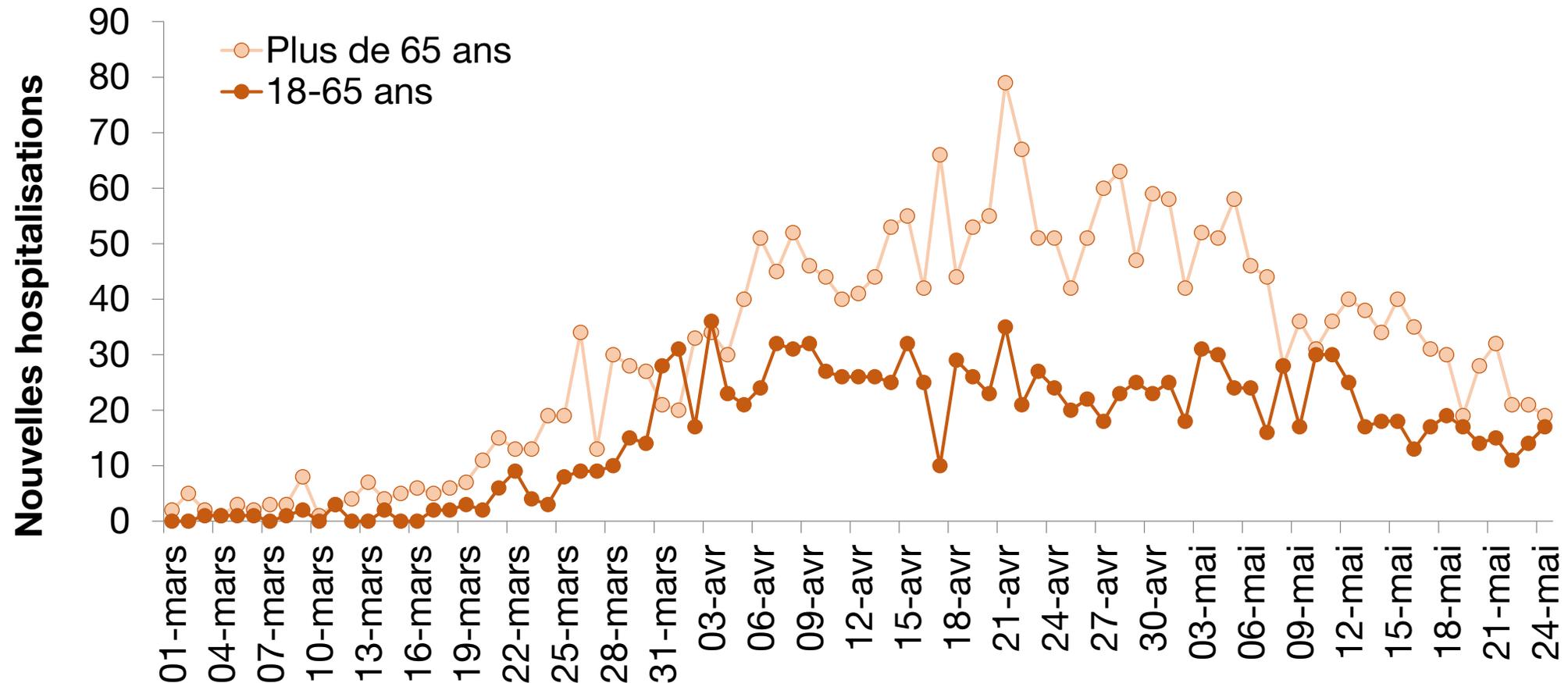
## Grand Montréal vs autres régions (population générale)



- Grand Montréal : **réduction** récente du nombre d'hospitalisations et de décès.
- Autres régions : les nombres d'hospitalisations et de décès restent **faibles** et **stables** depuis la mi-avril.
- Note : les données des derniers jours sont instables, car il y a des délais dans l'identification des hospitalisations et des décès.

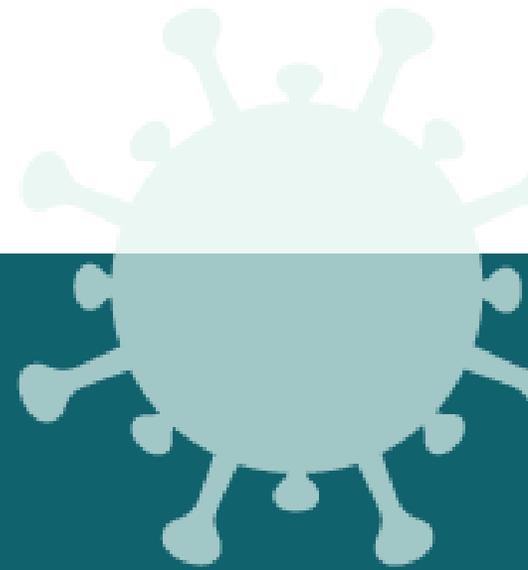
# Évolution de l'épidémie de la COVID-19 dans le Grand Montréal

## Hospitalisations par âge – population générale



- Plus de 65 ans : **réduction importante** des hospitalisations depuis le début mai.
- 18-65 ans : hospitalisations semblent **stables ou diminuent lentement** (à surveiller avec le déconfinement).

## 2. Modélisation mathématique de la COVID-19 au Québec



# Prédictions de l'impact du déconfinement selon le calendrier de réouverture des écoles et de retour de certains milieux de travail

---

## Confinement

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

## Déconfinement

- Rétablissement des contacts selon le calendrier de réouverture du gouvernement.
- Rétablissement graduel des contacts sociaux<sup>1</sup> par type d'emploi entre le 15 avril et le 25 mai.
- Retour de 50-60 % des élèves et professeurs à l'école :
  - Grand Montréal : septembre;
  - Autres régions : 11 mai.

## Scénarios d'adhésion aux mesures de distanciation et d'isolement lors du déconfinement

- Nous utilisons 2 scénarios pour examiner l'impact des mesures de distanciation au travail et à l'école lors du déconfinement (ex. : étiquette respiratoire, distance de 2 mètres, plexiglas) et l'augmentation des tests des cas symptomatiques.
  - Forte Adhésion :
    - 60-80 % des contacts sociaux déconfinés sont protégés et 75-90 % des cas symptomatiques sont isolés.
  - Faible Adhésion :
    - 0-40 % des contacts sociaux déconfinés sont protégés et 60-75 % des cas symptomatiques sont isolés.

# Contacts : nombre moyen de personnes avec qui on a un/des contacts par jour avant le confinement (données de l'étude CONNECT1)



**Contacts** : Nombre de personnes avec qui on a un contact, dans une journée; un contact étant défini par :

- une conversation à moins de 2 mètres et/ou
- un contact physique (ex. : toucher la peau, se serrer la main, s'embrasser)

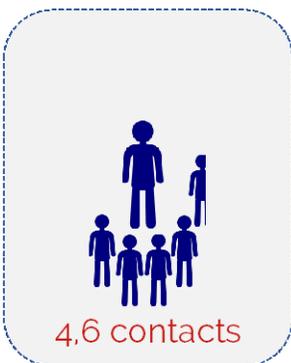
Total



Maison



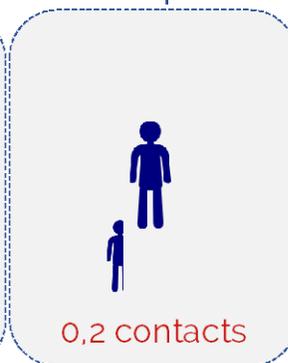
Travail



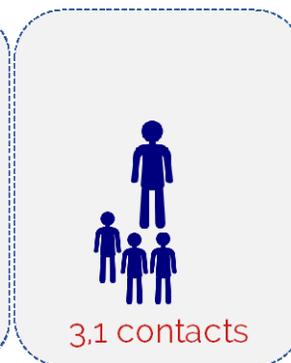
École



Transport



Loisirs et autres



## Lieux des contacts

### Maison

Contact avec des personnes à la maison, incluant les visiteurs

### Travail

Le nombre moyen de contacts au travail est 10 (mais environ 46 % de la population travaille et ne travaille pas tous les jours)

### École

Le nombre moyen de contacts à l'école est 6 (mais seulement une fraction de la population est à l'école)

### Transport

Tout transport en commun

### Loisirs et autres

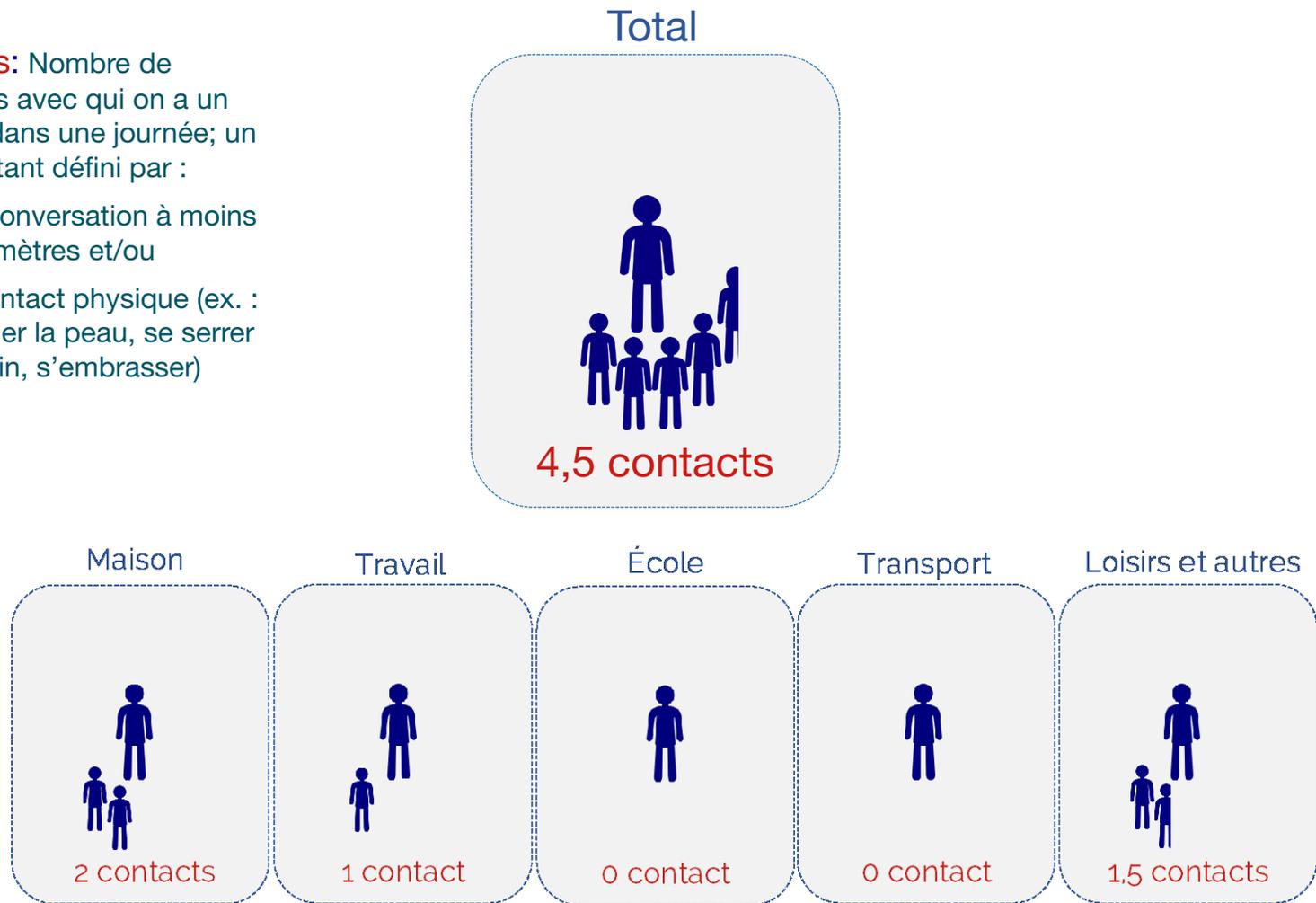
Représentent les contacts lors des courses (épicerie, pharmacie, etc.), rendez-vous médicaux, sports et loisirs.

# Contacts : nombre moyen de personnes avec qui on a un/des contacts par jour pendant le confinement (données de l'étude CONNECT2)



**Contacts:** Nombre de personnes avec qui on a un contact, dans une journée; un contact étant défini par :

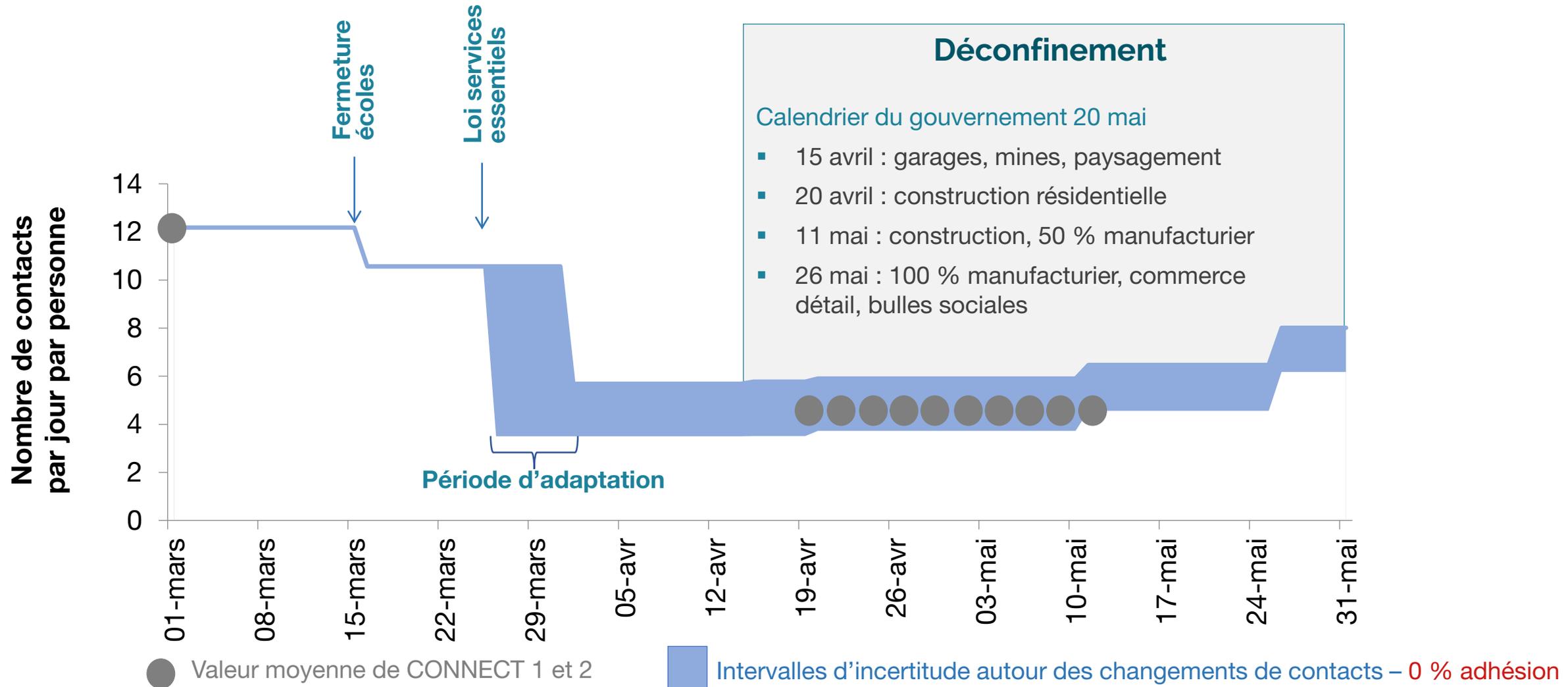
- une conversation à moins de 2 mètres et/ou
- un contact physique (ex. : toucher la peau, se serrer la main, s'embrasser)



- 63 % de réduction du nombre de contacts pendant le confinement (4,5 contacts confinement/12,2 contacts préconfinement).

