

Impact de l'accélération de la vaccination sur l'épidémie du variant Delta en France métropolitaine

26 juillet 2021

Cécile Tran Kiem¹, Paolo Bosetti¹, Nathanaël Hozé¹, Juliette Paireau^{1,2}, Simon Cauchemez¹

¹ Unité de Modélisation Mathématique des Maladies Infectieuses, Institut Pasteur

² Santé Publique France

Correspondance: simon.cauchemez@pasteur.fr

AVERTISSEMENTS: Ces scénarios sont faits sur la base de données incomplètes et d'hypothèses incertaines. La propagation du virus SARS-CoV-2 est difficile à anticiper; et la dynamique de l'épidémie peut changer rapidement. Les trajectoires décrites dépendent des hypothèses faites; si les hypothèses ne se réalisent pas, la dynamique observée pourra être différente des projections.

Résumé:

• Contexte:

- [Dans un rapport publié le 9 juillet](#), nous avons montré qu'entre le 15 juin et le 5 juillet, le nombre de cas Delta doublait tous les 6 jours en France métropolitaine, avec un nombre de reproduction effectif R_{Δ} égal à 2.0. Dans ce rapport, nous présentons des projections de la courbe des cas et des hospitalisations jusqu'au 1er Octobre, pour plusieurs évolutions possibles d'un nombre de reproduction effectif compris entre 1.5 et 2.0. Ces projections étaient réalisées sous les hypothèses suivantes: i) 500,000 doses de vaccins sont distribuées chaque jour; ii) la distribution de vaccins dans un groupe d'âge s'arrête lorsque le niveau d'adhésion vaccinale est atteint dans ce groupe; iii) nous faisons l'hypothèse que l'adhésion vaccinale était de 30% chez les 12-17 ans, 70% chez les 18-59 ans et 90% chez les 60+ (scénario 30%-70%-90%).
- Les annonces faites le 12 juillet sur l'extension du pass sanitaire ont conduit à une accélération de la campagne de vaccination. Dans ce nouveau rapport, nous étudions comment cette accélération est susceptible d'impacter la dynamique de l'épidémie. Nous explorons des scénarios où i) un plus grand nombre de doses de vaccins est distribué chaque jour (entre 500,000 et 800,000) alors que 684,000 doses ont été distribuées en moyenne par jour pendant la semaine du 16 au 22 juillet: et où ii) un plus grand nombre de Français souhaitent se faire vacciner rapidement (adhésion vaccinale de 30-70% chez les 12-17 ans, 70-90% chez les 18-59 ans et 90-95% chez les 60+). Par ailleurs, nous explorons des scénarios où le nombre de reproduction effectif R_{Δ} diminue entre 1.5 et 2.0 à compter du 1 août du fait de mesures non-pharmaceutiques, comme le renforcement des gestes barrières, la mise en place du pass sanitaire et le port du masque. Nous présentons également des éléments pour comparer les dynamiques françaises et anglaises.

• Résultats:

- Dans le scénario où il n'y a pas de réduction du taux de transmission lié à un renforcement des mesures non-pharmaceutiques ($R_{\Delta}=2$), l'accélération de la

vaccination peut avoir un impact important sur la taille du pic épidémique. Par exemple, au pic de l'épidémie, on s'attend à observer 4800 admissions journalières à l'hôpital dans notre scénario du 9 juillet caractérisé par 500,000 doses distribuées chaque jour et une adhésion vaccinale de 30%-70%-90% (30% chez les 12-17 ans, 70% chez les 18-59 ans et 90% chez les 60+). Ce pic diminue à 2,500 hospitalisations journalières pour 700,000 doses distribuées chaque jour avec une adhésion vaccinale de 30%-90%-95% (30% chez les 12-17 ans, 90% chez les 18-59 ans et 95% chez les 60+). Cela se traduit néanmoins par un niveau d'occupation des soins critiques qui reste élevé (5,400 et 7,200 lits de soins critiques pour une durée de séjour en soins critiques de 10 et 14.6 jours, respectivement).

- Une réduction du taux de transmission grâce à des mesures non-pharmaceutiques reste donc importante pour réduire davantage l'impact de la vague sur le système hospitalier. Même de petites réductions peuvent avoir un impact important. Par exemple, dans le scénario où l'adhésion vaccinale est de 30%-90%-95% et où 700,000 doses sont distribuées chaque jour, le pic des hospitalisations passe à 1,800 et 1,200 par jour pour 10% ($R_{\Delta}=1.8$) et 25% ($R_{\Delta}=1.5$) de réduction du taux de transmission, respectivement, contre 2,500 par jour si le taux de transmission reste inchangé ($R_{\Delta}=2.0$).
 - Dans la majorité des scénarios, le pic survient en septembre avec une pression sur le système hospitalier qui peut devenir importante dès le mois d'août dans les scénarios les moins favorables.
 - La propagation du variant Delta a commencé plus tôt en Angleterre qu'en France. L'augmentation pour l'instant limitée des hospitalisations en Angleterre peut laisser penser que l'impact de cette vague sur le système de santé français pourrait être limité. Cela ne prend cependant pas en compte le fait que la couverture vaccinale est plus élevée en Angleterre qu'en France. Dans un scénario hypothétique où la couverture vaccinale en France serait similaire à la couverture vaccinale anglaise, notre modèle anticipe que l'impact de cette quatrième vague sur le système hospitalier français resterait limité, avec un pic des hospitalisations inférieur à 2,000 dans tous les scénarios. Nos projections apparaissent donc compatibles avec les données anglaises: étant donné les différences de couverture vaccinale, l'impact de la vague sur le système hospitalier pourrait être supérieur en France qu'en Angleterre.
- **Discussion et limites:**
 - L'effet combiné de l'accélération de la vaccination et d'une réduction, même petite, du taux de transmission peut avoir un impact important sur la taille de la quatrième vague. Il est donc essentiel que l'accélération de la vaccination continue avec une adhésion massive de la population et que les taux de transmission diminuent en population générale, grâce notamment au maintien des gestes barrières, au port du masque et au pass sanitaire.
 - Notre modèle ne prend pas en compte la réduction d'efficacité observée chez les primo-vaccinés pour Delta. Cela pourrait conduire à présenter des projections trop optimistes pour le mois d'août, du fait d'une surestimation de l'impact de l'accélération de la vaccination sur la dynamique à court terme de l'épidémie.

