



De la conception à la production en série, histoire d'une visière de protection contre le COVID-19



# De la conception à la production en série, histoire d'une visière de protection contre le COVID-19

Catherine Desnaives<sup>1</sup>

Paulo Ferreira<sup>2</sup>

Jérôme Heiligenstein<sup>3</sup>

Xavier Heiligenstein<sup>3</sup>

Pascal Martinelli<sup>4</sup>

Sylvain Persohn<sup>5</sup>

Gilles Régnier<sup>2</sup>

- 
- 1- BARBIER MGO, 2 ROUTE DU PRE LONG, 43390 AUZON
  - 2- ARTS ET METIERS, 151 BD DE L'HOPITAL, 75013 PARIS
  - 3- CRYOCAPCELL, 151 BD DE L'HOPITAL, 75013 PARIS
  - 4- IUT/HUBLEX, 61 AV. DU PRD WILSON, 94230 CACHAN
  - 5- AMVALOR, 151 BD DE L'HOPITAL, 75013 PARIS

26 Avril 2020

## Introduction

L'émergence du coronavirus responsable du COVID-19 et ses besoins de distanciation sociale a mis nos sociétés à rude épreuve.

Afin de soutenir le corps médical qui s'emploie à soigner les patients mais aussi tout le personnel en seconde ligne qui assure l'approvisionnement et le maintien du pays, des solutions technologiques pour des équipements de protection individuelle doivent être déployées en complément des gestes barrières.

Les masques chirurgicaux, produits en grande majorité en Chine, sont livrés en priorité au corps médical. Ces masques, jetables et non-recyclables ont une durée de vie de quatre heures ce qui entraîne un besoin massif de production mais aussi de traitement des déchets. La conception de protections réutilisables, nettoyables et réparables, pour le personnel exposé de manière moins directe et intense que le corps médical doit participer à la protection de cette seconde ligne en attendant des directives précises de nos dirigeants.

Le principe des masques intégraux, très efficaces mais coûteux et contraignants à porter, est difficilement transposable au grand public et présente un coût et une durée de fabrication incompatible avec l'urgence sanitaire actuelle.

L'usage d'une visière protégeant le visage entier dont les yeux, qui sont aussi une porte d'entrée potentielle du virus, est une solution simple pour à la fois éviter de projeter ses propres microgouttelettes et se protéger des projections de microgouttelettes des autres tout en étant facilement lavable au savon à domicile. Des modèles commerciaux sont disponibles mais ne sont pas facilement nettoyables pour un usage répété et leur accès est parfois limité par les contraintes logistiques actuelles. Le concept d'un serre-tête sur lequel une feuille de papier transparent est fixée a rapidement émergé et très tôt, à partir de plusieurs modèles géométriques publiés sur la toile, les « Makers » ont réagi très vite en produisant des centaines voire des milliers de pièces.

Mais la demande ne faiblit pas, bien au contraire, il s'avérait donc nécessaire de produire en série des visières grand public, rapides à fabriquer, ne provoquant pas de condensation, conservant la visière à plus de 4cm du visage pour pouvoir facilement ajouter un masque et des lunettes de vue, ne nécessitant pas nécessairement d'élastique pour tenir sur la tête, et produites au plus près des besoins pour réduire la logistique d'approvisionnement.

## La démarche

### *Impression 3D des visières*

L'impression à domicile chez tous les propriétaires d'imprimantes 3D permet une diffusion très rapide et une production locale par la communauté grandissante des Makers. La communauté Arts et Métiers dans les

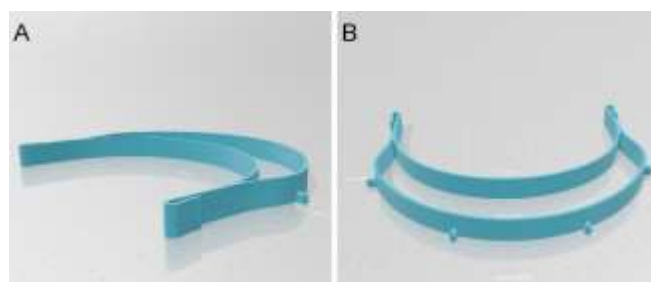


Figure 1 : Modèle à imprimer proposé par le campus Arts et Métiers de Bordeaux.

