

## À LA DÉCOUVERTE DES VIRUS RESPIRATOIRES : UNE JOURNÉE À L'ÉCOLE

Marie Gjessing Bruun et Daniel Steven Shaw\*

Département de diagnostics de haute-performance, Institut Sérologique d'État, Copenhague, Danemark

La pandémie de COVID-19 a incité les gens à rester chez eux pour empêcher la propagation du SRAS-CoV-2 (le virus responsable de cette maladie). Mais sais-tu que les virus respiratoires, comme ceux qui causent le rhume et la grippe, peuvent également se propager à l'intérieur des habitations ? Nous passons beaucoup de temps à l'intérieur. Que ce soit à la maison, à l'école ou ailleurs. C'est pourquoi la qualité de l'air intérieur est un sujet important pour la santé publique. Dans cet article, nous te présentons ces virus et la manière dont ils se propagent en intérieur. En sachant plus sur ces virus et sur la manière d'améliorer la qualité de l'air, nous pouvons contribuer à nous maintenir en bonne santé.

### L'HISTOIRE COMMENCE : DEUX CAMARADES DE CLASSE ABSENTS

En plein milieu de ta journée d'école, l'air est lourd et tu réalises que cela fait des heures que tu es assis(e) dans la salle de classe. Il est de plus en plus difficile de prêter attention à ce que dit ton professeur. En jetant un coup d'œil autour de toi, tu remarques que deux de tes camarades de classe qui étaient présents hier sont absents aujourd'hui. Tu lèves la main et tu demandes à ton professeur pourquoi ces élèves

ne sont pas à l'école aujourd'hui. Il t'explique qu'ils ont tous les deux un rhume. Pendant que tu réfléchis à leur état de santé et à ce qui a pu les rendre malades, ton professeur poursuit le cours de biologie en se plongeant dans le monde fascinant des virus.

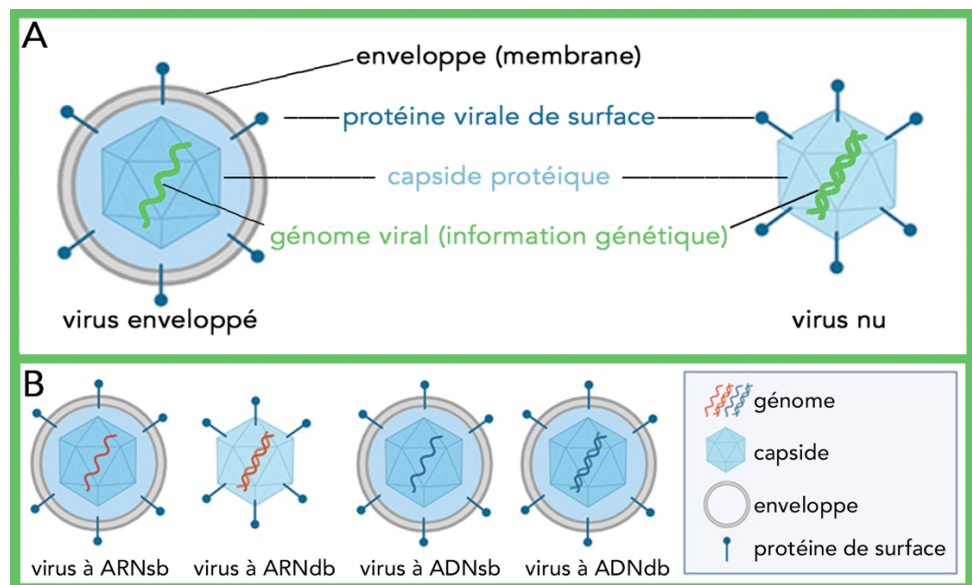
## QU'EST-CE QU'UN VIRUS ?

Le terme « virus » vient d'un mot latin qui signifie « poison ». Les virus sont de minuscules particules qui peuvent infecter nos cellules et nous rendre malades. Même si nous ne pouvons pas les voir avec nos yeux, il existe des milliers de types de virus, de formes et de tailles différentes. Un virus typique a un diamètre de 20 à 300 nm. Cela représente environ 1/100e de la taille d'une bactérie ! Les virus sont constitués d'une coque de protéines, appelée **capside**, qui protège leur **génom**e (Figure 1).