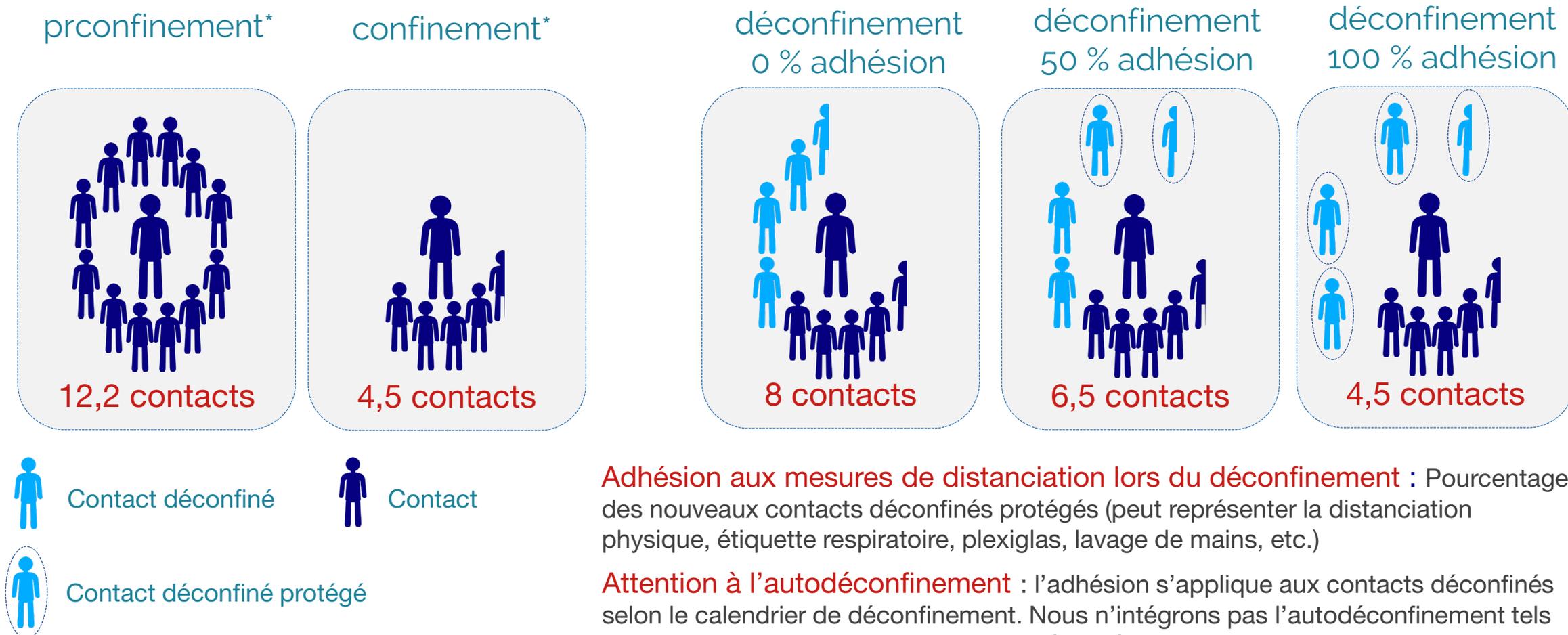
\* Données préliminaires de CONNECT2 – 2020 (données du 20 avril-13 mai) – Données combinées du Québec et de l'Ontario – Démographie du Québec.

# Modélisation des changements de contacts selon le calendrier de confinement et de déconfinement exemple pour le Grand Montréal



# Contacts

## adhésion aux mesures de distanciation lors du déconfinement (26 mai)



**Adhésion aux mesures de distanciation lors du déconfinement** : Pourcentage des nouveaux contacts déconfinés protégés (peut représenter la distanciation physique, étiquette respiratoire, plexiglas, lavage de mains, etc.)

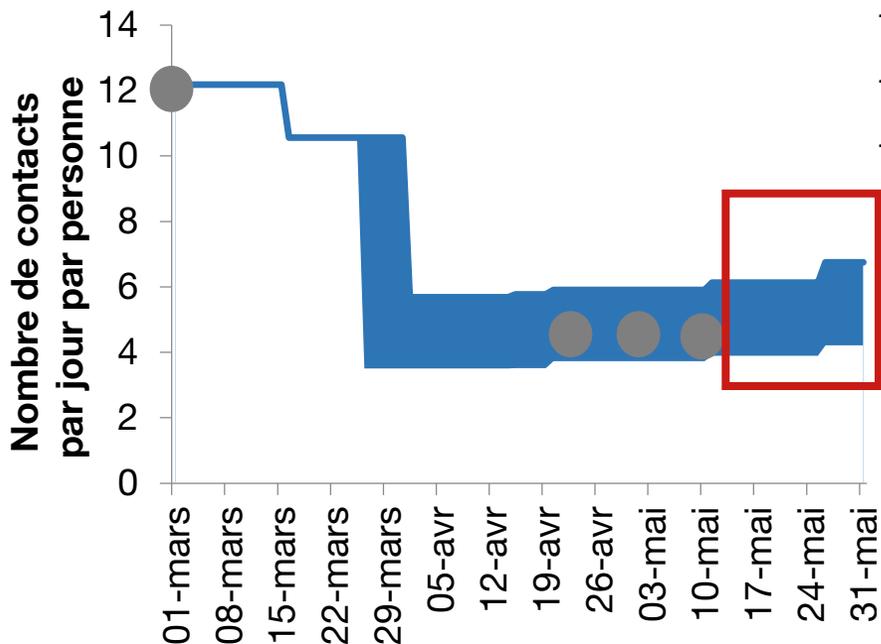
**Attention à l'autodéconfinement** : l'adhésion s'applique aux contacts déconfinés selon le calendrier de déconfinement. Nous n'intégrons pas l'autodéconfinement tels les grands rassemblements, rencontres à l'intérieur des maisons, etc. L'autodéconfinement augmente le nombre de contacts, ce qui est différent du niveau d'adhésion aux mesures de distanciation pour le déconfinement annoncé.

# Modélisation des changements de contacts selon le calendrier de confinement et de déconfinement

## Grand Montréal

Forte adhésion

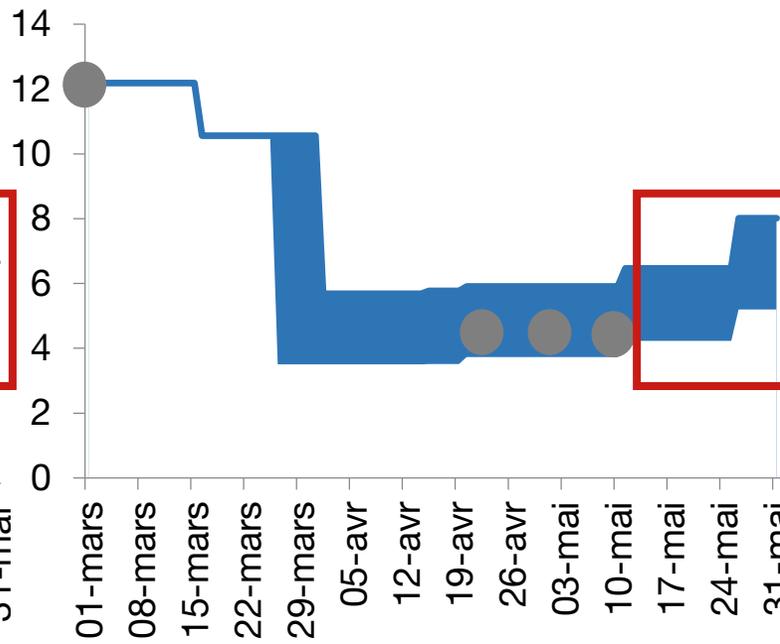
60-80 % des contacts déconfinés protégés



## Grand Montréal

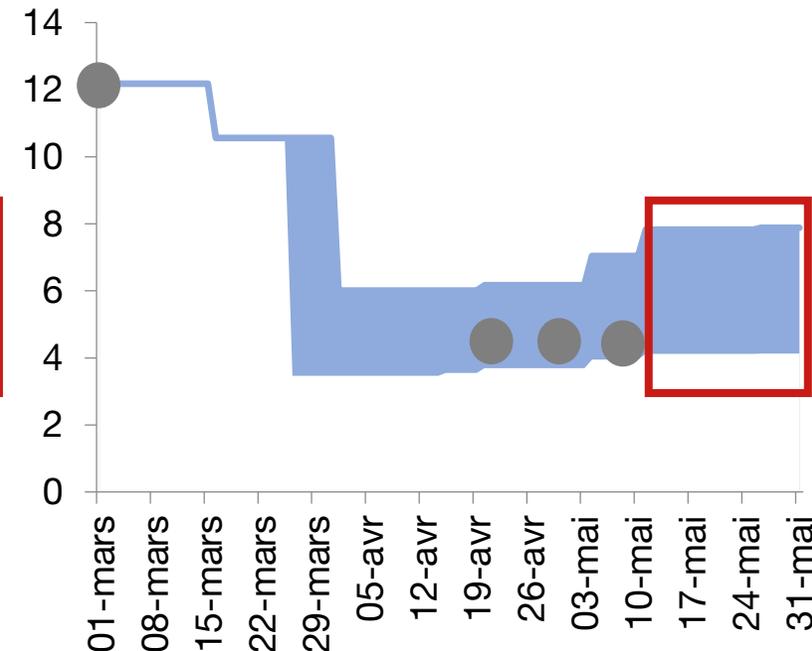
Faible adhésion

0-40 % des contacts déconfinés protégés



## Autres régions

0-80 % des contacts déconfinés protégés



● Valeur moyenne de CONNECT 1 et 2

■ Intervalles d'incertitude autour des changements de contacts

# Prédictions de l'évolution de la courbe épidémique par région

---

## Régions

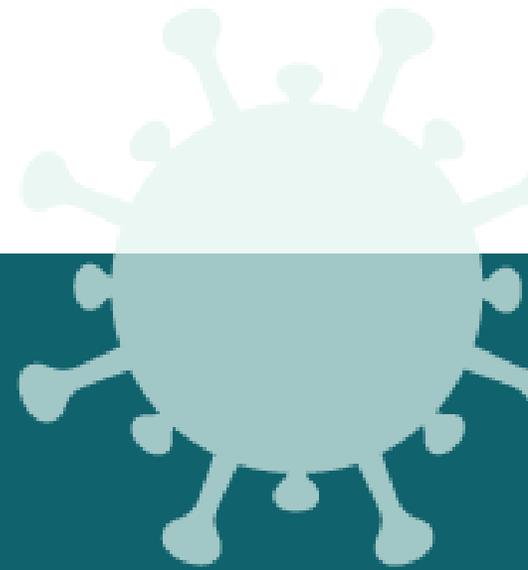
- Grand Montréal (Montréal, Laval, Laurentides, Lanaudière, Montérégie).
- Autres régions que le Grand Montréal.

## Calibration

- Nous avons calibré notre modèle aux données pour les 2 régions.
- Pour chaque région, environ 500 prédictions qui reproduisent le mieux les données de décès et d'hospitalisation ont été retenues (parmi > 50 000 000 prédictions au total et parmi 260 000 qui reproduisent la phase épidémique initiale).

# Le Grand Montréal

## Prédictions du modèle



# Impact d'un assouplissement des mesures de distanciation

## Calendrier de déconfinement du Grand Montréal

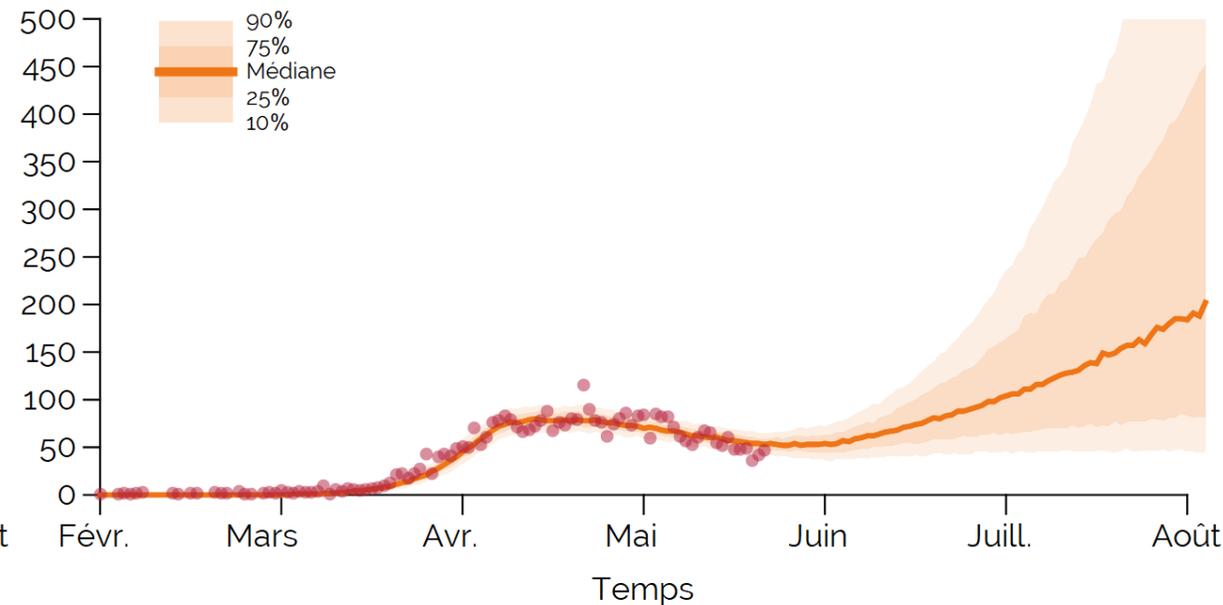
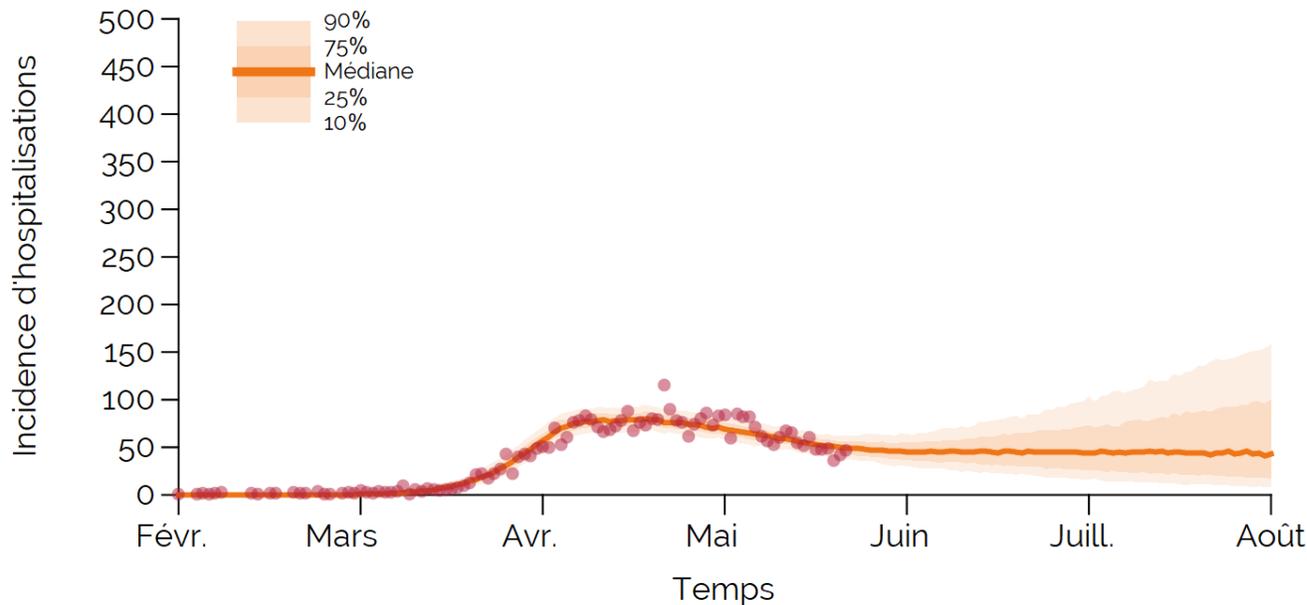
nouvelles hospitalisations par jour – population générale

### Forte adhésion

60-80 % des contacts déconfinés protégés, 75-90 % isolement

### Faible adhésion

0-40 % des contacts déconfinés protégés, 60-75 % isolement



À noter : **Points rouges**, données Med-Écho. Les transferts des CHSLD sont exclus; les séjours en centre hospitalier de 24 heures et moins sont inclus. **Prédictions du 27 mai avec calibration des données jusqu'au 26 mai.** Les résultats représentent la médiane et les 10<sup>e</sup>, 25<sup>e</sup>, 75<sup>e</sup> et 90<sup>e</sup> percentiles des prédictions du modèle.

