



Since January 2020 Elsevier has created a COVID-19 resource centre with free information in English and Mandarin on the novel coronavirus COVID-19. The COVID-19 resource centre is hosted on Elsevier Connect, the company's public news and information website.

Elsevier hereby grants permission to make all its COVID-19-related research that is available on the COVID-19 resource centre - including this research content - immediately available in PubMed Central and other publicly funded repositories, such as the WHO COVID database with rights for unrestricted research re-use and analyses in any form or by any means with acknowledgement of the original source. These permissions are granted for free by Elsevier for as long as the COVID-19 resource centre remains active.



Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com



ARTICLE ORIGINAL

Gestion de l'épidémie de COVID-19 au sein du groupe aéronaval (janvier–avril 2020) par le Centre d'épidémiologie et de santé publique des armées*☆

Management of the COVID-19 epidemic in the carrier battle group (January–April 2020) by the Armed Forces Epidemiology and Public Health Center

J.-B. Meynard^{a,b,c,*}, F. de Laval^{b,d}, G. Texier^{c,d,e}, O. Gorgé^f, H. Degui^d, V. Pommier de Santi^{d,e}

^a Direction de la formation, de la recherche et de l'innovation du service de santé des armées, Val-de-Grâce, 1, place Alphonse Laveran, 75005 Paris, France

^b UMR 1252–sciences économiques et sociales de la santé et traitement de l'information médicale, SESSTIM, Inserm/IRD/Aix-Marseille université, faculté de médecine, 27, boulevard Jean Moulin, 13385 Marseille cedex 5, France

^c École du Val-de-Grâce, Val-de-Grâce, 1, place Alphonse Laveran, 75005 Paris, France

^d Centre d'épidémiologie et de santé publique des armées, base de défense Marseille Aubagne - 111, avenue de la Corse BP40026, 13568 Marseille cedex 02, France

^e UMR 257–Vecteurs, infections tropicales et méditerranéennes–VITROME–IRD/SSA/AP-HM/Aix-Marseille université, 19-21, boulevard Jean Moulin, 13005 Marseille, France

^f Institut de recherche biomédicale des armées, 1, place du général Valérie André BP 73, 91223 Brétigny-sur-Orge, France

Disponible sur Internet le 21 juillet 2022

MOTS CLÉS

COVID-19 ;
Épidémie ;
Porte-avions ;
Santé publique ;
Forces armées

Résumé

Objectifs. – Face à l'épidémie de COVID-19 survenue au sein du groupe aéronaval et du porte-avions nucléaire Charles de Gaulle, le centre d'épidémiologie et de santé publique des armées (CESPA) a mis en œuvre une investigation (janvier-avril 2020) dont les objectifs étaient : identifier les voies possibles d'introduction du virus ; décrire les caractéristiques de l'épidémie ; décrire et modéliser la dynamique de diffusion de l'épidémie.

☆ Séance du 24/05/2022.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : jb.meynard@wanadoo.fr (J.-B. Meynard).

Méthodes. – Une enquête téléphonique a été conduite. Les diagnostics biologiques ont été transmis par les antennes médicales. Une analyse temps/lieu/population a été réalisée, ainsi que la description des tableaux cliniques avec leurs facteurs d'exposition. Le taux de reproduction instantané R_t de l'épidémie a été modélisé. Une analyse spatiale de l'épidémie a bord a été réalisée. Quarante-trois génomes viraux ont été séquencés et comparés aux bases de référence.

Résultats. – Pour 1767 marins, 1568 (89 %) ont participé à l'enquête téléphonique et 1064 (67,9 %) étaient des cas confirmés. Quatre profils de patients ont été décrits : les asymptomatiques (13,0 %) ; les symptomatiques aspécifiques (8,1 %) ; les symptomatiques spécifiques (76,3 %) ; les cas graves (2,6 %). En analyse univariée et multivariée, l'âge, le surpoids et l'obésité étaient associés de manière significative au risque d'avoir une forme grave. Fumer était un facteur protecteur. La cinétique d'évolution du R_t était en faveur d'une introduction du virus dès la fin février avec une réintroduction lors de l'escale de Brest. Une analyse des génomes viraux excluait une introduction et une propagation d'une souche unique.

Conclusion. – Malgré les mesures de contrôle prises, une épidémie est survenue. Les tableaux cliniques souvent pauci-symptomatiques ont entraîné un retard à l'identification. Le CESPA a été en capacité de réaliser cette investigation épidémiologique dans un délai fortement contraint, montrant tout l'intérêt de son modèle de santé publique intégrée.

© 2022 l'Académie nationale de médecine. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

KEYWORDS

COVID-19;
Outbreak;
Aircraft carrier;
Public health;
Armed forces

Summary

Objectives. – Faced with the COVID-19 epidemic that occurred within the naval air group and the nuclear aircraft carrier Charles de Gaulle, the French Armed Forces Epidemiology and Public Health Center (CESPA) carried out an investigation (January - April 2020) whose objectives were: to identify the possible routes of introduction of the virus ; to describe the characteristics of the epidemic and to describe and model the dynamics of the epidemic's spread.

Methods. – A telephone survey was conducted. The biological diagnoses were transmitted by the medical antennas. A time/place/population analysis was carried out, as well as the description of the clinical pictures with their exposure factors. The instantaneous reproduction rate R_t of the epidemic was modeled. A spatial analysis of the epidemic on board was carried out. Forty-three viral genomes were sequenced and compared to the reference bases.

Results. – Of 1767 sailors, 1568 (89%) participated in the telephone survey and 1064 (67.9%) were confirmed cases. Four patient profiles have been described: asymptomatic (13.0%); non-specific symptomatic (8.1%); specific symptomatic (76.3%); severe cases (2.6%). In univariate and multivariate analysis, age, overweight and obesity were significantly associated with the risk of having a severe form. Smoking was a protective factor. The evolution kinetics of R_t was in favor of an introduction of the virus at the end of February with a reintroduction during the stopover in Brest. Analysis of viral genomes ruled out introduction and spread of a single strain.

Conclusion. – Despite the control measures taken, an epidemic occurred. The often pauci-symptomatic clinical pictures resulted in a delay in identification. CESPA was able to carry out this epidemiological investigation within a highly constrained timeframe, showing all the interest of its integrated public health model.

© 2022 l'Académie nationale de médecine. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Introduction

Le centre d'épidémiologie et de santé publique des armées

Le centre d'épidémiologie et de santé publique des armées (CESPA) est un établissement du service de santé des armées (SSA) qui a été créé en 2011 [1]. Il est installé depuis 2013 à Marseille. Héritier direct de l'institut de médecine tropicale du service de santé des armées (IMTSSA) ou école du Pharo qui a fermé ses portes en 2012, le CESPA a repris à son compte toutes les problématiques et les enseignements de santé publique tropicale en lien avec les engagements des

forces armées. Mais le périmètre de ses missions ne se limite pas à la seule dimension tropicale, puisque le CESPA, regroupant la majorité des acteurs de la santé publique appliquée aux armées, couvre tout ce champ disciplinaire au profit de l'ensemble des armées. Cet établissement présente la particularité d'avoir une approche intégrée de la santé publique, faisant travailler ensemble des équipes avec des champs de compétence variés dans la plupart des domaines de cette discipline. Cette singularité de fonctionnement a permis à cet établissement de se faire reconnaître dans la communauté de défense nationale et internationale pour ses qualités d'agilité, de réactivité, de cohérence des actions menées, ainsi que pour son très haut niveau d'expertise et

de performance pour les actions réalisées en milieu militaire.

L'épidémie de COVID-19 au sein des armées

Il a toujours existé un lien étroit entre les maladies infectieuses et les forces armées [2], ces dernières étant souvent les premières touchées en contexte épidémique ou étant responsables de l'introduction de pathogènes auprès de populations naïves [3]. Le contrôle des maladies infectieuses au sein des forces armées est une des missions majeures du CESP A et se révèle être un véritable défi [4]. L'émergence et la dissémination du virus SARS-CoV-2 et de la maladie COVID-19 à travers l'Europe au début de l'année 2020 [5] a concerné les armées françaises. Au moment où la communauté scientifique internationale découvrait ce virus et son épidémiologie [6,7], le CESP A devait mettre en œuvre avec la direction centrale du service de santé des armées (DCSSA) des mesures visant à protéger efficacement les militaires français afin de maintenir leur capacité opérationnelle et de permettre la réussite de leurs missions de défense.

La problématique maritime et le groupe aéronaval

La vie des équipages en milieu maritime pose avant tout le problème de la promiscuité, qui est encore plus grande en milieu militaire. De tels environnements jouent le rôle de catalyseur pour la transmission virale, comme cela a pu être décrit en secteur civil pour le bateau de croisière *Diamond Princess* [8] et en secteur militaire pour le porte-avions américain *USS Theodore Roosevelt* [9].

Le 21 janvier 2020, le groupe aéronaval (GAN) constitué du Porte-avions Charles de Gaulle (PAN CDG), de son Groupe aérien embarqué (GAé) et de son escadre (autres bâtiments de la Marine Nationale) est parti de Toulon pour une mission prévue jusqu'au 23 avril 2020. La première partie de la mission s'intégrait dans le cadre de l'Opération Chammal en Méditerranée. La seconde partie de la mission, après une escale à Chypre s'est déroulée en Atlantique et en Mer du Nord. Au cours de cette mission, d'autres bâtiments des Marines de l'Organisation du traité de l'Atlantique Nord (OTAN) ont interagi avec le GAN français. À la date du départ du GAN, aucun cas de COVID-19 n'était déclaré en France.