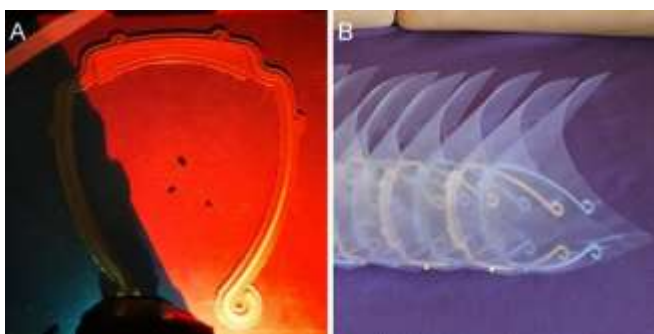


Figure 2 : Modèle très largement imprimé par les Makers du campus Arts et Métiers de Paris. A serre-tête en cours d'impression. B : Série de visières imprimées montées

différents campus s'est aussi très tôt et très rapidement investie dans la production de serre-têtes en impression 3D pour une distribution locale et rapide dans toutes les régions, notamment sur le campus de Bordeaux où un premier modèle a été mis au point avec le CHU de Bordeaux et mis en ligne à disposition (Fig.1).

D'autres modèles (Fig.2) ont été imprimés notamment avec les imprimantes 3D du campus Arts et Métiers de Paris habituellement utilisées pour des applications de formation et de recherche, mais installées aux domiciles des télétravailleurs pour produire des modèles distribués en Ile de France.

#### *Le passage à une production de plus grande série*

La grande flexibilité de l'impression 3D et sa bonne distribution dans des infrastructures publiques ou les communautés de Makers permettent d'apporter une réponse précieuse et rapide aux besoins du terrain.



Figure 3 : Empreinte du moule usiné sur le campus Arts et Métiers de Bordeaux. A-B Etapes d'usinage du moule. C Empreinte finale du moule

Cependant, la forte demande et la perspective du déconfinement imposent d'augmenter très significativement la production, mais le temps de production en impression 3D demeure d'au moins une heure par visière avec un coût matière significatif.

La technologie la plus adaptée à une production industrielle de pièces en matière plastique est celle de l'injection de thermoplastiques. Le principe est d'injecter dans un moule un thermoplastique fondu sous haute pression à cause des viscosités très élevées. Les temps de production peuvent être alors ramenés à typiquement 30 à 40s.

Devant les besoins grandissant, le campus de Bordeaux a développé très rapidement un moule usiné en interne (Fig.3) pour produire leur modèle (Fig.2) dès le 6 avril à près de 800 par jour. En même temps, en Ile-de-France, l'IUT de Cachan a été parmi les premiers à mettre en œuvre un moule d'injection (Fig. 4) pour fournir la plateforme de distribution 3D4Care

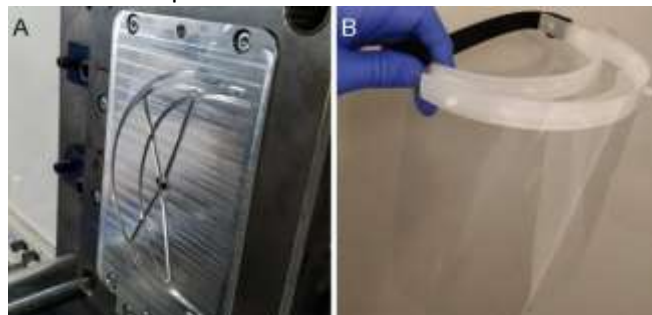


Figure 4 : Modèle de serre-tête injecté produit en injection par l'IUT de Cachan. A Empreinte finale du moule en production. B Visière injectée montée.

(<https://www.3d4care.com/>). Ce moule a également été monté sur la presse à injecter du laboratoire PIMM et des membres du laboratoire se sont relayés pendant 5 jours pour produire 1450 serre-têtes en polypropylène pour la plateforme 3D4Care et 300 pour des demandes directes à Arts et Métiers.

#### *Conception du modèle géométrique :*

Devant la forte demande de visières, Gilles Régnier du campus Arts et Métiers de Paris a également été sollicité pour coordonner le développement d'un modèle injecté de serre-tête.

Ainsi, un modèle hybride reprenant l'avant du modèle open-source PRUSA validé par l'association [3D4Care](https://www.3d4care.com/) en partenariat avec les agences de santé publique et les hôpitaux contactés pour ce projet a été développé

conjointement par les auteurs de cette publication. Ce modèle laisse une distance suffisante entre le front de l'utilisateur et la visière pour porter un masque. Un espace d'aération est préservé pour éviter la condensation au niveau du front et l'appui au front est souple pour améliorer le confort de port. La partie arrière reprend le modèle mis à disposition par 3DVerkstan (<https://3dverkstan.se/protective-visor/protective-visor-versions/>) imprimé en grand nombre et validé également par des soignants (Fig.2) : il permet le port de la visière sans élastique avec surtout une simplification des opérations de désinfection. Les boucles arrière ont été raccourcies pour faciliter la mise en place d'un élastique-boutonnière de 12cm de long, souvent demandée dans les établissements hospitaliers pour assurer la tenue dans toutes les situations.



