

RAPPORT ANNUEL 2022



673, rue Saint-Germain, Saint-Laurent (Québec) H4L 3R6
514 552-9869 • info@aero21.org • www.aero21.org

Avec la participation financière de



ISSN 2563-335X

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2022



Contribuer à une aviation innovante et compétitive

FAITS SAILLANTS

22 février 2019 lancement du projet
4 années pour le réaliser

65 M\$ d'envergure, dont :

- 48,75 M\$ proviennent de l'industrie
- 16,25 M\$ proviennent du ministère de l'Économie et de l'Innovation

6 sous-projets

6 partenaires, dont une PME

21 PME mobilisées

7 universités

10 centres de recherche

Et bien plus encore à venir...

Mot du Président	4
Mot d'Aéro Montréal	5
À propos	6
Volet 1 : Développement virtuel	8
Conception et essais virtuels	
Cadre de développement d'avions virtuels — Bombardier	8
Innovation avionique et systèmes	
Nouvelle grappe d'innovation ouverte en avionique — CMC Électronique	9
Colibri — Thales Canada	11
Volet 2 : Opérations connectées	12
Opérations numériques	
Accélération numérique et optimisation de la chaîne de valeur en aérospatial (ANOVA) — CAE	12
Fabrication additive	
Application de la fabrication additive pour matériaux composites dans les turbines à gaz aéroderivées — Siemens Énergie Canada	13
PolyCSAM — Polycontrols	14
Conseil d'administration	15



AÉRO21 : PLUS DE RECHERCHE, PLUS DE COMPÉTITIVITÉ

En appuyant des projets touchant la fabrication additive, les technologies numériques, notamment l'avionique et les tests sur les environnements virtuels, et en favorisant des conditions propices à l'innovation en mode collaboratif, AÉRO21 favorise la croissance et la richesse du Québec. Il contribue ainsi à assurer la pérennité d'un secteur stratégique de notre économie.

Toutefois, l'industrie de l'aéronautique a fait face à d'énormes difficultés depuis le début de la crise sanitaire, dont une pénurie de main-d'œuvre majeure. L'année 2021-2022 en témoigne, le projet mobilisateur stratégique AÉRO21 a connu une année de bouleversements importants. De nombreux partenaires industriels ont été dans l'obligation de se retirer. AÉRO21 réunit maintenant 6 partenaires travaillant en collaboration avec 21 PME sur six projets stratégiques mobilisateurs.

Je tiens à remercier, en mon nom et au nom du conseil d'administration, tout particulièrement le gouvernement du Québec pour sa souplesse et son soutien constant tout au long de l'année. Son appui est essentiel à l'ère des technologies de rupture, de la mondialisation et de l'intensification de la concurrence mondiale. Notre industrie se doit d'évoluer si elle souhaite répondre aux attentes du marché.

Mes remerciements également à tous ceux et celles qui, par l'entremise d'AÉRO21, contribuent à une aviation innovante et compétitive. La grande qualité des représentants industriels et universitaires permet l'atteinte des objectifs, malgré les difficultés encourues.

À la lecture de ce rapport annuel, vous allez découvrir les travaux réalisés en cours d'année. Un travail remarquable a été accompli par les partenaires et les nombreux collaborateurs associés à ce projet stratégique mobilisateur.

Sylvain Larochelle
Président d'AÉRO21



AMÉLIORER NOTRE PRODUCTIVITÉ GRÂCE À L'AUTOMATISATION ET À LA MISE EN COMMUN D'INFRASTRUCTURES DE RECHERCHE

Notre industrie évolue dans un environnement extrêmement compétitif et en changement constant. Les modèles d'affaires se transforment et les technologies évoluent rapidement. Le projet mobilisateur AÉRO21 est né du besoin de l'industrie de répondre à ces défis et de profiter de l'accélération technologique.