Malgré les mesures prises à bord pour éviter l'introduction du virus, une alerte sur une probable épidémie de COVID-19 à bord a été déclarée le 7 avril 2020. Une première équipe d'investigation épidémiologique a été déployée le 8 avril 2020 sur le PAN CDG, au large de la Pointe de Gascogne. Des prélèvements nasopharyngés ont été réalisés à bord du PAN CDG, permettant de confirmer biologiquement par reverse transcriptase polymérase chain reaction (RT-PCR) la présence de SARS-CoV-2 chez 50 marins malades. L'hypothèse d'une introduction du virus à bord lors d'une escale à Brest du 13 au 16 mars 2020 a alors été avancée.

Une seconde équipe d'investigation a été déployée le 11 avril 2020 au large de Brest, successivement à bord de la Frégate anti-sous-marine (FASM) La Motte-Picquet puis du Bâtiment de commandement et ravitaillement (BCR) Somme.

Le PAN CDG et la Frégate de défense aérienne Chevalier Paul (FDA CHP) sont retournés à leur port d'attache de Toulon le 13 avril 2020. Deux autres bâtiments de l'escadre du PAN CDG, le BCR Somme et la FASM La Motte-Picquet sont retournés au port militaire de Brest. Tous les membres des équipages classés suspects de ces bâtiments ont bénéficié d'un diagnostic du COVID-19 par PCR SARS-CoV-2 sur prélèvement nasopharyngé et ont été placés pour la très grande majorité d'entre eux en quatorzaine à terre. Des cas ont été confirmés dans l'équipage de la FDA CHP et pour 60 % des personnels à bord du PAN CDG.

Le CESP A a été désigné officiellement le 19 avril 2020 pour mener l'investigation de cette épidémie au sein du GAN, avec une restitution attendue au plus tard le 4 mai 2020. Ce délai très court était justifié par les intérêts opérationnels et stratégiques liés au PAN CDG.

Objectifs

L'investigation épidémiologique menée par le CESP A avait pour objectifs : identifier les voies possibles d'introduction du virus au sein du GAN ; décrire les caractéristiques de l'épidémie COVID-19 du PAN CDG ; enfin décrire et modéliser la dynamique de diffusion de l'épidémie à bord du PAN CDG.

Méthodes

Contexte épidémique international de la COVID-19 pendant la mission du GAN

La situation épidémiologique en France a été évaluée à partir des données publiées par Santé publique France dans ses points épidémiologiques disponibles à l'adresse suivante : <https://www.santepubliquefrance.fr/recherche/#search=COVID%2019%20%20point%20epidemiologique&publications=donn%C3%A9es®ions=National&sort=date>.

La situation épidémiologique internationale a été évaluée par le Service de veille et anticipation du CESP A à partir des données européennes en accès libre sur le site de l'Université Johns Hopkins dédié au coronavirus à l'adresse suivante : <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>.

Estimation des risques d'introduction et de diffusion du virus au sein du GAN

Le risque d'introduction du virus à bord du PAN CDG a été étudié à partir de l'escale à Limassol, Chypre, du 21 au 26 février 2020, jusqu'à la fin de l'escale de Brest le 16 mars 2020. Ce choix a été fait en considérant la dynamique de l'épidémie à bord. Après le 16 mars, plus aucun mouvement n'était autorisé. Le début de la période d'étude a été pris au 8 mars sur la FDA CHP, compte tenu de la courbe épidémique, au 13 mars pour la FASM La Motte-Picquet, au 12 mars pour la BCR Somme.

Tout mouvement de personnel a été identifié comme un point critique. L'ensemble des embarquements à bord de marins, militaires étrangers, civils a été retracé, en totalité pour les embarquements en mer et pour leur quasi-totalité pour les embarquements à quai. Ces embarquements pouvaient être intra force, entre le PAN CDG et son escadre,

que les bâtiments soient français ou étrangers et à partir de la terre. Cette étude a été limitée aux passagers, les mouvements des équipages des avions étant non disponibles.

Les mesures de contrôle mises en place par le commandement militaire pour essayer de freiner la diffusion virale n'ont été étudiées que sur le PAN CDG, bâtiment le plus touché par l'épidémie. L'évolution de ces mesures au cours du temps a été mise en relation avec les différents points critiques identifiés.

Investigation de l'épidémie à bord du PAN CDG

La population cible de l'enquête était l'ensemble des personnels à bord du PAN CDG au moment de l'épidémie déclarée le 7 mars 2020. Compte tenu de la dispersion des personnes en quatorzaine dès leur arrivée à terre dans le département du Var et sur la région Bretagne, une enquête par questionnaire administrée par téléphone a été privilégiée. Cette méthode d'enquête, bien que nécessitant une mobilisation d'un nombre plus important d'enquêteurs, ait l'avantage de permettre un entretien avec les marins dans de meilleures conditions et d'obtenir des données de meilleure qualité. Une enquête téléphonique a donc été conduite auprès de l'ensemble de ces personnels afin de recueillir des données sociodémographiques, cliniques et d'exposition. Ces variables étaient le sexe, la date de naissance, la taille, le poids, la date d'embarquement à bord, la participation à des événements à bord, les sorties à terre en escale, la catégorie de grade, le métier à bord, les lieux de couchage et de travail, identifiés par un gisement (code alphanumérique), les mesures barrières appliquées à bord. La fréquentation de différents lieux (carrés, salle de sport, etc.) a été relevée en suivant le score suivant : 1 pour jamais/parfois, 2 pour souvent, 3 pour toujours. La variable fumeur a été recueillie. Les symptômes présentés avec la date de début ont été relevés. La liste des symptômes recueillis était la suivante : fièvre objectivée par un personnel de santé ou sensation de fièvre, céphalées, toux, asthénie, malaise, myalgies, agueusie, anosmie, rhinite, mal de gorge, otalgie, dyspnée, douleur ou gêne thoracique, diarrhée, vomissements, douleurs abdominales.

Les résultats des diagnostics biologiques par RT-PCR de l'infection par le SARS-CoV-2 ont été transmis par les antennes médicales et centre médicaux des armées en charge du suivi de ces personnels.

Les cas confirmés étaient définis comme suit : tout sujet avec une RT-PCR SARS-CoV-2 positive ET/OU ayant présenté des symptômes d'anosmie et/ou d'agueusie depuis le 21 février 2020 ET présent à bord du PAN CDG, quelque que soit le nombre de jours, entre le 21 février et le 13 avril 2020. L'anosmie et l'agueusie étaient retenus comme des facteurs cliniques hautement spécifiques de la COVID-19, comme décrit dans la littérature [10].

Une analyse temps/lieu/population a été réalisée, ainsi que la description des tableaux cliniques avec leurs facteurs d'exposition associés. Un calcul de la sensibilité et spécificité des définitions de cas possible et cas avec anosmie/agueusie a été réalisée en prenant comme référence le fait d'avoir une RT-PCR SARS-CoV-2 positive. La recherche des facteurs de risque du COVID-19 a utilisé la définition de cas confirmé. Les analyses multivariées ont été réalisées

par régression logistique, méthode pas à pas descendante avec introduction dans le modèle des variables présentant un $p < 0,25$ en analyse univariée.

Le taux de reproduction instantané (R_t) de l'épidémie a été modélisé. Une analyse spatiale de l'épidémie à bord a été réalisée. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées grâce à R (R Core Team [2020]).

Des prélèvements environnementaux ont été réalisés le 11 avril 2020, à bord du PAN CDG, au large de Toulon, par le Bataillon des marins-pompiers de Marseille (BMPM), l'ensemble de l'équipage étant encore à bord, soit au cœur de l'épidémie. Les analyses des échantillons ont été effectuées par la société C4Diagnostics®, Marseille. Une trentaine de prélèvements de surface par écouvillonnage a été réalisée ainsi que trois prélèvements d'air ambiant. La méthode exacte de prélèvement et d'analyse n'étant pas la propriété du SSA, elle n'est pas détaillée ici. L'influence du système de ventilation en milieu confiné a été évoqué comme un facteur possible de dispersion et diffusion du virus à bord. Par ailleurs, le 2 avril, un exercice nucléaire, radiologique, bactériologique et chimique (NRBC) a été effectué conduisant à une mise en surpression du bâtiment pendant 30 minutes. Le système de ventilation a donc été étudié dans son principe et avec les modifications générées dans le circuit d'air lors de l'exercice NRBC. L'influence possible a été mise en regard des autres facteurs de dispersion du virus connus et/ou identifiés à bord.

À partir de 60 échantillons, quarante-trois génomes viraux ont été séquencés et comparés aux génomes publiés dans les bases de référence, en utilisant le protocole ARTIC [11]. Pour la reconstruction phylogénétique, les techniques d'analyse NEXTSTRAIN [12], MAFFT [12,13], IQ-TREE [14] et TREETIME [15] ont été mises en œuvre.

Éthique et confidentialité

Cette investigation rentrait dans le cadre des investigations d'épidémies avec pour finalité la réponse à une alerte sanitaire. Il ne s'agissait donc pas d'une recherche sur la personne humaine. Tous les enquêteurs ne faisant pas partie des personnels du CESP et impliqués dans l'investigation de l'épidémie ont signé une clause de confidentialité. Pour l'enquête téléphonique, le consentement était systématiquement recueilli pour chaque personne interrogée. Tout refus notifié par le sujet de l'enquête a été relevé et a mis fin à l'entretien.

Les bases de données nominatives ont été échangées puis stockées sur un réseau informatique protégé, sous le système d'information OSEA (outil de surveillance épidémiologique dans les armées), prévu pour contenir des données d'investigation d'épidémie à caractère nominatif ou indirectement nominatif et déclaré en tant que tel à la Commission nationale de l'informatique et des libertés (CNIL). Par ailleurs, ces données sont couvertes par le secret médical.