Figure 5 : Modèle imprimé du modèle développé par le campus Arts et Métiers de Paris.

Pour répondre à une demande de protection renforcée, une demi-visière supplémentaire peut être ajoutée au-dessus de la première. Des prototypes imprimés ont permis de valider les fonctionnalités (Fig.5). La tenue est validée avec un matériau ayant un module d'élasticité d'au moins 2,5 GPa. Le serre-tête imprimé en PLA pèse moins de 27g.

#### Conception et création du moule

Les fonctionnalités validées, les formes et les épaisseurs ont été optimisées par simulation rhéologique (Fig. 6). Une pression de 380 bars est

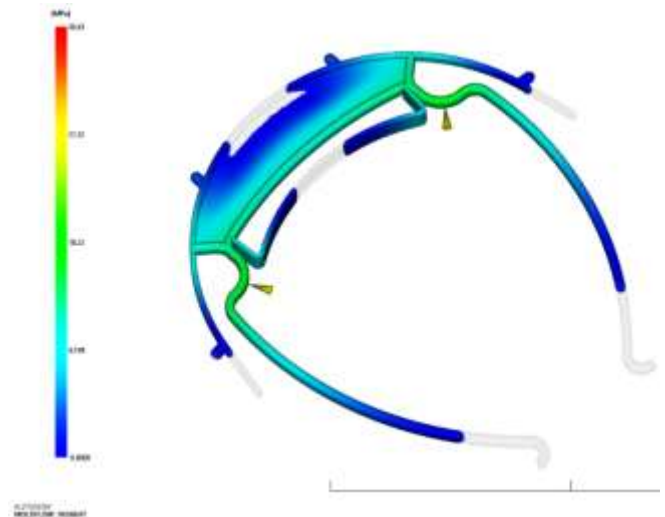


Figure 6 : Simulation rhéologique du remplissage du moule

nécessaire pour remplir la cavité en 1 seconde avec un polyamide 6.

A partir du modèle géométrique validé (Fig.7), Jérôme Heiligenstein de la société CryoCapCell, entreprise hébergée sur le campus Arts et Métiers de Paris, a conçu le moule avec un système d'éjection des pièces permettant le fonctionnement en automatique sur presse (Fig.8). Il a été usiné en moins de 5 jours par la société Barbier MGO près de Clermont-Ferrand à partir d'une carcasse mise à disposition par CryoCapCell. Le moule a été monté lundi 20 avril sur la presse DK CODIM 175-400 du laboratoire PIMM du campus Arts et Métiers de Paris (Fig. 9). En une semaine, 2600 serre-têtes en polyamide 6 pesant 22.5 g ont été produits avec un temps de cycle de 40 s. Les 2600 visières ont été emballées et distribuées.