- Dans le scénario où il n'y a pas de réduction du taux de transmission lié à un renforcement des mesures non-pharmaceutiques ($R_{\Delta}=2$), nous avons fait l'hypothèse que le taux de transmission estimé entre le 15 juin et le 9 juillet resterait inchangé jusqu'au 1er octobre. Il est cependant possible que le climat ou les vacances modifient le taux de transmission sur la période août-octobre par rapport à ce qu'il était fin juin-début juillet. Par exemple, il pourrait diminuer au cœur de l'été et réaugmenter cet automne. Cette possibilité doit être considérée, notamment si le signal de ralentissement de l'épidémie observé dans certains pays européens comme l'Angleterre se confirme. Cela laisserait davantage de temps pour vacciner les Français; l'augmentation du taux de transmission cet automne du fait de facteurs climatiques moins favorables pourrait prolonger l'épidémie au-delà de ce qui est annoncé par le modèle.
- Il est possible que les personnes infectées par le variant Delta présentent un risque accru d'hospitalisation par rapport aux personnes infectées par le variant Alpha; mais les données ne sont pas encore claires sur ce point. Dans nos analyses, nous faisons l'hypothèse que les variants Alpha et Delta conduisent au même risque d'hospitalisation qui est 64% supérieur à celui des lignées historiques.
- Les projections du nombre de lits occupés en soins critiques sont très incertaines car les probabilités de passage et les durées de séjour en soins critiques peuvent fortement varier au cours du temps.

Modèle et hypothèses

Nous présentons une mise à jour [des projections réalisées le 9 juillet](#) qui prend en compte les changements survenus depuis les annonces du 12 juillet. [Dans le rapport du 9 juillet](#), nous montrions qu'entre le 15 juin et le 5 juillet, le nombre de cas Delta doublait tous les 6 jours en France métropolitaine, avec un nombre de reproduction effectif R_{Δ} égal à 2.0. Nous présentions également des projections de la courbe des cas et des hospitalisations jusqu'au 1er Octobre, pour plusieurs évolutions possibles d'un nombre de reproduction effectif compris entre 1.5 et 2.0, avec un modèle mathématique qui prenant en compte l'immunité naturelle et vaccinale ainsi que les dynamiques de transmission et les risques par groupe d'âge. Ces projections étaient réalisées sous les hypothèses suivantes: i) 500,000 doses de vaccins sont distribuées chaque jour; ii) la distribution de vaccins dans un groupe d'âge s'arrête lorsque le niveau d'adhésion vaccinale est atteint dans ce groupe; iii) nous faisons l'hypothèse que l'adhésion vaccinale était de 30% chez les 12-17 ans, 70% chez les 18-59 ans et 90% chez les 60+ (scénario 30%-70%-90%).

Les annonces faites le 12 juillet sur l'extension du pass sanitaire ont conduit à une accélération de la campagne de vaccination (Figure 1). Dans ce nouveau rapport, nous étudions comment cette accélération est susceptible d'impacter la dynamique de l'épidémie. Nous explorons des scénarios où i) un plus grand nombre de doses de vaccins est distribué chaque jour (entre 500,000 et 800,000) alors que 684,700 doses ont été distribuées en moyenne par jour pendant la semaine du 16 au 22 juillet: et où ii) un plus grand nombre de Français souhaitent se faire vacciner rapidement (adhésion vaccinale de 30-70% chez les 12-17 ans, 70-90% chez les

18-59 ans et 90-95% chez les 60+). Par ailleurs, nous explorons des scénarios où le nombre de reproduction effectif R_{Δ} diminue entre 1.5 et 2.0 à compter du 1 août du fait de mesures non-pharmaceutiques, comme le renforcement des gestes barrières, du pass sanitaire et du port du masque. Nous présentons également des éléments pour comparer les dynamiques françaises et anglaises.

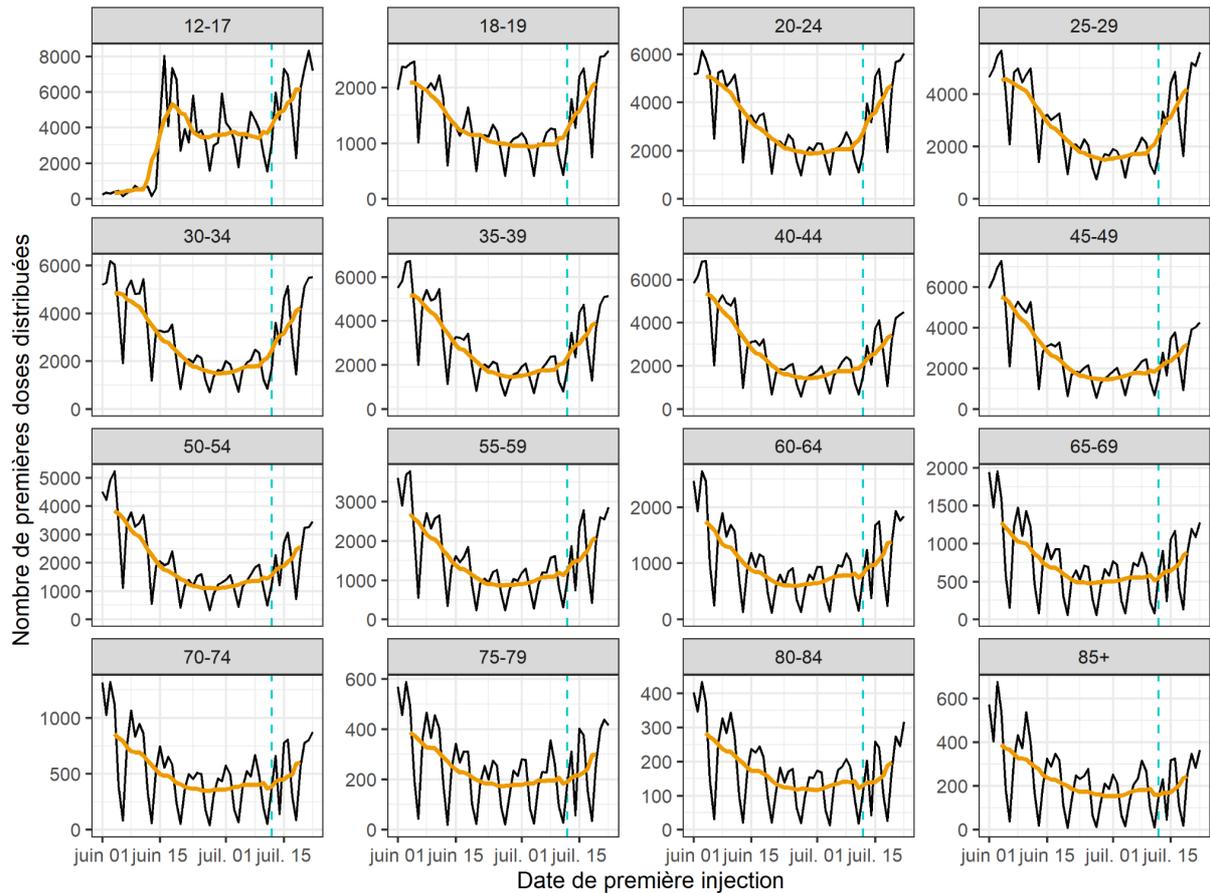


Figure 1: Nombre de premières doses distribuées par date d'injection et par groupe d'âge. La ligne verticale en pointillé cyan correspond à l'annonce de la mise en place d'un pass sanitaire. Les lignes noires correspondent aux données brutes. Les lignes oranges correspondent aux moyennes mobiles (7 jours).