Résultats

Contexte épidémique international de la COVID-19 pendant la mission du GAN

Le premier cas de COVID-19 importé en France est daté du 24 janvier 2020. Des groupements de cas ont ensuite été

Tableau 1 Situation épidémiologique de la COVID-19 dans les villes où des personnels du GAN ont pu être exposés, investigation épidémiologique de l'épidémie de COVID-19 à bord du CDG (janvier–avril 2020).

Pays	Villes	Situation COVID-19	Impact potentiel GAN
Chypre	Limassol Pahos Lanarca	Les premiers cas confirmés sont survenus entre le 9 et 12 mars 2020, soit près de 15 jours après l'escale du PAN CDG. Ces cas étaient importés du Royaume-Uni, d'Italie, de Grèce et d'Allemagne.	La situation épidémiologique de Chypre ne permet pas de confirmer une exposition au virus lors de l'escale.
Israël	Haïfa	Le premier cas a été détecté en Israël le 21 février 2020. Jusqu'au 29 février, seuls des cas importés sont confirmés en Israël.	L'escale de la FDA CHP prend fin le 26 février, soit plusieurs jours avant le début d'une transmission autochtone.
Italie(Sicile)	Comiso	Les premiers cas sont survenus en Sicile dès le 25 février 2020. Au 2 mars, 10 cas étaient déclarés.	Des personnels sont montés à bord du PAN CDG le 2 mars 2020 et peuvent avoir été exposés au virus.
Espagne	Ibiza Cadix	Les premiers cas sont survenus en Espagne entre le 31 janvier et le 25 février, dont un cas dans les Baléares. La transmission autochtone semble avoir débuté dès le 26 février. Le lendemain, huit cas d'origine italienne et un d'Iran ont été signalés en Catalogne, en Castille-et-León et à Valence. Le 28 février, neuf autres personnes ont été testées positives en Andalousie et un cas a été confirmé à Madrid. Le 13 mars l'état d'alarme nationale est décrété et le 15 mars le pays rentre en confinement.	Des personnels sont montés à bord du PA CDG depuis Ibiza et Cadix respectivement le 5 et 7 mars 2020 et peuvent avoir été exposés au virus.
Portugal	Porto Monte Real Al Cochete	Les premiers cas ont été confirmés les 2 et 3 mars respectivement à Porto et Lisbonne. Le 6 mars le pays est en phase épidémique. Porto et Lisbonne sont les villes les foyers principaux de l'épidémie.	Des personnels sont arrivés sur le PAN CDG depuis ces villes le 9 et 10 mars 2020 et peuvent avoir été exposés au virus.
UK	Portsmouth Londres	Les premiers de cas de COVID-19 sont signalés à Londres et dans le Sud-Est de l'Angleterre dès le 28 février. Le 13 mars, 145 cas cumulés sont confirmés à Londres et 97 dans le Sud-Est. L'état d'urgence est déclaré le 16 mars.	La FDA CHP a fait escale à Portsmouth du 9 au 13 mars 2020. Des personnels sont allés à Londres au cours de cette escale et peuvent avoir été exposés au virus.

identifiés dès fin février, dans l'Oise, le Haut Rhin et le Morbihan. Le 7 mars, la France comptabilisait 949 cas confirmés et 11 décès, le 10 mars 2039 cas et 44 décès, le 15 mars 6378 cas et 161 décès [16,17]. Un ensemble de mesures destinées à contrôler puis atténuer l'impact de l'épidémie a été pris au niveau national entre le 29 février et le 14 mars, aboutissant le 17 mars 2020 à un confinement national. L'épidémie a connu une accélération brutale entre le 10 et le 15 mars. Cette période correspond à la période de l'escale du PAN CDG à Brest (13 au 16 mars).

Au cours de sa mission, le GAN a travaillé en collaboration avec plusieurs pays alliés européens. Plusieurs escales ont été effectuées dans des pays européens et des personnels en provenance de villes européennes ont été embarqués à bord du PAN CDG. Plusieurs villes peuvent avoir été la source

d'une contamination de personnels embarqués à bord du PAN CDG. Ces villes sont soit des lieux d'escale, soit des lieux de transit des personnels des équipages (cf. [Tableau 1](#)).

Estimation des risques d'introduction et de diffusion du virus au sein du GAN

Tous les moments à risque d'introduction du virus SARS-CoV-2 à bord du PAN CDG ont été relevés depuis l'escale à Chypre le 21 février 2020 (cf. [Fig. 1](#)). La période entre le 21 janvier et le 21 février n'a pas été évaluée car trop à distance du début de l'épidémie pour être pertinente. En regard de ces risques, un ensemble de stratégies a été mis en œuvre pour les contrôler. Depuis l'escale de Chypre, tous les personnels

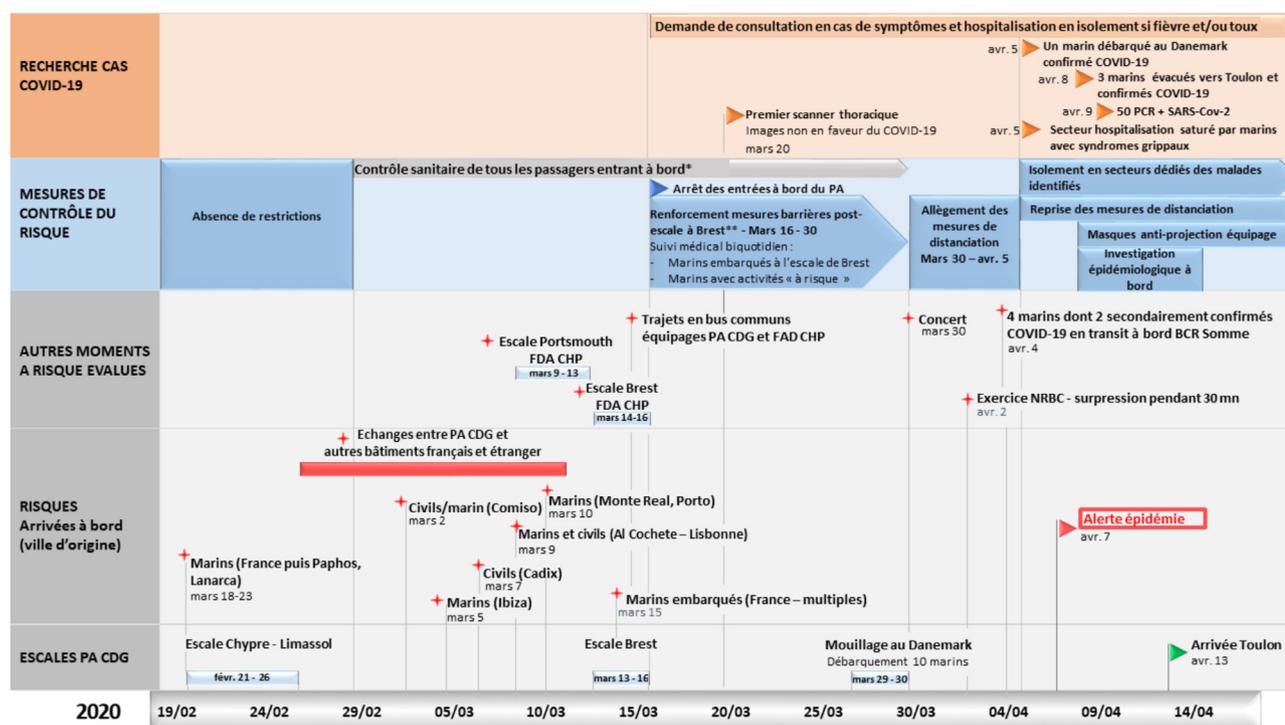


Figure 1 Principaux moments représentant un risque d'introduction du virus à bord du CDG, mesures de contrôle du risque et stratégies de confirmation des cas de COVID-19 mises en œuvre par le service médical du bord, investigation épidémiologique de l'épidémie de COVID-19 à bord du CDG (janvier–avril 2020).

montant à bord étaient évalués sur leurs expositions possibles au virus et suivis médicalement le cas échéant pour détecter l'apparition de symptômes évocateurs. En cas de toux et fièvre, les malades étaient placés à l'isolement en hospitalisation jusqu'au moins 48 heures de la fin de leurs symptômes.

Des dispositions particulières supplémentaires ont été prises pour l'escala de Brest : une information des personnels sur les mesures de prévention recommandées en France ; la suppression de la venue des familles à bord même si l'équipage était autorisé à descendre à quai ; l'interdiction de se rendre dans les clusters identifiés à ces dates dans le Morbihan et en Ile-et-Vilaine ; l'encadrement des interventions techniques à bord (pas de contact avec les livreurs, port de gants) ; la passation d'un questionnaire de dépistage du personnel « à risque » rejoignant le bord à l'occasion de cette escale (contact avec des patients COVID-19 confirmés ou probables, revenant d'une zone à risque, ou symptomatique).

À l'issue de l'escala, 350 membres d'équipage ou experts embarqués à Brest, pour lesquels une exposition possible avait été identifiée, ont bénéficié d'un suivi médical avec une prise de température biquotidienne. Dans les 14 jours suivants l'escala, des mesures de distanciation ont été prises à bord : suppression des rassemblements, suppression des appels, 2 postes de propreté par jour, diminution de la fréquence des briefings, règles sur le sport (limitation du nombre de personnes en séance de sport, pas d'agrès ni de tapis individuel, limitation en salle de musculation), limitation du nombre de personnes dans les lieux collectifs et de restauration. Ces mesures ont été assouplies, mais pas stoppées, à partir du 30 mars. Un concert

a été organisé ce même jour dans le hangar du porte-avions.

