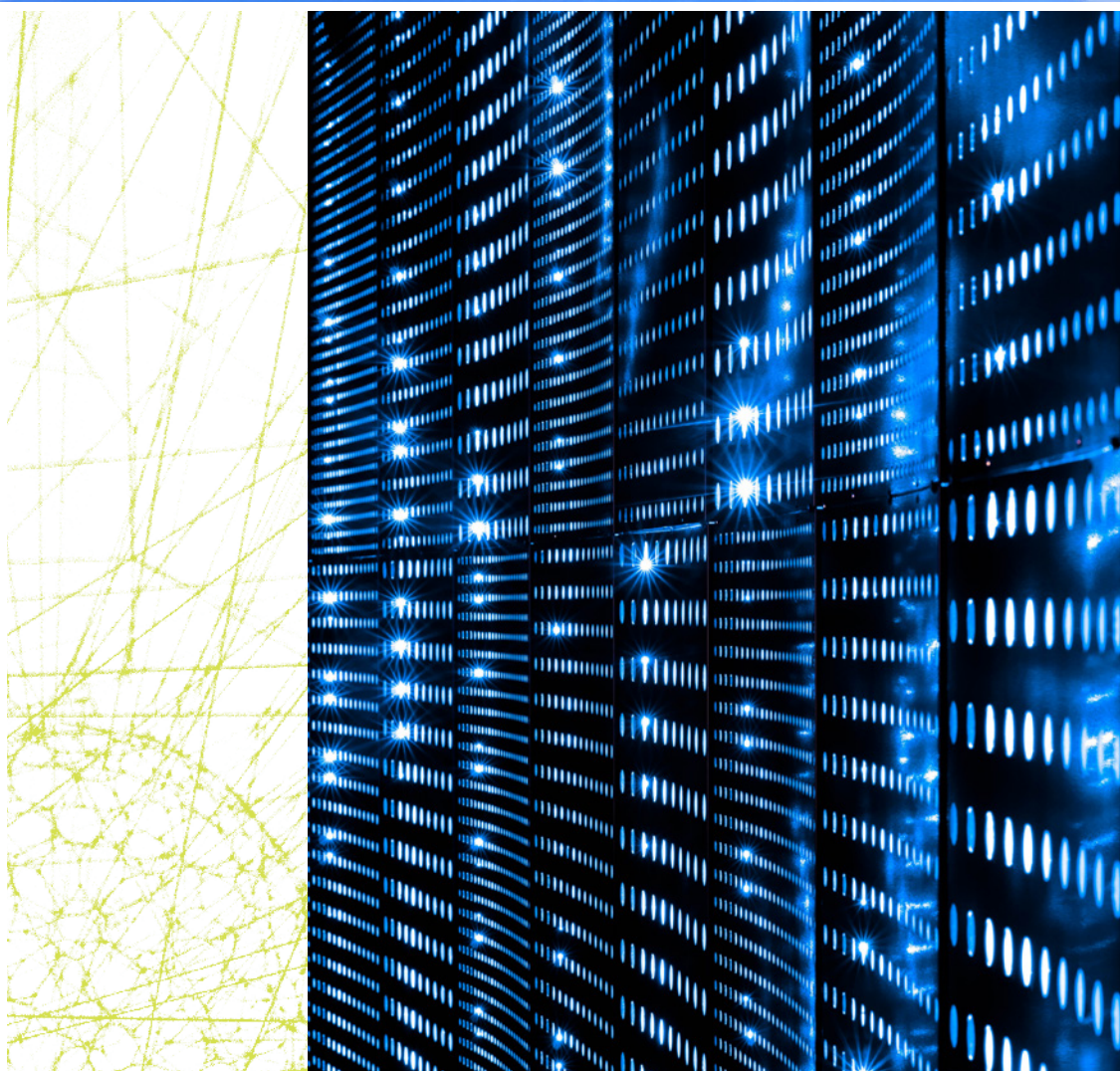




BILAN PHASE 2

Innover ensemble pour l'avenir du Québec aéronautique



5
sous-projets

4 objectifs fondamentaux :

l'innovation technologique
l'environnement
la mobilisation
de l'industrie québécoise
les retombées économiques
pour le Québec

5 ans

de développement

5

partenaires principaux

3

événements
portant sur
l'écoconception

29

PME
québécoises
mobilisées

représentant des
investissements de 5,7 M\$

11

centres de
recherche
québécois
mobilisés

représentant des
investissements de 2,2 M\$

6

universités
mobilisées

représentant des
investissements de 1,7 M\$

**513 kilotonnes
de CO₂-éq évitées**

grâce aux technologies développées
dans SA²GE-2*

**881 kilotonnes
de CO₂-éq évitées**

grâce aux avancées combinées
de SA²GE-1 et SA²GE-2*

* À la 10^e année d'intégration des technologies



+ de 97 M\$

+ de 61 M\$ en fonds privés

36 M\$ en fonds publics

Avec le soutien financier de



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

ISBN 978-2-9818953-2-5

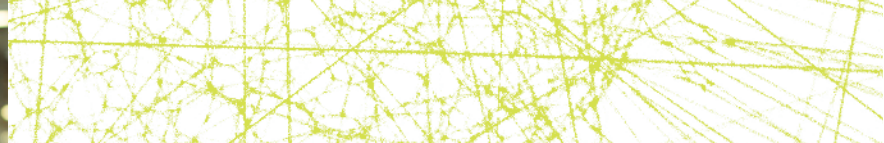
Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2020

FSC

Table des matières

Mot du président.....	2
Mot de la directrice.....	4
Modalités du projet.....	5
Bilan des sous-projets formant SA ² GE-2	7
Solutions de formation synthétique et virtuelle pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (SimÉco 4.0).....	8
Avionique Modulaire Intégrée pour Éconavigation (AMI-ÉcoNav).....	13
Contrôleur critique intégré multi-applications (COCIMA).....	18
Modules photoniques compacts pour systèmes de navigation et de communication aéroportés.....	23
Fuselage avancé respectueux de l'environnement (FARE).....	28
Bilan environnemental	33
Bilan du comité d'audit	36
Appréciation de l'organisme	37
Recommandations en bref.....	41

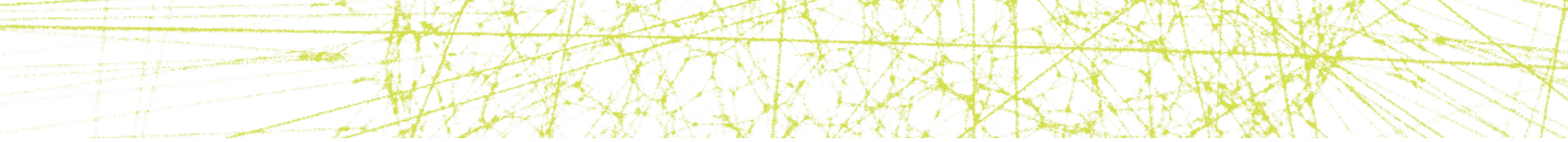




Mot du président

Fier du succès de la première phase du projet mobilisateur de l'avion plus écologique - communément appelé SA²GE pour Systèmes aéronautiques d'avant-garde pour l'environnement, le gouvernement du Québec a renouvelé le concept novateur du projet mobilisateur en procédant à un nouvel appel à projets à l'automne 2015. Cette initiative découlant du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques (PACC) a coïncidé avec l'Accord de Paris, signé en décembre 2015, qui vise à lutter contre le réchauffement climatique. Ainsi, les sous-projets sélectionnés pour la phase 2 de SA²GE ont tous en commun l'objectif de contribuer à la réduction de l'empreinte environnementale de l'industrie aéronautique.

Parmi les particularités de la phase 2, on soulignera le co-financement des sous-projets par le ministère de l'Économie et de l'Innovation d'une part, et le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques d'autre part. Cette collaboration interministérielle, combinée aux investissements des partenaires, a permis d'établir le budget global de SA²GE-2 à 97 M\$, venant ainsi propulser la capacité d'innovation des entreprises québécoises. Rappelons que tous les sous-projets retenus partageaient des objectifs environnementaux, mais aussi d'innovation technologique et de mobilisation de l'industrie et de la recherche au Québec. Déjà, des retombées économiques pour le Québec sont présentes et seront enregistrées pour plusieurs années à venir.



Les projets de la phase 2 couvrent le développement de technologies de pointe alimentant l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement de l'industrie aéronautique au Québec. En effet, Bombardier a réalisé un projet de fuselage avancé, CAE a développé des solutions de formation synthétique et virtuelle, CMC Électronique a créé un système d'avionique modulaire intégrée, Thales a rendu possible l'intégration de contrôleurs critiques et TeraXion a repoussé les limites de l'intégration photonique par le développement de composants opto-électroniques intégrées pour la navigation et les communications. Non seulement ces projets permettent la réduction des émissions de gaz à effet de serre par des avions plus légers et des vols plus efficaces, mais également par l'adoption de méthodes de fabrication plus écologiques.

SA²GE-2 a atteint de nombreux objectifs et le bilan des prochaines pages détaille la nature de ces innovations technologiques remarquables, meilleures pour l'environnement et, ultimement, pour notre santé. Sous la supervision de l'équipe d'écoconception de Bombardier, le comité des gains environnementaux estime que les technologies développées durant le projet permettront de diminuer les émissions de CO₂ de 513 kilotonnes à la dixième année d'intégration des technologies.

En terminant, j'aimerais en profiter pour remercier le conseil d'administration du Regroupement pour le développement de l'avion plus écologique de m'avoir fait confiance en me nommant président il y a près de deux ans. C'est un honneur de présider le conseil d'administration d'un organisme aussi dynamique et intègre. Supportée par l'excellent travail de l'équipe d'IODS, la collaboration étroite et constructive entre le gouvernement du Québec et les partenaires a rendu possible l'atteinte de résultats impressionnants en matière d'innovation, et ce dans un contexte professionnel et stimulant.

Le travail n'est toutefois pas terminé et l'industrie a encore de nombreuses idées innovantes pour améliorer son impact sur l'environnement. Déjà, toujours grâce au soutien du gouvernement du Québec, la phase 3 de SA²GE est en marche et poussera l'innovation encore plus loin. Merci encore à tous les partenaires et à leurs collaborateurs, ainsi qu'au gouvernement du Québec de faire progresser l'innovation en aéronautique et de stimuler l'économie québécoise tout en contribuant à la préservation de notre planète.



Ghislain Lafrance
Président du conseil d'administration
et membre du comité exécutif
Président et chef de la direction, TeraXion

Mot de la directrice

Comme vous le lirez dans ces pages, la phase deux de SA²GE est un succès. Ce fut un privilège de participer à ce second projet mobilisateur si différent et tout aussi réussi que le premier.

La cohorte de phase 2 était composée de cinq entreprises dans le rôle de partenaires. Certaines en avaient déjà l'expérience (Bombardier, CMC Électronique et Thales Canada, Avionique), tandis que c'était un nouveau rôle pour CAE et TeraXion. Tous ont admirablement respecté leurs responsabilités et obligations contractuelles.

Alors que la phase 1 était dominée par des technologies manufacturières, la phase 2 s'est démarquée par la diversité des technologies développées. Le secteur aéronautique québécois évolue, et le projet SA²GE laisse entrevoir l'essor de nouveaux domaines d'activités. À cet égard, des efforts particuliers ont été déployés pour trouver des PME québécoises œuvrant dans les domaines pertinents afin de les mobiliser. En collaboration avec Aéro Montréal, le Regroupement a organisé avec succès deux événements de maillage en début de projet, ainsi que d'autres événements de réseautage au fil des années subséquentes. SA²GE-2 a ainsi permis de découvrir et mobiliser des PME qui n'avaient pas encore d'activités dans le secteur aéronautique; l'organisme est fier de la mixité qui en a résulté, terreau fertile à l'innovation.

L'organisme est également fier du rôle qu'a joué TeraXion au cours de la phase 2. On se rappellera que cette PME de Québec spécialisée en optique et photonique avait participé à la phase 1 de SA²GE à titre d'entreprise collaboratrice, ce qui lui avait ouvert certains accès au secteur aéronautique. Avec la phase 2, TeraXion s'est élevée au rang de partenaire industriel, au même titre que nos grands donneurs d'ordre québécois. Le succès de TeraXion inspirera sûrement d'autres PME québécoises à proposer des projets d'envergure à l'occasion d'un prochain appel à projets SA²GE, que nous espérons.

La phase 2 de SA²GE a aussi été l'occasion d'une rotation à la présidence de l'organisme, dans le respect d'une saine gouvernance. Nous remercions M. Ghislain Lafrance, président et chef de la direction de TeraXion, ainsi que son prédécesseur, M. Fassi Kafyeke, conseiller



principal recherche, innovation et collaborations de Bombardier Aviation, pour leur dévouement et leur leadership à la présidence du conseil d'administration du Regroupement.

Quatre des cinq sous-projets formant SA²GE-2 ont pris fin le 31 mars dernier. Le sous-projet « Fuselage avancé respectueux de l'environnement » dirigé par Bombardier se terminera, quant à lui, quelques mois plus tard. L'heure est donc venue de tirer les leçons de cette formidable expérience d'innovation collaborative; ce rapport dresse un bilan du projet et offre une analyse à la section « Appréciation de l'organisme ».

Ce bilan est teinté par la pandémie qui assombrit les perspectives à court terme du secteur aéronautique. Nous espérons néanmoins que ses lignes sauront vous inspirer et vous convaincre, à l'instar des partenaires de SA²GE, qu'il est plus important que jamais d'innover pour mieux se positionner pour la relance.

Dominique Sauvé

Directrice du Regroupement pour le développement de l'avion plus écologique
Présidente d'IODS

Modalités du projet

Fondement

Le projet mobilisateur de l'avion plus écologique - phase 2, communément appelé SA²GE-2, a été mis sur pied en 2016 à la suite du succès convaincant de SA²GE-1.

Cinq sous-projets ont été retenus dans cette seconde phase s'inscrivant directement dans la priorité 4 du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques intitulée « Soutenir l'innovation, la recherche, le développement, la démonstration, la commercialisation et l'intégration de technologies visant la réduction des émissions de gaz à effet de serre ».



Caractéristiques d'un projet mobilisateur

Par l'entremise des projets mobilisateurs, le gouvernement du Québec soutient financièrement des entreprises privées à but lucratif afin qu'elles combinent leurs efforts pour mener à bien des projets de développement d'un produit, d'un procédé ou d'un service novateur, en mobilisant des universités, des centres publics de recherche ainsi que des PME.

Financement

Fait notable : SA²GE-2 a présenté la particularité d'être financé par deux ministères à savoir, le ministère de l'Économie et de l'Innovation à l'origine de SA²GE-1 (à hauteur maximale de 22,5 millions de dollars) et aussi cette fois-ci, par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (à hauteur maximale de 17,5 millions de dollars), venant ainsi porter la valeur totale du projet à 80 millions de dollars au moment de son lancement. Finalement, ce sont 61 millions de dollars qui ont été investis par les partenaires industriels de SA²GE-2 si bien que le projet s'élève aujourd'hui à 97 millions de dollars.

Gouvernance

SA²GE-2 fut également administré par le Regroupement pour le développement de l'avion plus écologique, l'organisme sans but lucratif mis en place en 2010 pour SA²GE-1.

Cet organisme administre aussi la phase 3 du projet mobilisateur, communément appelé « SA²GE-3 », totalisant 50 millions de dollars. Dans la continuité des phases 1 et 2, le gouvernement du Québec a lancé un appel à projets au printemps 2018 duquel découle quatre nouveaux sous-projets en cours de développement. Trois des quatre partenaires industriels retenus étaient également dans la phase 2, c'est pourquoi il en est fait mention à plusieurs moments dans le rapport. Cela dit, les deux phases sont en tout point indépendantes l'une de l'autre. Bien que les objectifs fondamentaux soient les mêmes, les technologies développées et les objectifs visés par chacun des sous-projets sont différents de SA²GE-2. Pour en savoir plus, nous vous invitons à consulter notre site web.



Pourquoi avoir créé un organisme sans but lucratif?

La création d'un OSBL pour administrer les projets mobilisateurs est un requis de la Convention de subvention régissant les projets mobilisateurs. En l'occurrence, le Regroupement pour le développement de l'avion plus écologique a pour principale mission de coordonner la reddition de compte semestrielle et surveiller l'évolution des travaux tout en veillant au respect des ententes légales.