L'automatisation des processus et des procédés, incluant la fabrication avancée, représente un mode de fonctionnement qui s'annonce prometteur. L'adoption des technologies numériques, ainsi que les efforts intenses en R-D pour développer des produits d'avant-garde et les efforts de consolidation doivent demeurer une priorité pour notre industrie. Ces choix stratégiques nous aideront à poursuivre une transformation en profondeur favorisant une industrie plus compétitive au sein d'une économie plus prospère.

En appuyant des projets d'innovation à retombées rapides, AÉRO21 contribue à une mobilisation éclair. Ce projet mobilisateur stratégique permet à des PME de se positionner stratégiquement dans la chaîne d'innovation et aux entreprises de profiter des collaborations d'universités et de centres de recherches québécois.

Les retombées de cet important investissement placent l'industrie aérospatiale québécoise dans une position privilégiée pour réussir le virage vers la maturation technologique. Elles permettent à l'industrie aéronautique de continuer à être un pilier de l'économie québécoise et de la chaîne d'approvisionnement mondiale.

Suzanne Benoit
Présidente-directrice générale d'Aéro Montréal

PROJET STRATÉGIQUE MOBILISATEUR AÉRO21 — TECHNOLOGIES DU 21^E SIÈCLE POUR L'AÉROSPATIALE

DANS L'UNION, IL Y A DE LA FORCE¹

L'industrie aérospatiale développe de multiples technologies et tire profit de la collaboration pour répondre aux besoins de la société le plus rapidement possible. L'apport des technologies est de première importance pour positionner ses différents acteurs sur l'échiquier mondial. Les produits et services issus de ces technologies, se complexifient, tandis que leur mise en marché se doit d'être toujours plus rapide pour garantir la compétitivité du secteur.

Dû à la complexité et la taille du secteur, les efforts d'amélioration des technologies ont avantage à être faits en mode collaboratif et complémentaire. C'est dans ce contexte que le projet stratégique mobilisateur AÉRO21 entre en jeu. À l'instar des autres projets stratégiques mobilisateurs, AÉRO21 est une initiative du gouvernement du Québec, motivé par la course à l'innovation et l'intérêt d'entreprises de domaines variés à établir des partenariats d'investissements. Ces projets mobilisateurs ont pour but de valoriser des projets prioritaires pour le Québec, conçus en collaboration avec l'industrie et mobilisant des acteurs économiques, privés, publics et institutionnels.



VOLET 1 DÉVELOPPEMENT VIRTUEL

VOLET 2 OPÉRATIONS CONNECTÉES

Composante

Conception et
essais virtuels

Innovation avionique
et systèmes

Opérations
numériques

Fabrication
additive

BOMBARDIER

CMC
Électronique

THALES

CAE

SIEMENS
ENERGY

POLYCONTROLS

Une mission pour favoriser l'innovation

Ce projet rassemble de nombreux acteurs de l'aéronautique québécoise dans le but de :

- créer et structurer une chaîne de valeur en fabrication additive et en opérations connectées, et;
- déployer les outils de productivité basés sur la simulation, lesquels ont un impact profond sur le cycle de conception et de fabrication des produits.

Une structure de projet flexible et efficace pour attirer un maximum de projets stimulants

Le projet se déploie en deux volets. Le volet 1, Développement virtuel, vise à développer des méthodologies et des outils permettant de virtualiser les étapes de la conception d'aéronefs ou de composantes d'aéronefs jusqu'à leur certification. Le volet 2, Opérations connectées, vise à mettre à profit les développements du domaine des technologies de l'information et des communications. Il s'agit d'un domaine en pleine ébullition qui englobe la gestion des mégadonnées et l'intelligence artificielle, la connectivité et l'internet des objets pour relier les divers maillons de la chaîne de fabrication des produits et optimiser son rendement.

La mobilisation au cœur du projet

L'aspect stratégique d'AÉRO21 concerne autant les défis technologiques auxquels il s'attaque que son important effet mobilisateur. En effet, il y a 6 entreprises, dont une PME qui participe au projet à ce jour, en collaboration avec 21 PME. Au total, ce projet est formé de 6 sous-projets de recherche et de développement.