Investigation de l'épidémie à bord du PAN CDG

Sur une population de 1767, 1568 marins (89 %) ont participé à l'enquête téléphonique, constituant la population d'étude (cf. Fig. 2). Les autres 199 marins (11 %) n'ont pas participé en raison d'une impossibilité de les joindre par téléphone (177) ou d'un refus de participation (22). Les 199 non-répondants à l'enquête étaient significativement plus jeunes (âge moyen 27,8 vs. 31,0 ans, $p < 0,001$) que les répondants. La proportion de PCR négative était plus élevée chez les non répondants ($p < 0,001$).

Au sein de la population étudiée, le sexe ratio était de 6,9 (1369 hommes et 199 femmes), l'âge médian de 29 ans (intervalle interquartile [IIQ] 25–75 % : 24–36 ans ; extrêmes : 18–60 ans). Sur 1568, 1064 marins (67,9 %) étaient des cas confirmés COVID-19.

Dans la population d'étude, 929 (59,9 %) ont déclaré n'avoir jamais ou parfois participé aux rassemblements ou à l'appel du matin. Une majorité des personnes a déclaré s'être lavé les mains ou avoir utilisé de la solution hydro-alcoolique souvent ou tous les jours (77,8 %). Plus de la moitié des répondants a déclaré n'avoir jamais ou peu respecté les mesures de distanciation sociale (52,9 %). À partir du moment où ils ont été distribués, les masques ont été portés tous les jours sur le lieu de travail par 82 % des personnes. Un peu plus de la moitié de personnes interrogées déclarait porter régulièrement le masque au poste d'équipage (54,9 %). Cette proportion était très faible concernant le

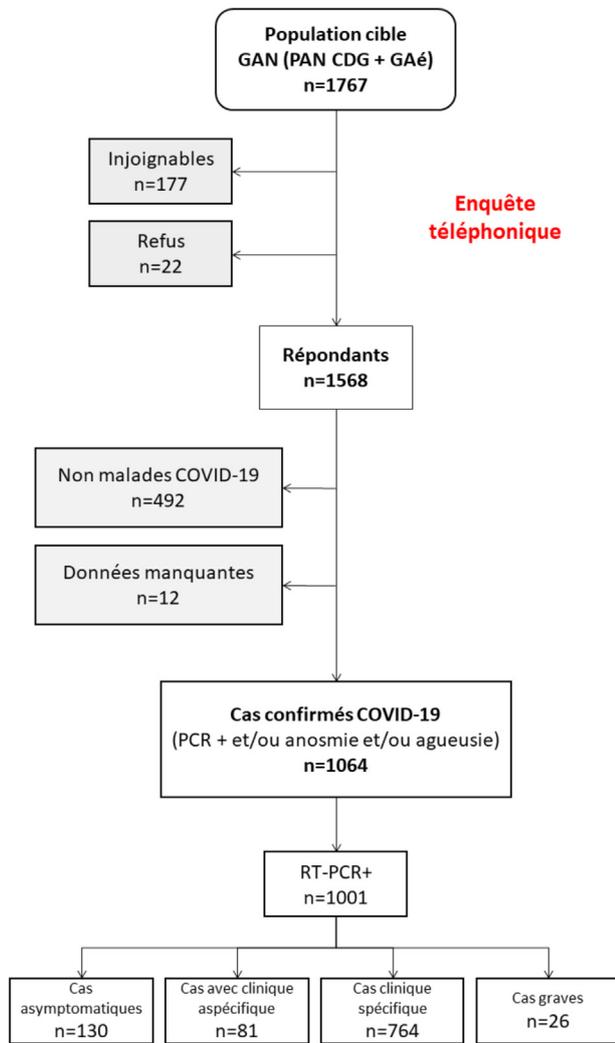


Figure 2 Diagramme de flux—population cible de l'enquête $n = 1767$, investigation épidémiologique de l'épidémie de COVID-19 à bord du CDG (janvier–avril 2020).

port de masque la nuit (2,1 %). Le carré était fréquenté souvent ou tous les jours par 45,9 % des répondants. Les salles de sport, salle de distraction et coopératives étaient peu fréquentées ; les marins ne les fréquentaient jamais ou rarement respectivement dans 82,9 %, 75,5 % et 85,2 % des cas. La plage arrière (zone fumeur) n'était jamais ou rarement fréquentée dans 57,5 % des cas.

Une majorité (63,8 % ; $n = 1001$) des sujets d'étude avaient une RT-PCR positive au SARS-CoV-2. La RT-PCR était négative pour 34,8 % ($n = 546$) et de résultat indéterminé pour 1,4 % ($n = 21$). Parmi les cas confirmés, 959 (90 %) avaient une date de début des signes renseignée, ce qui permettait de construire la courbe épidémique (Fig. 3).

Quatre profils de patients avec des RT-PCR positives ont été décrits (cf. Tableau 2) : les asymptomatiques (13,0 % ; $n = 130$) ; les symptomatiques ayant des symptômes aspécifiques (8,1 % ; $n = 81$ - patients symptomatiques mais ne présentant ni fièvre, ni toux, ni anosmie, ni agueusie) ; les symptomatiques ayant des symptômes considérés comme spécifiques du COVID-19 (76,3 % ; $n = 764$) ; les cas graves

(2,6 % ; $n = 26$), qui ont nécessité un recours à l'oxygène. L'âge et l'IMC augmentaient avec la sévérité du tableau clinique ; inversement pour le tabagisme. Parmi les cas confirmés de COVID-19, les principaux symptômes rapportés étaient : anosmie (57,4 %), céphalées (56,7 %), agueusie (46,4 %), asthénie (46,3 %), myalgies (45,2 %) et fièvre (44,8 %). La durée médiane des symptômes était de 8 jours (IIQ 25-75 % : 4–12 jours ; durée moyenne : 8,6 jours).

En analyse univariée, le fait d'être fumeur était un facteur protecteur de la survenue de la maladie COVID-19 (OR = 0,58 [0,47–0,72] ; $p < 0,001$). En analyse multivariée, le fait d'être fumeur restait un facteur protecteur de la survenue de la maladie COVID-19 (OR = 0,59 [0,47–0,73] ; $p < 0,001$). Le sexe et l'âge n'étaient pas liés de manière significative au fait d'être malade COVID-19.

L'âge était associé de manière significative au risque d'avoir une forme grave de COVID-19 en analyse univariée (cf. Tableau 3). La classe d'âge des 36–46 ans était 6 fois plus à risque de développer une forme grave (OR = 6,08 [1,65–22,37] ; $p = 0,007$) ; ce risque était encore majoré dans la classe d'âge des 46–60 ans (OR = 14,49 [3,95–53,11] ; $p < 0,001$). Les personnes présentant un surpoids ou une obésité (IMC ≥ 25) avaient 3,5 fois plus de risque d'avoir une forme grave de COVID-19 (OR = 3,48 [1,57–7,73] ; $p < 0,001$). Le fait de fumer était un facteur protecteur des formes graves (OR = 0,16 [0,04–0,67] ; $p < 0,001$). En analyse multivariée, le fait d'être fumeur restait un facteur protecteur de la survenue d'une forme grave (OR = 0,19 [0,04–0,83] ; $p = 0,03$). La classe d'âge la plus élevée (OR = 8,50 [2,24–31,31,32] ; $p = 0,002$) et le surpoids/obésité (OR = 2,68 [1,17–6,12] ; $p = 0,02$) étaient des facteurs de risque d'une forme grave.

La dynamique de l'épidémie était estimée grâce à l'étude de la cinétique d'évolution et la modélisation du R_t , qui était en faveur d'une introduction du virus dès la fin février avec une réintroduction lors de l'escale de Brest. Cette étude a montré l'existence de 6 phases d'évolution du taux de reproduction instantané : une phase initiale de faible circulation virale avec quelques cas sporadiques ($1,1 < R_t < 2,2$) ; une phase temporaire d'accélération débutant avec l'escale de Brest avec un R_t culminant entre 3,9 et 5,6 en fonction des hypothèses ; une phase de contrôle relatif de circulation virale débutant entre le 21 et le 24 mars, permettant un maintien du R_t entre 1 et 2 ; une phase proprement épidémique commençant entre le 31 mars et le 1^{er} avril, avec un R_t qui plafonne à 2,9 pour les deux hypothèses ; une phase de décroissance de l'épidémie qui commence le 8 avril et qui croise le niveau de $R_t = 1$ le 13 avril ; enfin une phase finale de restauration qui commence le 15 avril. La cinétique d'évolution du R_t est en faveur d'une introduction du virus dès la fin février avec une réintroduction lors de l'escale de Brest. L'analyse ne permet cependant pas de quantifier exactement le nombre de personnes contaminées lors de cette escale.

Le premier cas confirmé est survenu le 28 février 2020. Avant l'escale de Brest, deux autres cas sont survenus début mars. Pendant l'escale de Brest quatre autres cas sont survenus et un cas est embarqué. Au total six des premiers cas appartiennent au personnel du pont d'envol et des hangars. Un diagramme de membrure permettait de modéliser la suite des échanges de cas entre les différentes parties du bord (Fig. 4).