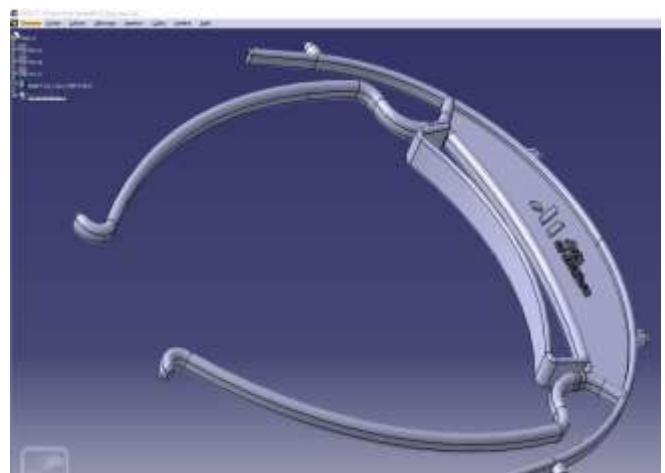


Figure 7 : Modèle géométrique développé sur le campus Arts et Métiers de Paris

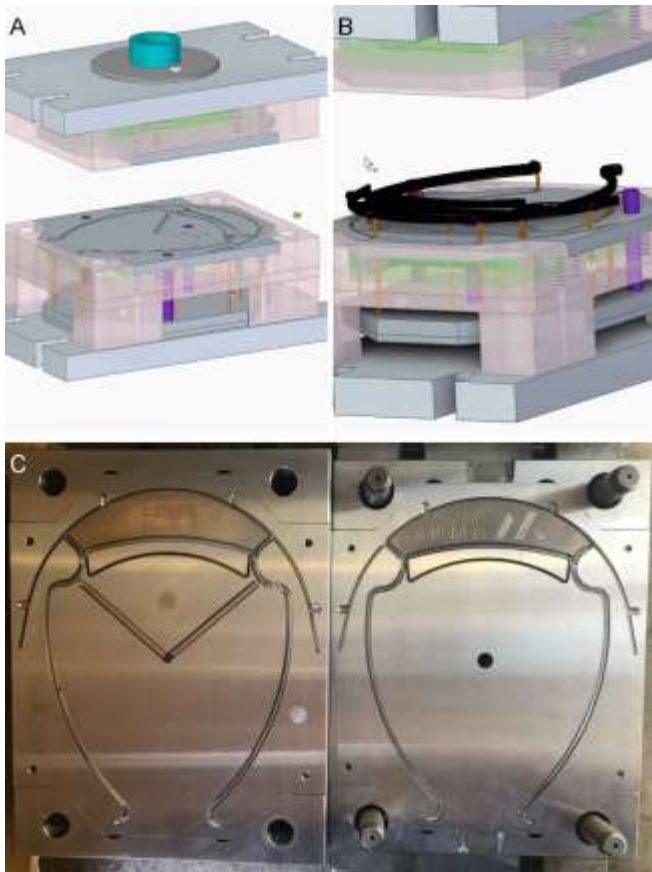


Figure 8 : Modèle et moule pour l'injection avec éjection automatique pour une production en continu

### Discussion

Le modèle de visière produit ici est l'un des nombreux modèles qui ont été proposés par les académiques et les industriels depuis le début de l'épidémie de COVID-19 qui sévit sur notre territoire.

Parmi les améliorations déjà proposées sur le produit final présenté dans cet article, il serait judicieux d'accroître l'inertie des branches pour en augmenter la rigidité et la tenue sans élastique en augmentant par exemple la hauteur de celles-ci de 6,5mm à 7,5mm. Il serait aussi avantageux de rapprocher de 5mm sur les côtés les branches tenant la feuille transparente et ainsi accroître la fermeture du masque autour du visage du porteur.

Pour améliorer l'éjection, et après l'utilisation pendant une première semaine, il semble nécessaire d'augmenter la dépouille du moule à 3°.

Le modèle géométrique de la visière est disponible sur le site du laboratoire PIMM (<https://pimm.artsetmetiers.fr/>), celui du moule pour

sa reproduction est disponible sur demande à [contact@cryocapcell.com](mailto:contact@cryocapcell.com).

Enfin, notons que l'association GINETIS recense et dissémine les initiatives en open-source imaginées par les différents acteurs de la production matérielle nationale

<https://www.centralesupelec.fr/fr/naissance-du-ginetis-groupement-interdisciplinaire-pour-de-nouveaux-equipements-technique>

### Remerciements

Les auteurs remercient sincèrement :

- Pierre Lapouge pour la donnée du modèle géométrique type Prusa imprimé pour la plateforme 3D4Care,
- Xavier Bonnet et Alexis Thézé pour les impressions qui ont permis de valider le design du serre-tête,
- Loïc Verseau de la société Diam pour ses conseils sur la conception des visières,
- Les donateurs de matière et matériel enregistrés au jour de la publication : Arkema, Bureau Vallée, Toray,
- Gaele Minard qui planifie les approvisionnements et la production, ainsi que les membres du laboratoire PIMM du campus Arts et Métiers de Paris qui se portent volontaires pour sortir de leur confinement et aider à la production des visières.

### Contacts

Arts et Métiers

[gilles.regnier@ensam.eu](mailto:gilles.regnier@ensam.eu)  
[gaele.minard@ensam.eu](mailto:gaele.minard@ensam.eu)

CryoCapCell

[contact@cryocapcell.com](mailto:contact@cryocapcell.com)



Figure 9 : Mise en œuvre de la production. A- Machine d'injection du PIMM des Arts et Métiers. B- Serre-tête injecté en PA6  
C- Séance de production par les équipes de recherche du PIMM. D- Masque posé sur le visage. E- Production horaire de visière.