Les hypothèses clés du modèle sont:

- Efficacité des vaccins : 15 jours après avoir reçu leur première dose, les personnes vaccinées ont un risque d'hospitalisation qui décroît de 90%, un risque d'infection qui décroît de 80% et un risque de transmission si elles sont infectées qui décroît de 50%.
- Scénario de distribution des vaccins : Nous faisons l'hypothèse que les vaccins sont distribués à un rythme de 500k, 700k ou 800k doses par jour (50,000 Vaxzevria et 50,000 Janssen et le reste pour les vaccins à ARNm) à partir du 17 juillet avec un délai entre les

doses de 6 semaines pour les vaccins à ARNm et de 12 semaines pour Vaxzevria. Nous explorons différentes hypothèses concernant l'adhésion vaccinale dans les différents groupes d'âge: 90%-95% chez les plus de 60 ans ; 70%-90% chez les 18-59 ans ; 30%-50%-70% chez les 12-17 ans.

- Taux de transmission: Dans notre analyse du 9 juillet, nous avons estimé que le nombre de reproduction effectif du variant Delta était égal à 2.0. Dans cette analyse, nous considérons des scénarios où le taux de transmission du variant Delta reste inchangé ($R_{\Delta}=2.0$) ou est réduit de 10% ($R_{\Delta}=1.8$) ou de 25% ($R_{\Delta}=1.5$) à compter du 21 juillet.
- Probabilité et durée de passage en soins critiques : Nous faisons l'hypothèse que la probabilité d'admission en soins critiques dans les différents groupes d'âge est la même que celle qui a été observée parmi les patients admis à l'hôpital au cours du mois de mars 2021 (Tran Kiem et al.) avec une durée de passage en soins critiques de 14.6 jours ou 10 jours.

Les détails méthodologiques du modèle sont présentés dans l'article Bosetti et al¹.

Résultats

Le modèle, qui a été calibré aux données du [9 juillet](#), reproduit bien la dynamique des cas et des admissions à l'hôpital et en soins critiques observée jusqu'au 26 juillet:

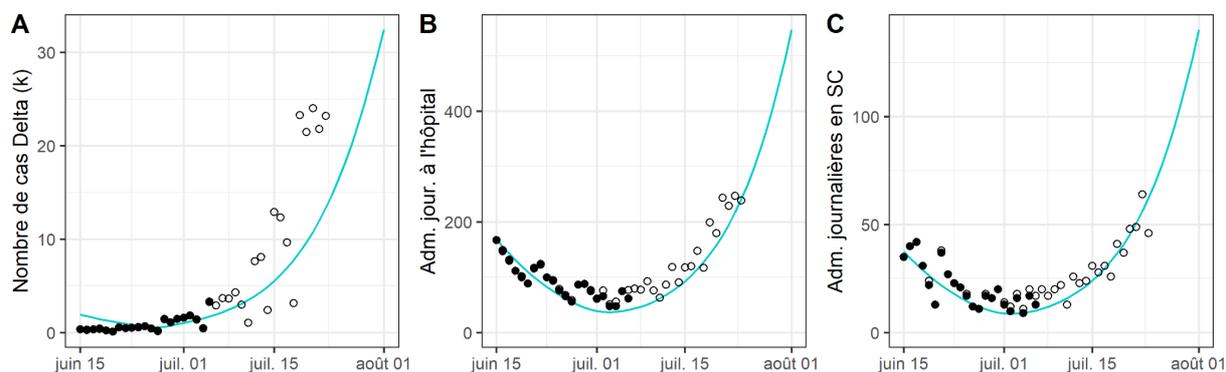


Figure 2 : Adéquation des projections du modèle mathématique au nombre reconstruit de cas Delta (A), aux données d'admissions journalières à l'hôpital (B) et en soins critiques (C) de patients Delta en France métropolitaine. Le modèle a été calibré aux données du 9 juillet (points noirs). Les points blancs correspondent aux données du 26 juillet et la ligne aux projections du modèle mathématique.

La Figure 3 montre les projections du nombre d'admissions journalières à l'hôpital pour différentes hypothèses concernant l'adhésion vaccinale (AV) chez les adultes de 18-59 ans et plus de 60 ans (en colonne) et chez les adolescents (en ligne), le nombre de doses distribuées chaque jour (lignes pointillées ou pleines) et la valeur du nombre de reproduction effectif R_{Δ} à compter du 1 août (lignes de couleurs). Ces projections sont comparées aux pics de la première vague de mars-avril 2020 (3642 admissions journalières) et de novembre 2020 (2767 admissions journalières) (traits pointillés noirs). Pour les mêmes scénarios, les Figures 4-7

montrent les projections pour le nombre journalier d'admissions en soins critiques (Figure 4), le nombre de lits occupés en soins critiques pour une durée de séjour moyenne de 14.6 jours (Figure 5) et 10 jours (Figure 6) et pour le nombre de cas infectés par le variant Delta (Figure 7). La Figure 8 montre les projections de la proportion de primo-vaccinés dans les différents scénarios.

Dans le scénario où il n'y a pas de réduction du taux de transmission liée à un renforcement des mesures non-pharmaceutiques ($R_{\Delta}=2$), l'accélération de la vaccination peut avoir un impact important sur la taille du pic épidémique (Figure 3). Par exemple, au pic de l'épidémie, on s'attend à observer 4800 admissions journalières à l'hôpital dans notre scénario du 9 juillet caractérisé par 500,000 doses distribuées chaque jour et une adhésion vaccinale de 30%-70%-90% (30% chez les 12-17 ans, 70% chez les 18-59 ans et 90% chez les 60+). Ce pic diminue à 2,500 hospitalisations journalières pour 700,000 doses distribuées chaque jour avec une adhésion vaccinale de 30%-90%-95% (30% chez les 12-17 ans, 90% chez les 18-59 ans et 95% chez les 60+). Cela se traduit néanmoins par un niveau d'occupation des soins critiques qui reste élevé (5,400 et 7,200 lits de soins critiques pour une durée de séjour en soins critiques de 10 et 14.6 jours, respectivement) (Figures 5 et 6).