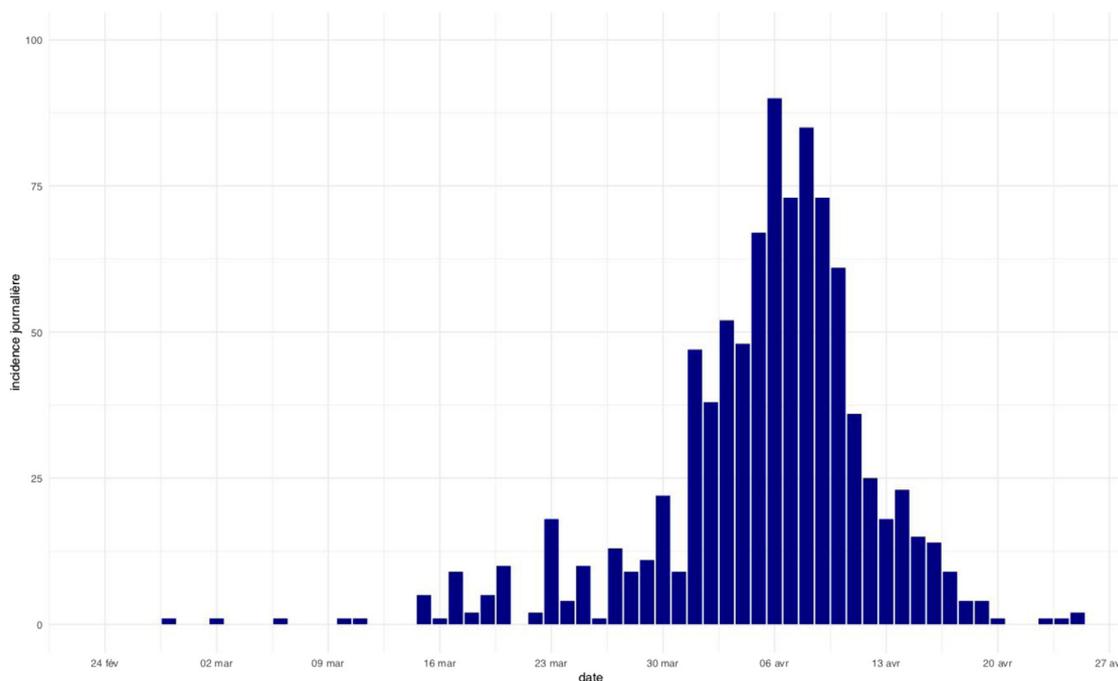


Figure 3 Courbe épidémique des cas confirmés COVID-19 ($n=959$), investigation épidémiologique de l'épidémie de COVID-19 à bord du CDG (janvier–avril 2020).

Au niveau de l'investigation environnementale, les études du système de ventilation et des suppressions mises en jeu lors des exercices NRBC, n'étaient pas en faveur de leur implication dans la propagation de l'épidémie.

Une première analyse des génomes viraux, basée sur le regroupement des souches (selon leur profil mutationnel), excluait une introduction et une propagation d'une souche unique. Plusieurs événements avec introductions multiples de virus et évolution des souches se sont produits. En effet, 43 souches virales sur 60 échantillons de malades COVID-19 ont pu être séquencées. L'analyse par regroupement hiérarchique a mis en évidence la présence de mutations spécifiques dans certains groupes de génomes viraux alors que quatre mutations ont été partagées dans l'ensemble des souches. La diversité des signatures mutationnelles au sein de ces 43 échantillons indiquait la présence de plusieurs variants viraux. Ces différents variants pouvaient résulter de plusieurs contaminations par des souches différentes et pouvaient également résulter d'une évolution de la souche initiale ayant acquis des mutations successives. Cette première analyse basée sur le regroupement des souches (selon leur profil mutationnel) indiquait que leur variabilité élevée excluait une introduction et une propagation d'une seule souche unique. Nous pouvons donc conclure de ces signatures mutationnelles que plusieurs événements avec introductions multiples se sont produits. Une analyse phylogénétique et temporelle a permis de positionner les 43 souches par rapport aux génomes disponibles mondialement. La comparaison des 43 génomes avec l'ensemble des données génomiques de coronavirus SARS CoV-2 de France, a permis de regrouper l'ensemble des souches dans un clade spécifique (Fig. 5). On observait la présence de plusieurs génomes de souches françaises principalement issues des régions Bretagne, Hauts-de-France et Ile-de-France. Les

43 génomes ont été comparés à l'ensemble des souches mondiales. Sur l'ensemble des prélèvements, aucune correspondance et proximité significatives avec des isolats originaires d'Italie ou du Royaume-Uni n'ont pu être observées excluant la contamination par une souche italienne ou anglaise dans cet échantillonnage. Par contre, une souche B6-CoVID-50 se positionnait majoritairement à proximité de souches d'origine différente des 42 autres génomes analysés.

Discussion

Cette investigation mettait en évidence un taux d'attaque important du virus au sein de cette communauté militaire embarquée, résultat confirmé par les analyses de séroprévalence réalisées à l'issue de la quarantaine au retour à terre [18].

Hypothèses et arguments sur l'introduction du virus au sein du PAN CDG

L'investigation de l'épidémie a montré que les moments possibles d'une introduction du virus à bord étaient multiples et répétés dans le temps, depuis l'escale à Chypre. Un port-aerons, si on le considère comme un aéroport accueillant des passagers en provenance de multiples destinations, est par définition une porte d'entrée possible de sujets contagieux. La situation épidémiologique était très évolutive en Europe pendant la période de fin février à mi-mars, les pays passant en phase épidémique les uns après les autres. Les mesures mises en œuvre partout dans le monde pour maîtriser la transmission du SARS-CoV-2, mesures qui avaient fait preuve d'efficacité avec d'autres coronavirus comme le

Tableau 2 Données sociodémographiques, antécédents médicaux et symptômes présentés par catégories de personnes avec RT-PCR positive (n = 1001), investigation épidémiologique de l'épidémie de COVID-19 à bord du CDG (janvier–avril 2020).

PCR positive	Asymptomatique		Symptomatique aspécifique ^a		Symptomatique ^b		Cas grave ^c		p valeur
	n	%	n	%	n	%	n	%	
Sexe									0,74
Féminin	12	9,2	11	13,6	95	12,4	3	11,5	
Masculin	118	90,8	70	86,4	669	87,6	23	88,5	
Classe d'âge									<0,001
18–25	51	39,2	30	37,0	231	30,3	2	7,7	
26–35	56	43,1	34	42,0	321	42,1	3	11,5	
36–45	20	15,4	13	16,0	139	18,2	10	38,5	
46–60	3	2,3	4	4,9	72	9,4	11	42,3	
Hypertension									0,21
Non	129	100,0	80	100,0	751	98,8	25	96,2	
Oui	0	–	0	–	9	1,2	1	3,8	
Maladie respiratoire									0,67
Non	129	100,0	80	100,0	755	99,3	26	100,0	
Oui	0	–	0	–	5	0,7	0	–	
Tabagisme actif									0,003
Non	78	60,0	51	63,0	523	68,5	24	96,0	
Oui	52	40,0	30	37,0	240	31,5	1	4,0	
IMC ≥ 25									0,02
Non	80	61,5	47	58,8	462	61,4	8	30,8	
Oui	50	38,5	33	41,2	290	38,6	18	69,2	
Symptômes									
Fièvre	–	–	–	–	425	55,6	24	92,3	
Toux	–	–	–	–	333	43,6	23	88,5	
Céphalées	–	–	45	55,6	497	65,1	20	76,9	
Asthénie	–	–	30	37,0	411	53,8	18	69,2	
Anosmie	–	–	–	–	539	70,5	11	42,3	
Agueusie	–	–	–	–	436	57,1	10	38,5	
Rhinite ⁴	–	–	31	38,3	340	44,5	8	30,8	
Myalgies	–	–	24	29,6	400	52,4	24	92,3	
Odynophagie	–	–	10	12,3	142	18,6	3	11,5	
Otalgie	–	–	0	–	34	4,5	1	3,8	
Malaise	–	–	0	–	28	3,7	3	11,5	
Dyspnée	–	–	6	7,4	247	32,3	19	73,1	
Douleur thoracique	–	–	8	9,9	111	14,5	12	46,2	
Diarrhée	–	–	8	9,9	128	16,8	14	53,8	
Vomissements	–	–	3	3,7	18	2,4	3	11,5	
Douleurs abdo	–	–	1	1,2	55	7,2	5	19,2	
Autre	–	–	4	4,9	54	7,1	3	11,5	
Total	130	100,0	81	100,0	764	100,0	26	100,0	

^a Cas ayant un ou plusieurs signes cliniques sauf fièvre, toux, anosmie et agueusie

^b Cas ayant des symptômes mais n'appartenant pas à la définition de « symptomatique aspécifique » et « cas grave ». Cas ayant nécessité une assistance respiratoire.

^c Rhinorrhée, encombrement nasal.

MersCoV, ont été insuffisantes, aboutissant à une situation pandémique [19]. Cette absence de maîtrise est principalement liée aux formes peu symptomatiques de la maladie et à une contagiosité non contrôlable dans les 48 heures précédant le début des symptômes. L'ensemble de ces éléments montre bien que le risque d'introduction du virus à bord du PAN n'a fait que croître tout au long de sa mission et que les moyens de maîtriser ce risque, en situation d'incertitude, étaient limités.

La courbe épidémique identifie la survenue de premiers cas avant l'escale de Brest. Ces premiers cas ont été confirmés *a posteriori*, entre autres, sur la base de symptômes maintenant reconnus comme plus spécifiques en contexte d'épidémie de COVID-19 : l'anosmie et l'agueusie. L'origine de leur contamination n'a pu être suffisamment étayée pour être conclusive.

La cinétique d'évolution du R_t était en faveur d'une introduction du virus dès la fin février, avec une réintroduction

Tableau 3 Résultats de l'analyse univariée et multivariée des cas graves, investigation épidémiologique de l'épidémie de COVID-19 à bord du CDG (janvier–avril 2020).