CA au 31 mars 2020

Ghislain Lafrance, président et chef de la direction,
TeraXion – *Président du conseil d'administration et membre du comité exécutif*

Houssam Alaouie, directeur, Programmes de recherche et développement et Relations avec les institutions d'enseignement supérieur, CAE – *Vice-président, membre du comité exécutif et du comité d'audit*

Suzanne Benoît, présidente – directrice générale,
Aéro Montréal – *Trésorière, membre du comité exécutif et présidente du comité d'audit*

Karen Magharian, directrice, Affaires juridiques & Contrats,
Thales Canada – *Secrétaire et membre du comité exécutif*

Fassi Kafyeke, directeur principal, Innovation,
Bombardier – *Membre du comité exécutif*

Michel Dion, directeur principal, Innovation, Bell Textron
Canada – *Membre du comité d'audit*

Patrick Champagne, vice-président, Stratégie corporative et relations gouvernementales, CMC Électronique

Gilles Néron, directeur général, Approvisionnement stratégique, Air Canada

Alain Aubertin, président – directeur général,
Consortium de recherche et d'innovation en aérospatiale au Québec (CRIAQ)

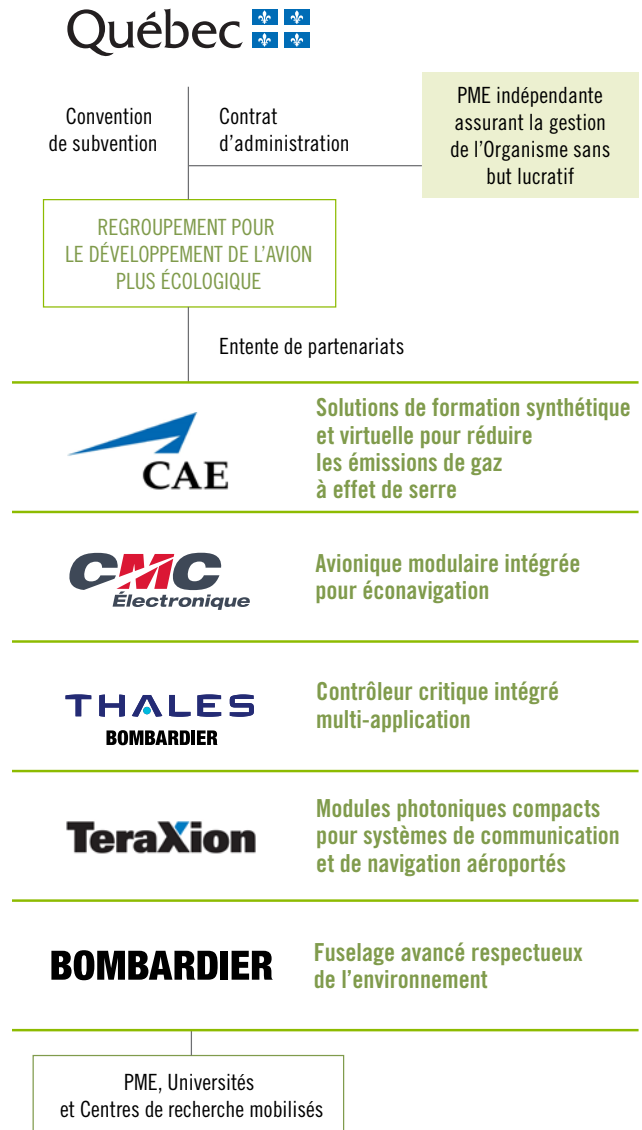
Priti Wanjara, chercheur scientifique principal, Centre national de recherche Canada (CNRC) – *Observatrice*

Gilles Bourgeois, chef, Protection environnementale et Normes, Transports Canada – *Observateur*

Stephan Fogaigne, conseiller en développement industriel – secteur aérospatial, ministère de l'Économie et de l'Innovation – *Observateur*

Sylvain Larochelle, directeur, Bureau de la collaboration technologique, Pratt & Whitney Canada – *Observateur*

Diagramme de gouvernance SA²GE-2



Bilan des sous-projets formant SA²GE-2



Solutions de formation
synthétique et virtuelle
pour réduire les émissions
de gaz à effet de serre

SimÉco 4.0



Avionique
modulaire intégrée
pour éconavigation

AMI-ÉcoNav



Contrôleur critique
intégré
multi-applications

COCIMA



Modules photoniques
compacts pour systèmes de
navigation
et de communication
aéroportés

AéroP



Fuselage avancé
respectueux de
l'environnement

FARE



Solutions de formation synthétique et virtuelle pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (SimÉco 4.0)

Le sous-projet mené par CAE avait pour objectif de développer une nouvelle génération de technologies de formation au sol de type simulateurs à base fixe (SBF) permettant le transfert des heures de formation en vol vers celles-ci.

Depuis octobre 2015, CAE est le maître d'œuvre responsable du programme d'entraînement en vol de l'OTAN au Canada (plus connu sous l'acronyme « NFTC » pour NATO Flight Training Center) qui fournit des pilotes militaires qualifiés aux clients du secteur de la défense.



Figure 1 - Le programme d'entraînement en vol de l'OTAN (NFTC) agit comme démonstrateur pour les nouvelles technologies développées dans SA²GE-2

Dans le cadre du projet, CAE visait notamment à développer des technologies permettant de transférer 12 % des heures de formation en vol vers des simulateurs au sol, que ce soit en solo ou en escadron, à l'aide d'un environnement immersif réel offert par une plateforme de simulation.

Augmenter les heures de formation au sol, c'est réduire les heures de formation en vol qui génèrent beaucoup d'émissions de gaz à effet de serre

Au cours de l'année 2016-2017, l'architecture modulaire et générique du SBF a défini les liens entre les sous-systèmes. De 2017 à 2019, les efforts ont porté sur le développement et la bonification des sous-systèmes de prochaine génération, comme par exemple : le système de visualisation, l'environnement synthétique, le système de station d'instructeur, les technologies d'interconnexion et d'interopérabilité. De 2019 à 2020, l'effort a porté sur les technologies de formation synthétique, l'environnement synthétique, le système station instructeur et l'intégration dans un démonstrateur.

Favoriser la formation sur simulateur, une pratique aux nombreux avantages

Grâce à ces nouvelles technologies, il est désormais possible d'augmenter l'utilisation de simulateurs dans la formation des pilotes avec comme avantages : l'amélioration de l'efficacité de la formation, l'indépendance face à la météo pour les vols, l'augmentation de la sécurité, la réduction de l'usure d'actifs coûteux comme les aéronefs et, surtout une réduction substantielle de l'empreinte carbone.

Faits saillants

- > Démonstration d'un système de formation de classe mondiale dans le contexte du programme d'entraînement offert par CAE au NFTC à Moose Jaw et Cold Lake au Canada. Le démonstrateur intégrait de nouvelles technologies au niveau du matériel informatique sur les simulateurs, des systèmes d'affichage visuel, des postes instructeurs et générateurs d'images. La mise à niveau a été menée entre autres sur cinq dispositifs SBF d'entraînement au vol CT-156 Harvard (T-6) et sur un avion turbopropulsé CT-155 Hawk, mis en réseau pour la formation.



Figure 2 - D'importantes mises à niveau sur les dispositifs d'entraînement au vol CT-156 Harvard (ci-dessus) et CT-155 Hawk utilisés dans le cadre du programme d'entraînement des pilotes (NFTC) ont été rendus possibles grâce au projet

L'efficacité de ces dispositifs modifiés pour l'entraînement au vol du CT-156 Harvard et du CT-155 Hawk profite déjà aux élèves-pilotes. Les nouveaux systèmes visuels apportent plus de réalisme dans l'environnement synthétique et offrent le potentiel de répéter dans les simulateurs des tâches de formation telles que le vol en formation et les scénarios tactiques, améliorant ainsi l'efficacité de l'exécution de ces tâches pendant l'entraînement en vol réel. Avec ces technologies, il y a des opportunités d'amélioration de la formation. Notamment, la valorisation des données est possible afin d'améliorer les technologies et les pratiques de formation. Par exemple, en valorisant les quantités phénoménales de données générées pendant la formation (« big data »), il serait possible de développer des concepts de rétroaction, ainsi que d'autres avenues : gestion de missions, création de scénarios et de systèmes de diagnostic.

- > Au cours du projet (2017-2020), le maintien/création d'emplois au Québec d'approximativement 210 années-personnes dans le domaine des technologies de pointe chez CAE grâce au projet.
- > Collaboration avec 14 PME ainsi que 9 universités et centres de recherche dans divers domaines (conception, ingénierie, géomatique/géospatiale, logiciel, usinage/assemblage, science des données, intelligence artificielle, etc.).

Bilan du sous-projet

Gains technologiques clés; avancées majeures

Le projet SimÉco 4.0 a permis le développement du simulateur à base fixe (SBF) de nouvelle génération et sa suite d'équipements de simulation avec système d'apprentissage en boucle fermée. La plateforme SBF intègre une architecture modulaire révolutionnaire supportant des plateformes diverses (hélicoptères et voilures fixes), intégrant l'apprentissage à boucle fermée, la connectivité, l'interopérabilité et une flexibilité de configuration.

L'approche modulaire a été rendue possible par le développement de diverses composantes, parmi lesquelles :

- > Plateformes de simulation pour les SBF ;
- > Systèmes avions et avioniques incluant senseurs/capteurs pour la recherche et le sauvetage ;
- > Systèmes d'effets sensoriels améliorés ;
- > Technologies de simulation interactives ;
- > Environnement synthétique ;
- > Technologie pour l'interopérabilité ;
- > Systèmes et prestation de formation.

Bien qu'il soit présenté en composantes distinctes, le succès du projet SimÉco 4.0 a nécessité des solutions permettant l'intégration de la totalité des composantes présentées.

Au chapitre des gains technologiques conséquents, CAE a pu initier et renforcer une nouvelle assise de technologies de simulation :

- > **Des technologies visuelles haute-fidélité dont s'est inspiré le système Medallion MR e-Series pour l'entraînement sur avion de chasse et jet rapide.** Des innovations comme la collimation électronique, la perception de la profondeur 3D et une luminosité sans égale fournissant aux pilotes d'avions à réaction rapides la solution visuelle idéale pour toute une gamme de tâches de formation, telles que la formation sur le vol à basse altitude, sur le ravitaillement en vol et sur l'identification de cibles ;



Fighters



Trainers



Tactical helicopter



e-Collimation



3D viewing



NVG



Figure 3 - Collimation du ravitaillement de jour et de nuit sur Medallion MR e-Series

- > **Une station d'instructeur délocalisé avec commande ultradynamique, permettant de modifier rapidement l'environnement de formation** (ex : conditions météorologiques, paramètres opérationnels de l'aéronef, géographie, entités simulées dans l'environnement synthétique, etc.). Ces caractéristiques permettent à la solution de s'adapter aux divers besoins de formation des utilisateurs. Cette station maintient la compatibilité entre différentes générations de technologies.

Au début du projet, le niveau de maturité technologique de l'ensemble des technologies était évalué à TRL 3. Le projet a permis de hausser l'ensemble de ces technologies à TRL 6.

Des collaborations qui placent les PME québécoises en bonne position pour obtenir les contrats de production par la suite



Figure 4 - La qualité de surface du revêtement de l'écran dôme MR e-Series est un élément important pour permettre à la plateforme d'atteindre les performances optimales d'imagerie visuelle

Le projet a permis aux PME l'acquisition de nouveaux savoir-faire requis pour produire des SBF. De plus, travaillant avec un modèle collaboratif de développement, l'expérience a permis aux PME d'élargir leurs connaissances afin de se doter de nouvelles connaissances technologiques applicables au secteur aérospace ainsi qu'à d'autres domaines de la haute technologie. Ces nouvelles connaissances technologiques pourraient permettre aux PME de développer de nouvelles opportunités d'affaires.

Par exemple, CAE a étroitement collaboré avec la PME Composites VCI. Ensemble, un nouveau procédé de finition de surface des composantes visuelles de la plateforme de simulation a été développé.

Grâce à cette collaboration, le système d'affichage visuel MR e-Series s'est vu doté d'une formulation unique de revêtement innovante et « verte » pour rendre l'image contrôlée de la plus haute qualité possible. Le contraste, la résolution, l'uniformité et la luminosité sont des caractéristiques d'affichage primordiales qui dépendent fortement de la qualité de surface de revêtement. Étant donné le nombre de couches contrôlées pour atteindre ces caractéristiques ainsi que la forme et la taille de l'écran dôme MR e-Series 360, une automatisation de l'application du revêtement est nécessaire. Cette collaboration a permis à Composites VCI de développer un nouveau procédé automatisé pour assurer la qualité et la cohérence de l'application du revêtement. De plus, le développement de ce nouveau procédé crée de nouvelles opportunités d'affaires pour Composites VCI, non seulement avec CAE mais aussi avec d'autres entreprises.



Figure 5 - Cellule robotique du processus de revêtement développé chez Composites VCI en collaboration avec CAE. La cellule effectue le contrôle de divers paramètres (débit d'air, humidité, température, qualité de l'environnement) afin d'assurer la qualité et la cohérence de l'application du revêtement

CAE a également collaboré avec de nombreuses universités et centres de recherche au cours du projet dont l'université McGill, l'université Concordia, l'université de Montréal, l'École de technologie supérieure, l'université Laval, HEC, et l'université de Sherbrooke.

Les collaborations ont généré de nombreux bénéfices. En voici quelques exemples :

- > Développement de savoir-faire et expansion de marché pour une PME : sous-systèmes sensoriels de la plateforme SBF. Avant ce projet, la PME avait très peu d'expertise dans les systèmes complexes pour l'aérospatiale. Avec cette collaboration, la PME a acquis des expertises permettant d'élargir sa base de clients;
- > Développement de savoir-faire chez une autre PME permettant d'offrir de nouveaux produits/services dans les domaines de la fabrication de composantes aérospatiales « vertes » ainsi que la fabrication à haute précision. Cette collaboration de nature exploratoire peut mener à des commandes importantes pour la PME lorsque la plateforme de CAE passera en phase de production. Cette collaboration lui permettra de développer d'autres marchés avec des clients dans d'autres domaines.

L'innovation, c'est repenser les manières de faire pour les faire mieux en l'occurrence, meilleures pour l'environnement

Les technologies développées dans le projet permettront une réduction des heures de vol requises pour former les pilotes; les impacts environnementaux s'en trouveront réduits grâce à la diminution de la consommation de carburant et de la pollution sonore. Spécifiquement, les technologies du projet SimÉco 4.0 réduiraient les émissions annuelles de GES d'une quantité de 55 000 tonnes métriques de CO₂-éq, après 10 ans. D'ici là, CAE estime le cumul des réductions à 304 000 tonnes métriques. « Le système d'entraînement au sol et l'utilisation de simulateurs sont devenus de plus en plus importants pour l'entraînement des pilotes militaires. Grâce aux développements de technologies du projet SimÉco 4.0, il est maintenant davantage possible d'offrir un entraînement au sol plus immersif et plus réaliste, ce qui contribuera à la prestation plus efficace et efficiente de l'entraînement en vol. Ces nouvelles capacités de formation synthétique engendreront des bénéfices environnementaux importants en offrant la possibilité de réduire l'utilisation de l'avion et la consommation de carburant lors de formations. »

Ces nouvelles capacités de formation synthétique engendreront des bénéfices environnementaux importants en offrant la possibilité de réduire l'utilisation de l'avion (et la consommation de carburant) en formation.

Investir dans la démonstration de technologies pour encourager le secteur privé à oser des projets à haut risque technologique et augmenter l'efficacité de l'investissement public et privé en R-D tout en suscitant des retombées importantes pour le Québec

SA²GE-2 a permis à CAE de réaliser plus rapidement et plus en profondeur un projet de développement technologique d'importance pour l'entreprise.

CAE a développé des technologies modulaires permettant à l'entreprise de viser des marchés vastes et en

pleine croissance. Ces marchés sont majoritairement à l'international et représentent donc une opportunité d'exportation intéressante pour CAE, sans compter le savoir-faire québécois développé. La modularité des technologies développées permet à CAE d'offrir des solutions technologiques aux divers clients qui répondent mieux à leurs besoins de formation.

De plus, le projet a permis le maintien d'emplois hautement qualifiés au Québec et l'ouverture sur un modèle d'affaires centré sur une plateforme d'apprentissage flexible, donnant plus d'autonomie à CAE dans la conception, la mise à niveau et la fabrication de simulateur avec une chaîne de fabrication locale.