Une réduction du taux de transmission grâce à des mesures non-pharmaceutiques reste donc importante pour réduire davantage l'impact de la vague sur le système hospitalier. Même de petites réductions peuvent avoir un impact important. Par exemple, dans le scénario où l'adhésion vaccinale est de 30%-90%-95% et où 700,000 doses sont distribuées chaque jour, le pic des hospitalisations passe à 1,800 et 1,200 par jour pour 10% ($R_{\Delta}=1.8$) et 25% ($R_{\Delta}=1.5$) de réduction du taux de transmission, respectivement, contre 2,500 par jour si le taux de transmission reste inchangé ($R_{\Delta}=2.0$).

Dans la majorité des scénarios, le pic survient en septembre avec une pression sur le système hospitalier qui peut devenir importante dès le mois d'août dans les scénarios les moins favorables.

La propagation du variant Delta a commencé plus tôt en Angleterre qu'en France. L'augmentation pour l'instant limitée des hospitalisations en Angleterre peut laisser penser que l'impact de cette vague sur le système de santé français pourrait être limité. Cela ne prend cependant pas en compte le fait que la couverture vaccinale est plus élevée en Angleterre qu'en France. Dans un scénario hypothétique où la couverture vaccinale en France est similaire à la couverture vaccinale anglaise, notre modèle anticipe que l'impact de cette quatrième vague sur le système hospitalier français resterait limité, avec un pic des hospitalisations inférieur à 2,000 dans tous les scénarios (Figure 9). Nos projections apparaissent donc compatibles avec les données anglaises: étant donné les différences de couverture vaccinale, l'impact de la vague sur le système hospitalier pourrait être supérieur en France qu'en Angleterre.

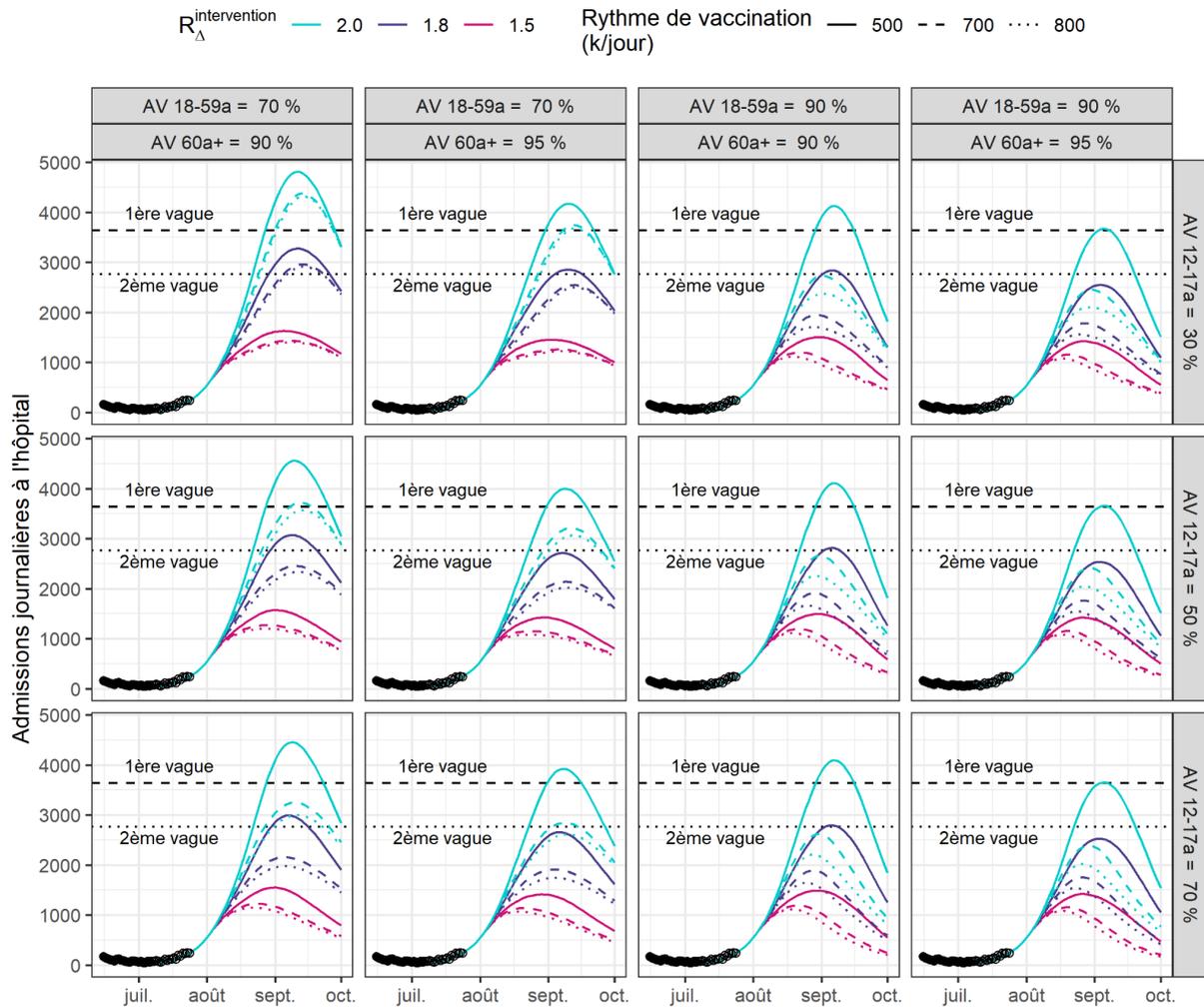


Figure 3: Projections d'admissions à l'hôpital de patients infectés par le variant Delta jusqu'au 1er octobre pour différentes hypothèses concernant l'adhésion vaccinale (AV) chez les adultes de 18-59 ans et plus de 60 ans (en colonne) et chez les adolescents (en ligne), le nombre de doses distribuées chaque jour (lignes pointillées ou pleines) et la valeur du nombre de reproduction effectif R_{Δ} à partir du 1er août (lignes de couleur). Les lignes horizontales pointillées indiquent les valeurs observées au pic de la première et de la deuxième vague (printemps et automne 2020). Les points noirs représentent les effectifs rapportés dans la base SI-VIC.