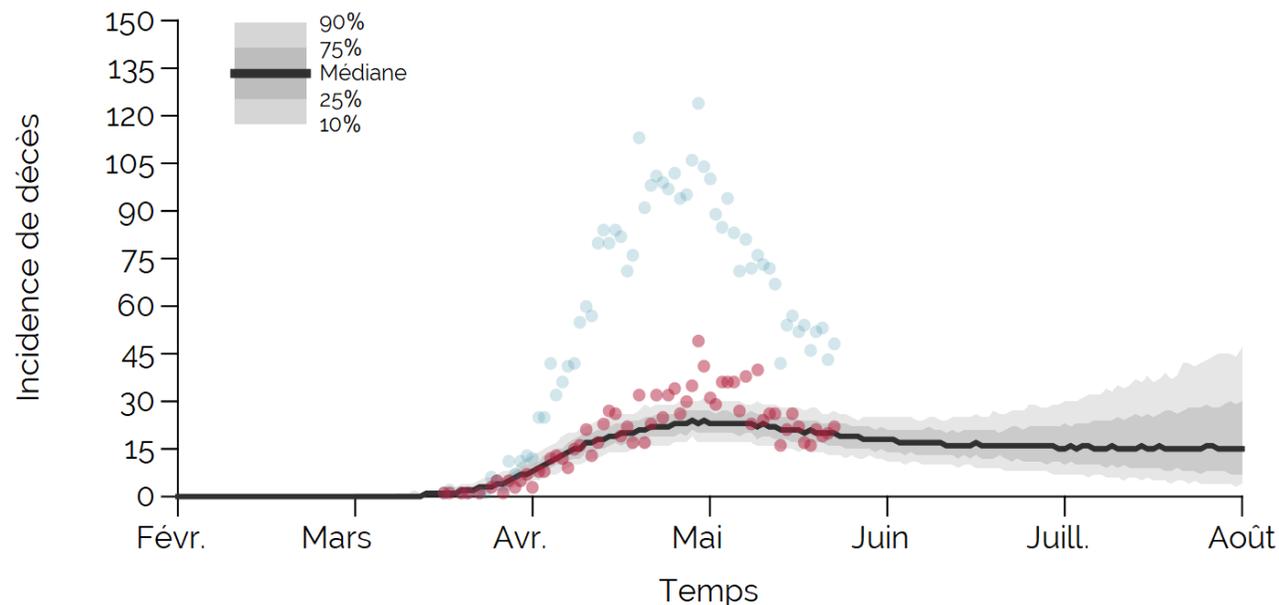
# Impact d'un assouplissement des mesures de distanciation

## Calendrier de déconfinement du Grand Montréal

nouveaux décès par jour – population générale

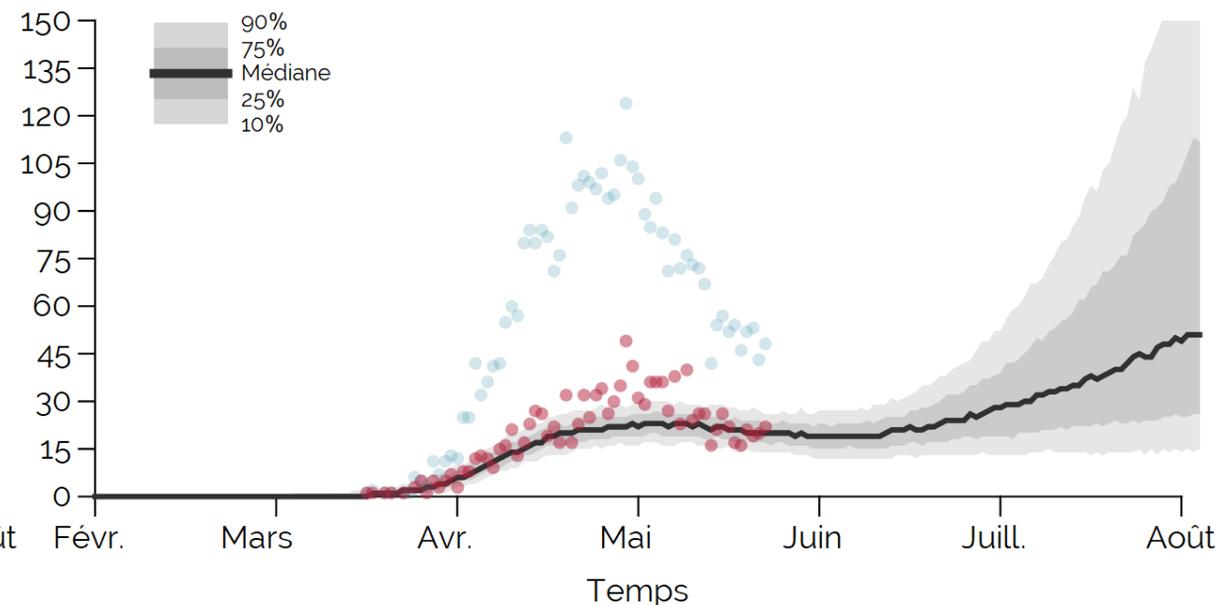
### Forte adhésion

60-80 % des contacts déconfinés protégés, 75-90 % isolement



### Faible adhésion

0-40 % des contacts déconfinés protégés, 60-75 % isolement



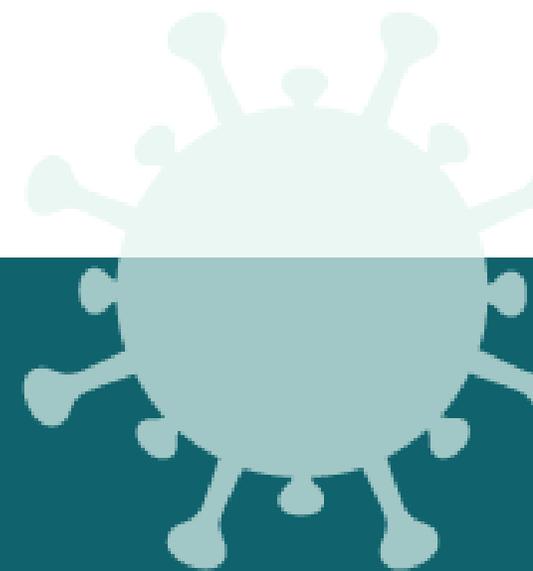
#### Forte adhésion :

- 50 % des prédictions montrent qu'il pourrait y avoir des diminutions des hospitalisations et des décès suite au déconfinement.
- 50 % des prédictions montrent qu'il pourrait y avoir des augmentations (lentes) des hospitalisations et des décès.

**Faible adhésion :** un déconfinement dans les conditions épidémiologiques actuelles pourrait mener à une augmentation des hospitalisations et des décès pendant le mois de juillet.

**Points rouges**, données MSSS (V10 décès) sans les décès de la COVID-19 lors d'éclotions dans les CHSLD. **Points bleus**, avec les décès lors d'éclotion dans les CHSLD. Prédiction des décès dans la population générale. **Prédictions du 27 mai avec calibration des données jusqu'au 26 mai.** Les résultats représentent la médiane et les 10<sup>e</sup>, 25<sup>e</sup>, 75<sup>e</sup> et 90<sup>e</sup> percentiles des prédictions du modèle.

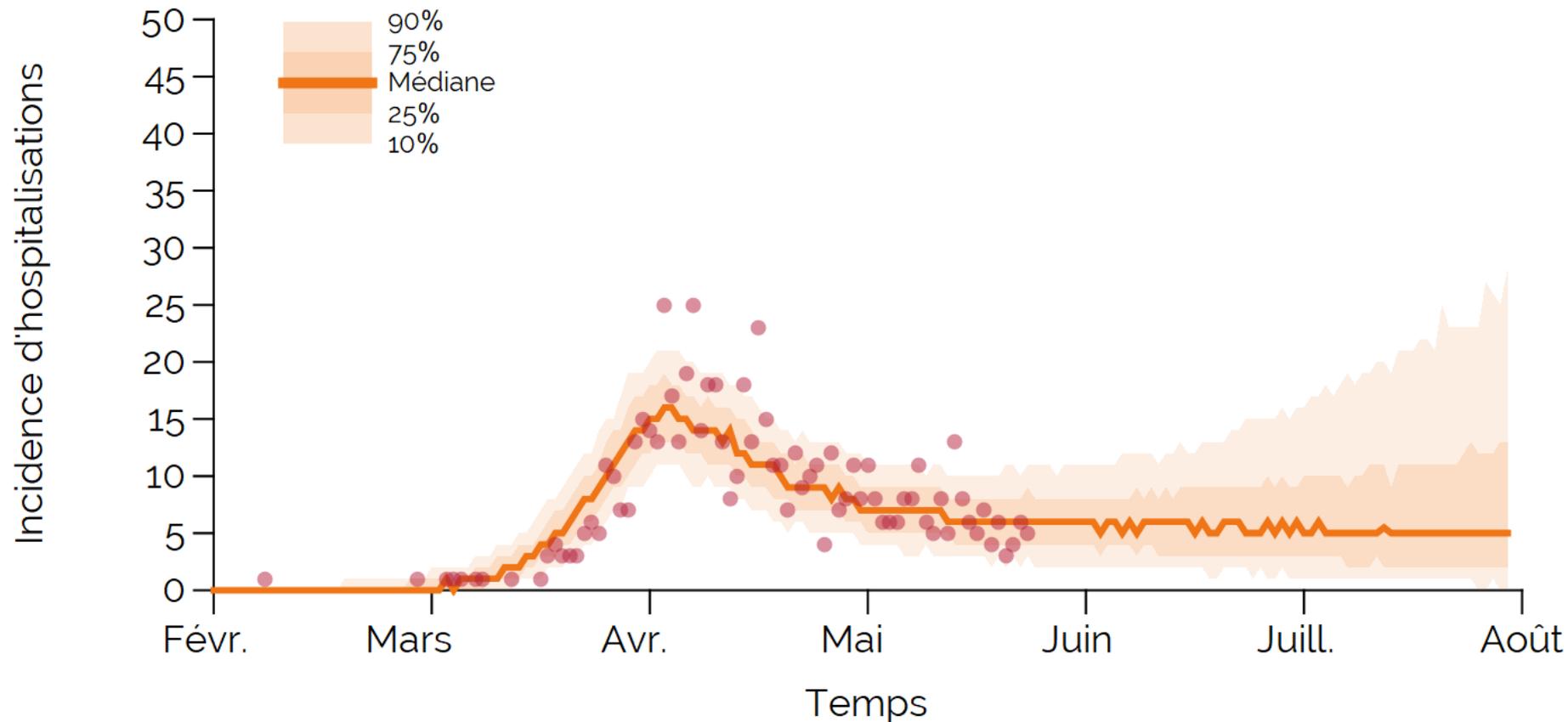
Autres régions  
Prédictions du modèle



# Impact d'un assouplissement des mesures de distanciation

## Calendrier de déconfinement dans les autres régions

nouvelles hospitalisations par jour – population générale

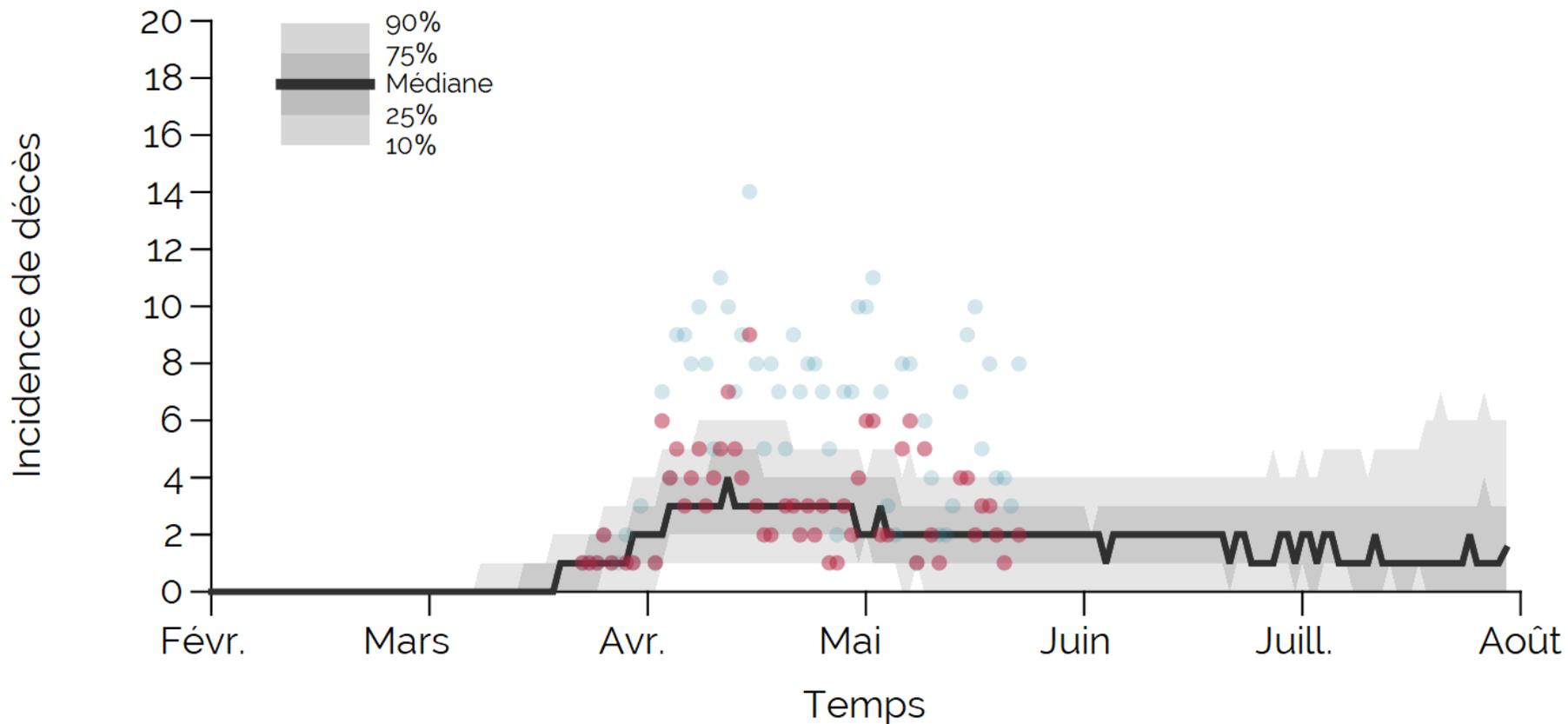


À noter : **Points rouges**, données Med-Écho. Les transferts des CHSLD sont exclus; les séjours en centre hospitalier de 24 heures et moins sont inclus. **Prédictions du 20 mai avec calibration des données jusqu'au 26 mai.** Les résultats représentent la médiane et les 10<sup>e</sup>, 25<sup>e</sup>, 75<sup>e</sup> et 90<sup>e</sup> percentiles des prédictions du modèle.