	Analyse univariée			Analyse multivariée		
	OR	IC 95%	p valeur	OR	IC 95%	p valeur
Sexe						
Féminin	réf	—	—	—	—	—
Masculin	1,19	0,36–3,99	0,78	—	—	—
Classe d'âge						
18–25	réf	—	—	réf	—	—
26–35	1,27	0,30–5,35	0,75	1,06	0,25–4,51	0,94
36–45	6,08	1,65–22,37	0,007	4,51	1,20–16,89	0,03
46–60	14,49	3,95–53,11	<0,001	8,50	2,24–32,31	0,002
Tabagisme actif						
Non	réf	—	—	réf	—	—
Oui	0,16	0,04–0,67	0,01	0,19	0,04–0,83	0,03
IMC ≥ 25						
Non	réf	—	—	réf	—	—
Oui	3,48	1,57–7,73	0,002	2,68	1,17–6,12	0,02

lors de l'escale de Brest. L'analyse structurelle de la courbe du R instantané a confirmé l'existence de points de changement de régime correspondant aux événements marquants : lors de l'escale de Brest avec une introduction de plusieurs cas index, et lors de la levée des mesures de distanciation et du concert du 30 mars. L'analyse ne permet cependant pas de quantifier exactement le nombre de personnes contaminées lors de cette escale. La distanciation semblait donc avoir joué un rôle important, comme décrit dans la littérature [20].

L'analyse spatiale montrait aussi l'existence probable d'une chaîne de transmission avant l'escale de Brest. L'apparition de multiples foyers de cas au décours de cette escale est aussi en faveur d'une introduction multiple de cas à bord du PAN CDG. Cette analyse confirmait également l'importance des lieux de couchage dans la diffusion du virus.

Enfin, il ressort des analyses phylogénétiques que plusieurs clusters de contamination et plusieurs variants ont été observés. Les variants positionnés dans différents groupes ont été apparentés à des souches précédemment isolées dans les régions Bretagne, Ile de France et Haut de France. Ces résultats sont donc compatibles avec une introduction du virus par plusieurs marins infectés et contagieux. Un variant unique a également été observé et présente des mutations différentes des autres isolats. Son origine reste incertaine. L'ensemble de ces résultats sur cet échantillonnage de 43 militaires indique à nouveau que l'origine de la contamination est multiple et non associée à un seul événement avec diffusion d'une souche unique.

Absence de détection du signal épidémiologique

Notre connaissance du SARS-CoV-2 en France au moment de cette investigation datait d'à peine 90 jours. L'infection par ce virus émergent entraîne une symptomatologie souvent trompeuse et dont nous découvrons encore l'étendue : atteintes ORL, pulmonaire, cardiaque, neurologique, cutanée, rénale, hépatique... Les premières définitions de cas

ont été construites à partir des symptômes présentés dans la littérature scientifique. Des symptômes comme l'anosmie et l'agueusie, plus spécifiques, n'ont été portés à la connaissance des cliniciens français que le 22 mars 2020 et leurs valeurs prédictives mesurées et publiées encore plus récemment [21]. La définition de cas possible utilisée en France et par le service médical du bord était attendue sensible : des signes cliniques d'infection respiratoire aiguë non limitatifs et de la fièvre sans seuil de température. Elle avait pour limite la notion d'exposition à un cas confirmé ou probable ou l'exposition à une zone à risque. Lors de l'escale à Brest, cette exposition a été systématiquement recherchée par un questionnaire rempli par chaque personnel du bord et analysée par le personnel soignant (1800 questionnaires). Nous avons montré la très faible sensibilité au final de cette définition pour une population de travailleurs sains et jeunes, dont les formes cliniques sont attendues moins sévères, ce qui a été le cas chez la majorité de ces marins. Cette constatation avait déjà été faite en milieu militaire, à l'occasion d'autres investigations [22]. Dans une logique de déconfinement et de reprise du travail, une révision de ces définitions pourrait être utilement envisagée.

Diffusion du virus à bord du PAN CDG

Les introductions multiples du virus, confirmées par la génomique, suffisent théoriquement à expliquer l'ampleur de l'épidémie à bord. Cependant plusieurs facteurs identifiés ont pu l'aggraver et ont été évalués.

La promiscuité à bord du PAN est une réalité, les lieux de couchages collectifs accueillent de 10 à 20 personnes, avec un maximum à 40 personnes. La maîtrise d'une maladie contagieuse à bord est donc un défi. L'isolement dans les premiers temps de l'épidémie dans des tranches dédiées du bâtiment a été rapidement confronté aux capacités d'accueil limitées, en sus de la complexité de déplacer des personnels de leur lieu de couchage initial. En comparaison, il semble que la configuration plus adaptée de la FDA CHP a permis de limiter l'impact de l'épidémie à bord. Nous

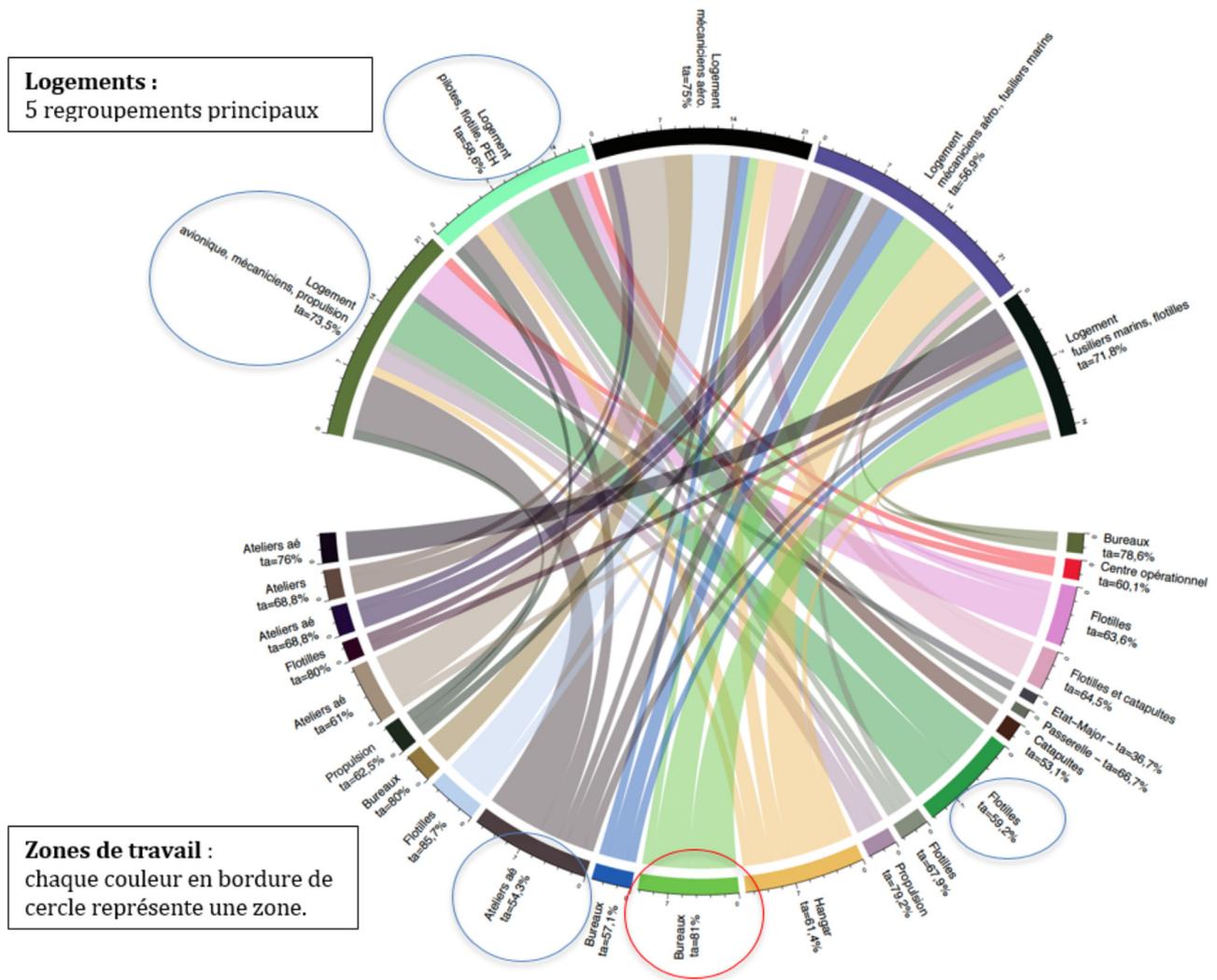


Figure 4 Diagramme de membrure du flux d'échange entre lieux de couchage et lieux de travail. Les % représentent le taux d'attaque cumulé (TA) par zones (zone de couchage en partie supérieure et lieu de travail en partie inférieure), investigation épidémiologique de l'épidémie de COVID-19 à bord du CDG (janvier–avril 2020).

notons toutefois le niveau raisonnable du R_t qui se maintient en-dessous de 3 en période d'épidémie maximale, alors que la promiscuité introduite par les conditions de vie à bord pouvait nous faire attendre une valeur beaucoup plus importante.

Nous n'avons pas mesuré dans la dynamique de l'épidémie d'impact en lien avec la ventilation ou de l'épisode de surpression réalisée dans le cadre de l'exercice NRBC. Le détail des systèmes de ventilation mis en œuvre ne permet pas d'identifier de risque majoré. La négativité des analyses RT-PCR réalisés sur des prélèvements d'air pendant l'épidémie étaye ces observations.