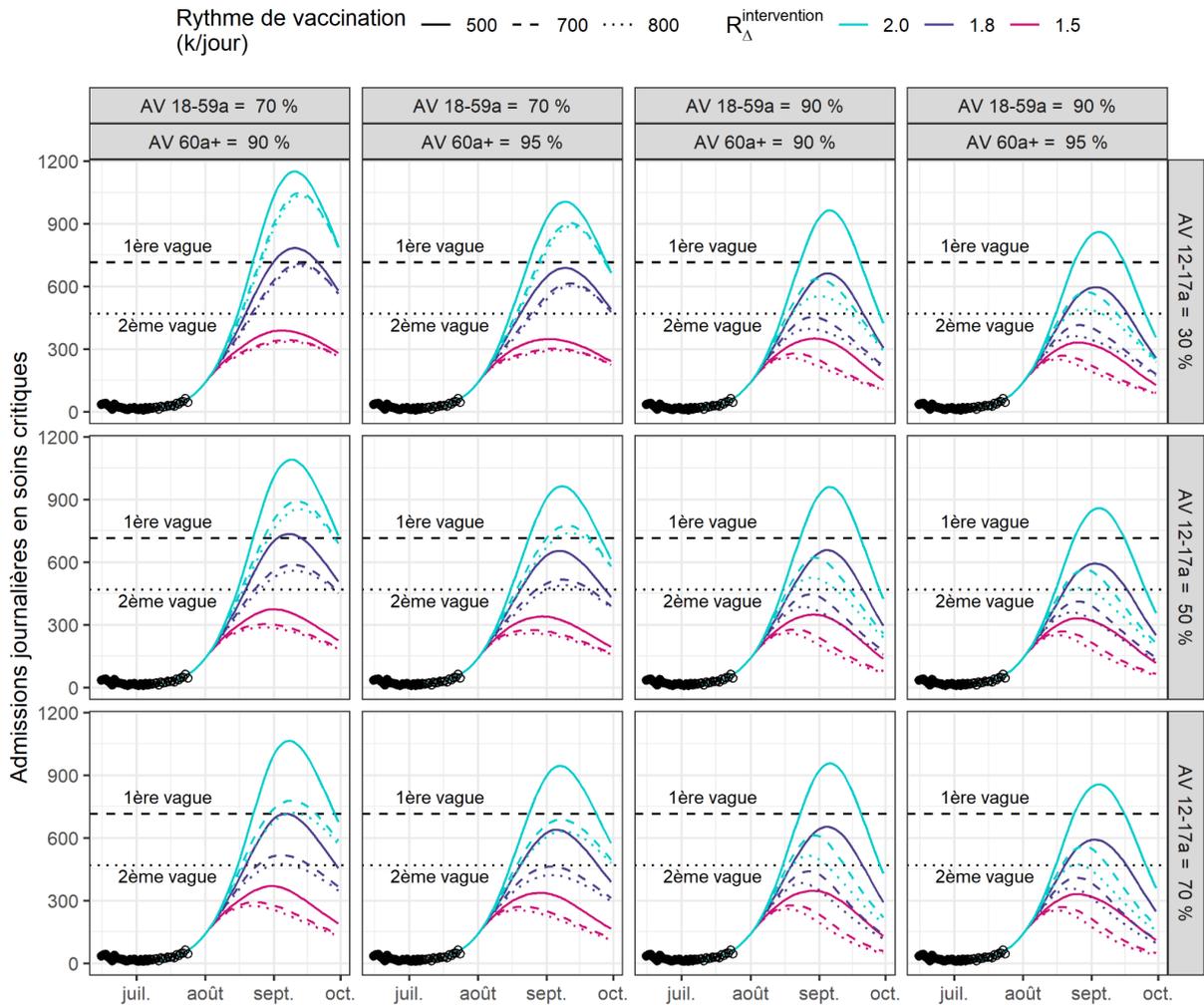


Figure 4: Projections du nombre d'admissions en soins critiques de patients infectés par le variant Delta jusqu'au 1er octobre pour différentes hypothèses concernant l'adhésion vaccinale (AV) chez les adultes de 18-59 ans et plus de 60 ans (en colonne) et chez les adolescents (en ligne), le nombre de doses distribuées chaque jour (lignes pointillées ou pleines) et la valeur du nombre de reproduction effectif R_{Δ} à partir du 1er août (lignes de couleur). Les lignes horizontales pointillées indiquent les valeurs observées au pic de la première et de la deuxième vague (printemps et automne 2020). Les points noirs représentent les effectifs rapportés dans la base SI-VIC.