# Impact d'un assouplissement des mesures de distanciation

## Calendrier de déconfinement dans les autres régions

nouveaux décès par jour – population générale

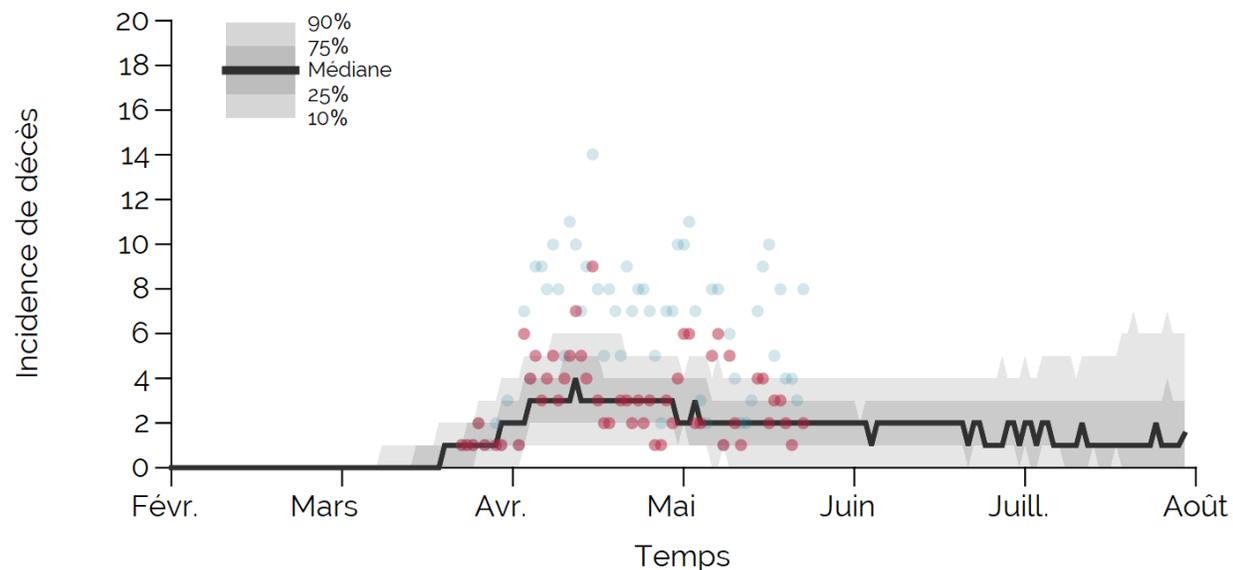


**Points rouges**, données MSSS (V10 décès) sans les décès de la COVID-19 lors d'éclotions dans les CHSLD. **Points bleus**, avec les décès lors d'éclotion dans les CHSLD. Prédiction des décès dans la population générale. **Prédictions du 20 mai avec calibration des données jusqu'au 26 mai**. Les résultats représentent la médiane et les 10<sup>e</sup>, 25<sup>e</sup>, 75<sup>e</sup> et 90<sup>e</sup> percentiles des prédictions du modèle.

# Impact d'un assouplissement des mesures de distanciation

## Calendrier de déconfinement dans les autres régions

nouveaux décès par jour – population générale

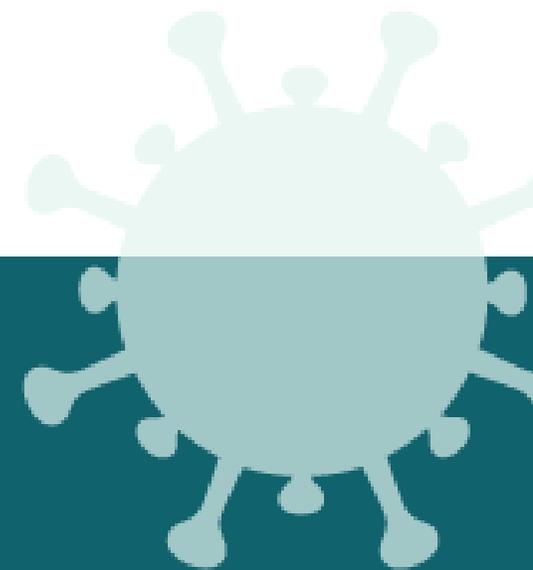


- 55 % des prédictions montrent qu'il pourrait y avoir des diminutions des hospitalisations et des décès suite au déconfinement.
- 45 % des prédictions montrent qu'il pourrait y avoir des augmentations (lentes) des hospitalisations et des décès.

### À noter, les prédictions :

- ne tiennent pas compte du mouvement entre les régions. Le voyage entre les régions chaudes et les régions froides pourrait avoir des répercussions pour les régions froides.
- sont sensibles à l'incertitude autour des comportements de distanciation lors du retour au travail et à l'école, et à l'autodéconfinement.

Comparaison des prédictions du 7 mai  
avec les nouvelles données  
d'hospitalisations et des décès



# Changements depuis le rapport du 7 mai

---

2,5 semaines de données épidémiologiques supplémentaires avec réduction des hospitalisations et des décès :

- les nouvelles données suggèrent que le Grand Montréal a suivi la trajectoire optimiste.

Changement du calendrier de déconfinement du Grand Montréal :

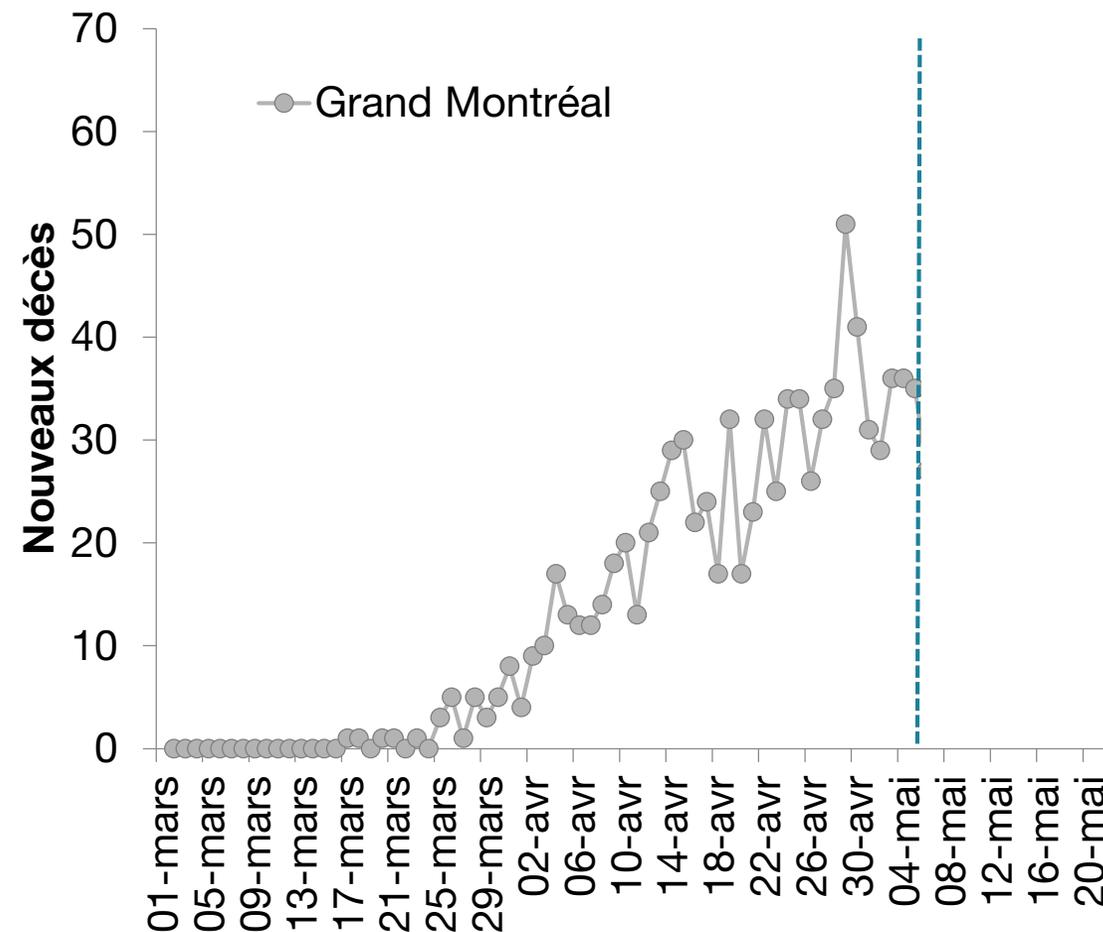
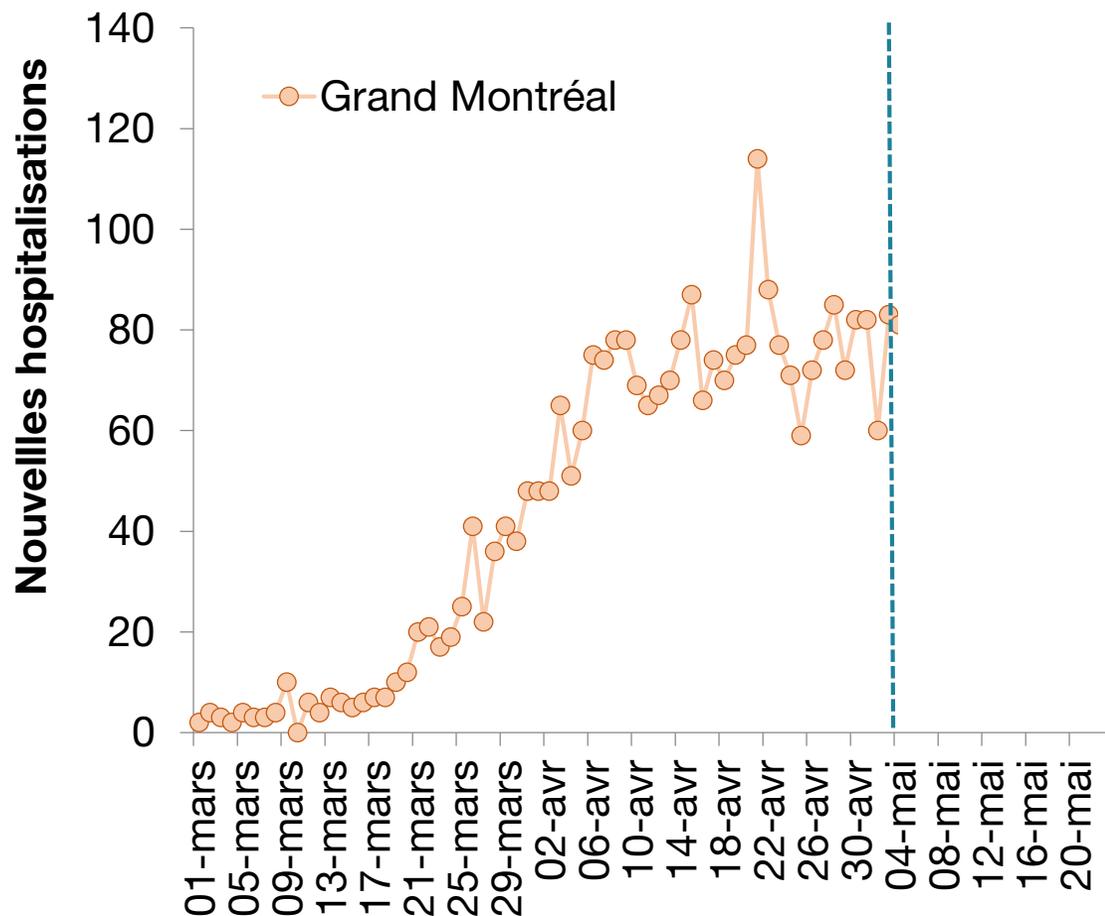
- les écoles n'ouvrent plus le 25 mai.

Nouvelles données pour les paramètres du modèle (plus spécifiques au Québec) :

- les données préliminaires de l'étude CONNECT supportent une réduction de contacts autour de 60 %.

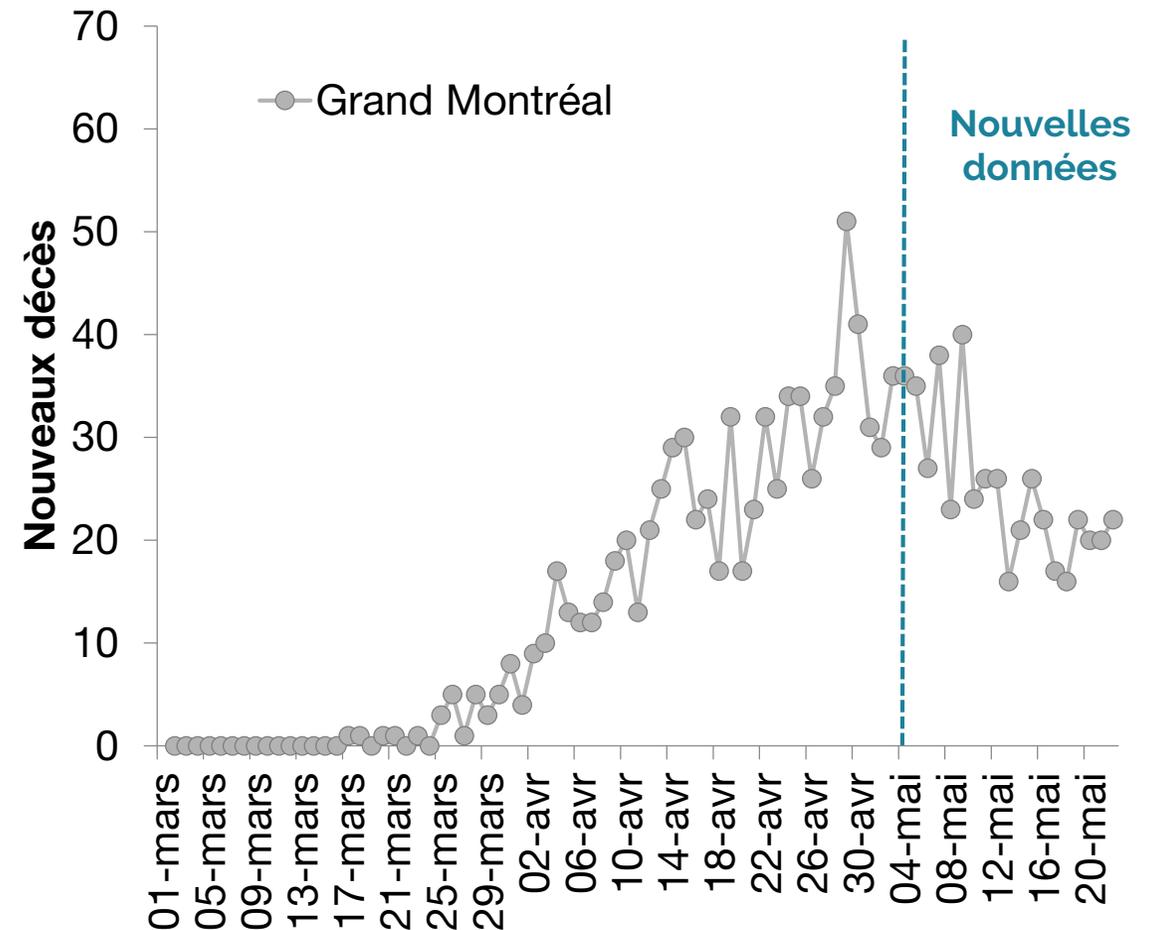
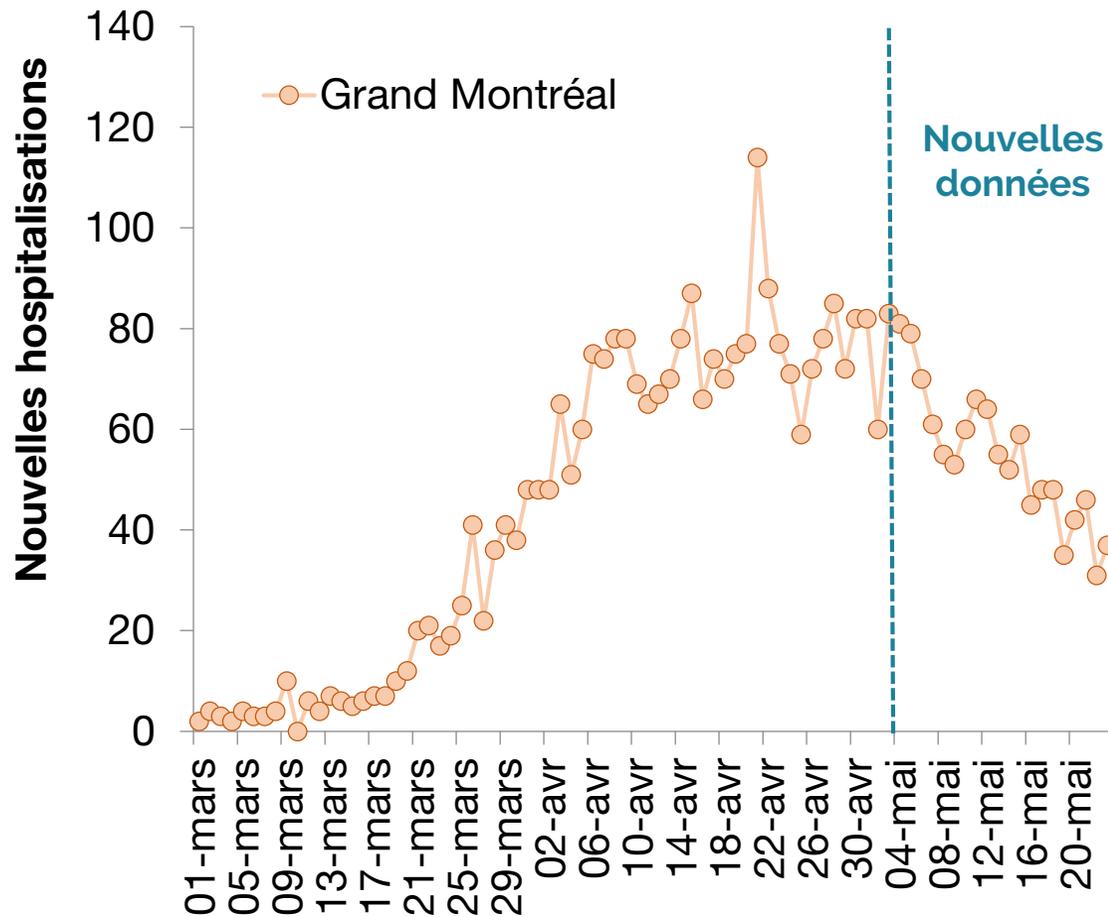
# Évolution de l'épidémie de la COVID-19