En conclusion

AÉRO21 est conçu pour se déployer rapidement et permettre aux partenaires et à la grappe aéronautique québécoise de récolter les fruits de leurs efforts dès la fin du projet. En s'appuyant sur sa capacité de mobilisation, ce projet vise à intégrer tout le savoir développé durant des années de recherche et de développement pour déployer des méthodes et des outils de productivité utilisables dès la fin du projet au profit de l'industrie aéronautique et des industries connexes. Il permet de structurer les efforts des intervenants pour mettre leurs produits sur le marché et aura pour effet de stimuler la créativité des partenaires, ouvrant ainsi la voie à des modèles d'affaires nouveaux.

Un modèle de gouvernance sain qui a fait ses preuves

AÉRO21 est administré par un organisme sans but lucratif qui a pour rôle de coordonner la sélection des sous-projets et la reddition de comptes, et de surveiller l'évolution des travaux en veillant au respect de la convention de subvention ainsi que d'autres ententes légales régissant le projet stratégique mobilisateur. Cet organisme est sous la responsabilité d'un conseil d'administration élu tous les deux ans par les membres. Cette structure de gouvernance assure une gestion saine et efficace du projet, tout en facilitant la focalisation sur les activités de développement afin d'obtenir l'impact recherché.

Siégeant plusieurs fois par année, le conseil d'administration réunit une majorité de partenaires industriels, des grandes entreprises et des PME. S'ajoute également l'université Concordia pour représenter les centres de recherche publics, ainsi qu'Aéro Montréal qui siège à titre d'association représentative de l'industrie québécoise de l'aérospatiale. La liste des membres du conseil d'administration est disponible à la fin de ce rapport.

¹Ésope, écrivain grec, VII^e-VI^e siècle av. J.-C.

BOMBARDIER

CADRE DE DÉVELOPPEMENT D'AVIONS VIRTUELS

Rappel

Le projet « Cadre de développement d'avions virtuels » de Bombardier vise à développer des méthodologies et des outils d'ingénierie permettant de virtualiser les étapes de la conception d'avions dans le but de réduire les coûts et le temps de mise en marché.

Ce cadre couvre :

- outils d'évaluation initiale et de choix des technologies avion;
- outils d'optimisation d'architectures des systèmes;
- méthodes de tests virtuels;
- développement des lois de contrôle¹ de vol par simulations et tests à échelle réduite;
- processus et documentation aux usagers de l'approche virtuelle.

Bombardier avait réalisé avant avril 2021 un premier fil numérique reliant les éléments de ce cadre.

Avancements 2021-2022

En 2021-2022, Bombardier a pu tester ce premier fil numérique et l'utiliser dans un environnement d'essai à grande échelle reliant les disciplines d'ingénierie. Ce faisant, il a développé des méthodes, des processus et des outils logiciels, pour préparer dans un contexte réaliste les données nécessaires aux centaines de contributeurs participant au développement de futurs produits.

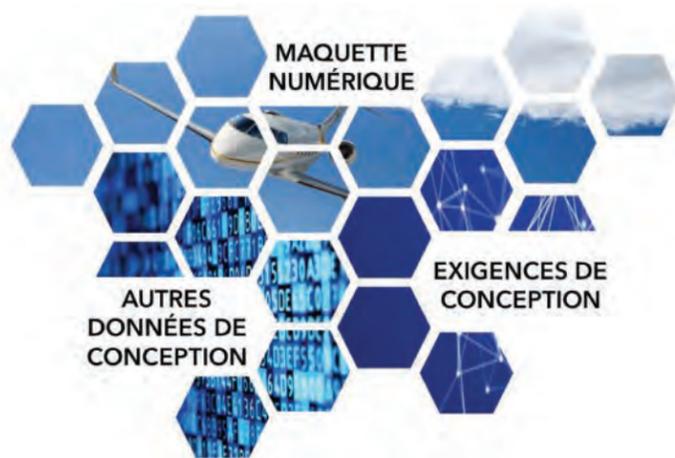
En se servant de la base des connaissances des programmes de développement précédents et en leur appliquant les méthodes développées et les outils d'analyse virtuelle, Bombardier a enrichi son fil numérique avec de nouvelles données de conception pour préparer de futures activités de développement.