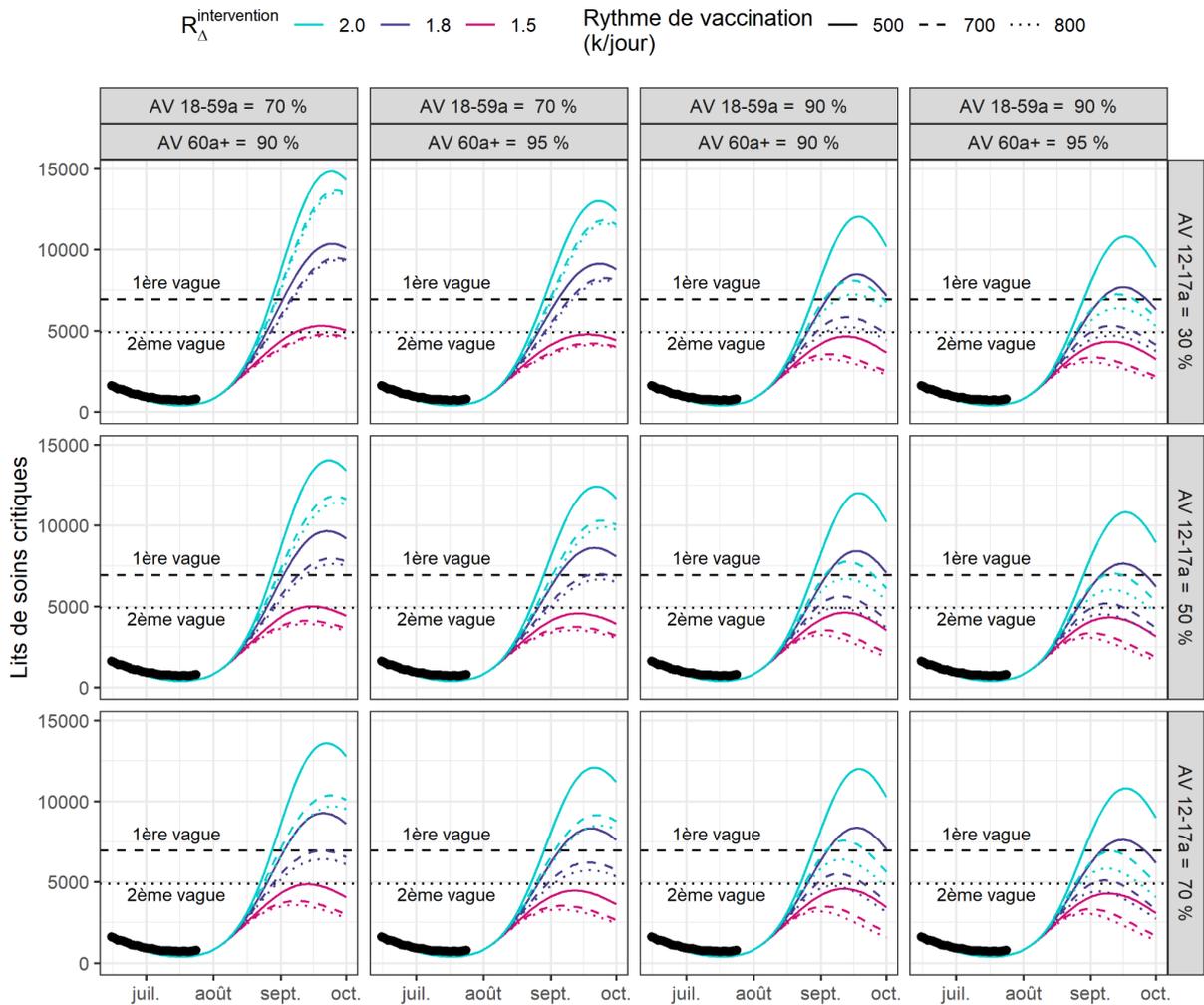


Figure 5: Projections du nombre de lits de soins critiques occupés jusqu'au 1er octobre pour une durée de passage de soins critiques de **14.6 jours**. Ces projections sont présentées pour différentes hypothèses concernant l'adhésion vaccinale (AV) chez les adultes de 18-59 ans et plus de 60 ans (en colonne) et chez les adolescents (en ligne), le nombre de doses distribuées chaque jour (lignes pointillées ou pleines) et la valeur du nombre de reproduction effectif R_{Δ} à partir du 1er août (lignes de couleur). Les lignes horizontales pointillées indiquent les valeurs observées au pic de la première et de la deuxième vague (printemps et automne 2020). Les points noirs représentent les effectifs rapportés dans la base SI-VIC.

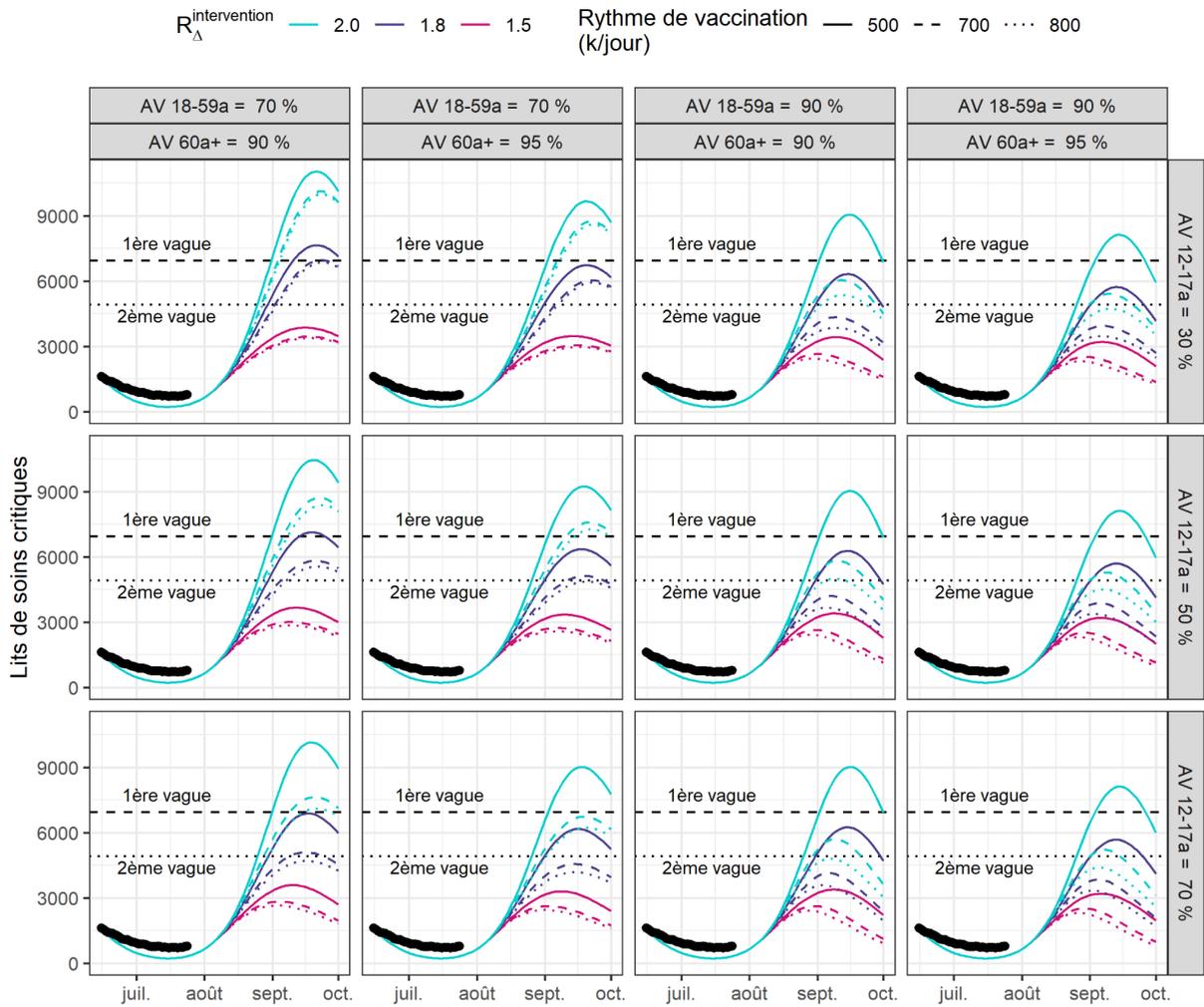


Figure 6: Projections du nombre de lits de soins critiques occupés jusqu'au 1er octobre pour une durée de passage de soins critiques de **10 jours**. Ces projections sont présentées pour différentes hypothèses concernant l'adhésion vaccinale (AV) chez les adultes de 18-59 ans et plus de 60 ans (en colonne) et chez les adolescents (en ligne), le nombre de doses distribuées chaque jour (lignes pointillées ou pleines) et la valeur du nombre de reproduction effectif R_{Δ} à partir du 1er août (lignes de couleur). Les lignes horizontales pointillées indiquent les valeurs observées au pic de la première et de la deuxième vague (printemps et automne 2020). Les points noirs représentent les effectifs rapportés dans la base SI-VIC.