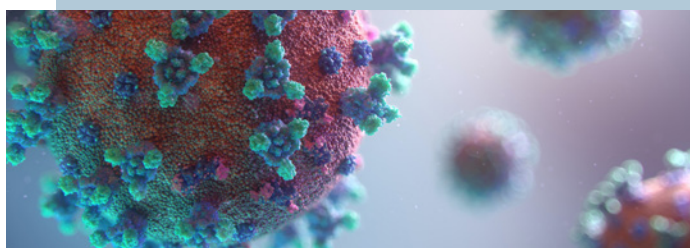


Photo: Fusion Medical Animation (Unsplash)

Impact de la COVID-19

La formation militaire et civile suit maintenant des protocoles rigoureux pour protéger les pilotes et instructeurs de la COVID. D'ailleurs les protocoles de CAE sont utilisés comme des standards maintenant par les forces américaines et aussi par les compagnies aériennes clientes.

Des collaborations stratégiques ainsi que des méthodes de gestion agiles : une part des clés du succès

En quatre ans de développement, le projet SimÉco 4.0 a amené des technologies qui étaient aux niveaux concepts laboratoire à un niveau de démonstrateur technologique en environnement opérationnel. Cette réalisation a été rendue possible grâce à plusieurs facteurs, tels qu'une approche modulaire et parallèle de développement, des collaborations stratégiques avec

des PME et universités, ainsi que des méthodes de gestion et d'exécution agiles.

Retombées pour le Québec du sous-projet mené par CAE

Le projet créera de nombreuses occasions d'affaires qui avantageront considérablement CAE; des projets comme l'entraînement des futurs pilotes de l'Aviation royale canadienne, ainsi que plusieurs autres occasions à l'échelle mondiale avec des centres de formation, tant civil que militaire. Le démonstrateur issu du projet sera un formidable instrument à la disposition de CAE pour convaincre les clients des avantages de cette nouvelle approche de formation.

Le projet permet le maintien ou la création au Québec de 150 emplois dans le domaine des technologies de pointe à CAE et chez ses nombreux partenaires et sous-traitants québécois.

Enfin, le projet a permis de maintenir et agrandir la force de la filière industrielle québécoise de CAE et renforcer les relations de collaboration de CAE avec la grappe aérospatiale québécoise.

Le sous-projet AMI-ÉcoNav a permis de créer de nouveaux produits de navigation qui réduiront l'empreinte écologique du transport aérien en tendant vers le vol parfait. Il visait donc à réduire les incidences nuisibles telles que la consommation de carburant ainsi que la consommation de ressources nécessaires en amont du cycle de vie d'un avion en intervenant sur :

- > La gestion du vol améliorée via son système de gestion ;
- > L'atterrissage de précision ;
- > La visualisation et la vision synthétique ;
- > L'évolution d'une plateforme d'avionique modulaire intégrée (AMI).

Mener de front des processus de création et d'amélioration substantielle de plusieurs nouveaux produits, en plus de poursuivre le développement de la plateforme AMI, un projet ambitieux

CMC a développé de nouveaux produits de navigation pouvant fonctionner sur une plateforme unique répondant aux besoins spécifiques des clients.

Par ailleurs, l'entreprise est déjà en mesure de répondre à la demande grandissante du marché pour des plateformes avioniques pouvant héberger des applications logicielles développées par le client et/ou CMC.

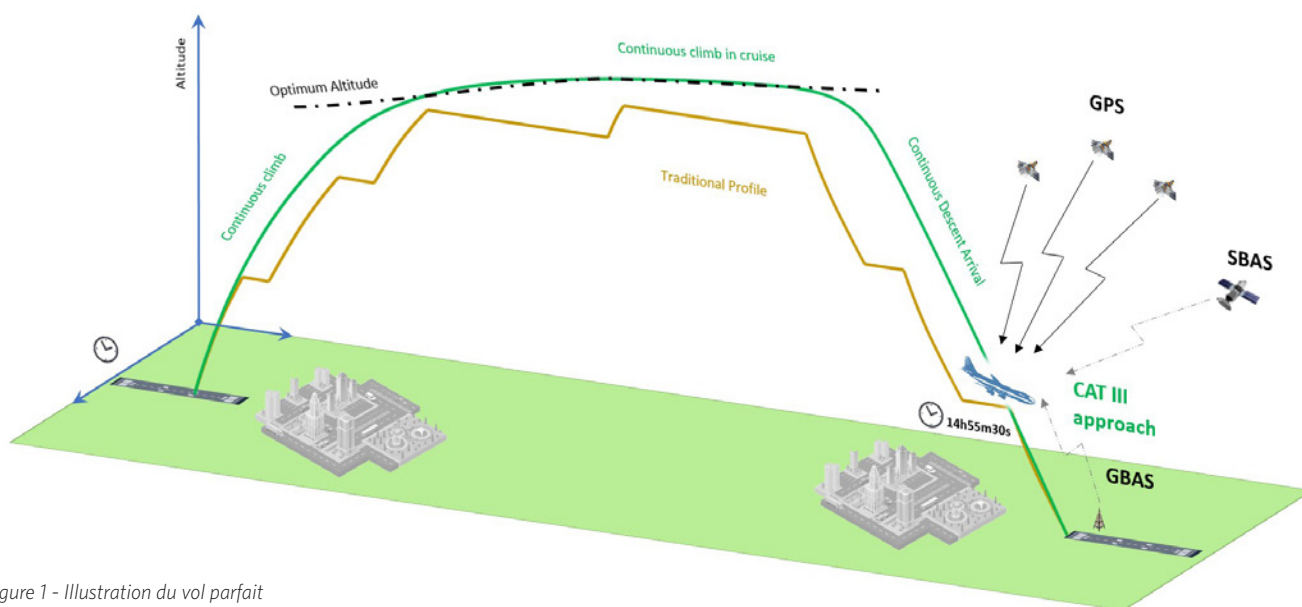


Figure 1 - Illustration du vol parfait

Bilan du sous-projet

Gains technologiques clés ; avancées majeures

Le processus de développement de nouveaux produits et l'amélioration des produits existants ont permis à CMC d'acquérir des connaissances dans plusieurs domaines ainsi que les requis d'une variété de normes et de règles de conception et d'accréditation. Chacun des volets de SA²GE-2 y a contribué :

- > **Gestion de vol améliorée** : Les travaux effectués pendant la durée du projet ont mené au développement et à la démonstration du potentiel de la fonction de « vol parfait » sur une nouvelle gamme de logiciels de systèmes de gestion de vol (FMS). Il a aussi permis d'intégrer le FMS¹ de CMC sur des

calculateurs partagés, enlevant ainsi le besoin d'un équipement dédié à cette fonction. Cette gamme fera son entrée dans le marché des avions d'entraînement et prochainement, dans celui des drones.

- > **Atterrissage de précision** : CMC a développé un capteur GPS de prochaine génération, CMA-6024, pour les approches de précision en trois dimensions. Ce capteur utilise le renforcement au sol du système GPS, appelé GBAS, permettant de répondre aux exigences de précision, d'intégrité, de continuité et de disponibilité de la navigation basée sur la performance (OACI - PBN). CMC a été parmi les premiers à offrir un récepteur GPS/GBAS CAT I dont la précision verticale est de 6 à 4 m au-dessus de la piste et qui est pleinement positionné pour soutenir les approches CAT II/III à l'avenir. CMC demeure un chef de file dans le domaine.
- > **Visualisation et vision synthétique** : La fonction de vision synthétique de CMC (Suresight SVS) qui fournit aux pilotes une vue synthétisée de leur environnement affiché sur leur écran de vol principal a évolué. La définition du produit et son intégration sur la plateforme AMI ont bien avancé au point que la fonctionnalité a été démontrée et testée en laboratoire et les premiers essais en vol sur un avion sont prévus pour l'été 2020.

De plus, la **plateforme d'avionique modulaire intégrée (AMI)**, dont le développement a commencé dans SA²GE-1, a continué d'évoluer vers des niveaux de maturité technologique TRL 5 et TRL 6.

La multitude de technologies développées dans SA²GE-2 a progressé comme suit :

- > Plateforme avionique modulaire intégrée sur calculateur monocoeur, de TRL 3 vers 6 ;
- > Système de gestion de vol, de TRL 2 à TRL 6 ;
- > Capteur GPS\GBAS de TRL 5 à TRL 6 ;
- > Application de l'affichage sur écran principal, de TRL 3 vers 6 ;
- > Autres applicatifs (NAV, EICAS, RMS, Moving MAP, Suresight-SVS), niveaux variant de 3 à 5.



Figure 2 - Fonction de vision synthétique SureSight SVS

¹ La mise en place d'un projet dans SA²GE-3 vise spécifiquement le développement de cette fonction



Figure 3 - Ordinateur PU-3000 de CMC

À la fin du projet, CMC possédait un démonstrateur qui intégrait plusieurs fonctions (dont le FMS) qui étaient auparavant fournies sur des plateformes physiques distinctes. L'intégration de multiples applications fonctionnant simultanément, sur une même plateforme, sans induire des délais dans le processus pouvant affecter les actions des pilotes est un défi complexe et de taille.

Collaborer pour favoriser le partage des connaissances et contribuer à l'expertise québécoise

CMC a poursuivi le modèle de collaboration débuté lors de SA²GE-1 qui a grandement contribué au succès de ce projet d'envergure. Ce modèle mise sur des relations stratégiques à long terme, créant ainsi petit à petit, une grappe spécialisée en navigation aéronautique. Depuis le début du projet, CMC a travaillé avec plusieurs PME québécoises dont CS Canada, Mannarino, Savoir-faire Linux, Scalian, SII Canada, Air Data et Marinvent. Le modèle de collaboration qui a été principalement mis en

place dans le cadre de SA²GE pour l'éconavigation est centré sur l'acquisition de connaissances et l'établissement de relations entre entreprises et organismes de recherche publics. La conséquence à moyen et long terme de ce modèle est le potentiel pour une participation accrue des partenaires dans les évolutions subséquentes de technologies et de produits.

Air Data a atteint l'objectif initial établi, soit celui de faire évoluer son panneau de commande SBAS afin d'être pleinement compatible avec le GBAS. Qui plus est, ce panneau fait partie de l'homologation obtenue de Transport Canada à titre d'option avec le capteur CMA-6024 GBAS.

Par ailleurs, plusieurs PME québécoises ont acquis de nouvelles connaissances et approfondi des connaissances existantes. Par exemple, Mannarino et Scalian, deux PME de Montréal, ont acquis une expertise dans le développement de logiciels utilisés dans les systèmes de gestion de vol. CS Canada a approfondi ses connaissances au niveau du développement logiciel pour l'aéronautique, et a acquis des connaissances concernant la norme ARINC 739 MCDU.

Au cours du projet, CMC a embauché plusieurs étudiants du Centre de recherche en commande active, avionique et aéro-servoélasticité (LACARSE) de l'École de technologie supérieure (ÉTS) et de la Polytechnique pour contribuer entre autres, au développement des volets FMS et GBAS.

Par exemple, pour le volet GBAS, cinq étudiants ont contribué simultanément à l'avancement des travaux. Ces étudiants ont principalement contribué aux étapes importantes de vérification de logiciel, leur permettant d'acquérir des connaissances concernant les processus de développement et de vérification logiciel en aéronautique selon la norme RTCA DO-178C.

« Mon expérience chez CMC a été très gratifiante. C'était une première immersion dans le monde professionnel où j'ai travaillé avec des ingénieurs expérimentés sur des projets de pointe. Mon collègue et moi avons travaillé sur l'optimisation de trajectoire. Nous avons pu bénéficier d'une grande formation dans la conception et l'utilisation des FMS. Le travail d'équipe a été aussi très enrichissant. Nous avons appris des méthodes de gestion de projets et de structuration



Figure 4a - Poste de pilotage avant

efficace. En plus, j'ai eu l'occasion de rencontrer de nombreuses personnes aux profils diversifiés et de profiter d'une ambiance chaleureuse. » – Étudiant au doctorat en aéronautique à l'ÉTS

Ce partenariat fructueux avec le Laboratoire de recherche (LARCASE) de l'ÉTS a permis de valider l'implémentation du vol parfait sur plusieurs avions et d'augmenter les ressources spécialisées.

Le caractère structurant des projets mobilisateurs les distingue des autres approches de support et de financement. En effet, le partage de connaissances et les relations bâties durant les phases de conception et de mises au point des technologies servent de base à une relation à long terme dans d'autres projets ou dans la suite de ceux qui ont été financés.

SA²GE permet non seulement la réalisation de projets de démonstration qui ne se feraient pas autrement, mais il favorise également des projets avec un impact favorable sur l'environnement

La nouvelle architecture avionique intégrant une partie des calculateurs dans des afficheurs modernes permet une réduction de poids et de consommation électrique des équipements et du câblage du cockpit. L'exercice effectué sur un jet régional typique manufacturé à l'aube des années 2000 permet d'estimer une réduction



Figure 4b - Poste de pilotage après

tion de poids de l'ordre de 100 kg et une réduction de la consommation électrique de l'ordre de 410 W.

Les nouvelles fonctions de navigation sur la portion de vol océanique et continentale permettent d'optimiser la trajectoire de vol vertical et horizontale de l'avion. La réduction de la distance et du temps de vol au minimum permet d'estimer des gains de l'ordre de 1 % de la consommation de carburant pour un vol vers une destination soleil et jusqu'à 3 % pour un vol transatlantique.

Investir en démonstration de technologies encourage le secteur privé à oser des projets à haut risque technologique tout en maintenant la place concurrentielle du Québec en aéronautique

SA²GE-2 a été déterminant pour le financement du développement de la nouvelle génération de système de gestion de vol, projet caractérisé par un haut niveau de complexité et de risque. Le projet n'aurait probablement pas été reconduit sans l'apport de SA²GE-2. De plus, le projet a servi de levier important pour le maintien de ressources humaines au sein de l'entreprise. Enfin, il a accentué la portée concurrentielle de CMC pour diminuer l'équipement physique à installer dans les avions, économisant ainsi de l'espace et diminuant le poids de l'appareil. Grâce aux normes telles l'ARINC 653 et les guides tel RTCA DO-297 adoptés par plusieurs grandes compagnies d'aviation, CMC peut déjà transplanter



Figure 5 - Laboratoire démonstrateur chez CMC pour les tests TRL5 et 6

ses applications d'une plateforme à une autre sans trop de difficultés.

La plateforme AMI développée par CMC avec, pour première étape, une certification sur monocœur, est en bonne voie d'être établie en 2020 via un TSO avec Transport Canada.

La phase 2 de SA²GE a permis de compléter et d'obtenir l'homologation de Transport Canada du récepteur GPS/SBAS/GBAS CMA-6024.

Par ailleurs, les défis rencontrés lors de certains partenariats contribuent à l'amélioration continue de CMC en ce qui a trait au travail collaboratif.

CMC peut dorénavant fournir une solution plus complète de composants avioniques clés qui composent ces postes de pilotage. En plus de ses produits FMS et GPS, entre autres, CMC est maintenant en mesure de fournir des écrans avioniques tel le MFD-3068 à ses clients dans des projets de mise à jour clé en main.

L'existence de ces solutions et des technologies qui les sous-tendent ont permis à CMC d'être sélectionnée comme fournisseur du poste de pilotage d'une entreprise centenaire européenne, et de moderniser de nombreuses flottes mondialement. Les retombées en termes de financement clients sont considérables, générant des emplois hautement qualifiés au Québec.

Retombées pour le Québec du sous-projet mené par CMC

En améliorant sa position concurrentielle grâce à SA²GE-2, CMC demeure un employeur de choix et continue de maintenir et de créer de nombreux emplois au Québec. Le marché principal ciblé par CMC dans le secteur des avions d'entraînement et des avions de reconnaissance / avions légers d'attaque représente des ventes attendues de plus de 500 M\$ US au cours des 10-15 prochaines années, dont 70 M\$ environ en activités de développement. Ces activités de ventes vont représenter près de 400 années-personnes de travail pour du personnel hautement qualifié, en plus des activités de production.

Des investissements importants sont prévus à l'avenir afin de continuer le développement du volet FMS et atteindre la certification. Plusieurs nouvelles fonctionnalités innovantes et inédites seront rajoutées dans le cadre de SA²GE-3 et par la suite.