**CAPSIDE.** Coque de protéines du virus renfermant son matériel génétique.

**GÉNOME.** Support de l'information génétique d'un organisme ; il est généralement constitué d'ADN mais peut être de l'ARN chez certains virus.

**ARN.** Acide ribonucléique. Dans une cellule, les ARNs sont indispensables à la synthèse des protéines.



**Figure 1.** (A) Structure d'un virus. Il existe deux grands types de virus, les virus nus et les virus enveloppés (entourés d'une membrane empruntée à la cellule dans laquelle ils se sont multipliés). Le génome du virus est protégé par une coque protéique, la capside. Les virus ont à leur surface des protéines leur permettant de reconnaître les cellules qu'ils infectent. (B) L'information génétique des virus peut être de l'ARN ou de l'ADN, simple ou double brin (sb ou db). Figure1B créée avec BioRender.com. Figure 1A ajoutée à la version française de l'article

Notre génome est constitué de paires de chromosomes faits d'ADN double brin. Pour chaque paire de chromosomes, nous avons reçu un chromosome de notre mère biologique et l'autre de notre père biologique. Le génome d'un virus (génome viral) est différent du génome humain : pour certains virus, le matériel génétique est de l'ADN, mais pour d'autres c'est de l'ARN. L'ADN ou l'ARN viral peut exister sous forme simple ou double brin. À l'extérieur de la capside, certains virus possèdent une couche de membrane, appelée enveloppe et constituée de lipides (graisses) et de protéines.

Par exemple, le SRAS-CoV-2 responsable du COVID-19, possède une enveloppe avec de grandes protéines à sa surface, appelées protéines « Spike » ». Il s'agit d'un virus à ARN simple brin (Figure 1 ; pour en savoir plus sur les virus, voir cet [article](#)).

## LES VIRUS FONT-ILS PARTIE DE L'ARBRE DU VIVANT ?

Il n'existe pas de définition unique de la vie sur laquelle tout le monde s'accorde, mais la plupart des définitions incluent la capacité d'un organisme à se reproduire seul et à utiliser de l'énergie pour survivre. Les virus ont un génome, mais ils n'ont pas la machinerie nécessaire pour se reproduire par eux-mêmes. Au lieu de cela, ils envahissent des cellules vivantes et détournent la machinerie de celles-ci pour répliquer leur génome et produire de nouvelles particules de virus. Les cellules qu'infectent les virus sont appelées cellules hôtes et peuvent être toutes sortes de cellules vivantes, telles que des cellules de plantes, de bactéries ou d'êtres humains. En raison de cette capacité à porter au moins une partie de l'information pour se multiplier, certains considèrent que les virus sont « partiellement » vivants [1]. Mais, par ailleurs, les virus ne peuvent survivre très longtemps sans cellule hôte. C'est pourquoi les virus sont le plus souvent considérés comme ne faisant pas partie de l'arbre du vivant [2].