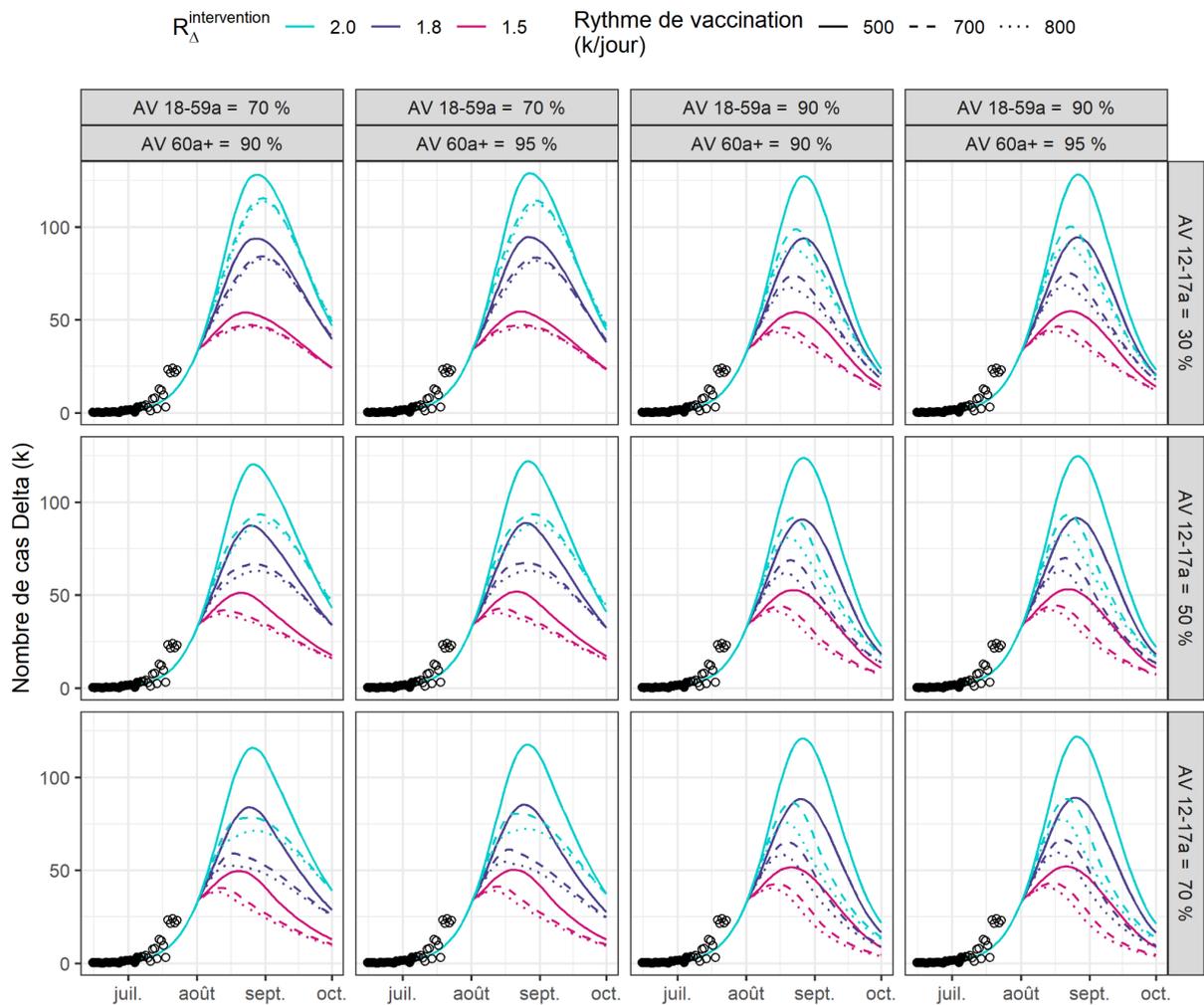


Figure 7: Projections du nombre de cas infectés par le variant Delta jusqu'au 1er octobre pour différentes hypothèses concernant l'adhésion vaccinale (AV) chez les adultes de 18-59 ans et plus de 60 ans (en colonne) et chez les adolescents (en ligne), le nombre de doses distribuées chaque jour (lignes pointillées ou pleines) et la valeur du nombre de reproduction effectif R_{Δ} à partir du 1er août (lignes de couleur). Les lignes horizontales pointillées indiquent les valeurs observées au pic de la première et de la deuxième vague (printemps et automne 2020). Les points noirs représentent le nombre reconstruit de cas Delta. Les projections sont réalisées sous l'hypothèse que 50% des personnes infectées sont détectées par le système de surveillance.