Le projet COCIMA avait pour objectif de poursuivre le développement d'un contrôleur pouvant héberger plusieurs applications en provenance de divers systèmes critiques de gestion de l'avion. En vue de sa certification, ce contrôleur respecte des règles très strictes visant à assurer la ségrégation des applications hébergées sur un même calculateur. Ultimement, ce calculateur centralisé permet de réduire considérablement le nombre de calculateurs fournis pour chacun des systèmes critiques distincts venant ainsi alléger l'avion.

Les analyses démontrent que la mise en place d'un tel calculateur permet une réduction de poids d'environ 50 % comparativement aux calculateurs utilisés actuellement ainsi qu'une réduction de 25 % de la puissance électrique requise pour l'ensemble des systèmes. Par conséquent, lorsque ce calculateur sera déployé dans un programme, il réduira de manière importante l'empreinte environnementale des fonctions critiques qui sont requises pour assurer le bon fonctionnement des systèmes de gestion de l'avion.

Ce projet a également permis à Thales Canada de réduire le risque lié à plusieurs nouvelles technologies qui seront intégrées à la version certifiée du calculateur ainsi qu'à d'autres produits de Thales Canada.

Faits saillants

- > Mise en place d'un partenariat avec un nouveau fournisseur d'électronique pour aéronautique, Aversan;
- > Élaboration d'une plateforme de test permettant à Thales Canada d'atteindre une maturité suffisante pour proposer de nouveaux concepts à ses clients actuels et futurs;

- > Élaboration et validation de technologies innovantes essentielles dans la conception des systèmes critiques de prochaines générations;
- > Validation de l'intérêt des clients pour une solution de plateforme multi-applicative;
- > Développement d'un atelier d'outils permettant la configuration des futurs calculateurs critiques;
- > Lancement de deux projets de recherche amont avec deux universités sur des technologies permettant à Thales Canada de miniaturiser les composants électroniques afin de réduire la surface des cartes électroniques.

Bilan du sous-projet

Gains technologiques clés; avancées majeures

Nouvelle architecture de calculateur critique

La pièce maîtresse de la plupart des produits de Thales Canada, en termes de systèmes de contrôle de vol, a longtemps été son FCC (Flight Control Computer). Ce calculateur offre des fonctions critiques avec un niveau d'intégrité et de disponibilité respectant les exigences de certification requises pour rencontrer les critères de sécurité de l'avion. **Les tendances du marché des contrôleurs critiques s'orientent vers l'intégration d'un plus grand nombre de fonctions à l'intérieur d'un nombre réduit de calculateurs, eux-mêmes de plus en plus petits.**

Pour poursuivre l'innovation en ce sens, **une nouvelle architecture de calculateur a été conçue : le Triplex-Dual. Cette dernière, dont un brevet a été déposé, a le potentiel de réduire la taille des calculateurs en pas-**



Figure 1 - Exemples de systèmes critiques pour la sécurité

sant de quatre « voies » à trois « voies », ce qui représente une économie immédiate de 25 % de la surface réalisée tout en multipliant par vingt la capacité de traitement. Pour valider la faisabilité d'une telle architecture au sein de systèmes critiques, Thales Canada a procédé à la conception d'un Prototype de Contrôleur Critique (P-CC). Cette plateforme de test a permis de valider que les logiques de redondance, sans interruption de service, sont possibles sur ce type d'architecture. Ainsi, la haute intégrité d'un tel type de calculateur critique peut être maintenue malgré qu'il y ait physiquement une voie de moins.

Thales Canada a aussi profité du P-CC pour valider d'autres concepts novateurs :

Atelier d'outils de développement

Dans le monde de l'avionique, la génération et la sub-séquente vérification d'applications logicielles est une tâche qui peut s'étirer sur plusieurs semaines. Même la mise à jour, suite à de simples modifications, fait face à des délais du même ordre de grandeur. Le projet a permis de poursuivre les travaux d'élaboration d'outils

de vérifications automatiques ayant le potentiel de réduire ce temps à quelques heures seulement.

Bonification importante du protocole de communication BD429

Le P-CC a également bénéficié d'une évolution par Thales Canada du protocole de communication BD429 (extension bidirectionnelle du standard ARINC429) pour permettre des configurations multi-terminaux, avec une vitesse 10 fois plus rapide. Ce protocole de communication est spécialement conçu pour permettre des échanges de données à haut débit dans un environnement très perturbé et sur une distance de plusieurs dizaines de mètres. Thales a pu tester, avec succès, ce nouveau bus sur plus de 100 mètres dans un environnement reproduisant les perturbations électromagnétiques d'un avion.



Figure 2 - Banc de test P-CC

Protection contre la foudre

L'une des fonctions particulièrement gourmande en termes de surface de cartes électroniques est la protection contre la foudre des entrées/sorties qui y sont soumises. La solution classique consiste à limiter la montée de pointe de tension en évacuant le courant de foudre par des diodes de protection, dont leur taille est fonction de l'énergie qu'elles doivent dissiper. L'approche qui a été testée dans le cadre de ce projet se base plutôt sur la limitation du courant de foudre, en faisant appel à des composantes capables de résister aux hautes tensions engendrées par la foudre. Cette technique a comme effet de permettre la propagation de ces pointes de tension jusqu'aux circuits de traitements à basse tension. Des règles strictes de ségrégation et d'isolation ont dû être mises au point et validées pour en faire une solution viable et sécuritaire.

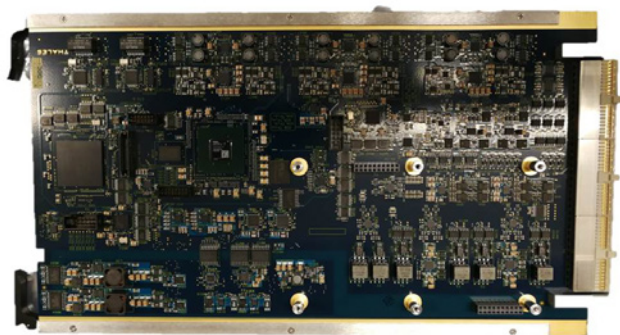


Figure 3 - Carte maîtresse du P-CC

La conception du P-CC a aussi permis d'agrandir l'équipe de développement de l'équipement matériel et ainsi développer un nouveau savoir-faire sur le site de Thales Canada. Avec les différentes phases du projet SA²GE, Thales Canada a pu acquérir la maturité nécessaire afin d'élargir son offre de conception matérielle au sein du groupe Thales. La participation de Thales Canada au projet SA²GE a, entre autres, permis à l'équipe de Thales Canada d'élaborer l'architecture matérielle ainsi que les schématiques électriques qui ont été utilisées par Aversan pour la fabrication et l'assemblage des cartes électroniques du P-CC.

Le concept multi-applicatif avec certification incrémentale incluant les outils de configuration a été largement abordé avec les clients potentiels de Thales Canada et l'intérêt y est réel. Au travers du projet COCIMA, Thales Canada a collaboré avec l'un de ses clients sur un banc de test mis à leur disposition dans leurs locaux. Plusieurs activités de configurations, tests et validations ont été exécutées et les travaux se poursuivront au-delà du projet SA²GE.

Évolution du niveau de maturité technologique

L'objectif initial était l'atteinte d'un niveau de maturité TRL 5 pour un calculateur critique de nouvelle génération qui se base sur une toute nouvelle architecture de type Triplex-Dual.

Au terme des travaux, qui continueront au-delà de SA²GE-2, Thales Canada atteindra un TRL 5 pour les aspects suivants :

Thèmes	TRL avant	TRL après
Architecture système Triplex-Dual (ex. logique d'engagement)	TRL 2	TRL 5
Architecture logiciel Multi-applicative	TRL 4	TRL 5
Protection foudre en limitation de courant	TRL 2	TRL 4
Outils de génération automatique d'application	N/A	N/A

Établir un rapport privilégié avec un mobilisé : une formule gagnante-gagnante qui peut même mener à l'installation de cette dernière au Québec

Initié par la participation de Thales Canada à SA²GE-2, Thales a étroitement collaboré avec Aversan, une PME spécialisée dans le domaine du développement matériel. Comme l'équipe de développement de Thales est restreinte, la collaboration a été particulièrement bénéfique, dans la mesure où Thales a pu bénéficier de l'expertise et de la main-d'œuvre qualifiée d'Aversan pour mener à bien son projet P-CC. Aversan a été responsable de la matérialisation du concept de calculateur critique. Tous les travaux de placement et routage des cartes imprimées, d'assemblage des circuits électroniques ainsi que la conception et l'assemblage mécanique du calculateur critique ont été réalisés ou supervisés avec succès par Aversan. Une équipe d'Aversan a même été intégrée dans les locaux de Thales pour le développement de certaines fonctions embarquées ainsi que pour effectuer les tests sur les cartes électroniques du P-CC.

La sous-traitance des activités matérielles à Aversan a permis d'établir une relation d'affaires de confiance qui perdure au-delà du programme SA²GE.

« Notre équipe de développement a mis à profit sa vaste expérience de conception et de fabrication pour fournir à Thales la solution la plus performante et la plus rentable dans le projet P-CC.

Grâce à nos ressources d'ingénierie québécoises et aux entrepreneurs de fabrication locaux, Aversan s'est positionné comme un partenaire compétent et de confiance pour les programmes de coopération actuels et futurs avec Thales Canada. » Laurentiu Ionescu, Gestionnaire de programme, Aversan

Impliquer le milieu de la recherche pour optimiser les travaux et arriver à un résultat plus spectaculaire

Thales Canada a poursuivi ses activités avec les universités dans le but de regrouper plusieurs circuits élec-

triques numériques, analogiques et mixtes sous une seule puce électronique, désignée System-in-Package (SiP) et illustrée à la figure 4 ci-dessous. Ce SiP permet de miniaturiser le produit, d'augmenter la fiabilité du circuit, de réduire la consommation et de simplifier le montage sur la carte électronique.

Bien que les travaux se poursuivent au-delà du projet SA²GE-2, la participation de SA²GE a permis d'obtenir les premières versions de prototypes par l'entremise de partenariats avec l'École Polytechnique de Montréal et l'École de technologie supérieure. À ce jour, une architecture du sous-système permettant de contrôler la commutation des transistors de puissance a été conçue. À terme, un tel système permettra de réduire davantage l'empiétement des composantes électroniques requises pour le traitement des signaux dans un avion. Conséquemment, la consommation de courant en sera grandement réduite.

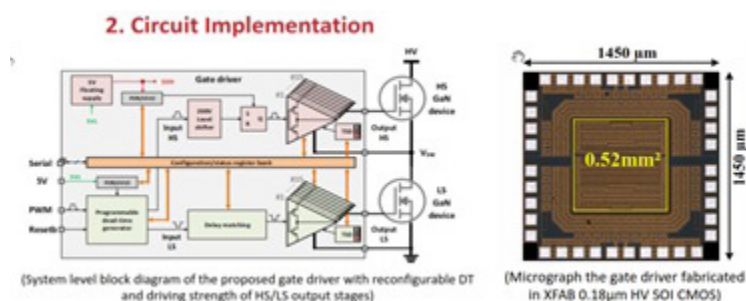


Figure 4 - Exemple d'un circuit d'implémentation SiP

L'implémentation d'un calculateur critique de type multi-applicatif tel que proposé par Thales permet des gains environnementaux non négligeables. En effet, **la possibilité de rassembler un grand nombre de fonctions dans un seul calculateur permet de supprimer de multiples boîtiers et câbles nécessaires dans les avions.** Un tel système réduit le poids, la consommation électrique, les matières premières et les produits dangereux requis pour la fabrication et l'installation de ces boîtiers. **Les études préliminaires ont démontré que sur un cycle de 10 ans, l'implémentation d'un tel calculateur critique a un potentiel de réduction de plus de 38 000 tonnes CO₂-eq sur une flotte d'avion de 1500 appareils en prenant pour hypothèse 600 avions d'affaire réalisant**

155 vols de 1000 miles nautiques par an et 900 avions régionaux assurant 1800 cycles de 250 miles nautiques par an. Cette estimation est basée sur l'utilisation de contrôleurs centralisés pour 6 systèmes auxiliaires (train d'atterrissage, gestion du carburant, gestion de la puissance électrique, climatisation, commande de vol et cabine). De plus, l'introduction de ce calculateur permet de réduire de plus de 50 % la quantité de matière première et de matière dangereuse nécessaires pour assurer les fonctions auxiliaires.

Aider les entreprises à investir en R-D, c'est contribuer à leur compétitivité et ultimement, à celle du Québec sur la scène internationale

L'architecture développée par Thales Canada dans le cadre de SA²GE-2 pour les futurs calculateurs critiques est très prometteuse. Les simulations et les tests d'intégration préliminaires ont démontré que l'intégrité et la redondance pouvaient être maintenues malgré un nombre de cartes électroniques réduites. Cette architecture, ainsi que l'implémentation d'interfaces versatiles, contribuent à alléger le produit final tout en minimisant le nombre de pièces électroniques et la consommation du calculateur.

Thales Canada est fière de mettre de l'avant un tel concept afin de promouvoir une approche novatrice dans le domaine des calculateurs critiques tout en contribuant et en promouvant un développement durable plus respectueux de l'environnement.

La participation de Thales Canada au programme phase 2 de SA²GE a permis de poursuivre les travaux initiés par la phase 1. En effet, la portée du projet de calculateur critique a été élargie pour permettre de s'appliquer aux commandes de vols ainsi qu'à l'ensemble des systèmes auxiliaires des aéronefs. La solution établie par la poursuite des activités de la phase précédente permet désormais de confirmer le bon fonctionnement d'une architecture hautement critique avec une redondance autonome.

À terme, Thales Canada proposera un calculateur critique qui simplifiera le développement, l'intégration, la certification et la maintenance des aéronefs tout en respectant les aspects environnementaux.

L'écoconception, formidable catalyseur d'innovation et de collaboration

La participation de Thales à SA²GE-2 a permis la création de liens privilégiés avec la grappe aéronautique québécoise autour de l'objectif commun de développer des technologies novatrices plus respectueuses de l'environnement. Concrètement, bien que Thales était déjà consciente de l'enjeu environnemental, le projet mobilisateur a davantage sensibilisé l'entreprise à l'écoconception et l'importance de prendre en compte tout le cycle de vie dans le développement d'un produit.

Retombées pour le Québec du sous-projet mené par Thales Canada

Le projet mobilisateur a permis de poursuivre la montée en compétence de l'équipe de recherche en électronique de Thales avec le support de la PME Aversan, de consultants spécialisés dans l'électronique embarquée et d'étudiants en provenance de deux universités montréalaises. Par ailleurs, le projet a donné l'opportunité aux ingénieurs système de travailler sur une architecture de calculateur critique très innovante permettant de répondre aux attentes des clients de Thales Canada pour leurs systèmes de commandes de vol et leurs systèmes auxiliaires. La réponse des clients suite aux démonstrations réalisées dans le cadre du projet permet d'envisager de futurs contrats y compris sur des marchés émergents comme les taxis volants.

Grâce à sa participation à SA²GE-1 et SA²GE-2, Thales Canada lancera dans les années à venir trois produits permettant de couvrir quatre marchés : les avions d'affaires, les avions régionaux, les taxis volants et le transport militaire.

Le sous-projet de TeraXion porte sur le développement de modules photoniques compacts qui remplaceront des systèmes plus lourds et énergivores dans les avions. Ces modules de prochaine génération partagent une plateforme technologique avancée basée sur l'utilisation de micro-optique et de puces photoniques sur silicium. **Ces dispositifs permettent une réduction radicale de la dimension et du poids des systèmes optiques, tout en assurant l'intégrité de leur performance dans des conditions environnementales exigeantes.**

Le module photonique radiofréquence (RF) est destiné aux systèmes de communication aéroportés et pourra transmettre, recevoir ou convertir des signaux RF par voie optique. En plus de repousser les limites de bande passante des systèmes RF actuels, le module permettra de remplacer les câbles coaxiaux en cuivre dans les avions par des fibres optiques beaucoup plus légères.

TeraXion a également développé une source laser multifréquence intégrée qui sera utilisée dans un gyroscope de nouvelle génération et qui permettra de réduire le poids du système de navigation.