## COMMENT LES VIRUS SE RÉPLIQUENT-ILS ?

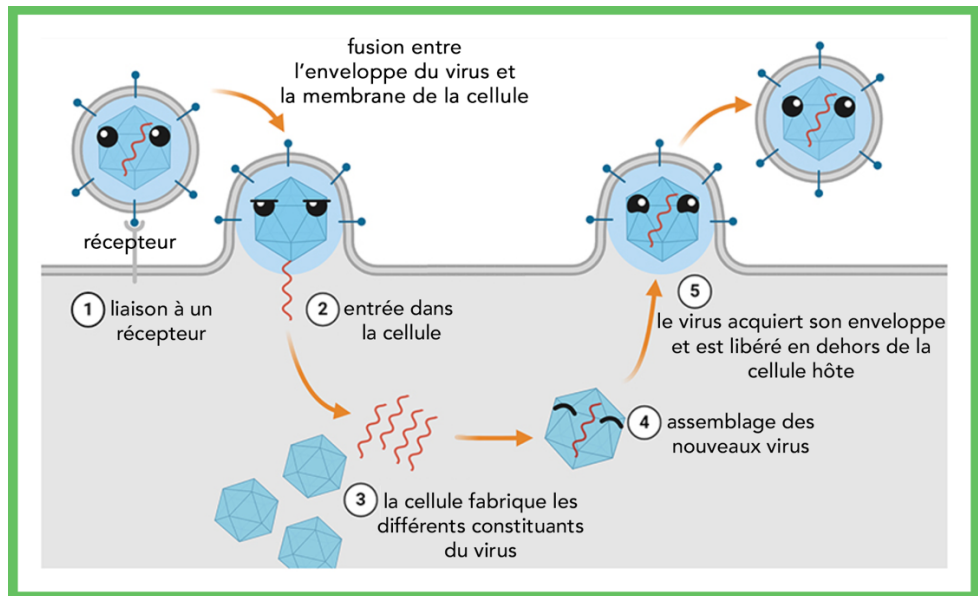
Les étapes de la production de nouvelles particules virales sont appelées le cycle de réplication du virus [3] (Figure 2). Ce cycle commence lorsqu'un virus s'attache à une cellule hôte. Un virus respiratoire pénètre généralement dans le corps humain avec l'air que nous respirons. Une fois à l'intérieur, il s'attache à une cellule hôte lorsque ses protéines de surface se lient à des protéines appelées récepteurs à la surface de la cellule hôte. Les récepteurs et les protéines de surface sont comme des serrures et des clés spécialisées. Lorsqu'ils s'emboîtent, le virus peut pénétrer dans la cellule (Figure 2, étape 1). Le virus et la cellule hôte fusionnent alors, après quoi le virus libère son génome de sa capsid (Figure 2, étape 2). Le virus agit alors comme un intrus rusé, prenant le contrôle des mécanismes de **réplication** et d'**expression des gènes** de la cellule. En trompant la cellule, le virus la force à répliquer le génome viral et à produire des protéines virales (Figure 2, étape 3). Au fur et à mesure que les composants du virus sont fabriqués, ils s'assemblent pour former de nouvelles capsides contenant le génome du virus. C'est ainsi que de nouveaux virus se forment (Figure 2, étape 4). Finalement, plusieurs nouveaux virus sont libérés de la cellule (Figure 2, étape 5). Ces nouvelles particules de virus peuvent infecter les cellules voisines et répéter le cycle.

### RÉPLICATION DES GÈNES.

Processus qui se déroule dans la cellule et qui consiste à fabriquer une copie conforme du matériel génétique.

### EXPRESSION GÉNÉTIQUE.

Processus par lequel l'information génétique est utilisée pour fabriquer un produit génétique utilisable.



**Figure 2.** Le cycle de réplication d'un virus à enveloppe. (1) Les virus s'attachent aux cellules hôtes lorsque leurs protéines de surface se lient à des récepteurs spécifiques à la surface d'une cellule hôte. (2) Le virus pénètre dans la cellule par fusion de son enveloppe avec la membrane cellulaire ; la capside s'ouvre et le génome du virus est libéré. (3) Le génome viral utilise la machinerie de la cellule pour sa réplication et la production des protéines virales. (4) Au fur et à mesure que les copies du génome et les protéines virales sont fabriquées, elles s'assemblent pour former de nouveaux virus. (5) Le virus s'entoure d'une enveloppe, membrane de la cellule contenant les protéines de surface du virus puis est libéré de la cellule hôte. Figure créée avec BioRender.com.

## COMMENT LE CORPS HUMAIN SE DÉFEND-IL CONTRE LES VIRUS ?

Nous ressentons souvent des symptômes de maladie lorsque nous sommes infectés par des virus. Ces symptômes résultent à la fois des dommages causés par le virus à nos cellules et de la lutte de notre **système immunitaire** contre le virus. Lorsque des virus envahissent notre corps, le système immunitaire entre en action pour protéger notre santé.

Le système immunitaire utilise des systèmes de défense innés et capables de s'adapter (adaptatif) pour répondre à une grande variété d'agents nocifs, y compris les virus. Notre première ligne de défense est constituée de barrières telles que la peau et les muqueuses humides des yeux, du nez et de la bouche. Le système immunitaire inné se déclenche rapidement si ces barrières sont franchies et qu'un virus est reconnu. La réponse est non spécifique et nous protège de plusieurs manières, notamment en recrutant des cellules immunitaires sur les sites d'infection et en activant le système immunitaire adaptatif. Le système immunitaire adaptatif fournit alors une réponse ciblée qui se développe au fil du temps, impliquant des cellules spécialisées appelées **lymphocytes** qui peuvent reconnaître et, surtout, mémoriser

### SYSTÈME IMMUNITAIRE.

Système complexe de cellules, tissus, organes et protéines, qui détecte et réagit à une grande variété d'agents nuisibles sans les confondre avec les cellules en bonne santé de l'organisme.