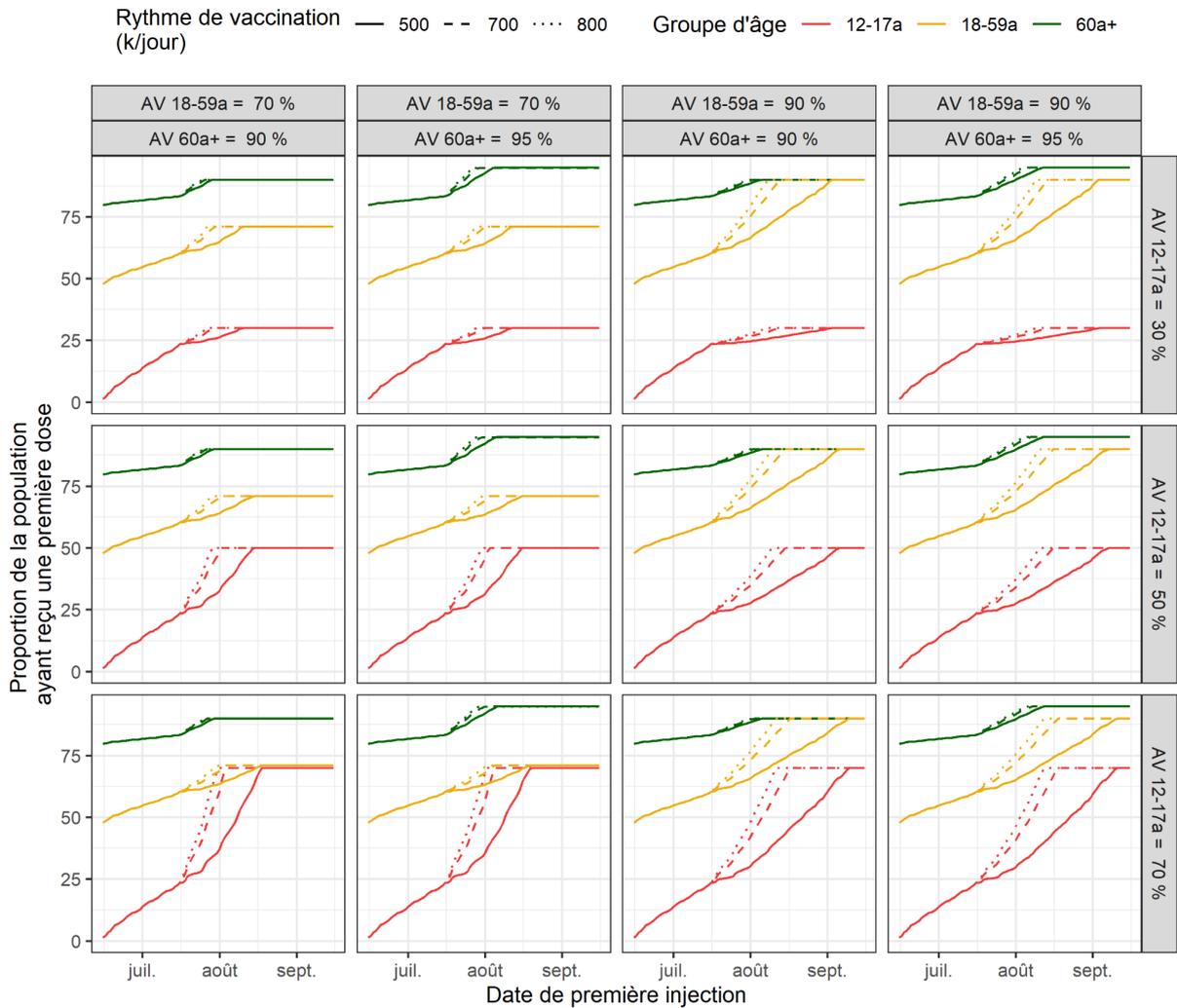


Figure 8: Projection de la proportion de la population ayant reçu une première dose de vaccin par date d'injection jusqu'au 1er octobre dans les différents groupes d'âge (lignes de couleur). Ces projections sont présentées pour différentes hypothèses concernant l'adhésion vaccinale (AV) chez les adultes de 18-59 ans et plus de 60 ans (en colonne) et chez les adolescents (en ligne) et le nombre de doses distribuées chaque jour (lignes pointillées ou pleines) .

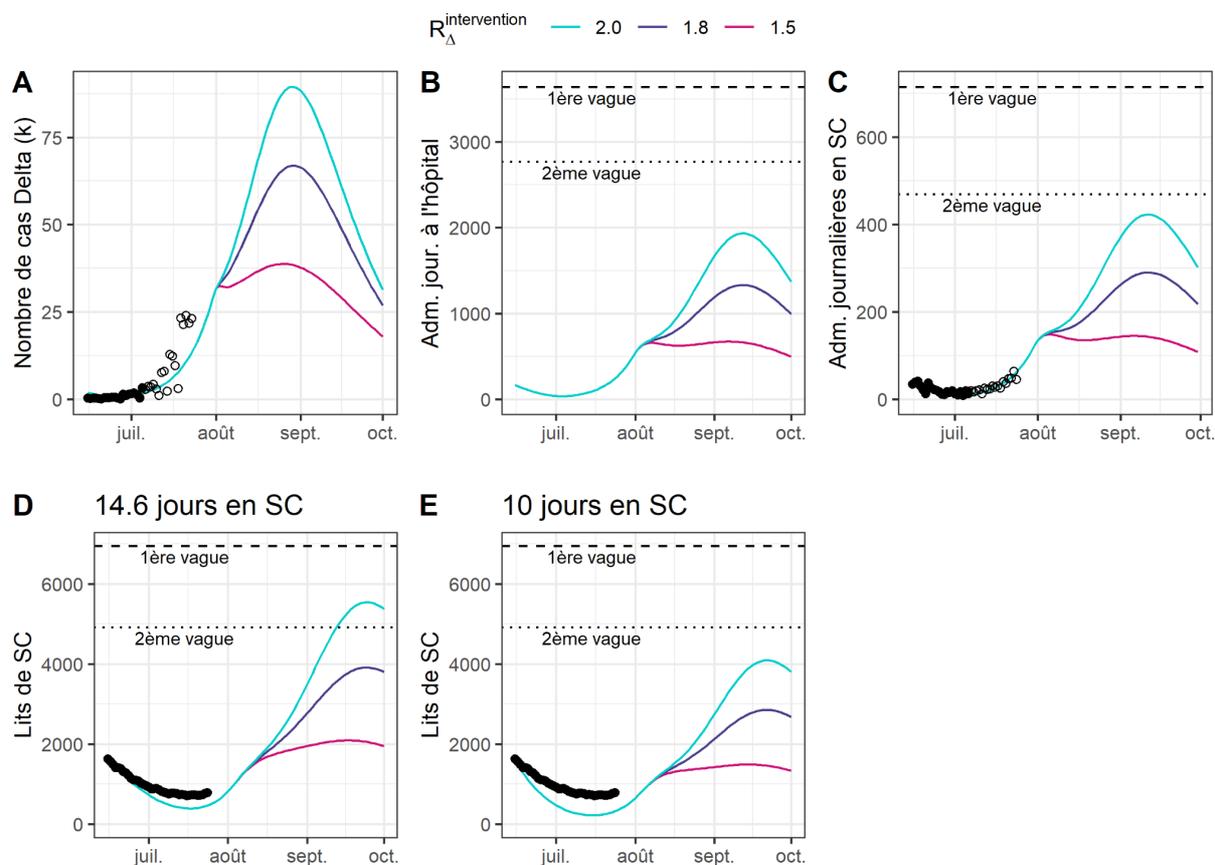


Figure 9: Projections du nombre de cas et d'hospitalisations de patients infectés par le variant Delta lorsque la proportion de la population adulte ayant reçu une première dose est égale à celle observée en Angleterre à partir du 17 juillet. **A.** Nombre de cas de variant Delta. **B.** Admissions journalières à l'hôpital de patients infectés par le variant Delta. **C.** Admissions journalières en soins critiques de patients infectés par le variant Delta. **D.** Lits de soins critiques de patients infectés par le variant Delta (durée de passage en soins critiques de 14.6 jours). **E.** Lits de soins critiques de patients infectés par le variant Delta (durée de passage en soins critiques de 10.0 jours). Les projections sont présentées pour différentes hypothèses concernant l'évolution du taux de transmission le 1er août.

Références

1. Bosetti, P. et al. Epidemiology and control of SARS-CoV-2 epidemics in partially vaccinated populations: a modeling study applied to France. (2021).
2. Tran Kiem, C. et al. Benefits and risks associated with different uses of the COVID-19 vaccine Vaxzevria: a modelling study, France, May to September 2021. *Eurosurveillance*. (2021)