Faits saillants

Le module RF développé par TeraXion au cours du sous-projet peut recevoir un signal RF de 10 à 18 GHz et, en utilisant des fonctions optiques, le transformer en signal à 1 GHz, qui sera ensuite digitalisé afin d'en extraire l'information. TeraXion a conçu et fabriqué deux versions du module photonique RF : une version dite hybride, basée sur des composants optiques discrets de très petite taille, suivie d'une version intégrée, pour

laquelle le circuit optique principal a été migré sur une puce photonique sur silicium de dimensions 3 mm x 8 mm. L'utilisation d'une puce photonique dans le module RF intégré a considérablement réduit la sensibilité du module aux variations de température, qui a maintenu une performance stable jusqu'à 50 °C. De plus, le module photonique RF intégré de TeraXion est 90 % plus léger et consomme 20 fois moins d'énergie qu'un système RF classique.

La source laser multifréquence réalisée durant le sous-projet génère des ondes lumineuses dont la fréquence et la phase sont contrôlées de façon très précise; utilisée dans un gyroscope à fibre optique résonante, cette source laser permet d'améliorer significativement la mesure de la vitesse angulaire. Au cœur de cette source se retrouve le module optique, qui regroupe, dans un boîtier ultra-compact, trois puces laser, une puce photonique sur silicium (3 mm x 15 mm) et des éléments optiques en propagation libre. Le poids total du module optique est de 8,15 g et son volume est de 2,59 cm³, ce qui constitue une réduction majeure comparativement à un circuit optique équivalent basé sur des composants optiques fibrés. Le poids total du prototype final de la source laser multifréquence est de 64,86 g et son volume est de 63,6 cm³, incluant l'électronique de contrôle. Une fois intégrée au gyroscope, la source laser multifréquence a pu suivre très précisément le signal de référence du gyroscope sur une plage de température de 50°C, en présence de perturbations acoustiques.

Les excellents résultats obtenus par TeraXion ont démontré que l'utilisation de la photonique intégrée permet d'offrir à l'industrie aéronautique des modules de très petite taille, de faible poids et consommant peu



Figure 1a – Module photonique RF
Longueur 105 mm x largeur 63,5 mm x hauteur 33,2 mm
Volume 221,4 cm³, poids 501 g

d'énergie. Ces modules photoniques contribuent ainsi à l'atteinte des objectifs de réduction de gaz à effet de serre de l'industrie, tout en maintenant le niveau élevé de performance optique requis par les applications de communication et navigation visées par le sous-projet.

Bilan du sous-projet

Gains technologiques clés; avancées majeures

Développement d'une expertise unique en systèmes lasers de haute précision basés sur la photonique sur silicium

TeraXion a développé une expertise de pointe en conception de puces photoniques sur silicium, de même qu'en encapsulation et intégration de ces puces. Les circuits optiques sur silicium développés au cours du projet regroupent sur la même puce un très grand nombre de fonctions optiques actives et passives : photodétecteurs, modulateurs de phase, atténuateurs optiques variables, résonateurs en anneau, coupleurs, guides d'onde, etc.

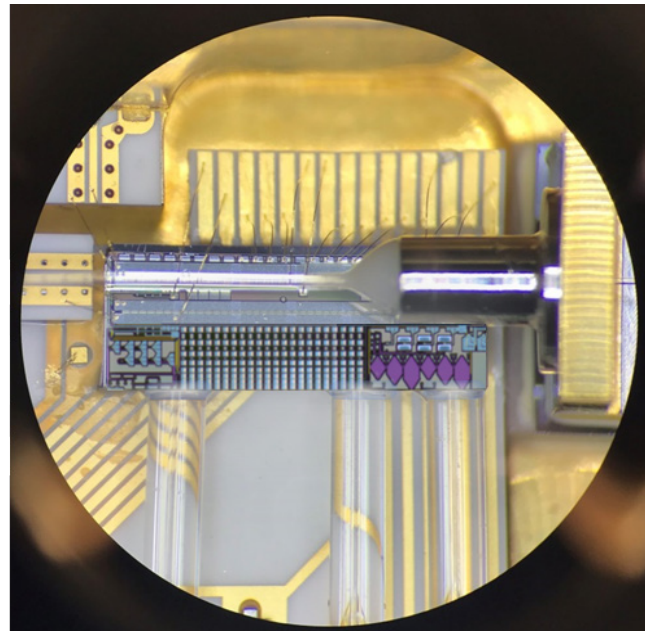


Figure 1b - Puce photonique sur silicium intégrée au module photonique RF
Longueur 8 mm x largeur 3 mm

sont combinés pour former des circuits optiques complexes, mais extrêmement compacts. **L'équipe de TeraXion a réussi à atteindre un niveau de performance optique exceptionnel pour les circuits bâtis à l'aide de ces fonctions.**

Le sous-projet a également permis le développement d'une puce laser semi-conducteur à rétroaction répartie (DFB) aux caractéristiques optiques uniques. L'utilisation de cette puce dans la source laser multifréquence améliore de façon importante la performance

de la source; en effet, cette puce laser DFB possède un spectre 10 fois plus étroit que le meilleur laser de ce type présentement disponible commercialement. **La très grande pureté spectrale de ce laser augmente directement la qualité des mesures du gyroscope.**

Grâce à SA²GE-2, TeraXion a développé un ensemble complet d'outils de simulation, de conception, d'équipements et de processus de caractérisation et d'assemblage compatibles avec l'intégration photonique. TeraXion a ainsi acquis une expertise en conception et tests de puces, en fixation des puces sur substrat, en alignement et fixation d'éléments de micro-optique, en caractérisation optique et environnementale des modules finaux, etc. Ces outils ont permis à TeraXion de perfectionner sa compréhension globale des systèmes, d'affiner ses designs et de mieux les adapter à la réalité de l'industrie, de même que d'atteindre une plus grande efficacité dans l'assemblage et la caractérisation des modules photoniques.

Progression du niveau de maturation technologique

Le sous-projet de TeraXion était basé sur des démonstrations de faisabilité effectuées avec des systèmes photoniques classiques fabriqués à partir de composants fibrés. Le niveau de maturation technologique de ces démonstrations a été établi à 4, puisque celles-ci avaient été effectuées en laboratoire, dans un environnement contrôlé. La transition des systèmes vers des modules photoniques compacts sur silicium a amené TeraXion à repasser un niveau TRL-4 avec les modules intégrés, pour ensuite compléter un niveau 5 et conclure le sous-projet avec l'atteinte d'un niveau TRL-6 de base, pour lequel les modules ont été validés par des clients industriels de TeraXion dans des instruments-modèles de laboratoire reproduisant certaines des conditions réelles d'opération des systèmes. Le niveau de maturation technologique des modules photoniques développés par TeraXion est donc passé de 4 à 6 au cours du sous-projet.

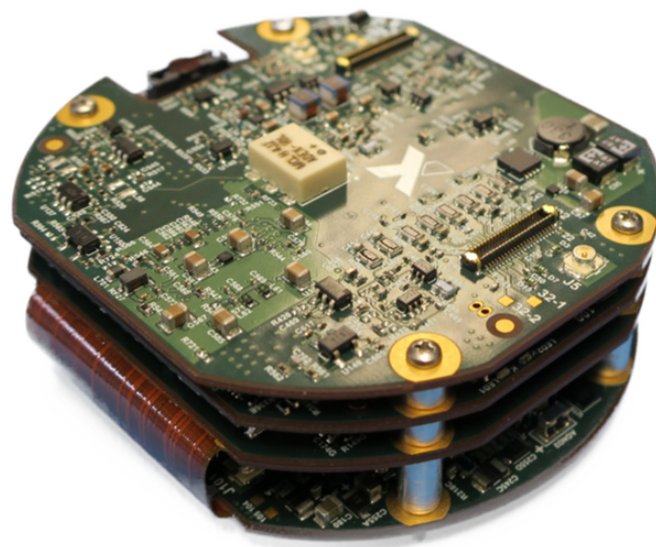


Figure 2a - Source laser multifréquence
Diamètre 60 mm x hauteur 22,5 mm
Volume 63,6 cm³, poids 64,86 g

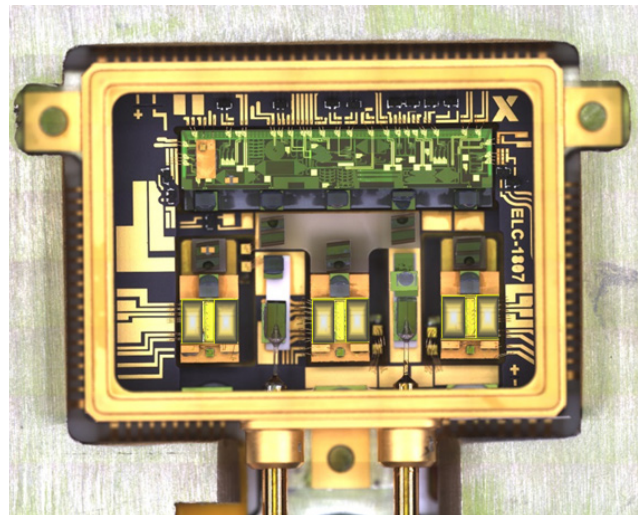


Figure 2b - Module optique intégré
Longueur 24,5 mm x largeur 18,25 mm x hauteur 5,8 mm
Volume 2,59 cm³, poids 8,15 g

Surmonter des défis technologiques par la collaboration

TeraXion a collaboré avec la PME Brioconcept de Laval pour développer les circuits électroniques de la source laser multifréquence. Cette source laser requiert de nombreux circuits très complexes devant être conçus et

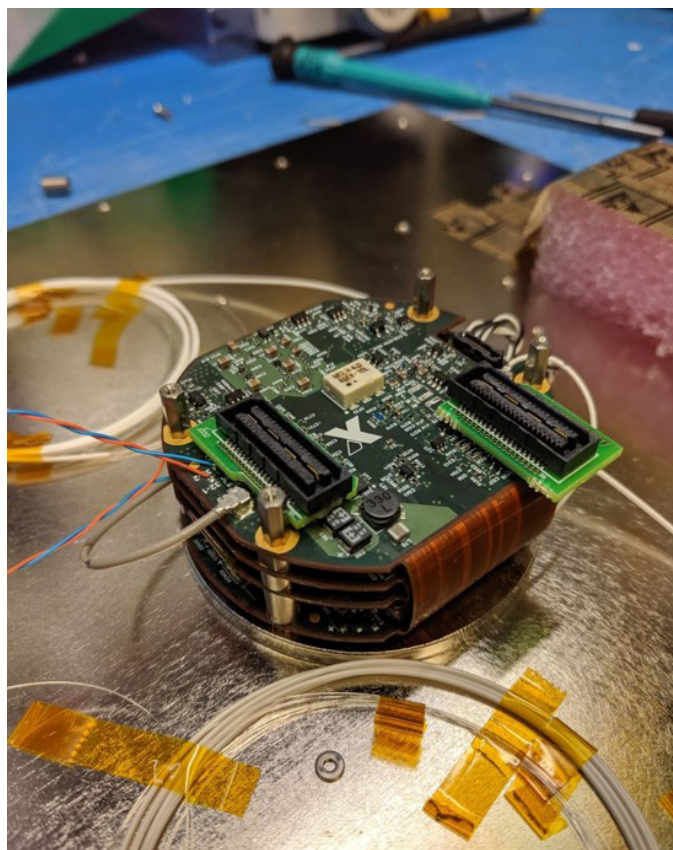
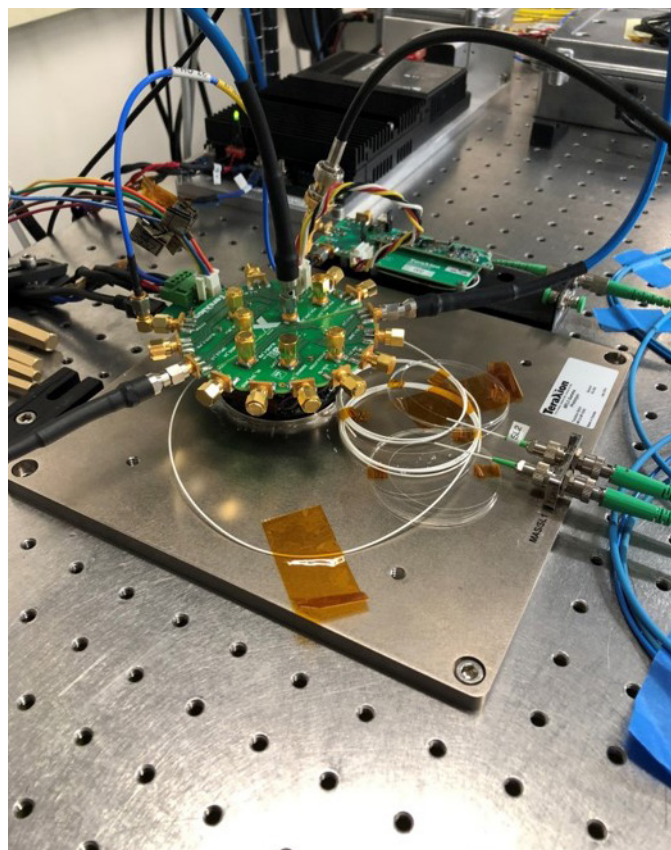


Figure 3 - Source laser multifréquence en cours de caractérisation chez TeraXion

positionnés de façon à minimiser le bruit électronique, car la source doit atteindre des performances très élevées. Brioconcept a relevé le défi en réalisant une carte électronique repliable à très haute densité pour contrôler la source laser; cette carte a permis à TeraXion d'atteindre les objectifs ambitieux de réduction de taille et de poids qui avaient été établis pour la source laser multifréquence.

Diminuer le poids des composants de l'avion contribue à réduire sa consommation de carburant, un facteur important dans la lutte contre les changements climatiques



L'objectif environnemental principal de TeraXion était de réduire le poids de deux systèmes aéroportés en remplaçant les technologies existantes par des modules compacts et légers basés sur la micro-optique et la photonique intégrée. **TeraXion est fière d'avoir réussi à fabriquer un module photonique RF intégré pesant 90 % de moins que le système RF original, consommant 20 fois moins d'énergie et qui permettra de remplacer des câbles coaxiaux lourds et encombrants par des fibres optiques beaucoup plus légères.** La source laser multifréquence a également atteint à 96 % l'objectif de poids fixé en début de projet. L'atteinte de ces objectifs se traduira par une réduction du poids de l'aéronef et, conséquemment, de sa consommation en carburant, diminuant ainsi ses émissions de gaz à effet de serre.

Participer à un projet mobilisateur, c'est consolider ses fondations et préparer l'avenir

Suite à sa participation à SA²GE-2, TeraXion possède maintenant les installations, l'équipement et les ressources hautement qualifiées nécessaires pour prototyper et fabriquer des petites séries de produits basés sur la photonique intégrée.

TeraXion met présentement à profit les connaissances en micro-optique et photonique intégrée acquises durant le projet mobilisateur SA²GE pour développer un nouveau produit visant le marché des lasers à impulsions brèves.

Le lancement de ce nouveau produit est prévu pour la fin 2020. De plus, certains éléments des modules photoniques montrent un fort potentiel pour des applications dans le marché de la détection optique, entre autres pour les véhicules autonomes et pour les systèmes de sécurité de périmètre. Plusieurs activités d'exploration de ces applications sont présentement en cours chez TeraXion, et certains des blocs technologiques développés durant SA²GE sont présentement adaptés aux besoins de ces nouvelles applications. Ces activités pourraient mener au développement de nouveaux produits à très haute valeur ajoutée dans un avenir rapproché.

Donner aux PME québécoises, les moyens de leurs ambitions

Le soutien du projet SA²GE-2 s'est avéré essentiel pour une PME comme TeraXion, qui a ainsi pu acquérir rapidement et efficacement les connaissances, le savoir-faire et les outils nécessaires à la poursuite de ses activités de développement en photonique intégrée. TeraXion est maintenant reconnu comme un chef de file en développement de solutions novatrices basées sur la photonique intégrée. SA²GE a donné à TeraXion les moyens de ses ambitions.

Retombées pour le Québec du sous-projet mené par TeraXion

Le projet SA²GE-2 a permis à TeraXion de développer une expertise unique en systèmes lasers de haute précision basés sur la photonique sur silicium. Durant toute la période du sous-projet, TeraXion a obtenu des contrats substantiels reliés aux technologies développées avec le soutien de SA²GE, augmentant ainsi la compétitivité du Québec en photonique intégrée, un domaine innovant et en plein essor, et procurant des emplois de qualité à plus de 20 chercheurs, ingénieurs et technologues.