## Grand Montréal (population générale)



# Évolution de l'épidémie de la COVID-19

## Grand Montréal (population générale)

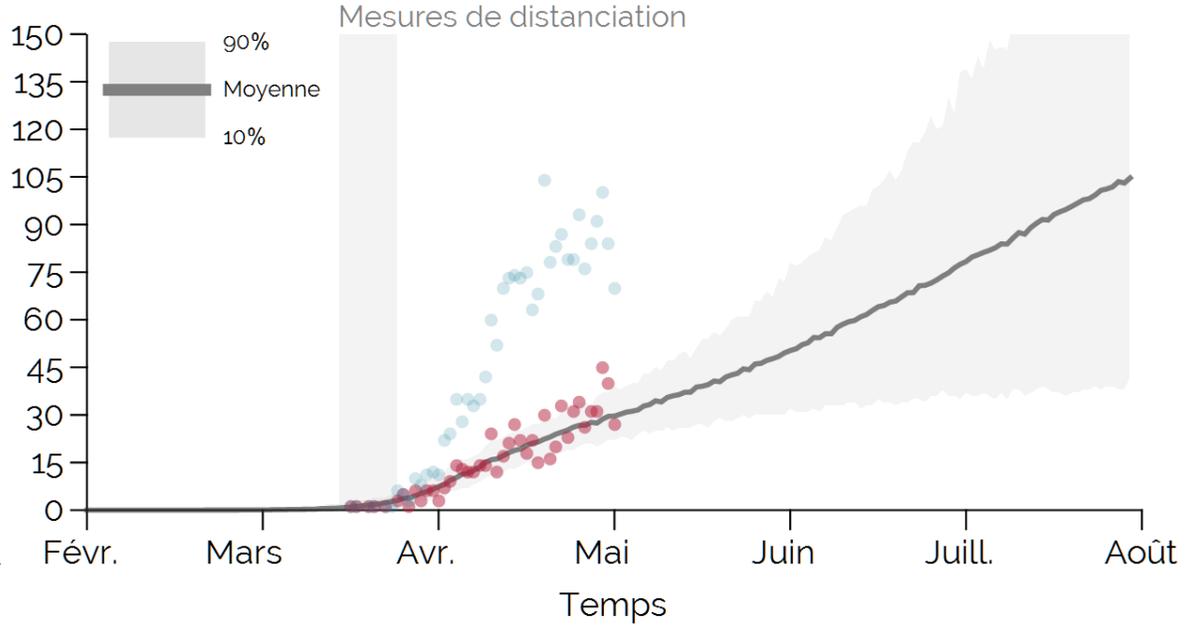
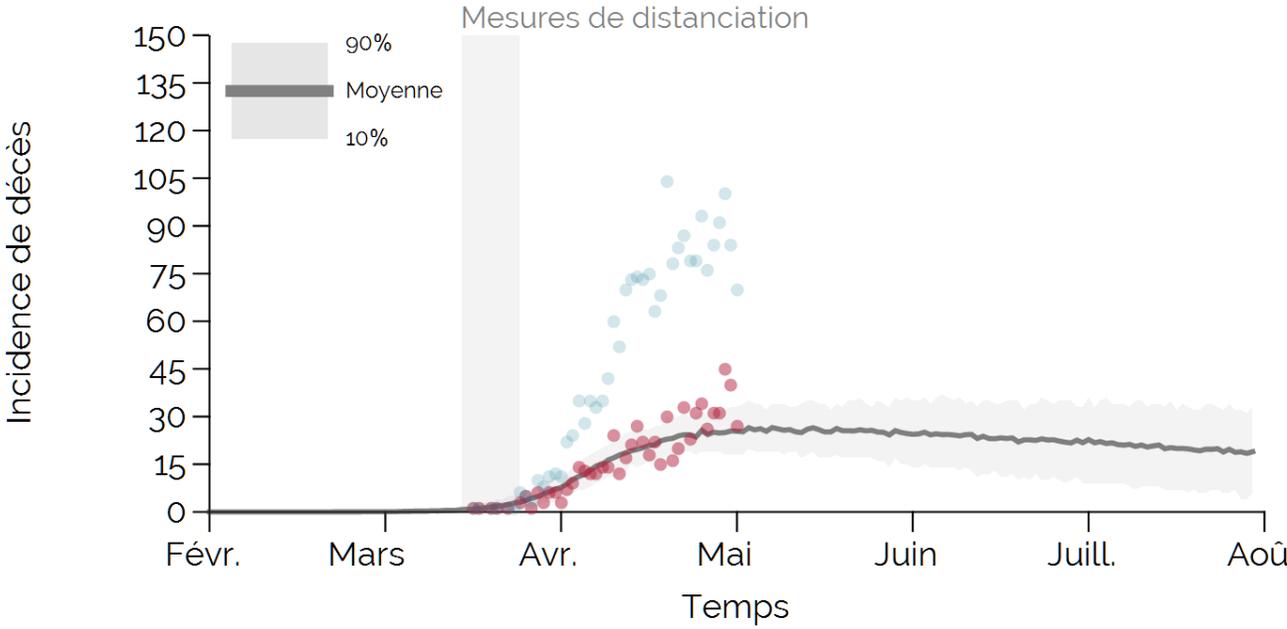


- Grand Montréal : **réduction** récente du nombre d'hospitalisations et de décès.

# Évolution de l'épidémie de la COVID-19 dans le Grand Montréal nombre de décès par jour – population générale (prédictions du 7 mai)

**Optimiste ( $R_t < 1$ )**  
 Moyenne de 60 % de réduction des contacts

**Pessimiste ( $R_t > 1$ )**  
 Moyenne de 50 % de réduction des contacts



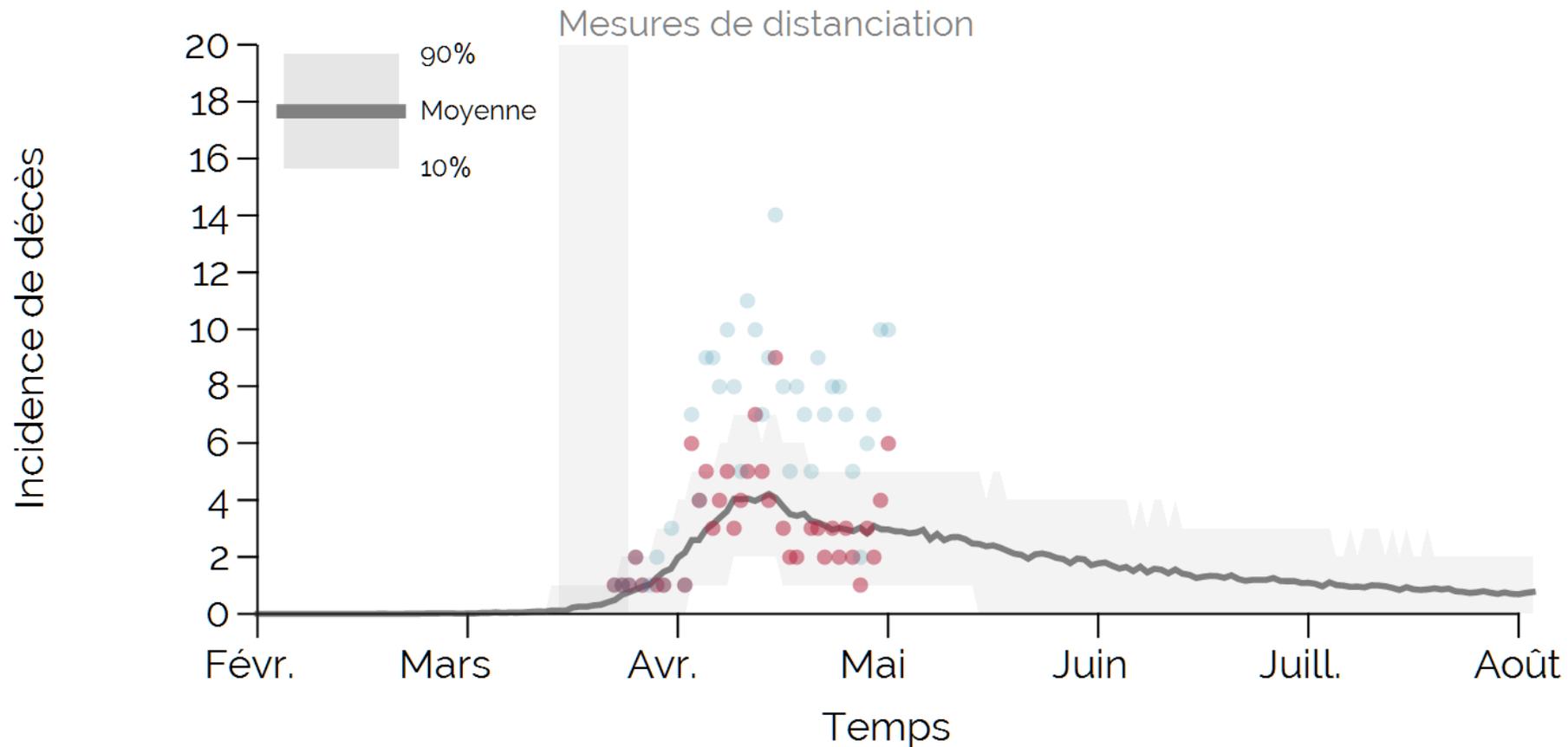
- Il est encore difficile de déterminer la trajectoire de l'épidémie.
- La situation épidémique de la Covid-19 est fragile pour le Grand Montréal.

**Points rouges**, données MSSS (V10 décès) sans les décès de la COVID-19 lors d'éclotions dans les CHSLD. **Points bleus**, avec les décès lors d'écllosion dans les CHSLD. Prédiction des décès dans la population générale. **Calibration 5 mai, 2020.**

Les résultats représentent la moyenne et les 10<sup>e</sup> et 90<sup>e</sup> percentiles des 500 prédictions du modèle. 40 % des prédictions se retrouvent dans le scénario optimiste.

# Évolution de l'épidémie de la COVID-19 dans les autres régions

nombre de décès par jour – population générale (prédictions 7 mai)



- Les mesures de distanciation sociale ont permis de stabiliser et de réduire les nombres de cas, d'hospitalisations et de décès dans les régions à l'extérieur du Grand Montréal.

**Points rouges**, données MSSS (V10 décès) sans les décès de la COVID-19 lors d'éclotions dans les CHSLD. **Points bleus**, avec les décès lors d'éclotion dans les CHSLD. Prédiction des décès dans la population générale. **Calibration 5 mai, 2020.**  
Les résultats représentent la moyenne et les 10e et 90e percentiles des 500 prédictions du modèle. 97 % des prédictions se retrouvent dans le scénario optimiste.

# Forces et limites du modèle mathématique

---

## Forces

- Il peut évaluer des stratégies générales de déconfinement.
- Il est calibré pour s'assurer qu'il reproduise les données d'hospitalisations et de décès au Québec.
  - > 150 000 000 simulations ont été réalisées sur les superordinateurs de Calcul Canada pour trouver les combinaisons de paramètres qui reproduisent le mieux l'épidémie au Québec.
- Il tient compte de l'incertitude concernant l'histoire naturelle de la COVID-19.

## Limites

- Les prédictions des modèles sont sensibles :
  - aux contacts sociaux réels des Québécois au travail et à l'école;
  - à la qualité et à l'exhaustivité des données liées à la COVID-19 au Québec;
  - au pourcentage de personnes infectées par la COVID-19 qui demeurent asymptomatiques (absence de données sérologiques pour connaître la proportion réelle de la population infectée).
- Les dynamiques d'éclosions et décès dans les CHSLD ne font pas partie des prédictions du modèle.
- Le modèle ne tient pas compte des mouvements des individus entre les régions.
- Le modèle ne peut pas présentement examiner des stratégies spécifiques de déconfinement (ex. : l'identification des contacts des cas détectés, des stratégies spécifiques de retour à l'école) (travaux en cours).

# Travaux en cours

---

1. Intégration des matrices de contacts par âge dans notre modèle (données québécoises) :
  - contacts sociaux selon l'âge par types de lieux (maison, travail, école, transports en commun, loisirs, autres) avant, pendant et après le confinement (étude CONNECT2 en cours).
2. Prédications de l'impact de différentes stratégies spécifiques de déconfinement par région.  
Exemples de stratégies spécifiques :
  - intensification de l'identification des cas et de leurs contacts (tests);
  - impact potentiel du mouvement entre les régions sur l'évolution de la Covid-19 dans les autres régions que le Grand Montréal;
  - retour à l'école en septembre.

# Groupe de recherche en modélisation mathématique des maladies infectieuses

## Centre de recherche du CHU de Québec – Université Laval

- Marc Brisson, Ph. D., directeur
- Guillaume Gingras, Ph. D., modélisateur principal
- Mélanie Drolet, Ph. D., épidémiologiste
- Jean-François Laprise, Ph. D., modélisateur

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

- Myrto Mondor, M. Sc.
- Dave Martin, Ph. D.
- Caty Blanchette, M. Sc.
- Éric Demers, M. Sc.
- Alexandre Bureau, Ph. D.
- Léa Drolet-Roy
- Kaoutar Ennour-Idrissi, M.D., M. Sc.
- Jacques Brisson, D. Sc.
- Michel Alary, M.D., Ph. D., FCAHS
- Aurélie Godbout, M.D.
- Norma Pérez, M. Sc.
- Alain Fournier, M. Sc.

### Collaboratrice Imperial College London

- Marie-Claude Boily, Ph. D.

### Collaborateurs Université McGill

- Mathieu Maheu-Giroux, Sc. D.
- David Buckeridge, Ph. D.
- Arnaud Godin, M. Sc.
- Yiqing Xia, M. Sc.

### Calcul Canada

- Charles Coulombe

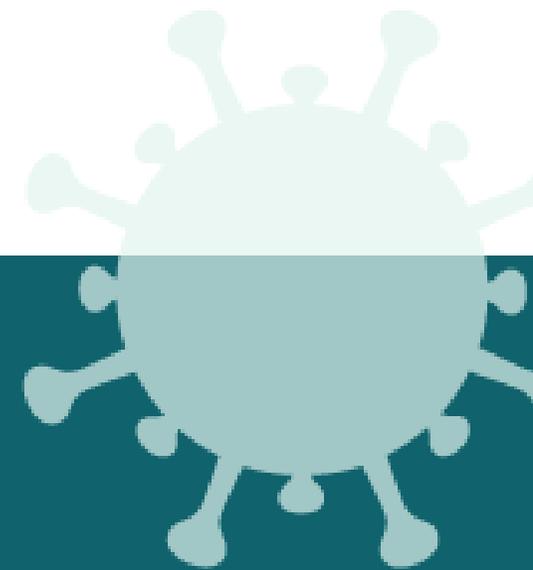
### Collaborateur Université de Montréal

- Benoît Mâsse, Ph. D.