Toute cette démarche a permis de connecter les plateformes logicielles d'ingénierie et les fonctions en aval, de valider les processus et prototypes de documentation pour l'architecture de systèmes, la conception et les tests virtuels.

Efforts pour la prochaine année

Bombardier poursuivra le déploiement du processus de développement système sur un projet à grande échelle et la livraison d'une nouvelle implémentation de l'outil permettant de valider de gestion des requis des nouveaux programmes d'avions.

Les attentes envers un cadre de développement d'avions virtuels sont importantes pour que les nouveaux programmes avions soient moins coûteux, plus rapides à exécuter et innovants. Dès maintenant, des activités de développement technologique en dehors d'AÉRO21 peuvent en tirer les bénéfices en devenant des utilisateurs d'un environnement de conception connecté. Un soutien continu au développement des outils et des plateformes sera crucial au-delà du projet pour assurer leur adoption à long terme. De nouvelles capacités seront étudiées pour prendre en compte les aspects du développement technologique requis dans des phases ultérieures de développement de produits, comme les technologies liées au soutien aux clients.



Environnement de conception connecté

¹Une loi de contrôle est un algorithme qui transforme les commandes effectuées par un pilote d'avion, en mouvements des gouvernes de l'avion.



NOUVELLE GRAPPE D'INNOVATION OUVERTE EN AVIONIQUE

Rappel

Le sous-projet de CMC Électronique vise la création d'un laboratoire ouvert et collaboratif en avionique unique au Québec et au Canada. Grâce à sa plateforme informatique ouverte de calibre avionique, ce laboratoire répliquera les divers environnements de postes de pilotage et scénarios de vols. Les partenaires externes pourront y héberger leurs produits logiciels ou matériels et améliorer ainsi leur fonctionnement grâce aux tests réalisés dans les divers environnements recréés sur la plateforme.

Étant donné sa polyvalence et sa flexibilité, une implantation virtuelle du laboratoire pourra être effectuée sur des postes informatiques dans les universités ou les entreprises ce qui permettra de tester les diverses applications conçues par CMC et ses partenaires, sans nécessairement utiliser les installations physiques localisées chez CMC Électronique.



Laboratoire d'intégration : tests électriques et validation de design



NOUVELLE GRAPPE D'INNOVATION OUVERTE EN AVIONIQUE

— Avancements 2021-2022

Le Laboratoire d'innovation ouverte en avionique a pour objectifs d'une part de permettre l'intégration de solutions matérielles ou logicielles et, d'autre part, de créer un environnement où ces solutions intégrées peuvent être vérifiées.

L'innovation ouverte signifie que des applications logicielles et des unités physiques peuvent facilement être intégrées dans un environnement avec le minimum d'adaptation.

CMC a poursuivi le développement d'une plateforme matérielle et logicielle, basée sur le standard avionique ARINC 653 et un système d'exploitation en temps réel (RTOS), qui permet cette intégration. Ce développement s'effectue en continu et met l'accent sur l'évolution des capacités de la plateforme en matière d'interfaces ou de services logiciels. Ainsi, le nombre d'unités physiques ou d'applications logicielles pourrait être augmenté. Par ailleurs, l'évolution de la plateforme permet d'y intégrer des applications de plus en plus complexes. La bibliothèque des fonctions de la plateforme contribue grandement à sa flexibilité et son adaptabilité dans un environnement ouvert. La norme ARINC653 permet l'hébergement de fonctions logicielles indépendantes sur un calculateur, alors que le Standard MIL 1553 est un protocole de communication qui a été ajouté aux capacités de la plateforme (matérielle et logicielle).