### LYMPHOCYTES.

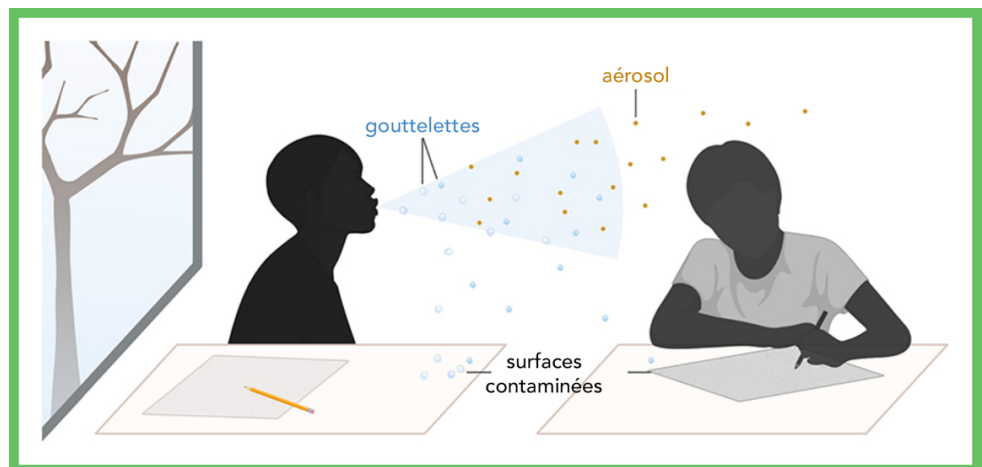
Cellules spécialisées chargées de produire des anticorps et de tuer les cellules infectées.

**ANTICORPS.** Protéines produites par le système immunitaire qui reconnaissent et se lient à des antigènes tels que les virus responsables de maladies.

des virus de manière spécifique. Il existe différents types de lymphocytes ; certains produisent des protéines appelées **anticorps** qui se fixent sur les virus et les marquent pour les détruire, tandis que d'autres éliminent les cellules infectées par le virus. Les lymphocytes se souviennent des virus grâce à un processus appelé mémoire immunologique, qui permet au système immunitaire de s'adapter et d'assurer une défense plus rapide et plus forte si le même type de virus est reconnu à nouveau [4, 5] (pour en savoir plus sur le système immunitaire, voir [ici](#), [ici](#) ou [ici](#)). De la même manière, les vaccins stimulent le système immunitaire pour qu'il reconnaisse un agent infectieux et fournissent ainsi une immunité active contre une maladie particulière. Cependant, nous pouvons toujours tomber malade pendant que notre corps se défend contre les virus. Et si nous éternuons ou toussons alors que nous sommes infectés, le virus peut se propager à d'autres personnes.

### COMMENT LES VIRUS SE PROPAGENT-ILS À L'INTÉRIEUR DES BÂTIMENTS ?

Les virus se propagent entre les personnes de plusieurs manières : par contact physique, par des surfaces contaminées ou par l'air (transmission par voie aérienne), par exemple. Des gouttelettes sont expulsées dans l'environnement lorsqu'une personne malade tousse ou éternue (**Figure 3**). Parler à un ami ou simplement respirer peut également générer des gouttelettes. Ces gouttelettes en suspension dans l'air peuvent contenir des particules de virus qui peuvent infecter une autre personne.



**Figure 3.** Transmission d'un virus respiratoire entre personnes. Une personne infectée expulse des sécrétions respiratoires qui contiennent des gouttelettes et des aérosols. Ces gouttelettes et aérosols peuvent se propager dans l'air ou lorsqu'une personne entre en contact avec des surfaces contaminées par le virus. Figure créée avec BioRender.com.

Les gouttelettes contenant des virus sont de différentes tailles. Leur

**AÉROSOL.** Suspension de fines particules solides ou de gouttelettes liquides dans l'air ou un autre gaz.

taille détermine leur sort. Les gouttelettes d'un diamètre supérieur à 100 µm tombent généralement sur le sol dans un rayon de 2 m autour de la personne qui les projette. Les petites gouttelettes (moins de 100 µm) peuvent être suspendues dans l'air sous forme d'**aérosols**, ce qui leur permet de mieux se répandre. La propagation des aérosols contenant des virus est influencée par des facteurs environnementaux tels que la température, l'humidité et la circulation de l'air. De plus, les aérosols peuvent s'accumuler dans des pièces fermées, ce qui augmente le risque qu'ils pénètrent dans notre corps lorsque nous respirons [6].