### Collaborateurs Institut national de santé publique du Québec

- Gaston De Serres, M.D., Ph. D.
- Chantal Sauvageau, M.D., FRCP(c)
- Rodica Gilca, M.D., FRCP(c)
- Élise Fortin, Ph. D.
- Nicholas Brousseau, M.D., FRCP(c)
- Christophe Garenc, Ph. D.
- Geneviève Deceuninck, M. Sc.
- Zhou Zhou, Ph. D.
- Rachid Amini, M. Sc.

Autres figures  
Prédictions du modèle



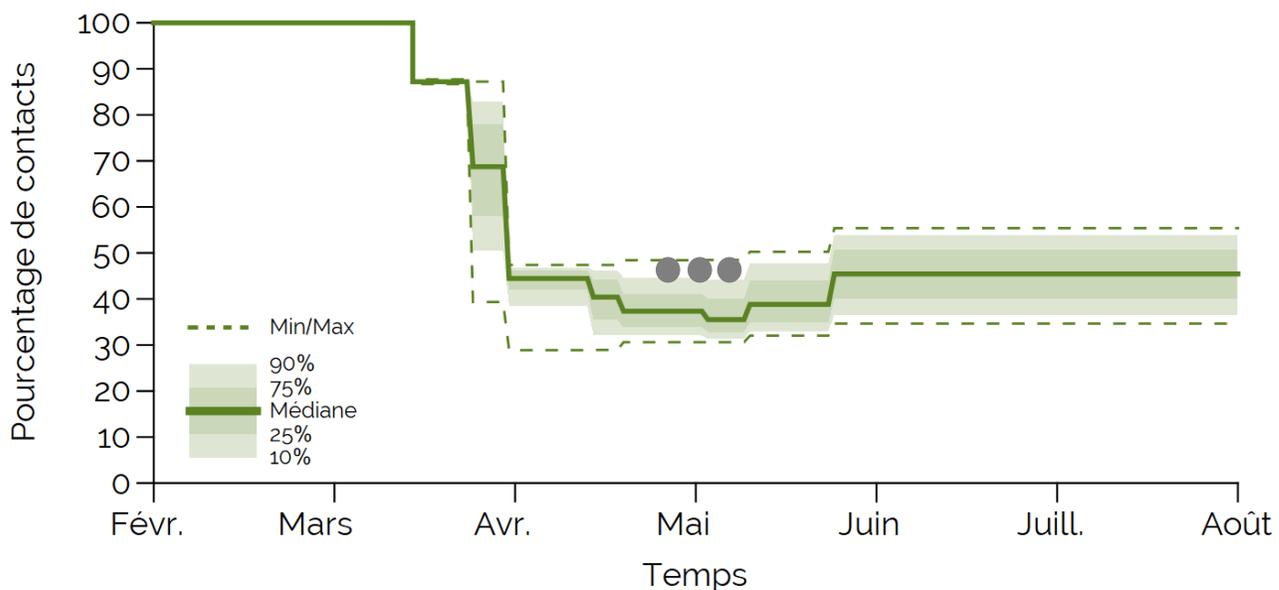
# Changement dans le nombre de contacts

## Calendrier de déconfinement du Grand Montréal

% des contacts vs pré confinement

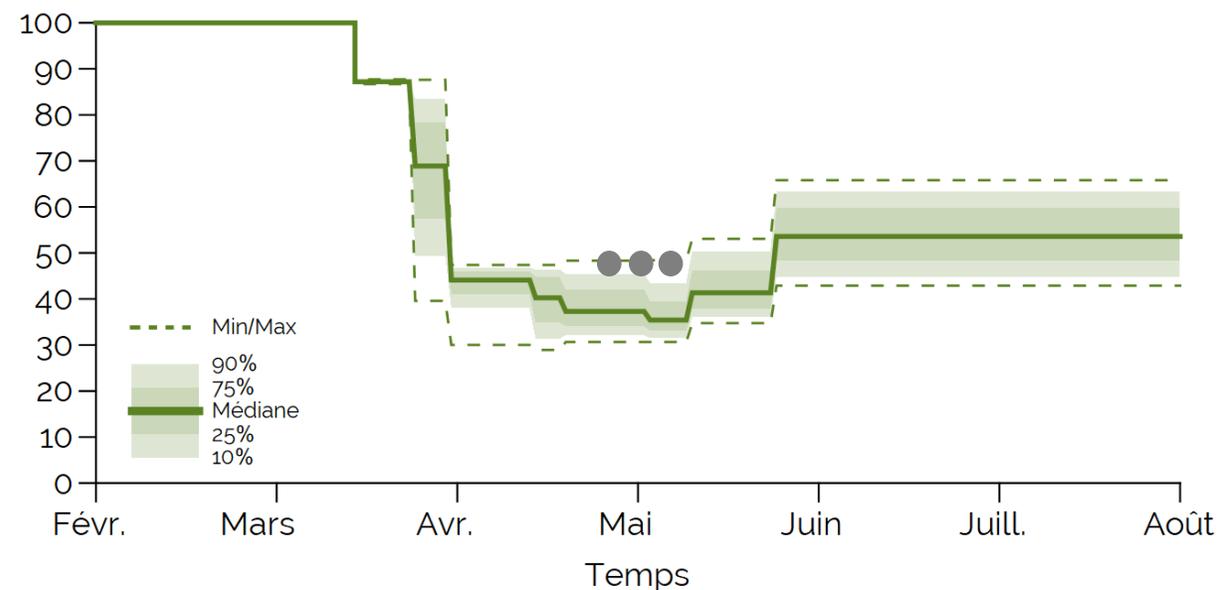
### Forte adhésion

60-80 % des contacts déconfinés protégés, 75-90 % isolement



### Faible adhésion

0-40 % des contacts déconfinés protégés, 60-75 % isolement



**Points gris**, données préliminaires de CONNECT2 – 2020 (données du 20 avril-13 mai) – Données combinées du Québec et Ontario – Démographie du Québec.  
Les résultats représentent la médiane et les 10<sup>e</sup>, 25<sup>e</sup>, 75<sup>e</sup> et 90<sup>e</sup> percentiles des prédictions du modèle.

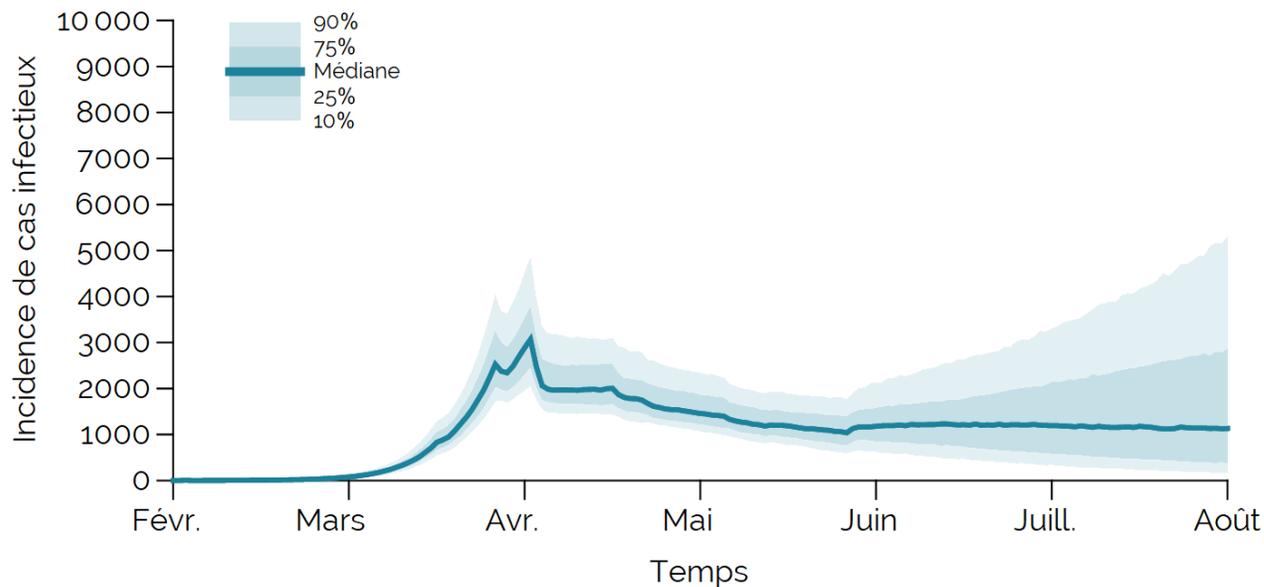
# Impact d'un assouplissement des mesures de distanciation

## Calendrier de déconfinement du Grand Montréal

nouveaux cas par jour – population générale

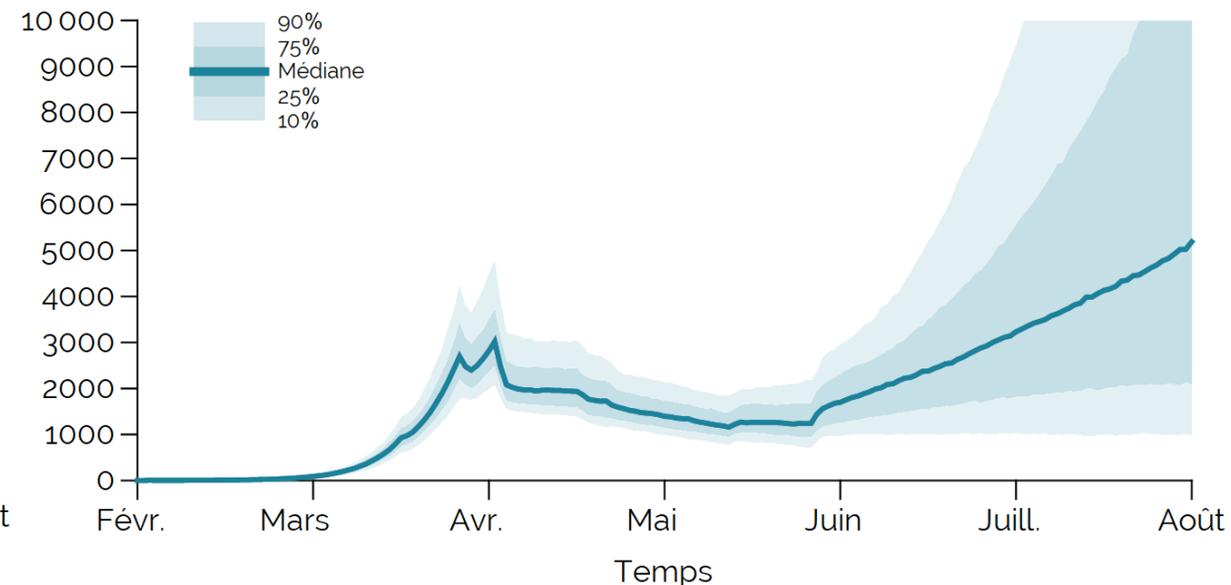
### Forte adhésion

60-80 % des contacts déconfinés protégés, 75-90 % isolement



### Faible adhésion

0-40 % des contacts déconfinés protégés, 60-75 % isolement



À noter : Ce sont les prédictions de **tous les cas (asymptomatiques et symptomatiques)**; le nombre est plus élevé que les cas détectés et il y a un délai lié aux tests entre les cas infectieux et les cas détectés. Les cas dans les CHSLD sont exclus.

Les résultats représentent la médiane et les 10<sup>e</sup>, 25<sup>e</sup>, 75<sup>e</sup> et 90<sup>e</sup> percentiles des 500 prédictions du modèle.

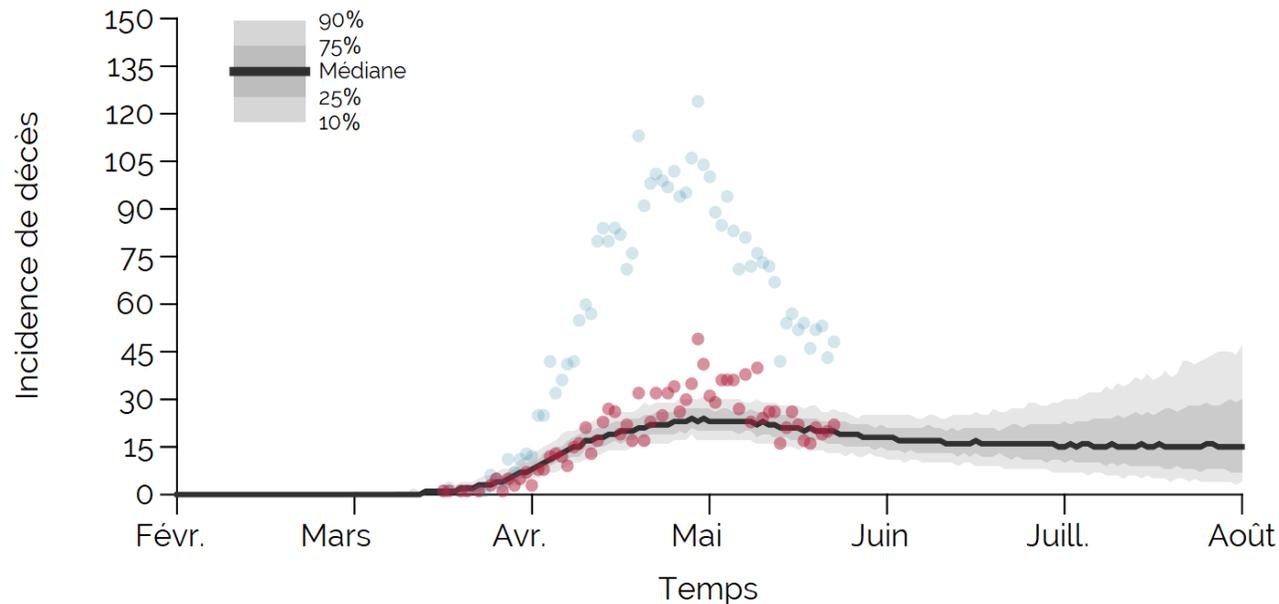
# Impact d'un assouplissement des mesures de distanciation