Pour vérifier ces applications logicielles et les unités physiques intégrées, un environnement de simulations et de tests est nécessaire. Cet environnement est basé sur un noyau qui permet d'élaborer des scénarios de tests et sur une bibliothèque de simulations. Les évolutions du noyau et l'augmentation de la bibliothèque permettent de vérifier un plus grand nombre et une plus grande diversité d'unités et d'applications.

Comme prévu, maintenant que l'infrastructure logicielle et matérielle de tests et d'intégration est établie, la principale activité est de continuer à développer la bibliothèque de fonctions d'intégration, de simulations, et d'interfaces physiques. Dans la dernière année, par l'entremise de nombreuses activités associées à des projets internes, cette bibliothèque a continué à croître et de nombreuses capacités ont été ajoutées.

ÉVOLUTION DE LA CAPACITÉ DE LA PLATEFORME

NOUVELLES INTERFACES — STANDARD MILITAIRE MIL-STD-1553

INTERFACES EXISTANTES — CAPACITÉ ACCRUE

AJOUT DE SERVICES LOGICIELS — COMMUNICATIONS, GESTION DE LA MÉMOIRE, ETC.

— Efforts pour la prochaine année

Les efforts en 2022-2023 viseront principalement l'augmentation des capacités de la plateforme de calcul pour répondre aux besoins émergents d'intégration, principalement dans le secteur de la défense. Par ailleurs, CMC vise l'ajout de simulations des différents équipements qui pourront être intégrés, encore une fois dans les marchés les plus porteurs, c'est-à-dire ceux de la défense et de l'autonomie (entre autres, les drones).

Le rythme de dépenses en 2022-2023 augmentera considérablement, de façon à atteindre une masse critique de fonctions pour la plateforme de calcul et l'environnement de tests et de simulations complémentaires.

CMC poursuivra les efforts de recrutement des étudiants ainsi que la mobilisation de PME et de centres de recherche, un volet qui a été particulièrement difficile durant la pandémie de COVID-19.

COLIBRI

— Rappel

Concevoir un environnement virtuel permettant de développer en toute sécurité les systèmes de contrôle des futurs moyens de mobilité (taxis volants ou petits avions électriques). Ces nouvelles formes de transport ne seront viables que si elles répondent aux attentes de l'ensemble de la population et pas seulement à leurs utilisateurs. Elles doivent permettre de contribuer à la réduction de l'empreinte environnementale, minimiser les impacts sonores et visuels, garantir la vie privée, réglementer l'utilisation des données récoltées et par-dessus tout, être extrêmement sûres.

En mars 2021, nous avons une spécification initiale des contrôleurs physiques envisagés pour ce type de système et nous avons une simulation de plus en plus représentative des fonctions qui seront hébergées sur les contrôleurs pour gérer un véhicule à multiples surfaces et multiples sources de propulsion. Nous avons également démarré le développement du logiciel de bas niveau pour le contrôleur physique.



Environnement de conception connecté



— Avancements 2021-2022

Dans la dernière année, nous avons développé la première version des prototypes de contrôleurs physiques qui permettront de gérer les taxis volants et petits avions électriques. Ceux-ci pourront être utilisés sur des bancs d'essai offrant un environnement représentatif et permettant d'intégrer les fonctions logicielles nécessaires pour permettre un premier vol des véhicules d'essai. Grâce à notre environnement virtuel, nous avons également progressé en parallèle sur un logiciel de contrôle de vol générique, compatible avec la plate-forme physique. Finalement, nous avons démarré la conception d'un banc système qui permettra d'évaluer la performance de nos contrôleurs dans un environnement représentatif du réel avec les redondances et la gestion des pannes liées à un système complet.

— Efforts pour la prochaine année

Nous allons faire des essais de performance sur ces prototypes physiques pour déterminer les améliorations nécessaires à amener au produit avant le début de la qualification environnementale. Une deuxième version de prototype, bonne pour les essais en vol, est prévue dans la prochaine année. Nous prévoyons également compléter notre banc système et intégrer une première version de logiciel applicatif de commandes de vol, qui aura été préalablement définie sur notre environnement virtuel. En parallèle, nous prévoyons d'ajouter à notre simulation et d'évaluer dans un environnement virtuel, des fonctionnalités permettant de simplifier les tâches du pilote pour le contrôle d'aéronefs du futur.