As-tu déjà été dans une pièce où l'odeur du déjeuner devient envahissante ? C'est peut-être parce que la pièce n'est pas suffisamment ventilée. La ventilation est une méthode qui permet de diluer et d'éliminer les contaminants en suspension dans l'air, tels que les gouttelettes et aérosols contenant des virus. Les salles fermées où l'air est recyclé peuvent présenter des taux d'infection virale élevés. Les salles de classe mal ventilées peuvent accumuler des aérosols contenant des virus et des gouttelettes, et des surfaces contaminées, ce qui augmente le risque de propagation du virus à un plus grand nombre de personnes [7].

Pour réduire la transmission des virus à l'intérieur des bâtiments, nous devons adopter de bonnes pratiques d'hygiène. Il peut s'agir de se laver régulièrement les mains et de nettoyer les surfaces fréquemment touchées qui peuvent avoir été contaminées, comme les tables, les poignées de porte et les interrupteurs. Par ailleurs, porter un masque peut limiter la transmission des virus respiratoires en empêchant la diffusion de gouttelettes et d'aérosols contenant des virus par les personnes infectées. Maintenir une distance de sécurité (2 m) avec les personnes infectées par des virus respiratoires peut ralentir la transmission du virus. Pour améliorer la ventilation, il faut régulièrement ouvrir les fenêtres et les portes. Enfin, installer des systèmes de ventilation et de purificateurs d'air permet de diluer et d'éliminer les aérosols contenant des virus dans les salles de classe [8]. Dans l'ensemble, une bonne qualité de l'air intérieur peut réduire la propagation des virus et contribuer au bien-être de tous.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Amélie (16 ans) et Yi Chun (11 ans) pour leur participation au processus d'édition. Nous remercions également nos collègues pour leurs commentaires sur cet article. MGB est reconnaissant envers DS Shaw pour son soutien tout au long du processus de rédaction.

## RÉFÉRENCES

- [1] Bos, L. 2000. 100 years of virology: from vitalism via molecular biology to genetic engineering. *Trends Microbiol.* 8:82–7. doi: 10.1016/s0966-842x(99)01678-9
- [2] Moreira, D., and Lopez-Garcia, P. 2009. Ten reasons to exclude viruses from the tree of life. *Nat Rev. Microbiol.* 7:306–11. doi: 10.1038/nrmicro2108
- [3] Ryu, W. S. 2017. "Virus life cycle", in *Molecular Virology of Human Pathogenic Viruses*, ed. W.-S. Ryu (San Diego, CA: Academic Press), 31–45. doi: 10.1016/b978-0-12-800838-6.00003-5
- [4] Chaplin, D. D. 2010. Overview of the immune response. *J. Allergy Clin. Immunol.* 125(2 Suppl 2):S3–23. doi: 10.1016/j.jaci.2009.12.980
- [5] Alberts, B. 2015. "The innate and adaptive immune systems", in *Molecular Biology of the Cell*, 6th Edn, ed. B. Alberts (New York, NY: W.W. Norton & Company), 1297–343
- [6] Wang, C. C., Prather, K. A., Sznitman, J., Jimenez, J. L., Lakdawala, S. S., Tufekci, Z., et al. 2021. Airborne transmission of respiratory viruses. *Science* 373:eabd9149. doi: 10.1126/science.abd9149
- [7] Megahed, N. A., and Ghoneim, E. M. 2021. Indoor air quality: rethinking rules of building design strategies in post-pandemic architecture. *Environ. Res.* 193:110471. doi: 10.1016/j.envres.2020.110471
- [8] Stabile, L., Pacitto, A., Mikszewski, A., Morawska, L., and Buonanno, G. 2021. Ventilation procedures to minimize the airborne transmission of viruses in classrooms. *Build Environ.* 202:108042. doi: 10.1016/j.buildenv.2021.108042

## VERSION FRANÇAISE

Cet article d'accès libre est une traduction avec modifications d'un article publié par *Frontiers for Young Minds* (doi: 10.3389/frym.2024.1434343 ; Gjessing Bruun M and Shaw DS (2024) Exploring Respiratory Viruses: A Day at School. *Front. Young Minds* 12:1434343).