De plus, la puce laser aux propriétés exceptionnelles développée au cours du sous-projet suscite un très grand intérêt dans le domaine de la détection optique et fait présentement l'objet d'un projet de développement indépendant chez TeraXion. Ce projet, réalisé en collaboration avec le Centre canadien de fabrication de dispositifs photoniques, est soutenu financièrement par le Programme d'aide à la recherche industrielle du Conseil national de recherches Canada.

BOMBARDIER

Fuselage avancé respectueux de l'environnement (FARE)

Le projet FARE de Bombardier consiste au développement de technologies innovantes permettant la réduction du poids et une augmentation de l'efficacité de la fabrication des structures d'avion en matériaux composites et métalliques afin de réduire les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) des avions Bombardier. Les activités ont été organisées en 4 lots de travail : les portes, le fuselage arrière dont sa cloison de pressurisation, les panneaux à double courbure, et enfin le développement de matériaux et procédés sans chrome ni autres substances nocives pour l'environnement ainsi que la valorisation de technologies permettant de réduire la quantité de rebuts.

Dans la dernière année, les principales technologies ont été combinées pour les valider sur un unique démonstrateur pleine grandeur (Figure 1). L'arrêt du projet en mai 2020, dû aux impacts de la pandémie mondiale de la COVID-19, n'a pas permis l'assemblage final ni les tests

sur la structure prévus au projet. Bombardier a cependant réalisé plusieurs démonstrateurs intermédiaires, dépassé les objectifs de mobilisation de PME et centres académiques, en plus d'atteindre les cibles de réduction de GES.

Faits saillants

Au cours des quatre dernières années, les principales réalisations ont été la conception, le développement de procédés, les tests de composantes et l'analyse de nouvelles structures innovantes pour de futurs programmes d'avion.

Une cloison de pressurisation hybride novatrice a notamment été conçue, ainsi qu'une console centrale de poste de pilotage en fabrication additive et une porte-cargo en composites. Des procédés de co-cuisson, de formage à chaud, de tressage et d'analyse automatisée ont par ailleurs été développés.

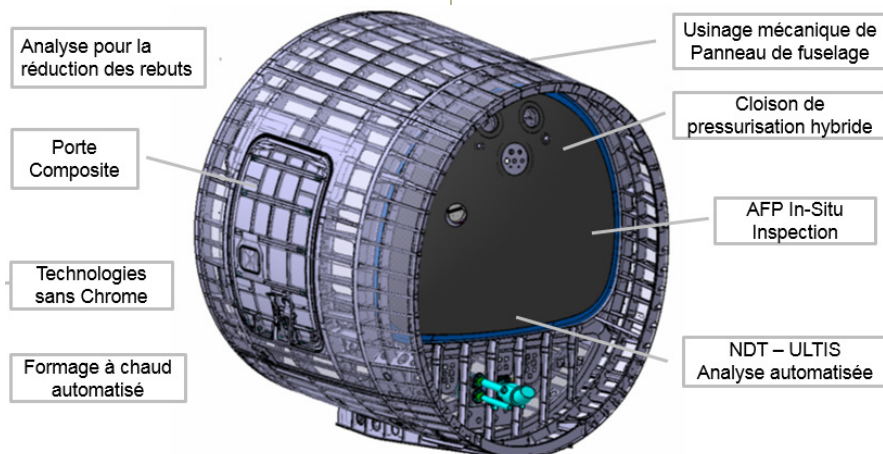


Figure 1 – Démonstrateur FARE

De grandes avancées ont également été réalisées sur le développement de la cobotique afin de faciliter certaines tâches d'assemblage, de même que l'utilisation de la réalité augmentée et de l'Intelligence Artificielle pour améliorer les procédés et réduire les pièces non conformes. En parallèle, les tests d'usinage mécanique de panneau de fuselage à double courbure ont été complétés avec succès ce qui permettra, à court ou moyen terme, de remplacer l'usinage chimique. Enfin, le développement de matériaux et procédés sans chrome ni autres substances nocives se poursuit afin de se conformer aux futures législations environnementales québécoises, canadiennes et internationales.

Parmi ces innovations technologiques, deux brevets ont été déposés :

- > « Pressure Bulkhead and Method of Installation »
- > « Cockpit Pedestal and Aircraft with a Cockpit Pedestal »

Tandis que trois autres brevets sont en instance de dépôt :

- > « Method of Co-Curing a Composite I-Beam to Composite Skin »
- > « Method of Preforming Z or C Frame Curved »
- > « Methodology to Create CFRP Domed Bulkhead Surface using Non-Uniform Pressure Field »

Il a aussi été déterminé, pour certaines technologies et savoir-faire développés, de ne pas déposer de brevet afin de conserver le secret industriel.

Bilan du sous-projet

Gains technologiques clés et avancées majeures

Bombardier a atteint plusieurs de ses objectifs. De grandes avancées technologiques ont été réalisées et plusieurs technologies ont atteint un degré de maturité avancé particulièrement au niveau des procédés de fabrication et de contrôle de la qualité.

À l'arrêt du projet, plus de la moitié des pièces faisant partie du démonstrateur étaient complétées : les figures 2 à 4 montrent l'état des éléments de grande taille.



Figure 2 – Modèle 3D de la porte en composites et aperçu du moule réalisé par ATD/Avior (Lot 1)

Aperçu des principales technologies développées au cours du projet :

- > La réalité augmentée pour réduire le temps d'inspection des structures composites ;
- > La conception novatrice des structures plus légères, comme la cloison de pressurisation et la porte en composites ;
- > La validation de la technologie d'usinage surfacique mécanique adaptée à des panneaux de fuselage double courbure en aluminium afin d'éliminer à terme l'usinage chimique ;
- > Le développement de la cobotique pour certaines opérations d'assemblage ;
- > Le développement d'analyses automatiques des données d'inspection afin de réduire le temps et le coût de cette étape. Ces travaux en collaboration avec le

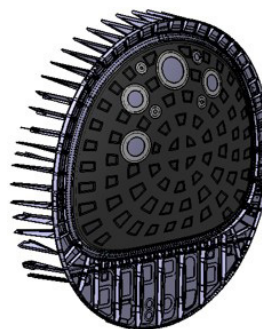


Figure 3 – Modèle 3D de cloison de pressurisation hybride et moule réalisé par Loiretech (Lot 2)



Figure 4 – Panneau de fuselage réalisé par usinage mécanique (Lot 3)

CTA ont donné lieu à deux publications et ont été présentés en 2019 lors des conférences suivantes :

- NDT in Aerospace – 11th International Symposium – Paris – France 13 au 15 novembre 2019
 - QNDE - 46th Annual Review in Quantitative NonDestructive Evaluation – Portland - Or – 18 juillet 2018
- > Les méthodes d'analyses plus robustes et complètes permettant de réduire les taux de rejet (« scrap »), de réduire les non-conformités et d'augmenter des seuils d'acceptation des pièces composites;
- > Le développement d'une base de données de matériaux de référence pour optimiser le dimensionnement des structures;
- > L'optimisation des masses de balancement de surface de contrôle;
- > Le développement de matériaux et procédés de substitution aux produits chromatisés;
- > L'optimisation d'une nervure intercostale en utilisant un procédé d'optimisation topologique;
- > La conception d'un angle en composite de carbone dont l'orientation des plis est déterminée par un processus d'optimisation utilisant un algorithme de type évolutionnaire;
- > La fabrication additive non métallique pour la console centrale de cockpit afin de simplifier l'assemblage et réduire la masse.

Les principales technologies du projet ont été développées du niveau de maturité technologique TRL 3, soit l'évaluation initiale d'une nouvelle technologie, au niveau TRL 6, l'atteinte d'une maturité assez élevée pour être mise en service ou utilisée en production.

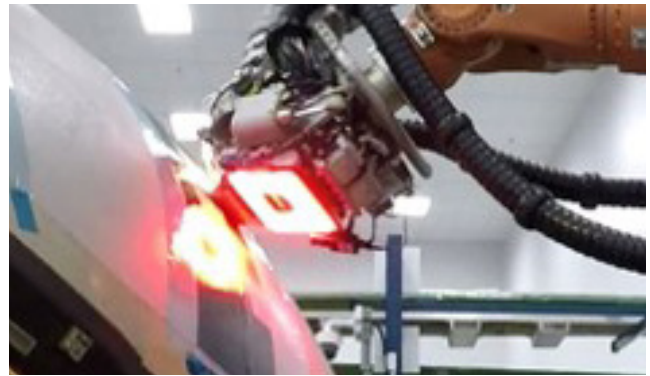


Figure 5 – Inspection en temps réel

Certaines de ces technologies, telles que l'analyse automatisée de données d'inspection de la cloison pressurisée, sont d'ores et déjà au stade de l'industrialisation. Le procédé de conversion chimique sans produits chromatisés a atteint TRL 6; il est prêt à être mis en service dans les sites de Bombardier et chez les fournisseurs si désiré.

SA²GE-2, un modèle efficace pour innover collaborativement

Dans le cadre du projet, Bombardier a formé de nouveaux partenariats avec des PME et mobilisé au total une dizaine d'entreprises québécoises. Ces entreprises ont pu développer leur expertise afin de répondre aux besoins de l'industrie aéronautique dans des domaines de pointe, tout en mettant de l'avant des technologies plus respectueuses de l'environnement. Ces entreprises ont participé à l'atteinte des objectifs fixés et ont travaillé en étroite collaboration avec les équipes d'ingénierie afin de mettre de l'avant des technologies innovantes.

Cette mobilisation renforce la grappe aéronautique québécoise et développe les liens d'affaires avec les grands donneurs d'ordre tel que Bombardier.

Pas moins de sept centres de recherche et universités ont participé au projet FARE, à travers des sous-projets spécifiques en lien avec l'expertise de ces différents établissements. **Ce projet renforce les liens et les échanges avec Bombardier et permet aux centres académiques et de recherche d'être alignés avec les demandes et les exigences de l'industrie tout en faisant bénéficier cette dernière de nouvelles technologies et d'un bassin d'experts et d'étudiants de très haut niveau.**

Histoires de succès

L'excellente collaboration entre Bombardier et la PME mobilisée ATD est à souligner. Malgré un échéancier serré et des requis évoluant jusqu'au dernier moment, ATD a réussi avec succès la conception et la fabrication d'outils complexes pour les développements du procédé de cuisson et les outils pour la fabrication de la porte composite pleine grandeur.

Loiretech a également réalisé avec succès différents outils pour le démonstrateur pleine grandeur, tels que le moule de la cloison hybride pressurisée et les moules de cadres pour la porte composite. De plus, ils ont collaboré au projet de moule vert afin d'allonger la durée de vie des outils.

Le projet de contrôle in situ du procédé de placement de fibres automatisé (AFP) réalisé avec le CTA a été couronné de succès et ce contrôle est sur le point d'être mis en service dans le département de production.

Fibrotek a participé activement au développement des outils pour le procédé de formage à chaud automatisé. Ce projet se poursuit afin de pousser la technologie plus loin et potentiellement la certifier pour l'utiliser en production.

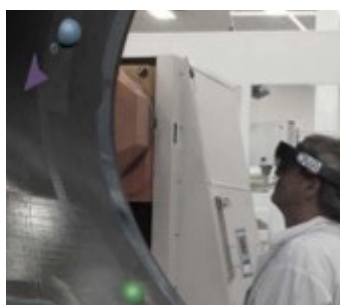


Figure 6 – Casque de réalité augmentée pour inspection développé par OVA

Les casques de réalité augmentée développés par la société OVA ont été testés en situation réelle et les résultats obtenus ont suscité un très fort intérêt pour une industrialisation rapide.

Enfin, une collaboration avec Maya HTT a été initiée pour l'analyse des données de procédés spéciaux et l'utilisation de l'Intelligence Artificielle afin d'optimiser certains procédés.

L'implication de fournisseurs dans ce type de projet est importante, car cela permet de développer de nouveaux liens, de nouvelles compétences, de faire valoir leur expertise et leur flexibilité sur des projets concrets ouvrant des opportunités à court et à moyen terme.



Figure 7 – Cadre tressé

Le projet de cadre tressé représente un bon exemple de collaboration entre plusieurs partenaires. En effet, ce projet a permis de regrouper l'expertise de Polytechnique pour le dimensionnement, la simulation et l'optimisation des tresses de carbone, du CTA pour le développement des outillages en impression 3D et du procédé d'injection et du Groupe CTT pour l'optimisation du tressage robotisé. Le projet devrait se poursuivre jusqu'en 2021 avec la participation de SphereCo pour la fabrication en impression 3D des outillages pleine grandeur.

Contribution du projet à la réduction des émissions de GES et au développement durable

La réduction de masse des structures d'avions joue un rôle prépondérant dans la baisse de consommation de carburant permettant ainsi une réduction significative des GES en opération. Les autres phases du cycle de vie permettent des gains notables d'énergie et de consommation d'eau. Les technologies du projet FARE permettent une réduction potentielle de 10 678 tonnes métriques de CO₂-éq/an sur les prochains avions et dépasse de 77 % les objectifs initiaux de Bombardier en matière de réduction de GES (6 044 tonnes CO₂-éq./an). De plus, le développement de nouveaux procédés et matériaux sans chrome ainsi que le développement de l'usinage surfacique mécanique permettent de remplacer certaines matières et procédés nocifs pour l'environnement.

Retombées pour le Québec du sous-projet mené par Bombardier

Pour le Québec, ce type de projet permet de mettre en valeur et d'augmenter l'un des plus grands pôles de l'industrie

aéronautique mondiale, tout en développant des technologies respectueuses de l'environnement avec le support de la grappe industrielle et académique québécoise.

Ces technologies d'avant-garde permettent d'offrir des gains significatifs et leur développement se poursuivra afin d'arriver à maturité lors du lancement de nouvelles plateformes d'avions dans les années à venir. Les investissements pour l'acquisition de nouvelles machines, la mise en production et la maintenance, tel que l'usinage mécanique de panneaux de fuselage, représenteraient plusieurs millions de dollars sur dix ans.

Les technologies développées au cours du projet FARE permettent à Bombardier d'améliorer les structures existantes et de se positionner de manière concurrentielle pour de futures plateformes plus écologiques. En interne, c'est près de 100 employés et une douzaine de stagiaires provenant de nombreux départements, ingénierie, méthode, logistique, écoconception ou encore d'outillage et de production qui ont participé avec intérêt au projet au cours de ces dernières années.

Innover ensemble pour l'avenir du Québec aéronautique

Les liens et les échanges entre les PME, les centres de recherche et universités et Bombardier sont la pierre angulaire du succès de ce type de projet. Bombardier bénéficie grandement de la richesse, de la diversité et de la proximité d'entreprises, d'experts, de centres académiques et de transfert de technologies québécois.

À titre d'exemple, la présence fréquente chez Bombardier de plusieurs collaborateurs industriels et académiques a grandement facilité les échanges et ainsi permis d'accroître la qualité et l'efficacité du travail.

De plus, afin de rester compétitifs, les emplois directs et indirects de haut niveau associés à ces nouvelles technologies seront pérennisés au Québec pour plusieurs années et les retombées se feront à tous les niveaux pour la communauté (écoles, commerces, loisirs...). À l'interne, le projet FARE a employé environ 23 personnes par année, mais en réalité, plus d'une centaine d'employés y a participé. Les compétences acquises



Figure 8 – Aperçu de quelques-uns des participants au projet FARE

tout au long de ce projet sont un atout majeur pour l'ensemble des employés y ayant participé. Par ailleurs, les étudiants d'aujourd'hui, formés adéquatement aux exigences de ce secteur au Québec seront, dans les années à venir, les futurs employés au sein de Bombardier et des PME de la grappe aéronautique québécoise.



Figure 9 – Console centrale de poste de pilotage réalisée en fabrication additive



Rappel du contexte

L'un des principaux objectifs de SA²GE est de développer des technologies ayant une faible empreinte environnementale.

Ainsi, les sous-projets retenus dans SA²GE-2 visaient tous des objectifs de réduction d'émissions de gaz à effet de serre (GES) dont la faisabilité était à démontrer d'ici l'achèvement du projet.

Par conséquent, chaque partenaire industriel a soumis une estimation des réductions de GES découlant des technologies qu'il a développées au cours de la phase 2, estimation préparée par un expert en la matière et vérifiée par un organisme tiers accrédité, conforme aux principes de la norme ISO 14064-2.