ACCÉLÉRATION NUMÉRIQUE ET OPTIMISATION DE LA CHAÎNE DE VALEUR EN AÉROSPATIAL (ANOVA)

Rappel

Le projet ANOVA, Accélération numérique et optimisation de la chaîne de valeur en aérospatial, se veut le catalyseur d'une vaste réingénierie des procédés et des méthodes de CAE. Ce projet vise à établir les fondations d'un écosystème manufacturier et technologique capable de soutenir sa croissance et d'augmenter sa compétitivité sur les marchés. Ce vaste chantier est axé sur quatre grands thèmes :

- Amélioration logistique;
- Transformation de la chaîne d'approvisionnement;
- Les données à la demande (*Data as a Service*);
- Évolution numérique de l'expérience client.

Avancements 2021-2022

Au cours de l'année 2021-2022, CAE a finalisé l'essentiel des livrables du projet ANOVA (Amélioration logistique, transformation de la chaîne d'approvisionnement et les données en tant que service). De plus l'équipe a déployé la solution du système de gestion et comparaison des composantes qui permet l'identification de doublons et quasi-doublons. Parallèlement, plusieurs fonctionnalités majeures ont été apportées au portail client (volet Évolution numérique de l'expérience client) telles que l'ajout d'un moteur de recherche, la mise en place du portail de commerce électronique et l'ajout de milliers d'articles techniques.

Efforts pour la prochaine année

Les efforts pour la prochaine année porteront sur l'analyse et la gestion des composantes ainsi que la continuité de l'évolution numérique de l'expérience client. Nous déployons constamment de nouvelles fonctionnalités en plus d'initier nos partenaires et clients à nos portails web.



APPLICATION DE LA FABRICATION ADDITIVE POUR MATÉRIAUX COMPOSITES DANS LES TURBINES À GAZ AÉRODÉRIVÉES

Rappel

Le sous-projet de Siemens Énergie Canada visait à explorer la possibilité de développer des composants pour les turbines à gaz grâce à la fabrication additive par matériaux composites. Le principal objectif de ce projet était d'obtenir des pièces fonctionnelles imprimées en composites capables de garder de bonnes propriétés mécaniques. Il a pris fin en mai 2022.

Avancements 2021-2022

Siemens a terminé d'évaluer la qualité des modèles de pièces 3D. Par la suite, l'entreprise a effectué des essais sur un banc de test puis sur les essais de turbines. Finalement, une analyse des coûts de production des composants en fabrication avancée a été faite pour vérifier la viabilité en production par rapport à d'autres procédés conventionnels de fabrication. La conclusion est qu'en raison de la limitation de la durée de vie à une charge élevée, toutes les applications ne peuvent être directement remplacées. Ainsi, le coût élevé de la fabrication avancée rend l'application plus attrayante pour les opérations à usage unique telles que les supports de tests et les plateformes. À ce stade, la technologie ne sera pas utilisée pour des pièces de production, mais uniquement pour le développement.

Ces conclusions sont issues de nombreuses discussions entre les différents membres de l'équipe Siemens. Elles ont permis d'encourager la collaboration et l'innovation entre les différents cadres de métier. Aussi bien que les employés perçoivent dorénavant des opportunités pour la fabrication additive dans leur travail. À titre d'exemple, un étalon a été développé pour mesurer plus facilement l'usure dans les aubes d'une turbine. Cet outil permet de sauver des heures de travail dans des conditions désagréables pour le personnel de l'usine.