Les flux de personnels, illustrés par le diagramme de membrure, montrent bien comment un malade contagieux peut propager un agent pathogène à bord. Ces flux observés dans un milieu confiné sont un frein évident à l'application stricte des mesures barrières. Dans le cas du COVID-19, la transmission du virus pouvait se faire soit par génération d'aérosols infectieux, lors de toux ou d'éternuement, soit en contaminant un environnement touché ou manipulé sur

les zones de travail, comme l'a démontré l'enquête environnementale. Il semble par contre que, pour les objets et surfaces clairement identifiés comme à risque, la stratégie de nettoyage/décontamination pendant l'épidémie a été efficace, avec pour preuve les prélèvements environnementaux ciblés retrouvés négatifs. La décontamination ciblée des surfaces les plus à risque d'être manipulées à bord d'un bâtiment est sans doute une stratégie à retenir.

Le 30 mars 2020, en l'absence de cas de COVID-19 à bord, les mesures de distanciation ont été assouplies. La transmission du virus s'est donc accélérée alors qu'elle semblait être maintenue auparavant. Le concert du 30 mars, a pu être un moment clef dans cette bascule. Les rassemblements de type concert sont typiquement décrits dans la littérature comme des événements « super » disséminateurs. La participation de cas confirmés à ce concert a été identifiée.

L'épidémie a rapidement décliné dès l'utilisation de masques anti-projections (masques chirurgicaux) le 8 avril 2020. Il est difficile de faire la part entre une efficacité de la généralisation du port du masque, la proportion élevée de

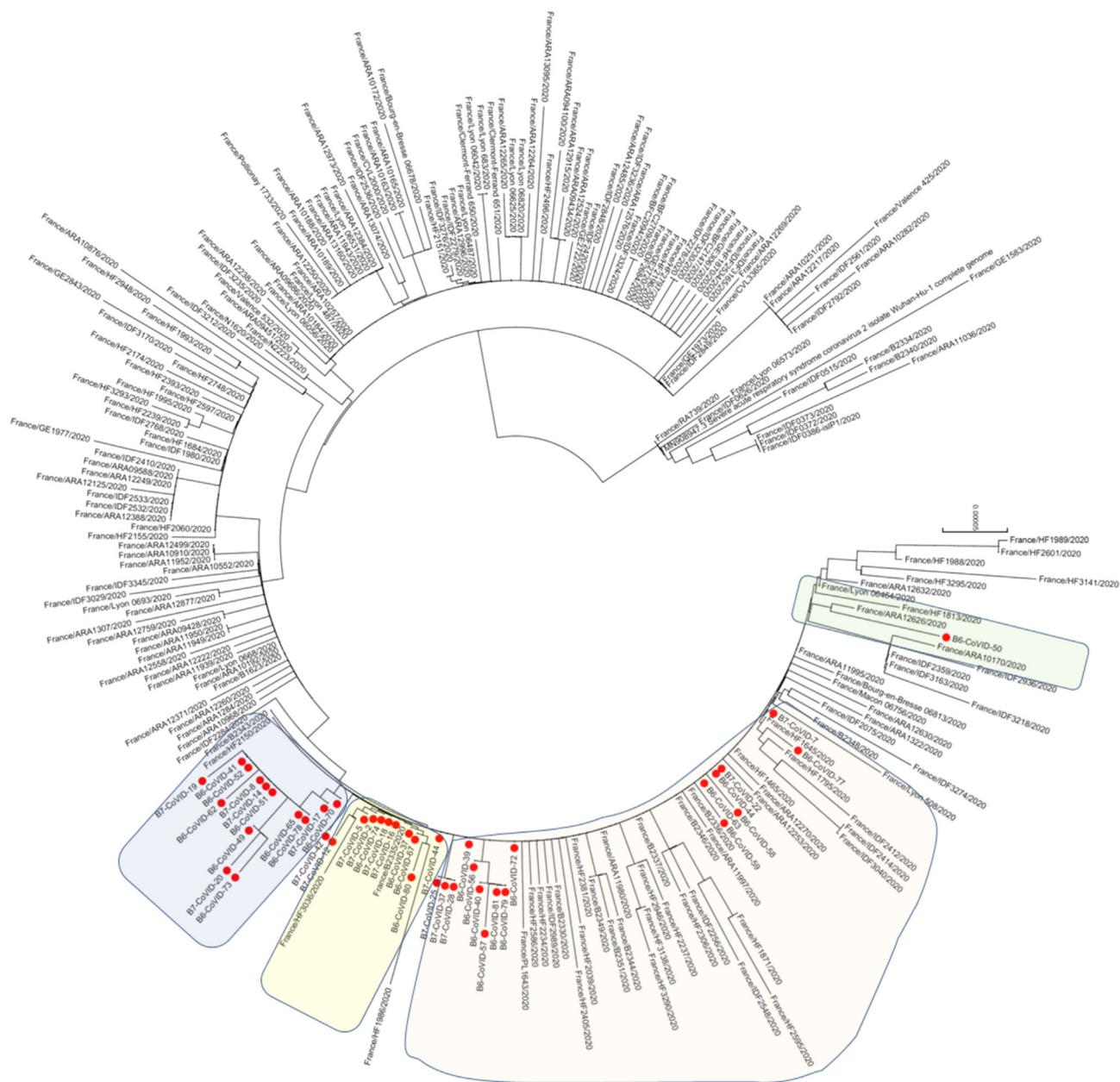


Figure 5 Reconstruction phylogénétique des génomes de coronavirus en France. Les 43 génomes de coronavirus ainsi que l’ensemble des génomes disponibles en France ont été intégrés dans cette analyse. Cluster 1 (bleu), cluster 2 (jaune), cluster 3 (rose), cluster 4 (vert), investigation épidémiologique de l’épidémie de COVID-19 à bord du CDG (janvier–avril 2020).

sujets infectés qui, *de facto*, entraîne la fin d’une épidémie et l’immunité de groupe, comme décrite dans la littérature [23]. Des études sur cette immunité de groupe montrent en Israël que la circulation virale a été freinée de façon majeure avec une couverture vaccinale de 50 à 60 % des 16–24 ans et 60 à 65 % des 25–44 ans [24].

Les formes cliniques

Au final, et après interrogatoire des patients, la proportion des asymptomatiques était de 13 %. La contagiosité de ces sujets asymptomatiques reste à définir, même si la littérature donne les premières pistes [25]. Les symptomatiques

ayant des symptômes plus spécifiques comme la fièvre, la toux, l’anosmie et l’agueusie représentaient la majorité des cas (76 %). Nous avons retrouvé 8 % de patients COVID-19 avec des symptômes non spécifiques. Ce type de patient peut poser de réels problèmes de diagnostic clinique. Seule une stratégie de levée de doute avec RT-PCR systématique sur écouvillon nasopharyngé permettra de contrôler la propagation du virus par ce type de malade.

Les facteurs de gravité retrouvés sont ceux classiquement décrits dans la littérature pour ce type de population : l’âge et le surpoids [26]. Le tabac, évalué initialement pour identifier un lieu à risque, lieu unique sur le PAN, s’est révélé protecteur contre l’infection et contre les formes graves. Ce facteur protecteur devra être validé par des

études spécifiques, les données de la littérature montrant des résultats parfois discordants [27–30].

Cette étude montre l'importance de disposer d'un système de surveillance épidémiologique et en particulier d'une surveillance syndromique basée sur les signes cliniques pour la détection d'une émergence et son suivi épidémiologique [31,32]. Cette surveillance épidémiologique pourrait être utilement renforcée par une surveillance environnementale, comme les nouveaux systèmes de surveillance des eaux usées mis en œuvre par plusieurs pays européens dans les bateaux et les avions [33].

Intérêt de disposer d'une capacité de santé publique comme le CESPA

La survenue de l'épidémie de COVID-19 au sein du GAN a été un événement épidémiologique majeur pour notre pays, mettant en péril une capacité militaire stratégique pour notre défense. Le CESPA a donc dû mener une investigation épidémiologique exemplaire, dans des délais extrêmement contraints et sous une très forte pression du commandement militaire. Le modèle intégré du CESPA a alors montré tout son intérêt, en étant capable, au prix de la mobilisation complète de ses équipes et de ses réseaux, de relever le défi et d'apporter au commandement militaire un éclairage précis sur le déroulé de cette épidémie et des propositions concrètes pour protéger la santé de cette force maritime. L'approche multidisciplinaire d'une équipe préparée aux situations de crise a montré tout son intérêt, même si des voies d'amélioration ont été identifiées pour les crises à venir, comme une meilleure communication avec les chaînes de commandement [34]. Les qualités militaires de cette équipe ont représenté un avantage majeur, lui permettant un déploiement rapide, l'accueil facile et immédiat d'un renfort mis en œuvre par l'état-major de la marine nationale, une mobilisation majeure de tout un groupe présentant un véritable esprit de corps et prêt à relever le défi des délais extrêmement contraints imposés. La préparation de cette équipe grâce à des méthodes modernes de simulation de gestion de crise dans une plateforme technique existant depuis plusieurs années au sein de l'établissement a été un atout supplémentaire. Son expérience de la gestion d'autres phénomènes épidémiques depuis sa création [35] lui a permis de garder le cap au milieu de cette tempête et de produire un travail méthodique utile pour la communauté nationale et internationale [36].

Dans les suites de cette investigation, le CESPA est resté mobilisé en permanence pour répondre, via sa chaîne de commandement, aux questions des parlementaires et des journalistes.

Conclusion

À un moment où les autorités sanitaires françaises organisent un retour d'expérience de la crise COVID-19 au sein de notre pays et s'interrogent sur les évolutions à apporter à notre système de santé publique, l'exemple des actions mises en œuvre au cours de cet épisode épidémique exceptionnel par le CESPA, capacité militaire de santé publique

intégrée au profit des forces armées, pourrait être pris en compte.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Remerciements

Le CESPA remercie l'ensemble des personnels des armées, directions et services et des bénévoles qui ont participé à cette investigation épidémiologique. Ces remerciements s'adressent aussi à tous les marins qui ont accepté de participer à ce travail.