**TRADUCTION** : Lushi Aumeer, Association Jeunes Francophones et la Science

**ÉDITION** : Catherine Braun-Breton, Association Jeunes Francophones et la Science

**MENTORS SCIENTIFIQUES** : [Joseph Chamieh](#) et Catherine Braun-Breton

## JEUNES ÉDITEURS :

**ALICE, LAURE, LILOU, CLÉMENT, CHARLY, LUCAS, AMBRE, LUNA, 15 ANS**

Nous sommes élèves en seconde dans un lycée d'Occitanie près de Montpellier. Nous avons aimé nous investir dans ce projet d'édition et de la confiance qui nous est faite pour aider à rendre cet article intéressant et accessible pour d'autres jeunes de notre âge et même plus jeunes.

### **CLÉMENCE, 15 ANS**

Je suis passionnée par la lecture et le sport, notamment le ski. J'aimerais faire des études de Droit. Donner mon avis critique sur un article scientifique m'a beaucoup apporté.

### **LENA, 15 ANS**

J'aime beaucoup lire et faire du sport. Moi aussi j'adore le ski. Je souhaiterais m'orienter vers des études scientifiques pour devenir gynécologue.

### **CLÉLIA, MARINE, LISA, AMEL, 15 ANS**

Nous sommes des filles impliquées et rigoureuses dans notre travail. À côté de cela, nous sommes joyeuses et solaires !

**REMERCIEMENTS** : Merci à Sylviane Michelier pour son accueil et son implication dans l'édition de cet article par ses élèves.

### **ARTICLE ORIGINAL (VERSION ANGLAISE)**

**SOUMIS** le 17 mai 2024 ; **ACCEPTÉ** le 28 octobre 2024

**PUBLIÉ EN LIGNE** le 20 novembre 2024.

**ÉDITEUR** : Ornella Cominetti, Centre de recherche Nestlé, Suisse

**MENTORS SCIENTIFIQUES** : Renee W. Y. Chan et Jean Calleja-Agius

**CITATION** : Gjessing Bruun M and Shaw DS (2024) Exploring Respiratory Viruses: A Day at School. Front. Young Minds 12:1434343. doi: 10.3389/frym.2024.1434343

### **DÉCLARATION DE CONFLIT D'INTÉRÊTS**

Les auteurs déclarent que les travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un conflit d'intérêt potentiel.

### **DROITS D'AUTEURS.**

Copyright © 2024 Gjessing Bruun and Shaw.

Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence Creative Commons Attribution (CC BY). Son utilisation, distribution ou reproduction sont autorisées, à condition que les auteurs d'origine et les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans cette revue soit citée conformément aux pratiques académiques courantes. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

### **JEUNES ÉVALUATEURS**

#### **YUCHON, 11 ANS**

Une personne avec une fossette n'en a que deux, mais j'en ai trois. Quand j'apprenais à parler, j'ai prononcé le plafonnier comme « ka »

parce que j'ai entendu le son quand j'ai appuyé sur le bouton et que j'ai pensé que mes parents m'apprenaient à le prononcer.

## AUTEURS

### **MARIE GJESSING BRUUN**

Marie est titulaire d'un Master of Science en biologie moléculaire de l'Université d'Aarhus. Ses recherches actuelles portent sur la santé publique, plus particulièrement sur la qualité de l'air à l'intérieur des écoles, les modes de transmission des virus en suspension dans l'air et leur identification. Avec un fort engagement envers la santé, tant sur le plan professionnel que personnel, elle aime courir et faire du yoga pendant son temps libre.

### **DANIEL STEVEN SHAW**

Daniel Steven Shaw (Ph.D.) dirige le laboratoire des diagnostics à haute performance de l'Institut Sérologique d'État au Danemark. Il a occupé des postes de recherche et d'enseignement dans plusieurs universités (Leeds, Bristol, Bath et Cambridge). Pendant la pandémie mondiale de COVID-19, Daniel a créé et dirigé un laboratoire de diagnostic phare de l'Agence de Sécurité Sanitaire du Royaume-Uni. Travaillant dans le domaine de la santé publique, Daniel applique la science de la prévention des maladies pour améliorer la santé des personnes et de leurs communautés. Il aime jouer au parc avec sa famille. [\\*dsts@ssi.dk](mailto:*dsts@ssi.dk)