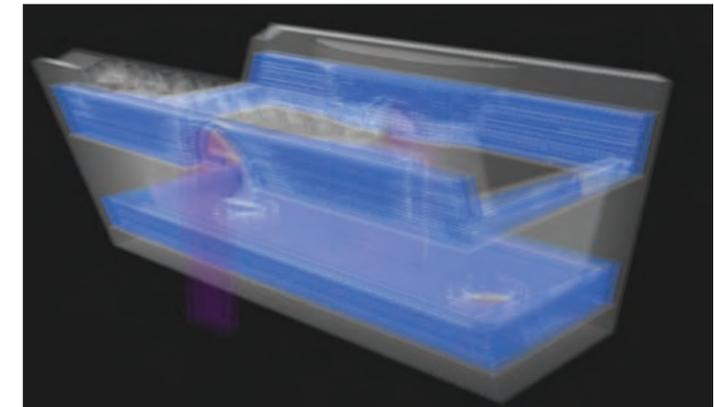
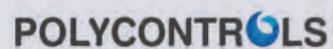


Figure 1 Vue des couches des composantes en F.A. renforcée avec la fibre de carbone continue



Figure 2 Vue d'une couche renforcée



POLYCSAM

Ce projet de Polycontrols, nommé le PolyCSAM, consiste à établir un centre avancé de fabrication additive par projection à froid doté également d'une cellule robotisée pour l'usinage et la finition de surface *in situ* (sur place). Conçu et opéré dans un contexte Industrie 4.0, ce centre permettra la réalisation de composantes pleines dimensions d'intérêt pour l'industrie ainsi que la réparation, la remise en service ou l'ajout de valeur à des composantes existantes par l'entremise de l'utilisation de plusieurs technologies vertes.

— Avancements 2021-2022

Pour 2021-2022, PolyCSAM a permis de qualifier de nouvelles réparations de composantes aéronautiques et de poursuivre les projets de recherches collaboratives visant le développement de structures plus légères, de moteurs électriques plus performants et de réparations plus respectueuses de l'environnement. Impliquant de nombreux partenaires industriels ainsi que sept universités et centres de recherches, une fois à terme, ces projets renforceront de façon significative la chaîne de valeur et d'approvisionnement du secteur aérospatial au Québec.



Cellule de réparation et de fabrication de composante structurelle pleine échelle par l'utilisation de plusieurs technologies (projection à froid, robotique, usinage, senseurs évolués, simulation, gestion et analyse de données)

— Efforts pour la prochaine année

Pour la prochaine année, PolyCSAM poursuivra les projets de recherche collaborative entamés ainsi que les activités de démonstration des capacités de PolyCSAM à réaliser des pièces à pleine échelle avec une gamme élargie de matériaux d'intérêt pour l'industrie aéronautique.



Sylvain Larochelle
Président du conseil d'administration et membre du comité exécutif

Directeur, Bureau de la collaboration technologique, Pratt & Whitney Canada



Patrick Champagne
Vice-président et membre du comité exécutif

Vice-président, stratégie corporative et relations gouvernementales, CMC Électronique



Fassi Kafyke
Secrétaire-trésorier et membre du comité exécutif

Conseiller principal recherche, Innovation et Collaborations, Bombardier



Alain Aubertin
Observateur

Président-directeur général, Consortium de recherche et d'innovation en aérospatiale au Québec (CRIAQ)



Guillaume Bégin
Observateur

Conseiller en développement industriel, direction des transports et de la mobilité durable, ministère de l'Économie et de l'Innovation



Suzanne Benoît
Administratrice

Présidente-directrice générale, Aéro Montréal



Jean-Michel Briere
Administrateur

Directeur général, Presagis



Cyrille Chanal
Administrateur

Président-directeur général, FusiA



Derick Manroop
Administrateur

Responsable des programmes de R et D, CAE



Christian Moreau
Administrateur

Directeur de recherche, Institut de conception et d'innovation aérospatiales, Université Concordia



Abdo Shabah
Administrateur

Directeur général, Humanitas Solutions



Ibrahim Yimer
Observateur

Directeur général, Conseil national de recherches Canada (CNRC)

Les photographies sont une courtoisie de nos membres. Reproduction interdite.