Norme ISO 14064-2

Cette norme internationale précise les spécifications et les lignes directrices d'un projet pour la quantification, la surveillance et la rédaction de rapports sur les activités de ce projet visant à réduire les émissions de GES ou à accroître leur suppression.

Soucieux de capturer l'ensemble des gains environnementaux obtenus, la majorité des partenaires ont soumis, en plus de l'estimation de réduction de GES obligatoire, un rapport décrivant l'analyse et les avantages environnementaux générés par leurs technologies.

Rappel des principaux gains environnementaux visés par les technologies développées dans SA²GE-2

Le sous-projet mené par Bombardier Aviation regroupait le développement de plusieurs technologies visant à réduire la consommation d'énergie, d'eau et de substances chimiques pendant les étapes d'extraction et de fabrication, mais aussi à alléger la masse de l'avion dans l'optique de consommer moins de carburant et diminuer ainsi les émissions de GES.

CAE, de son côté, a développé une nouvelle génération de simulateurs, de sorte à remplacer des heures de formation en vol par des heures de formation au sol, venant ainsi diminuer les émissions de GES associées aux avions en moins dans le ciel.

Le système de navigation développé par CMC Électronique permet, quant à lui, de diminuer l'empreinte environnementale des avions en optimisant les trajectoires en vol, en évitant les approches interrompues, les mises en attente et aussi, en étant plus léger que les systèmes de navigation actuels.

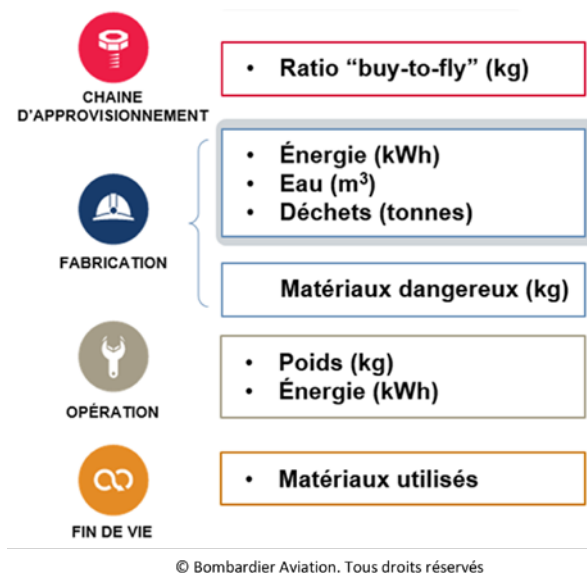
La nouvelle unité de gestion électronique des systèmes d'avion conçue par Thales contribue à réduire le poids des avions en centralisant sur un seul boîtier, un grand nombre de fonctions actuellement réparties sur plusieurs calculateurs dédiés.

Enfin, TeraXion a amélioré deux technologies permettant des gains de poids et de consommation électrique qui se traduiront directement par une réduction de consommation de carburant des avions utilisant ces nouvelles technologies.

Grandes lignes de la méthodologie utilisée

L'équipe d'écoconception de Bombardier Aviation, pionnier dans le domaine, a été mandatée par le comité des gains environnementaux de SA²GE pour établir une méthodologie adaptée au projet et définir des indicateurs clés d'ingénierie permettant d'évaluer l'impact environnemental des technologies.

Cette méthodologie, fondée sur l'analyse environnementale du cycle de vie (LCA), permet d'évaluer les gains à chacune des étapes du cycle de vie des technologies, parmi lesquelles l'extraction de matières premières, la fabrication, l'exploitation, et la fin de vie. Des indicateurs de performance applicables à chacune de ces étapes ont été définis. L'objectif final de l'analyse environnementale étant de présenter les gains environnementaux attendus à la dixième année d'implémentation des technologies.



Les technologies de référence ont été définies et des paramètres opérationnels ont été fixés (par exemple, le nombre d'avions qui seront équipés de la nouvelle tech-

nologie X d'ici 10 ans.) Ensuite, pour chaque étape du cycle de vie, trois indicateurs d'impact ont été évalués : la consommation d'énergie, la consommation d'eau et les émissions de GES.

Des gains tangibles pour un Québec plus vert

Afin de mieux comprendre les gains environnementaux obtenus dans le cadre de la phase 2 de SA²GE, une analyse comparative a été faite entre la somme de ces gains et la consommation moyenne d'eau et d'énergie par un ménage au Canada. De plus, le nombre de vols évités a également été calculé pour refléter les gains de GES.

Comparaison avec notre consommation

Économie d'énergie

L'économie d'énergie générée par l'ensemble des technologies de la phase 2 de SA²GE équivaut à la consommation de **43 292** maisons individuelles par année.

Les données statistiques d'une maison unifamiliale ont été utilisées pour faire cette comparaison¹, sachant que la consommation d'une maison unifamiliale était de 130 GJ en 2011 et la **réduction totale des technologies développées dans SA²GE-2 s'élève à 5 801 TJ d'énergie.**

Économie d'eau

L'économie d'eau de l'ensemble des technologies de la phase 2 de SA²GE équivaut à la consommation de **156 833** Canadiens par année.

Les données statistiques de consommation moyenne d'eau d'un Canadien à la maison ont été utilisées pour faire cette comparaison², sachant que la consommation était de 251 litres par habitant par jour au Canada en 2011, ce qui correspond à 92 mètres cubes par habitant par année, avec une population de 33,48 millions d'habitants. **La réduction totale des technologies développées dans SA²GE-2 s'élève à 14 322 KT d'eau.**

1 Enquête sur l'utilisation de l'énergie par les ménages - 2011 - Rapport statistique détaillé. http://publications.gc.ca/collections/collection_2015/rncan-nrcan/M144-120-2-2011-fra.pdf

2 Consommation résidentielle d'eau. <https://www.canada.ca/fr/environnement-changementclimatique/services/indicateurs-environnementaux/consommation-residentielle-eau.html>

Réduction de GES

L'ensemble des technologies développées dans la phase 2 de SA²GE offriront une réduction totale d'émission de GES dans 10 ans équivalente à **27 915** vols évités.

La consommation de carburant d'un avion commercial monocouloir pour une mission type de 1 852 km (1 000 nm) et ayant à son bord 125 passagers, a été utilisée pour faire cette comparaison. Le facteur d'émissions GES utilisé est 3,809 kg équivalents CO₂ par kilogramme de carburant. Ce facteur couvre l'ensemble du cycle de vie, c'est-à-dire les émissions liées à l'extraction et à la consommation de carburant. **La réduction totale des technologies développées dans SA²GE-2 s'élève à 513 KTCO₂-éq.**

En conclusion

Les données colligées en matière environnementale ont été validées par une firme externe, Enviro-Accès.

L'ensemble des projets de la deuxième phase de SA²GE ont démontré l'importance de tenir compte des aspects environnementaux dès la conception de produits, de technologies ou de services. Par ailleurs, le concept de cycle de vie permet de faire de meilleurs choix de conception puisqu'il dévoile le portrait global des incidences environnementales, tout au long du cycle de vie.



Leçons tirées de la phase 2

Les partenaires de la phase 2 ont acquis une plus grande expertise concernant l'analyse environnementale du cycle de vie, ce qui a favorisé de belles avancées en matière de réduction d'impact. C'était la première fois dans SA²GE qu'un organisme tiers accrédité procédait à la vérification des rapports environnementaux des parte-

naires. Le défi a été relevé avec succès par ceux-ci. Le rapport de vérification externe a démontré le succès de la phase 2 de SA²GE en matière environnementale.

Recommandations

Quelques recommandations s'imposent. Ainsi, le ministère de l'Économie et de l'Innovation pourrait jouer un rôle clé en soutenant de façon harmonisée et centralisée l'industrie aéronautique afin de réduire ses incidences sur l'environnement. Une façon d'y parvenir serait de développer une plateforme de partage d'information claire, fiable, mettant de l'avant un pôle d'experts crédibles. Quant à l'industrie aéronautique, celle-ci devra miser d'avantage sur la veille de nouvelles réglementations environnementales et, dès maintenant, intégrer l'écoconception dans ses processus.

Il est à noter que le financement des projets de recherche et de développement, comme ceux de la phase 2 de SA²GE, s'avère un investissement permettant aux entreprises québécoises de développer une expertise unique afin de devenir plus compétitives, mieux outillées pour affronter les défis et saisir les opportunités futures, le tout d'une façon plus durable.

Mandat du comité gains environnementaux

Au cours de la première phase de SA²GE, un comité a été créé afin de mettre en commun les expertises environnementales présentes chez certains des partenaires industriels et soutenir les autres partenaires industriels. En effet, bien que la préoccupation de réduire l'empreinte environnementale de l'industrie était déjà présente chez l'ensemble des partenaires de la phase 1 de SA²GE, tous ne possédaient pas une expertise dans le domaine.

Depuis, le mandat du comité a évolué et consiste à :

- > Établir une base de référence selon la norme ISO 14064;
- > Partager au sein de ses membres les méthodes d'analyse employées et contribuer à leur évolution;
- > Soutenir les travaux individuels des partenaires dirigeant un sous-projet et contribuer à la qualité des livrables;
- > Soutenir l'organisme dans la production de ses propres livrables;
- > Contribuer à l'émergence d'une vision environnementale pour le secteur aéronautique;
- > Contribuer au rayonnement du projet SA²GE.

Bilan du comité d'audit

La phase 2 s'est dotée d'un comité d'audit

Pour cette nouvelle phase au projet mobilisateur de l'avion plus écologique, le Regroupement pour le développement de l'avion plus écologique a décidé de former un comité d'audit ayant pour mandat d'aider le conseil d'administration à remplir ses fonctions de surveillance à l'égard de la présentation de l'information financière, des vérifications par un auditeur externe, ainsi que de la gestion des risques et des contrôles internes de l'organisme.

Formé de trois administrateurs élus annuellement, le comité d'audit a principalement rempli les tâches suivantes :

- > Analyse et révision trimestrielle des états financiers;
- > Rapport semestriel au conseil d'administration;
- > Élaboration et mise en œuvre de moyens pour remédier aux enjeux de liquidités de l'organisme;
- > Élaboration du budget annuel de l'organisme et recommandation au conseil d'administration;
- > Rencontre annuelle avec le vérificateur externe;
- > Analyse et révision des états financiers vérifiés et recommandation au conseil d'administration.

2018, une année chargée pour le comité

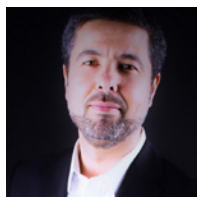
L'une des particularités rencontrées par le comité au cours de la phase 2 fut l'intégration de la phase 3 qui a débuté avant la fin de la phase 2. La présentation de l'information financière a notamment constitué un défi que le comité a relevé avec brio. Ainsi, le comité d'audit a dû réfléchir à la manière de gérer les deux projets mobilisateurs de manière distincte, mais avec le même organisme de gestion, le Regroupement pour le développement de l'avion plus écologique. À l'occasion de la mise en place de la phase 3, le comité en a également profité pour changer d'institution financière.

Évaluation globale

Le conseil d'administration se félicite de la décision de mettre en place ce comité, car il a permis d'optimiser les rencontres du conseil d'administration en passant plus de temps aux avancées des sous-projets, la raison d'être de SA²GE. De leur côté, les membres du comité sont satisfaits du déroulement et des échanges qui ont eu lieu lors des réunions. La complémentarité des profils des administrateurs, conjuguée à l'esprit prédominant de collaboration et d'innovation ouverte dans SA²GE, a rendu les réunions productives et intéressantes. Le taux élevé de participation en est un bon indicateur. Pour toutes ces raisons, il a été décidé de maintenir ce comité dans la phase 3 de SA²GE.



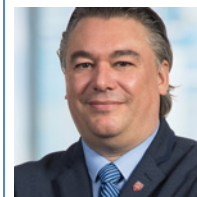
*Suzanne Benoit
présidente - directrice générale,
Aéro Montréal*



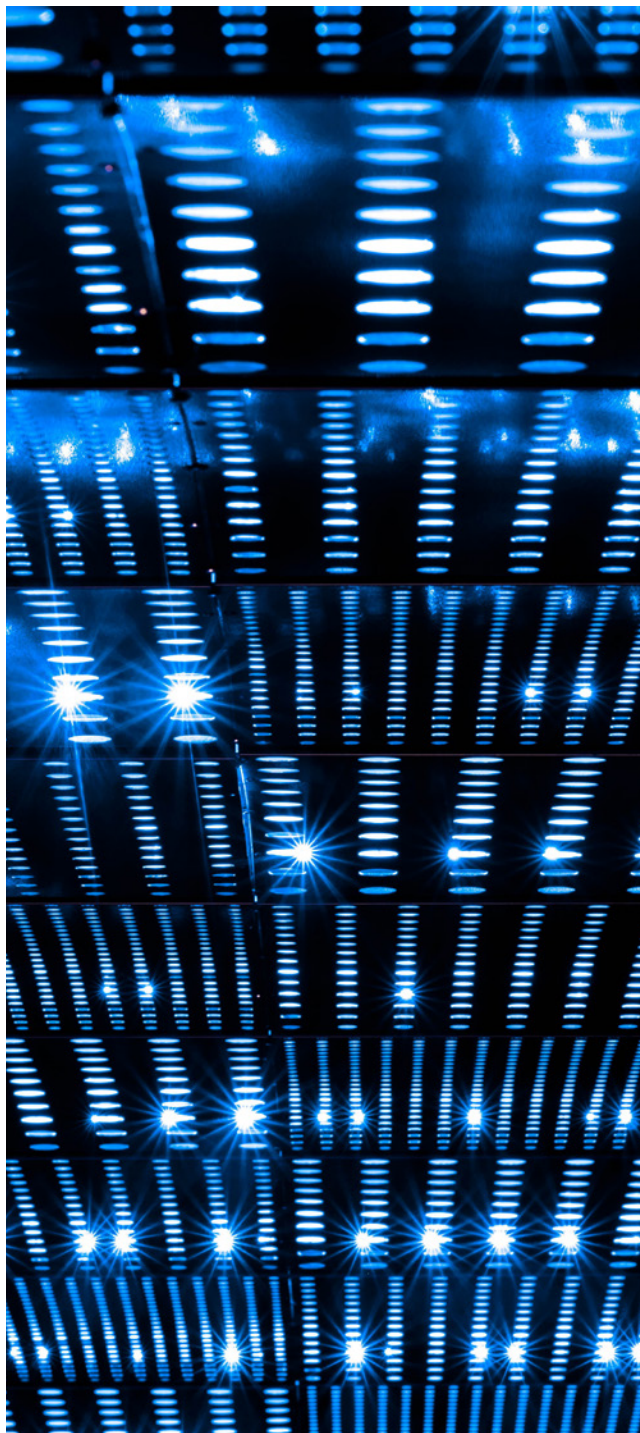
*Houssam Alaouie
directeur, Programmes de recherche
et développement et Relations avec
les institutions d'enseignement
supérieur, CAE*



*Ghislain Lafrance
président et chef de la direction,
TeraXion
Membre du comité de 2016 à 2018*



*Michel Dion
directeur principal, Innovation,
Bell Textron Canada
Membre du comité
de 2018 à maintenant*



Appréciation, perspectives et recommandations de l'organisme

SA²GE-2 a vu le jour en 2016, peu de temps après la fin de la phase 1, permettant ainsi de bâtir sur les acquis en maintenant les équipes en place dans le cas des partenaires retenus pour une seconde phase et en renforçant les liens naissants avec les PME.

En effet, SA²GE-2 fait partie des projets dits mobilisateurs pour la province, ce qui signifie qu'en plus de l'objectif de développement de technologies novatrices à caractère environnemental, le projet mise sur une implication de nombreuses organisations québécoises augmentant ainsi les retombées économiques.

Malgré la pandémie qui a affecté nos partenaires industriels en fin de projet, les objectifs de SA²GE-2 ont été atteints et nous sommes fiers des réalisations exceptionnelles survenues dans cette seconde phase, qui s'est échelonnée de 2016 à 2020. Ainsi, les cinq partenaires industriels ont validé des technologies présentant des risques élevés et quatre d'entre eux ont complété des démonstrations majeures rendant crédibles leurs nouvelles offres à des clients potentiels. Les partenaires industriels estiment que ces travaux contribueront à créer entre 350 et 700 emplois de hautes technologies dans un horizon de 5 à 10 ans.