## Calendrier de déconfinement du Grand Montréal

nouveaux décès par jour – population générale

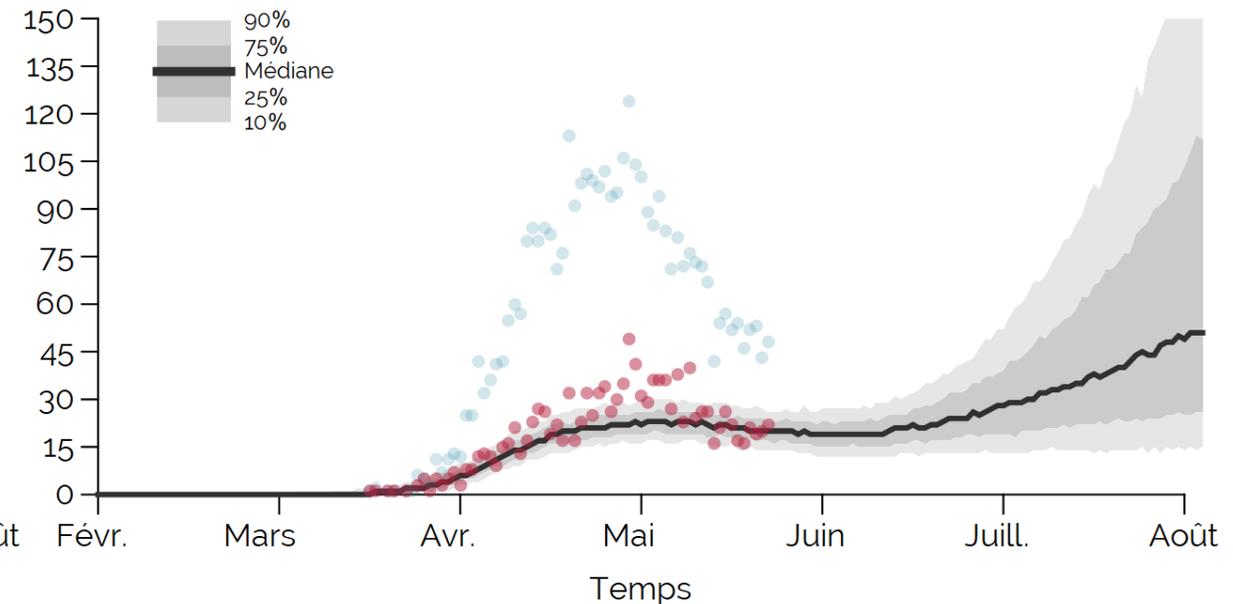
### Forte adhésion

60-80 % des contacts déconfinés protégés, 75-90 % isolement



### Faible adhésion

0-40 % des contacts déconfinés protégés, 60-75 % isolement



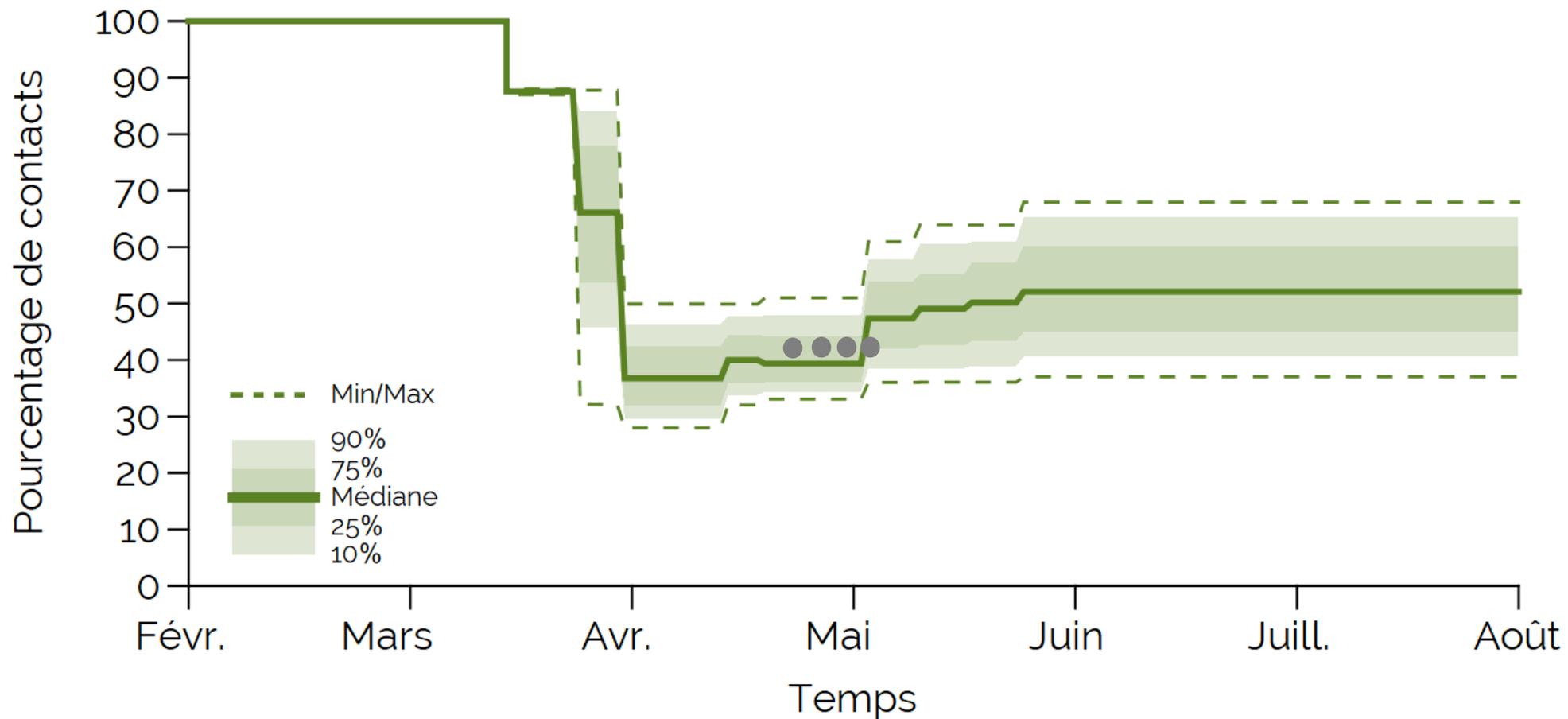
### À noter :

- Le scénario de **forte adhésion** peut représenter une situation où plusieurs mesures sont mises en place lors du déconfinement pour réduire les contacts qui pourraient mener à la transmission (ex. : distanciation physique, limite du nombre de personnes dans les commerces, étiquette respiratoire, plexiglass, etc.). Malgré que le testing (dépistage) ne soit pas spécifiquement modélisé, le scénario avec **forte adhésion** inclut un haut pourcentage d'isolement des cas symptomatiques, qui peut être une conséquence du testing.
- Le scénario de **faible adhésion** pourrait représenter une situation avec des difficultés de distanciation physique lors du retour au travail, dans les commerces et le transport en commun.

# Changement dans le nombre de contacts

## Calendrier de déconfinement autres régions

% des contacts vs pré confinement

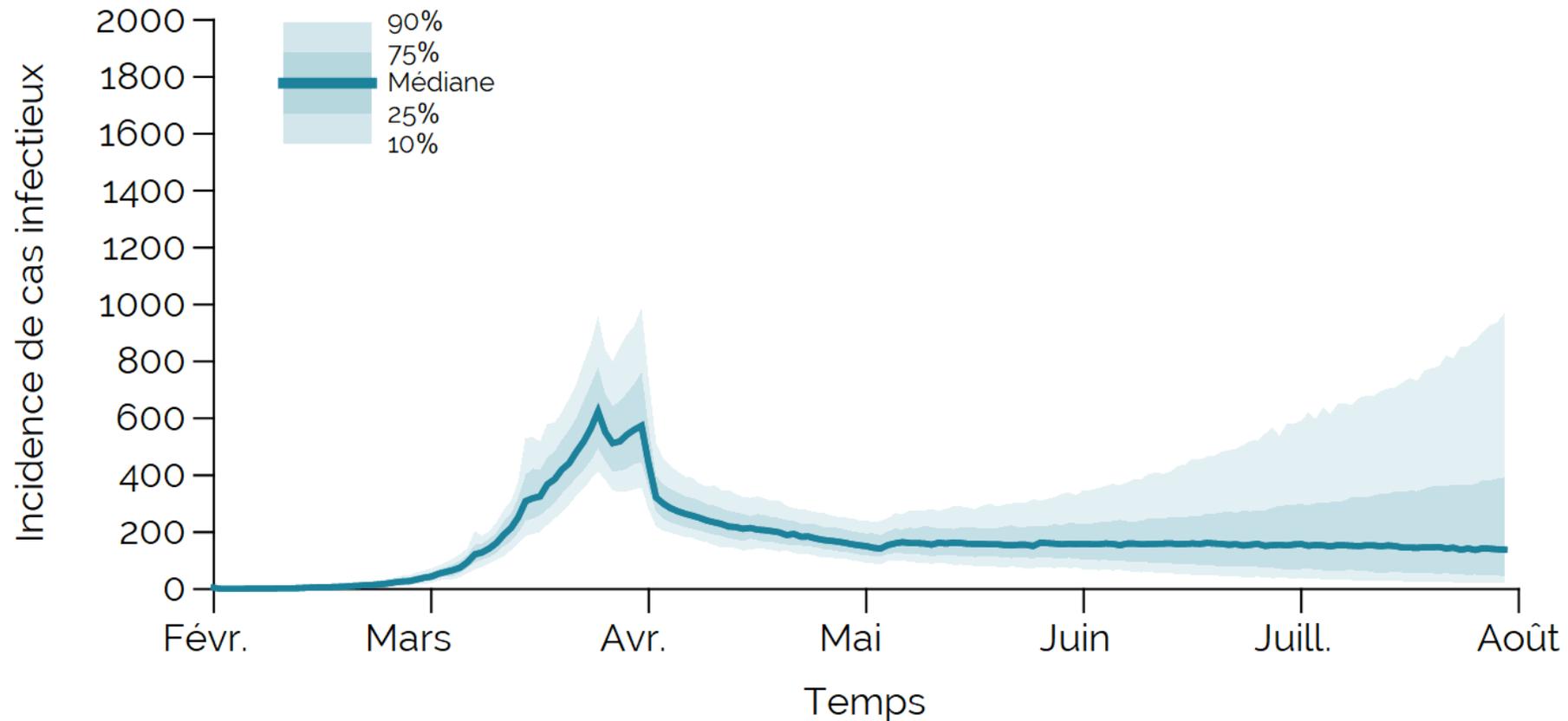


**Points gris**, données préliminaires de CONNECT2 – 2020 (données du 20 avril-13 mai) – Données combinées du Québec et Ontario – Démographie du Québec. Les résultats représentent la moyenne et les 10<sup>e</sup> et 90<sup>e</sup> percentiles des prédictions du modèle.

# Impact d'un assouplissement des mesures de distanciation

## Calendrier de déconfinement des autres régions

nouveaux cas par jour – population générale



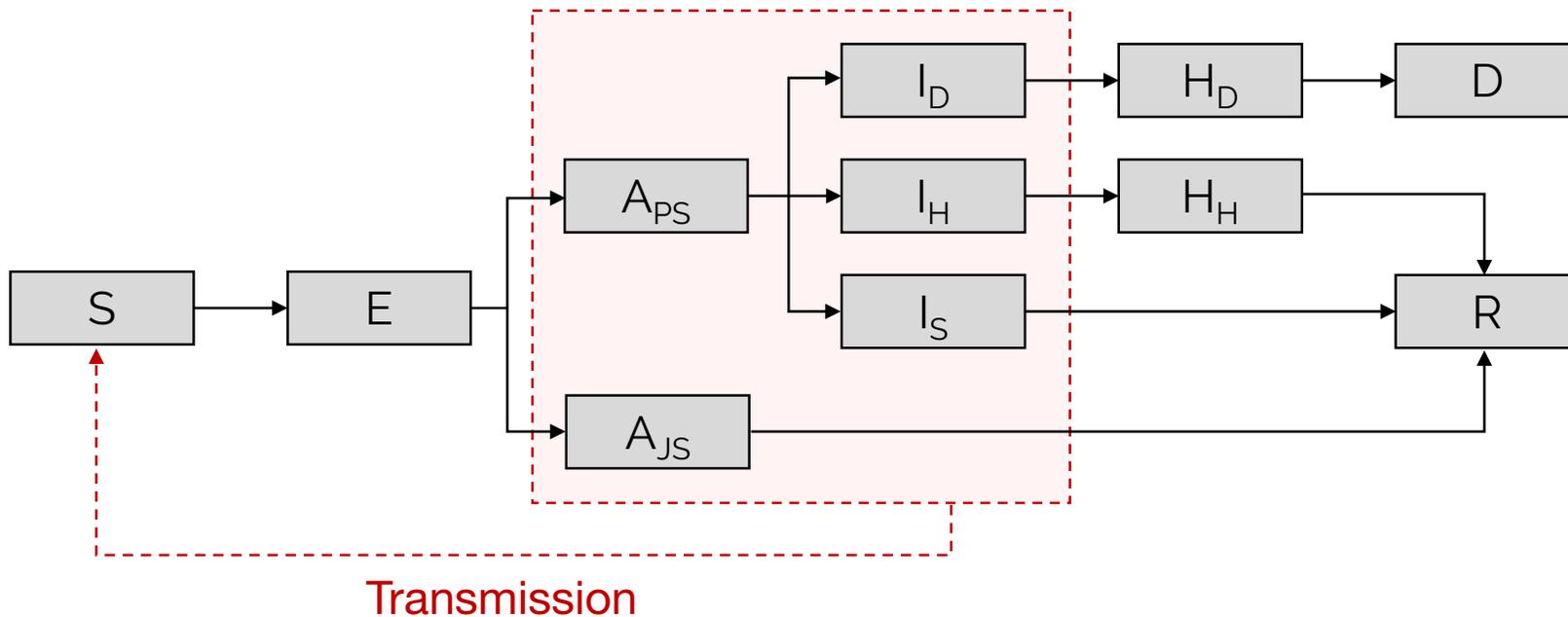
À noter : ce sont les prédictions de **tous les cas (asymptomatiques et symptomatiques)**; le nombre est plus élevé que les cas détectés et il y a un délai lié aux tests entre les cas infectieux et les cas détectés. Les cas dans les CHSLD sont exclus.

Les résultats représentent la médiane et les 10<sup>e</sup> et 90<sup>e</sup> percentiles des 500 prédictions du modèle.

# Méthodes pour la modélisation de l'évolution de la COVID-19 au Québec

# Histoire naturelle et prise en charge

## Diagrammes de flux – Modèle dynamique stochastique compartimental



### Légende

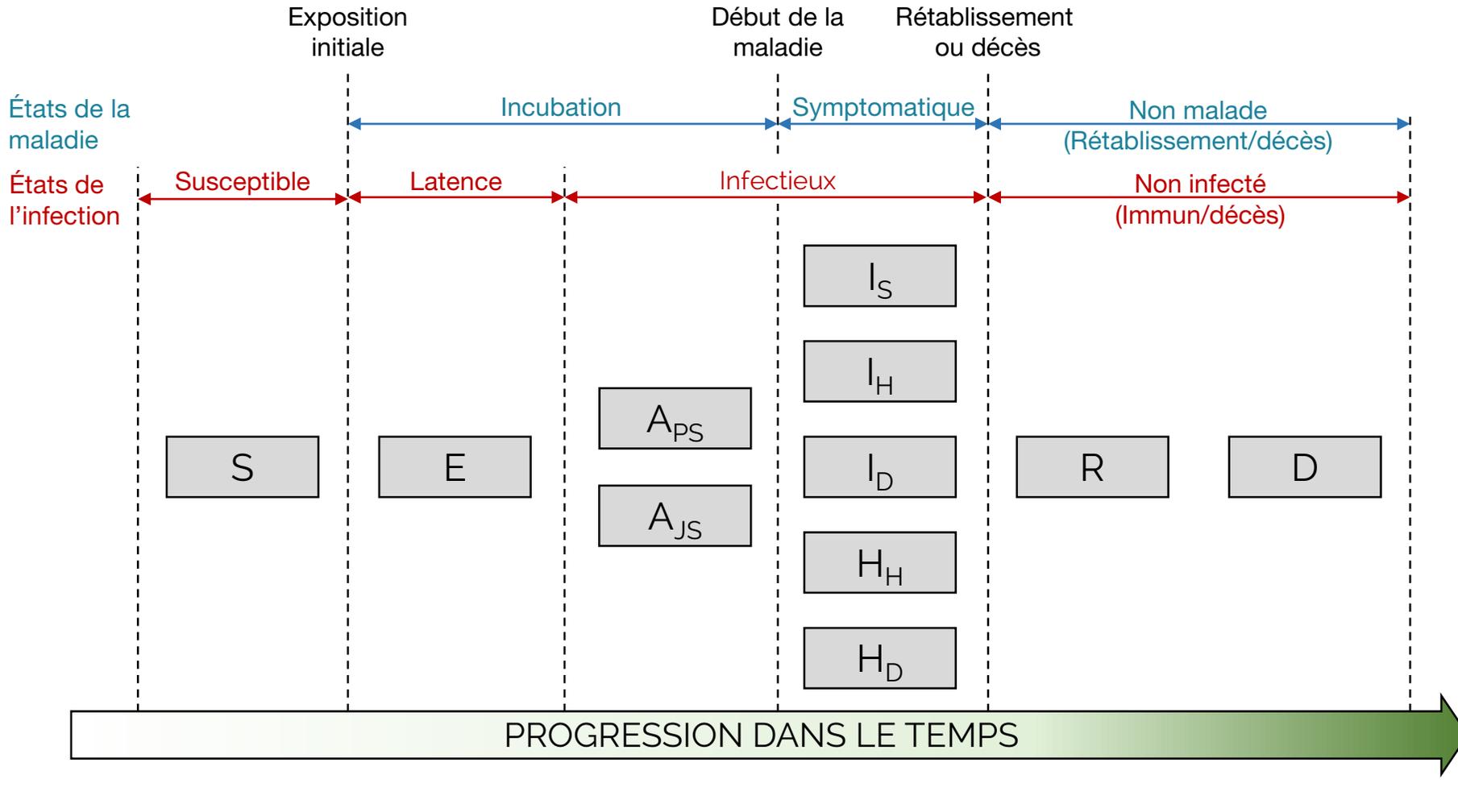
- S : Susceptible
- E : Exposé (latence)
- A<sub>JS</sub> : Asymptomatique (jamais symptomatique)
- A<sub>PS</sub> : Asymptomatique présymptomatique
- I<sub>S</sub> : Symptomatique moyen (rétablissement sans hospitalisation)
- I<sub>H</sub> : Symptomatique sévère (hospitalisation -> rétablissement)
- I<sub>D</sub> : Symptomatique mortel (hospitalisation -> décès)
- H<sub>H</sub> : Hospitalisation mène au rétablissement
- H<sub>D</sub> : Hospitalisation mène au décès
- R : Rétabli/Immun
- D : Décédé

La transmission sera modélisée selon les contacts dans les différents lieux : maison, école, travail, transport en commun (travaux en cours)

Les boîtes représentent les différents états de santé (infection/maladie) dans lesquels un individu du modèle peut se trouver. Les flèches pleines représentent les transitions entre les états de santé et la flèche pointillée représente les voies de transmission. La vitesse à laquelle les individus sont infectés est paramétrée par le taux de reproduction de base ( $R_0$ ) et les autres transitions sont paramétrées par les durées moyennes passées dans chaque état.