Références

- [1] Ministère de la défense et des anciens combattants. Décision n°243/DEF/DCSSA/OSP/ORG du 28 janvier 2011 portant création du centre d'épidémiologie et de santé publique des armées de Saint Mandé.
- [2] Migliani R, Meynard J-B, Milleliri J-M, Verret C, Rapp C. History of malaria control in the French armed forces : from Algeria to the Macedonian front during the first World War. *Med Sante Trop* 2014;24:349–61.
- [3] Piarroux R, Barraï S, Faucher B, Haus R, Piarroux M, Gaudart J, et al. Understanding the cholera epidemic, Haiti. *Emerg Infect Dis* 2011;17:1161–8.
- [4] Michel R, Demoncheaux JP, Créach MA, Rapp C, Simon F, Haus-Cheymol R, et al. Prevention of infectious diseases during military deployments: a review of the French armed forces strategy. *Travel Med Infect Dis* 2014;12:330–40.
- [5] Bernard Stoecklin S, Rolland P, Silue Y, Mailles A, Campese C, Simondon A, et al. First cases of coronavirus disease 2019 (COVID-19) in France: surveillance, investigations and control measures. *Euro Surveill Bull Eur Sur Mal Transm Eur Commun Dis Bull* 2020;25.
- [6] Guan W-J, Ni Z-Y, Hu Y, Liang W-H, Ou C-Q, He J-X, et al. Clinical characteristics of coronavirus disease 2019 in China. *N Engl J Med* 2020;382:1708–20.
- [7] Xie Y, Wang Z, Liao H, Marley G, Wu D, Tang W. Epidemiologic, clinical, and laboratory findings of the COVID-19 in the current pandemic: systematic review and meta-analysis. *BMC Infect Dis* 2020;20:640.
- [8] Mizumoto K, Kagaya K, Zarebski A, Chowell G. Estimating the asymptomatic proportion of coronavirus disease 2019 (COVID-19) cases on board the Diamond Princess cruise ship, Yokohama, Japan. *Euro Surveill* 2020;25, [http://dx.doi.org/10.2807/1560-7917d \[pii=2000180\]](http://dx.doi.org/10.2807/1560-7917d [pii=2000180]).
- [9] Kasper MR, Geibe JR, Sears CL, Riegodedios AJ, Luse T, Von Thun AM, et al. An Outbreak of Covid-19 on an Aircraft Carrier. *N Engl J Med* 2020;383:2417–26.
- [10] Hariyanto TI, Rizki NA, Kurniawan A. Anosmia/Hyposmia is a good predictor of coronavirus disease 2019 (COVID-19) infection: a meta-analysis. *Int Arch Otorhinolaryngol* 2021;25 [e170-4].
- [11] Tyson JR, James P, Stoddart D, Sparks N, Wickenhagen A, Hall G, et al. Improvements to the ARTIC multiplex PCR method for SARS-CoV-2 genome sequencing using nanopore. *bioRxiv [Preprint]* 2020;4, <http://dx.doi.org/10.1101/2020.09.04.283077> [2020.09.04.283077].
- [12] Hadfield J, Megill C, Bell SM, Huddleston J, Potter B, Callender C, et al. Nextstrain: real-time tracking of pathogen evolution. *Bioinforma Oxf Engl* 2018;34:4121–3.

- [13] Katoh K, Misawa K, Kuma K, Miyata T. MAFFT: a novel method for rapid multiple sequence alignment based on fast Fourier transform. *Nucleic Acids Res* 2002;30:3059–66.
- [14] Minh BQ, Schmidt HA, Chernomor O, Schrempf D, Woodhams MD, von Haeseler A, et al. IQ-TREE: new models and efficient methods for phylogenetic inference in the genomic era. *Mol Biol Evol* 2020;37:1530–4.
- [15] Sagulenko P, Puller V, Neher RA. TreeTime: maximum-likelihood phylodynamic analysis. *Virus Evol* 2018;4 [vex042].
- [16] Santé publique France. COVID-19: point épidémiologique du 10 mars 2020. [En ligne] Disponible sur: <https://www.santepubliquefrance.fr/content/download/236267/2530148> (consulté le 24/05/2022).
- [17] Santé publique France. COVID-19: point épidémiologique du 15 mars 2020. [En ligne] Disponible sur: <https://www.santepubliquefrance.fr/content/download/237536/2535424> (consulté le 24/05/2022).
- [18] Bylicki O, Paleiron N, Janvier F. An outbreak of Covid-19 on an aircraft carrier. *N Engl J Med* 2021;384:976.
- [19] Gaudart J, Landier J, Huiart L, Legendre E, Lehot L, Bendiane MK, et al. Factors associated with the spatial heterogeneity of the first wave of COVID-19 in France: a nationwide geoepidemiological study. *Lancet Public Health* 2021;6 [e222-31].
- [20] Bielecki M, Züst R, Siegrist D, Meyerhofer D, Cramer GAG, Stanga Z, et al. Social distancing alters the clinical course of covid-19 in young adults: a comparative cohort study. *Clin Infect Dis Off Publ Infect Dis Soc Am* 2021;72:598–603.
- [21] Fontanet A, Tondeur L, Madec L, Grant R, Besombes C, Jolly N, et al. Cluster of COVID-19 in northern France: a retrospective closed cohort study. medRxiv preprint 2020, <http://dx.doi.org/10.1101/2020.04.18.20071134>.
- [22] De Laval F, Grosset-Janin F, Delon F, Allonneau A, Tong C, Letois F, et al. Lessons learned from the investigation of a COVID-19 cluster in Creil, France: effectiveness of targeting symptomatic cases and conducting contact tracing around them. *BMC Infect Dis* 2021;21 [[Internet]. 19 mai 2021 [cité 27 mai 2021];(1). Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34011278/>].
- [23] Randolph HE, Barreiro LB. Herd immunity: understanding COVID-19. *Immunity* 2020;52:737–41.
- [24] Haas EJ, Angulo FJ, McLaughlin JM, Anis E, Singer SR, Khan F, et al. Impact and effectiveness of mRNA BNT162b2 vaccine against SARS-CoV-2 infections and COVID-19 cases, hospitalisations, and deaths following a nationwide vaccination campaign in Israel: an observational study using national surveillance data. *Lancet Lond Engl* 2021.
- [25] Buitrago-Garcia D, Egli-Gany D, Counotte MJ, Hossmann S, Imeri H, Ipekci AM, et al. Occurrence and transmission potential of asymptomatic and presymptomatic SARS-CoV-2 infections: a living systematic review and meta-analysis. *PLoS Med* 2020;17 [e1003346].
- [26] Wolff D, Nee S, Hickey NS, Marscholke M. Risk factors for Covid-19 severity and fatality: a structured literature review. *Infection* 2021;49:15–28.
- [27] Patanavanich R, Glantz SA. Smoking is associated with COVID-19 progression: a meta-analysis. *Nicotine Tob Res Off J Soc Res Nicotine Tob* 2020;22:1653–6.
- [28] Prinelli F, Bianchi F, Drago G, Ruggieri S, Sojic A, Jesuthasan N, et al. Association between smoking and SARS-CoV-2 Infection: cross-sectional Study of the EPICOVID19 internet-based survey. *JMIR Public Health Surveill* 2021;7, <http://dx.doi.org/10.2196/27091> [e27091].
- [29] Xie J, Zhong R, Wang W, Chen O, Zou Y. COVID-19 and smoking: what evidence needs our attention? *Front Physiol* 2021;12 [603850].
- [30] Usman MS, Siddiqi TJ, Khan MS, Patel UK, Shahid I, Ahmed J, et al. Is there a smoker's paradox in COVID-19? *BMJ Evid-Based Med* 2021;26:279–84, <http://dx.doi.org/10.1136/bmjebm-2020-111492>.
- [31] Morgan OW, Aguilera X, Ammon A, Amuasi J, Fall IS, Frieden T, et al. Disease surveillance for the COVID-19 era: time for bold changes. *Lancet* 2021 [[cité 19 mai 2021];0(0). Disponible sur: [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(21\)01096-5/Abstract.](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(21)01096-5/Abstract.)].
- [32] Caserio-Schonemann C, Meynard JB. Ten years experience of syndromic surveillance for civil and military public health, France, 2004-2014. *Euro Surveill Bull Eur Sur Mal Transm Eur Commun Dis Bull* 2015;20:35–8.
- [33] Ahmed W, Bertsch PM, Angel N, Bibby K, Bivins A, Dierens L, et al. Detection of SARS-CoV-2 RNA in commercial passenger aircraft and cruise ship wastewater: a surveillance tool for assessing the presence of COVID-19 infected travellers. *J Travel Med* 2020;27.
- [34] Chassery L, Texier G, Pommier de Santi V, Chaudet H, Bonnardel N, Pellegrin L. A COVID-19 outbreak on board ship: analysis of the sociotechnical system of epidemiological management in the French Navy. *Safety Sci* 2021;141, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105296>.
- [35] Simon F, Watson H, Meynard JB, de Santi VP, Tournier JN. What chikungunya teaches us about COVID-19. *Lancet Infect Dis* 2021;21:1070–1.
- [36] De Laval F, Chaudet H, Gorge O, Marchi J, Lacrosse C, Dia A, et al. Investigation of a COVID-19 outbreak on the Charles de Gaulle aircraft carrier, a retrospective cohort study, March-April 2020. *Eurosurveillance* 2021;27, <http://dx.doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2022.27.21.210061> [pii=2100612].