Contribuer à l'efficacité du système d'innovation québécois

Le secteur aéronautique québécois est doté, grâce à Aéro Montréal, d'un chantier innovation fort duquel découle de nombreuses initiatives ambitieuses. Le gouvernement du Québec reconnaît l'importance du secteur pour l'économie et appuie intelligemment les initiatives les plus prometteuses. C'est dans ce contexte que sont nés SA²GE-1, puis SA²GE-2 et SA²GE-3.

Ces projets mobilisateurs se distinguent des autres mécanismes de financement, dans la mesure où ils appuient les entreprises au stade de la démonstration, un maillon faible de la chaîne d'innovation, surnommé « vallée de la mort », et qui était exclu des programmes d'aide. En effet, de nombreux projets amorcés en milieu privé ou public ne connaissaient pas de lendemain. **L'investissement en démonstration de technologies est**

capital pour compléter la chaîne d'innovation, engager le secteur privé à oser des projets à haut risque technologique et maintenir la place concurrentielle du Québec en aéronautique. Notons que les pays forts en aéronautique maintiennent des programmes agressifs de démonstrations technologiques.

Par ailleurs, les objectifs fondamentaux du modèle, qui sont l'innovation technologique, la mobilisation de l'industrie québécoise, l'atteinte de gains environnementaux et la création de retombées économiques pour le Québec, sont à l'origine de nouveaux modèles collaboratifs d'une efficacité enviable à l'international.

En effet, SA²GE a favorisé l'adoption de l'innovation collaborative dans l'industrie, permettant ainsi de faire plus avec moins. Plutôt que de mener leurs activités de recherche et développement en silos, les entreprises ont mis à profit leur intérêt commun à lutter contre les changements climatiques. En s'alliant avec d'autres organisations québécoises – PME, universités et centres de recherche – plusieurs de nos entreprises ont ainsi pu développer plus rapidement de nouvelles technologies avec moins de ressources et, par le fait même, contribuer à la compétitivité du Québec sur la scène internationale. **Cette façon de faire permet de profiter au mieux de l'environnement d'innovation public et privé du Québec et de maintenir un dynamisme en aéronautique malgré la petite taille du Québec face aux concurrents.**

Favoriser la lutte aux changements climatiques

L'incidence environnementale est un ingrédient majeur à la collaboration des experts, car il répond au besoin de donner un sens au travail concernant un enjeu commun à tous, la lutte aux changements climatiques. En l'absence de cette incidence, les réflexes de compétition et d'herméticité du secret industriel prennent le pas.

C'est pourquoi **les partenaires sont unanimes, SA²GE permet non seulement la réalisation de projets de démonstration, mais il favorise également des projets avec un impact favorable sur le plan environnemental.** Par exemple, en remplaçant plusieurs calculateurs fédérés par un seul des calculateurs multi applicatifs développés par Thales Canada dans SA²GE-2, les quantités de matières premières et l'énergie requises pour sa fabrication sont divisées par trois et le recyclage grandement simplifié à la fin de la vie de l'avion.

L'ensemble des technologies développées dans la phase 2 de SA²GE offriront une réduction totale d'émission de GES dans 10 ans équivalente à 27 915 vols évités. Maintenant, si l'on combinait les gains environnementaux obtenus grâce aux technologies et aux produits développés dans SA²GE-1 et SA²GE-2, ce sont 881 kilotonnes de CO₂-éq qui seraient émises en moins dans l'atmosphère à la 10^e année d'intégration de ces technologies.

La phase 2 de SA²GE a été l'occasion d'offrir aux partenaires des ateliers de formation en analyse environnementale et en écoconception. Ce type d'activité favorise une sensibilisation plus large du personnel hautement qualifié aux enjeux environnementaux et à leurs solutions. Outre l'innovation technologique telle que développée dans SA²GE, les carburants alternatifs durables et les technologies de substitution au transport aérien classique émergent comme solutions de plus en plus concrètes. Le Québec est particulièrement bien placé pour tirer profit de la convergence de ces avenues, jusqu'ici développées de façon isolée.

Évoluer vers des systèmes plus hétérogènes et des technologies de rupture

Alors que SA²GE-1 comprenait majoritairement des projets manufacturiers, davantage de projets de type systèmes et logiciels ont été retenus dans la phase 2, dont le projet d'une PME de Québec, TeraXion. Cela constitue une évolution intéressante qui met en lumière certains secteurs d'avancement technologique où le Québec peut se démarquer des pays où la main-d'œuvre coûte moins cher.

Quelques exemples de réalisations

TeraXion a développé grâce à SA²GE une expertise unique en systèmes laser de haute précision basés sur la photonique sur silicium. La source laser multifréquence réalisée durant le projet constitue la toute première démonstration d'une source laser sur silicium pour un gyroscope de précision. En fait, il s'agit de la meilleure puce laser jamais fabriquée. Quant au prototype de module photonique radiofréquence fabriqué par TeraXion, il est 90 % plus léger et a une consommation 20 fois moins élevée que les systèmes électroniques classiques qu'il remplacera. De plus, durant la période du projet, TeraXion a obtenu des contrats reliés aux

technologies développées durant SA²GE-2 d'une valeur supérieure à 15 M\$, augmentant ainsi la compétitivité du Québec en photonique intégrée, un domaine innovant et en plein essor, et procurant des emplois de qualité à plus de 20 chercheurs, ingénieurs et technologues.

Pour donner un autre exemple, SA²GE-2 a permis à Thales Canada de développer la maquette d'un ordinateur critique multi applicatif permettant une réduction considérable du poids, de l'encombrement et de la consommation de puissance du système contribuant à l'apparition d'avions plus verts dans le futur. Mettant à profit les nouvelles technologies développées par l'entremise de SA²GE-2, plusieurs ordinateurs fédérés à usage simple pourront être remplacés par ce nouveau ordinateur tout en combinant un haut niveau de sécurité avec une grande simplicité d'utilisation tout au long du cycle de vie du ordinateur. Ultimement, cette nouvelle architecture proposée par Thales pourrait permettre une réduction de plus de 70 % du poids des ordinateurs critiques requis par avion et une réduction de 50 % de la consommation électrique des ordinateurs.

Cette évolution a toutefois entraîné des défis de mobilisation puisque les PME québécoises non manufacturières étaient moins bien connectées au secteur, malgré les efforts de rapprochement des dernières années. Or, l'expérience et les compétences d'autres secteurs pourraient représenter des solutions intéressantes aux défis du secteur aérospatial : il serait intéressant de favoriser encore davantage le maillage entre secteurs.

Maintenir et développer des ressources collaboratives

Quelque 97 M\$ ont été investis sur la durée de SA²GE-2 dont un peu plus de 36 M\$ du gouvernement. Grâce à SA²GE-2 et son effet amplificateur, les investissements humains et financiers ont eu un impact sur de nombreux joueurs de l'industrie dont 29 PME, 11 centres de recherche et 6 universités pour un total de presque 10 M\$.

La rareté de main-d'œuvre a ralenti les activités chez plusieurs des partenaires au cours du projet. Cette insuffisance découle de plusieurs facteurs; parmi ceux-ci,



Rappel!

Appel à projets périodiques sur des thèmes stratégiques

Les projets mobilisateurs sont une initiative du ministère de l'Économie et de l'Innovation (MEI). Périodiquement, le MEI lance des appels à projets sur des thèmes stratégiques pour la province. Un comité de sélection du ministère choisit les meilleures propositions basées sur des critères de sélection objectifs et transparents. Les projets retenus forment un ou des projet(s) mobilisateur(s). En échange de conditions fixées au moment de l'appel à projets, les entreprises sélectionnées qu'on appelle alors « partenaires » obtiennent une subvention non remboursable pour une partie des dépenses du projet, sur présentation semestrielle de leurs avancées.

notons les nombreux départs à la retraite ainsi qu'un désintéressement d'une partie de la relève à l'égard du secteur aéronautique au profit notamment de l'intelligence artificielle. L'engouement pour cette dernière voie devrait éventuellement bénéficier à tous les secteurs de l'économie, dans la mesure où le Québec saura tirer avantage de ses capacités de collaboration entre secteurs.

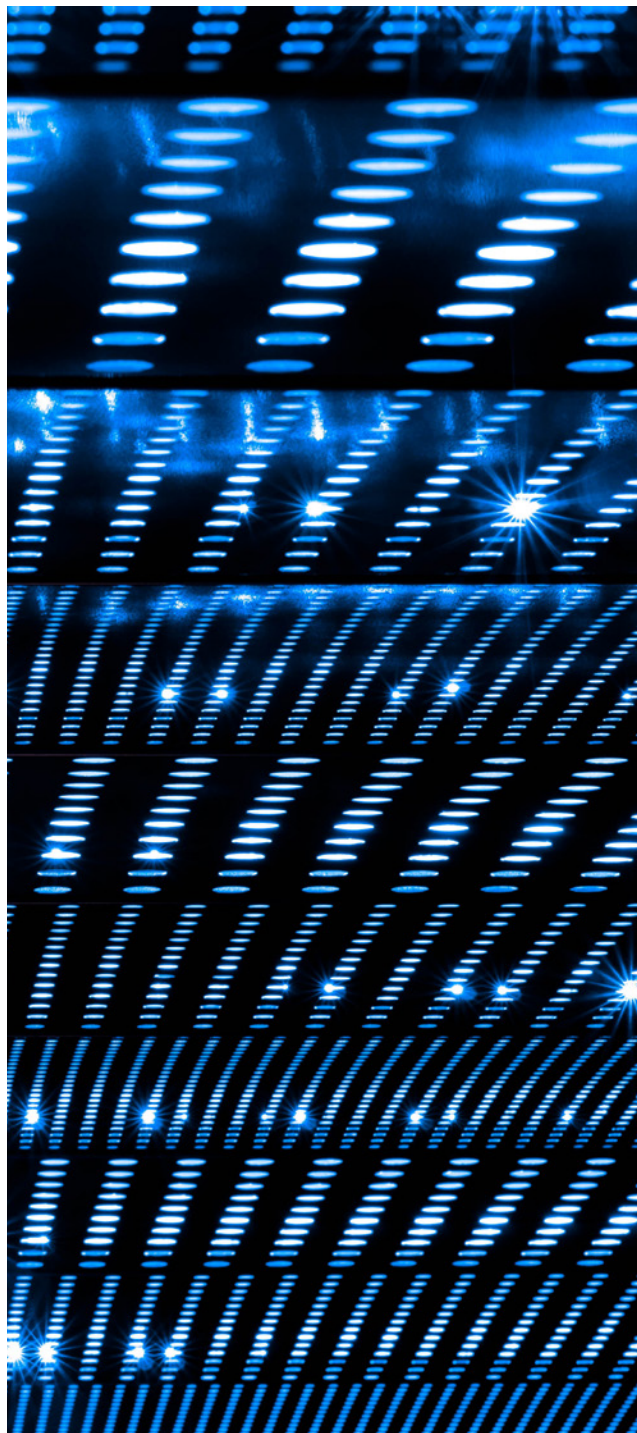
Cela étant dit, la phase 2 a permis de créer de nouvelles collaborations, de développer une certaine relève et d'attirer ou retenir des talents au Québec. À titre d'exemple, on notera l'établissement au Québec de l'entreprise Aversan pour combler les besoins du partenaire Thales. De façon plus générale, la conception, la fabrication et les essais de démonstrateurs sollicitent le travail en équipes intégrées, lesquelles requièrent des habiletés de collaboration intra et inter-organisationnelles. SA²GE-2 a contribué à développer ces habiletés qui, bien qu'elles soient difficiles à mesurer, n'en demeurent pas moins un élément distinctif du Québec face à la concurrence internationale.

Poursuivre avec un modèle de gouvernance qui a fait ses preuves

Le modèle de gouvernance est assurément l'une des forces des projets mobilisateurs. Ce modèle a été instauré dès la phase 1 de SA²GE par le biais de la Convention de subvention, laquelle prévoit qu'un organisme sans but lucratif assure l'administration du projet mobilisateur. L'OSBL joue ainsi un rôle d'interface entre le ministère et les partenaires industriels, il suit l'évolution des travaux en veillant au respect des ententes légales. En confiant le mandat de gestion à une entreprise indépendante, l'OSBL réduit les risques et obtient une gestion minimale des dépenses du projet.

Au moment du démarrage de SA²GE-2, l'organisme créé pour administrer SA²GE-1 n'avait pas encore dissolu ses activités. La phase 2 a donc pu démarrer rapidement grâce à la structure déjà en place et des processus bien rodés. Outre l'agilité dont a bénéficié la phase 2, des dépenses importantes ont ainsi pu être évitées.

Au-delà des avantages sur le plan de la gouvernance, le lancement rapide d'une nouvelle phase de travaux est crucial pour l'industrie. Non seulement cela permettra d'éviter une interruption des efforts et une perte conséquente d'emplois hautement qualifiés, cela permettra également aux entreprises d'enchaîner les flux de connaissances et d'expertises afin de se positionner pour la relance. Enfin, cela fournira aux directions l'assurance que l'environnement du Québec offre la pérennité et la prévisibilité essentielles aux investissements à long terme requis pour notre secteur.



Recommandations en bref

C'est au moment où la phase 3 est en cours qu'il faut lancer une nouvelle phase de travaux; c'est vital pour l'industrie en cette période de pandémie.

- La **décarbonisation** doit demeurer centrale aux projets de SA²GE. Le projet mobilisateur doit aussi demeurer ouvert à toute nouvelle technologie permettant de soutenir la place des entreprises québécoises sur l'échiquier mondial; cette ouverture est compatible avec le respect du mandat de SA²GE de réduire l'empreinte environnementale de l'aviation et concorde avec l'approche adoptée par les Européens, qui accentuent présentement leurs efforts d'innovation en décarbonisation;
- Parce que les projets SA²GE sont une réussite, il faut s'assurer de préserver les clés de ce succès : **souplesse, rigueur et légèreté**. Le nouveau contexte créé par la pandémie ainsi que la pression accrue en matière de changements climatiques ne font qu'ajouter à la souplesse requise dans la mise en œuvre des projets mobilisateurs. En outre, les dernières années ont vu une évolution marquée des technologies et des besoins du marché, ainsi que des modèles d'affaires, d'innovation et de collaboration. Pour toutes ces raisons, la mise en œuvre des projets mobilisateurs doit permettre des ajustements plus rapides et fréquents aux projets que ce n'était le cas en 2010, au moment du lancement de la phase 1 de SA²GE;
- Comme l'ont montré les phases 1 et 2, l'écoconception est un formidable catalyseur d'innovations et de collaborations. Il faut donc poursuivre les efforts pour étendre le partage des meilleures pratiques à davantage d'organisations, y compris nos PME québécoises. À cet égard, il serait souhaitable de développer **une plateforme de partage d'information en écoconception et en analyse environnementale** claire, fiable mettant de l'avant un pôle d'experts crédibles;
- Afin de voir naître davantage de véritables mobilisations, il faut encourager et reconnaître les tentatives de maillage et donc, **élargir la notion de mobilisation**, intégrer des clients d'ici ou d'ailleurs désirant collaborer avec le tissu industriel que ce soit un transporteur aérien ou un équipementier étranger et ce, à la condition d'un partage équitable des retombées économiques, technologiques et scientifiques. De plus, tout contrat accordé à une PME québécoise devrait être considéré comme un effort de mobilisation, dès lors que le contrat présente une envergure ayant un impact sensible sur la PME; tout appui financier à une PME québécoise contribue à sa pérennité et devrait être encouragé;
- Enfin, dans le même esprit, tout effort de collaboration avec des universités et centres de recherche québécois devrait être encouragé par le projet mobilisateur, tout en respectant les règles de cumul du financement public bien sûr. À cet égard, **la notion de mobilisation devrait également être élargie aux groupes de recherche collaboratifs** déjà financés par ailleurs par le MEI. Une réflexion s'impose sur la méthode de collecte des données de contributions publiques; cet enjeu ne devrait toutefois en aucun cas se poser en obstacle aux collaborations souhaitées par les partenaires de SA²GE, ou de tout autre projet mobilisateur.



Regroupement pour le développement
de l'avion plus écologique

673, rue Saint-Germain
Saint-Laurent (Québec) H4L 3R6

Tél. : 514 418-0123
info@sa2ge.org

Avec le soutien financier de