# Histoire naturelle et prise en charge

## Progression dans le temps



### Légende

- S: Susceptible
- E: Exposé (latence)
- A: Asymptomatique (jamais symptomatique)
- A<sub>PS</sub>: Asymptomatique présymptomatique
- I<sub>S</sub>: Symptomatique moyen (rétablissement sans hospitalisation)
- I<sub>H</sub>: Symptomatique sévère (hospitalisation -> rétablissement)
- I<sub>D</sub>: Symptomatique mortel (hospitalisation -> décès)
- H<sub>H</sub>: Hospitalisation mène au rétablissement
- H<sub>D</sub>: Hospitalisation mène au décès
- R: Rétabli / Immun
- D: Décédé

Les boîtes représentent les différents états de santé (infection/maladie) mutuellement exclusifs dans lesquels un individu du modèle peut se trouver. Les intervalles en bleu représentent les durées des états de la maladie et ceux en rouge, les durées des états de l'infection. Note : les cas hospitalisés ne contribuent pas à la transmission communautaire.

# Paramètres Transmission et durées

	Symbole	Min	Max	Références
<b>Transmission</b>				
R0		2	4	(2, 9, 10)
Cas importés à travers le temps		Déecté	6*Déecté	Lab**
<b>Durée dans l'état (jours)</b>				
<b>Incubation</b>	$E+A_{PS}$	3	9	(1-5, 13)
Latence	$E$	(Incubation – $A_{PS}$ )		
Asymptomatique infectieux (présymptomatique)	$A_{PS}$	0.5	3	(2, 5, 17)
<b>Infectieux</b>				
Asymptomatique infectieux (jamais symptomatique)	$A_{JS}$	3	24	PHAC, 22 mai
Symptomatique Moyen (sans hospitalisation)	$I_S$	3	24	PHAC, 22 mai
Symptomatique Sévère (début symptômes à hospitalisation)	$I_H$	2	10	V10, 21 mai
Symptomatique Mortel (début symptômes à hospitalisation, parmi décès)	$I_D$	1	6	V10, 21 mai
<b>Hospitalisation</b>				
Sévère (hospitalisation à la sortie de l'hôpital)	$H_H$	4	19	V10, 21 mai
Critique (hospitalisation au décès)	$H_D$	4	20	V10, 21 mai

# Paramètres **Sévérité**

	% Symptomatique (2,5,6,8)		% Hospitalisation <sup>(2,6)</sup> (parmi symptomatiques)		% Décès <sup>(2,5,6,8)</sup> (parmi symptomatiques)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
<b>Tous les âges</b>	25 %	75 %	4,0 %	10,0 %	1,0 %	3,0 %
Par âge (RR) :						
0-9 ans	2 %	12 %	0.0 %	0,1 %	0,002 %	0,003 %
10-19 ans	3 %	53 %	0.0 %	0,3 %	0,006 %	0,015 %
20-29 ans	15 %	62 %	1.1 %	1,2 %	0,031 %	0,06 %
30-39 ans	28 %	71 %	3,4 %	3,2 %	0,084 %	0,146 %
40-49 ans	28 %	71 %	4,3 %	4,9 %	0,15 %	0,3 %
50-59 ans	47 %	96 %	8.2 %	10,9 %	0,6 %	1,3 %
60-69 ans	54 %	96 %	11,8 %	16,6 %	1,9 %	4,0 %
70-79 ans	62 %	96 %	16,6 %	24,3 %	4.3 %	8,6 %
80+ ans	100 %	100 %	18,4 %	27,3 %	7,8 %	13,4 %

À noter : les % décès sont estimés parmi les cas symptomatiques. Si l'on considère tous les cas symptomatiques et asymptomatiques, ces % sont diminués d'au moins la moitié.

# 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 autour de 35-150 000 000 combinaisons de paramètres par scénario, échantillonnées aléatoirement parmi les distributions uniformes de paramètres.
- On sélectionne les 500 combinaisons de paramètres qui reproduisent le mieux les données empiriques de décès et d'hospitalisations 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)

# 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 ».

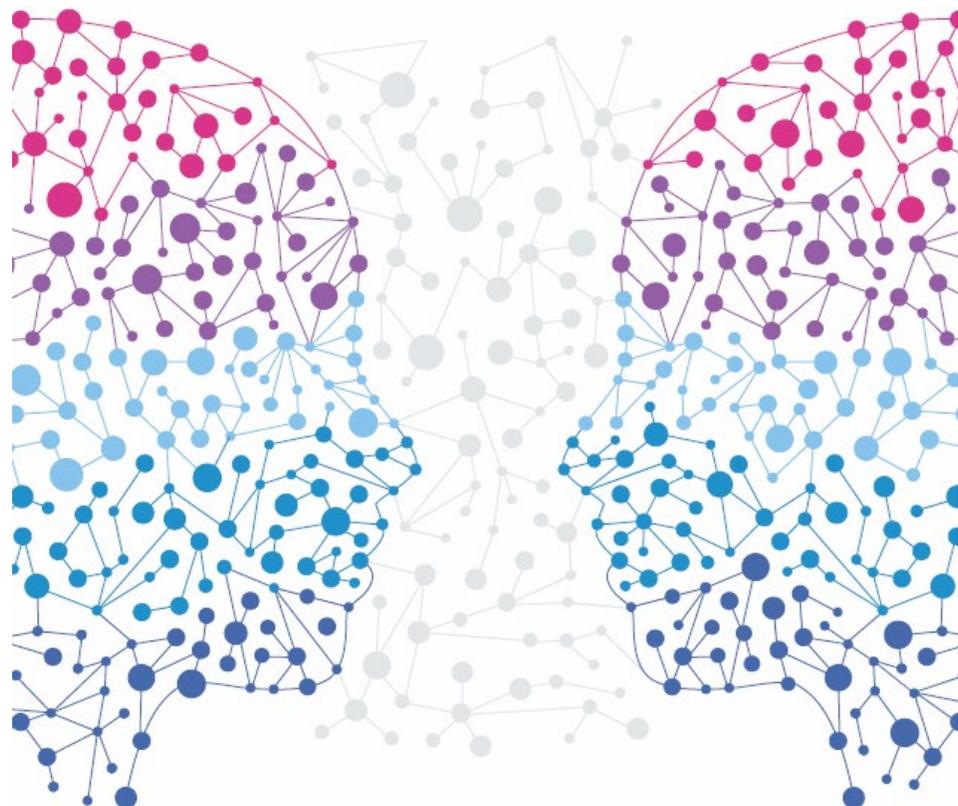
## CONNECT2 – 2020 :

- Même méthodologie que CONNECT1;
- 20 avril – fin mai (en cours).

## Comparaison des données de CONNECT1 et CONNECT2 permettra de :

- Mesurer. l'adhésion de la population aux mesures de distanciation de façon objective
- Prédire l'évolution de l'épidémie de la COVID-19 en considérant la diminution réelle des contacts sociaux de la population québécoise.

# Paramètres Matrices de contacts sociaux au Québec



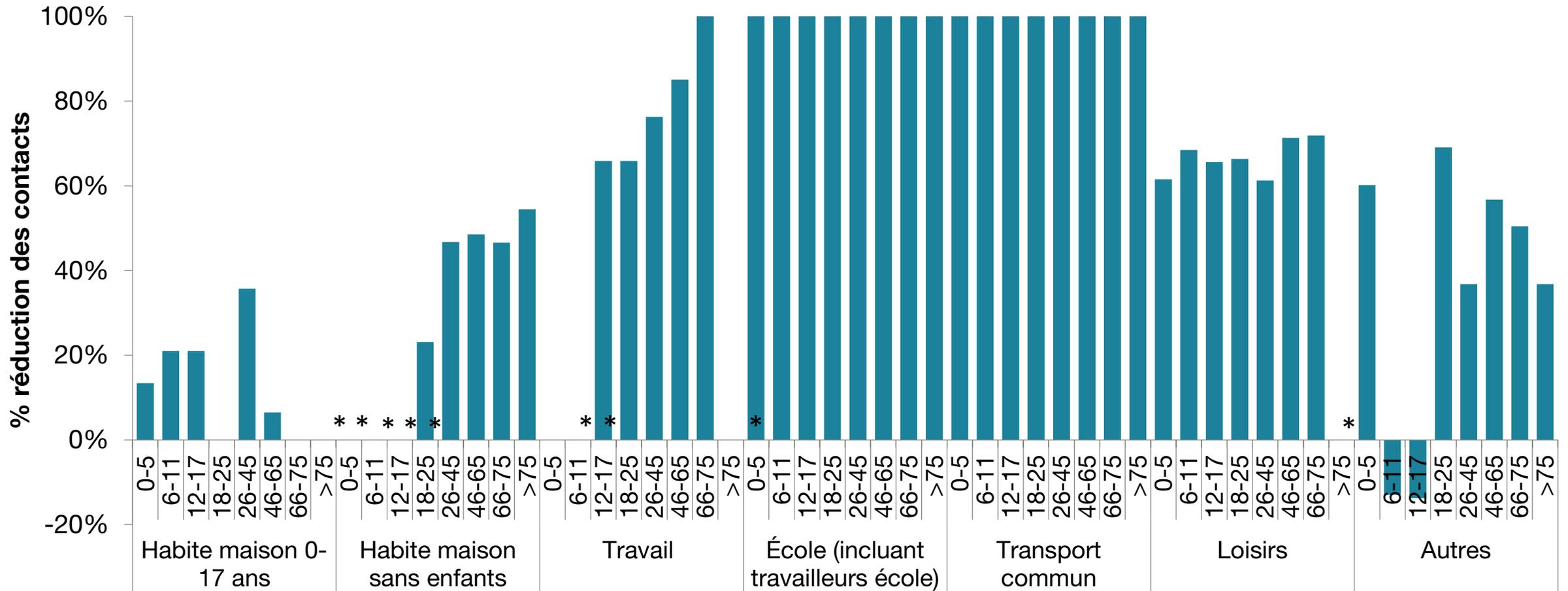
**CONNECT**

CONtrôler la traNsmission des  
maladies infectieuses par l'Étude  
des ConTacts et des réseaux

- Étude des contacts sociaux, 2018<sup>16</sup>
- > 5000 Canadiens dont 1300 Québécois
- Matrices de contacts seront intégrées dans le modèle
- Âge : 0-80 ans
- Lieux :
  - Maison
  - École
  - Travail
  - Transport
  - Loisirs
  - Autres

# Données préliminaires de CONNECT1 vs CONNECT2

## Réduction des contacts sociaux par âges et lieux



Préconfinement et confinement: Données préliminaires de CONNECT1 (2018/2019 sans l'été) et CONNECT2 (données du 20 avril-13 mai).

\*. Petit nombre d'individus.

# Paramètres Réduction de la mobilité de Google - 16 février au 29 mars

## Quebec

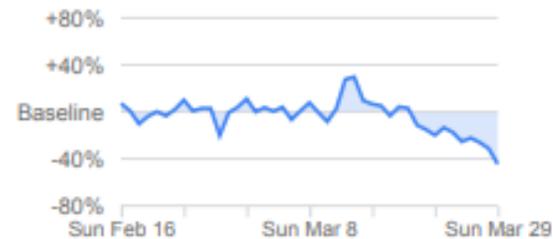
### Retail & recreation

**-70%** compared to baseline



### Grocery & pharmacy

**-44%** compared to baseline



### Parks

**-68%** compared to baseline



### Transit stations

**-75%** compared to baseline



### Workplace

**-45%** compared to baseline



### Residential

**+15%** compared to baseline

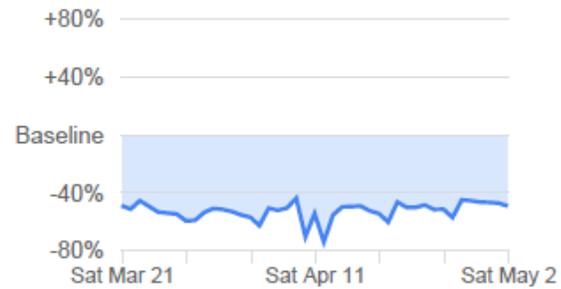


# Paramètres Réduction de la mobilité de Google - 21 mars au 2 mai

## Quebec

Retail & recreation

-49% compared to baseline



Grocery & pharmacy

-18% compared to baseline



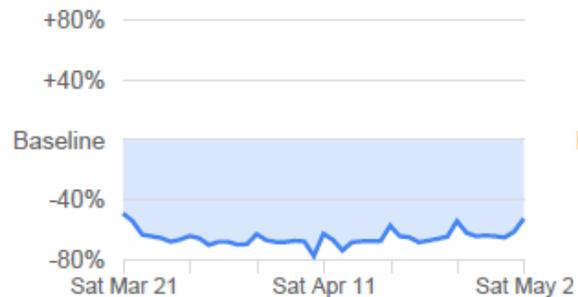
Parks

+15% compared to baseline



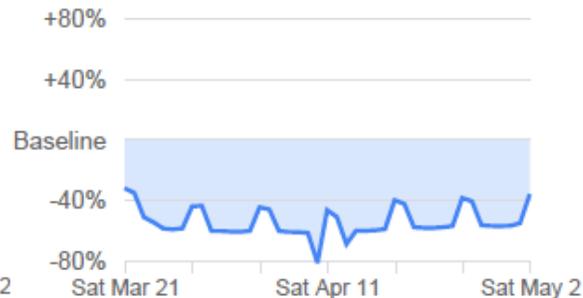
Transit stations

-52% compared to baseline



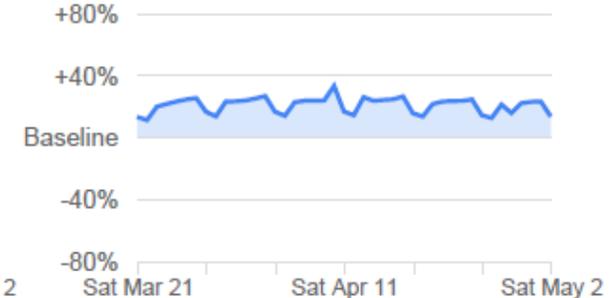
Workplaces

-36% compared to baseline



Residential

+14% compared to baseline



# Données calibration du modèle

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

# 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](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>